

MINISTERE DE L'AGRICULTURE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER

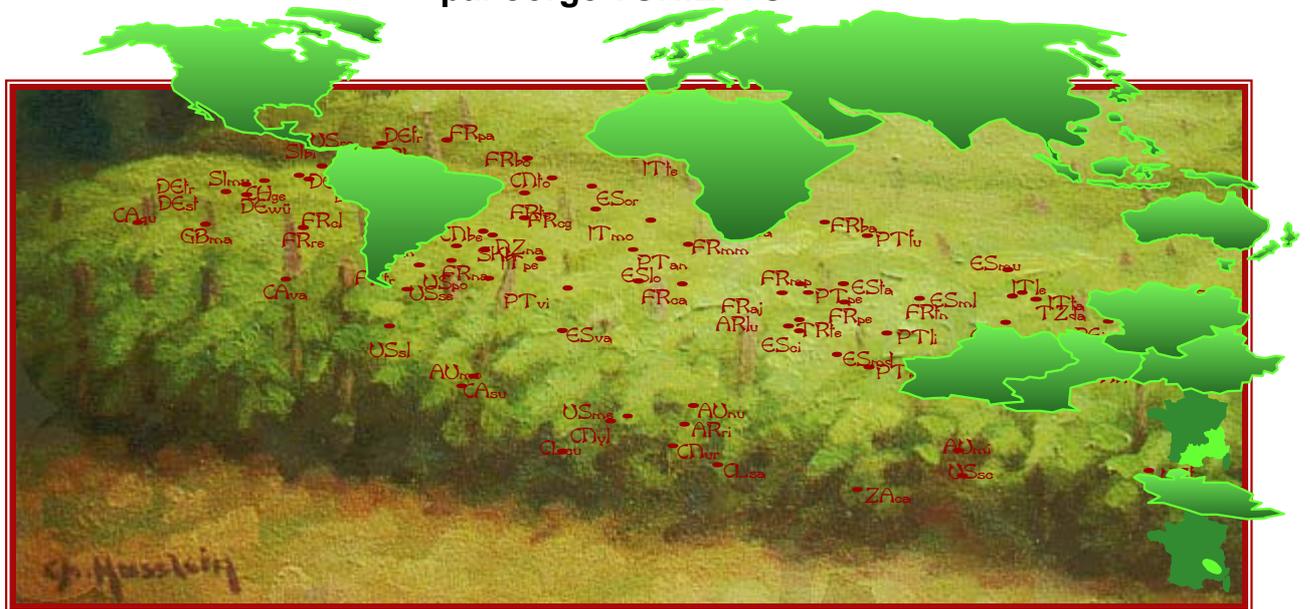
T H E S E

présentée à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier pour obtenir le
DIPLOME DE DOCTORAT

Formation Doctorale - Biologie de l'Evolution et Ecologie
Ecole Doctorale - Biologie des Systèmes Intégrés, Agronomie, Environnement
Unité de Formation et Recherche de Viticulture (E.N.S.A.-M - I.N.R.A)

LES MACROCLIMATS VITICOLES MONDIAUX ET L'INFLUENCE DU MESOCLIMAT SUR LA TYPICITE DE LA SYRAH ET DU MUSCAT DE HAMBOURG DANS LE SUD DE LA FRANCE - *Méthodologie de Caractérisation* -

par Jorge TONIETTO



Professeur Alain CARBONNEAU - *Directeur de Thèse*

Soutenu le 12 mai 1999 devant le jury composé de :

Mme PÉRARD, Jocelyne	Professeur, Université de Bourgogne, Dijon	Président, Rapporteur
M. CARBONNEAU, Alain	Professeur, U.F.R. de Viticulture - E.N.S.A.-Montpellier	Examineur
M. SCHULTZ, Hans R.	Professeur, Université Geisenheim-Wiesbaden, Allemagne	Rapporteur
M. COUR, Pierre	Docteur, Université de Montpellier II	Examineur
M. SIVADON, Ivan	Ing. Agr., CIRAME, Carpentras	Examineur

MINISTERE DE L'AGRICULTURE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER

T H E S E

présentée à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier pour obtenir le

DIPLOME DE DOCTORAT

Formation Doctorale - Biologie de l'Évolution et Ecologie
Ecole Doctorale - Biologie des Systèmes Intégrés, Agronomie, Environnement
Unité de Formation et Recherche de Viticulture (E.N.S.A.-M - I.N.R.A)

**LES MACROCLIMATS VITICOLES MONDIAUX ET
L'INFLUENCE DU MESOCLIMAT SUR LA TYPICITE DE LA SYRAH
ET DU MUSCAT DE HAMBOURG DANS LE SUD DE LA FRANCE
- *Méthodologie de Caractérisation* -**

par Jorge TONIETTO

Professeur Alain CARBONNEAU - *Directeur de Thèse*

Soutenu le 12 mai 1999 devant le jury composé de :

Mme PÉRARD, Jocelyne	Professeur, Université de Bourgogne, Dijon	Présidente, Rapporteur
M. CARBONNEAU, Alain	Professeur, U.F.R. de Viticulture - E.N.S.A.-Montpellier	Examineur
M. SCHULTZ, Hans R.	Professeur, Université Geisenheim-Wiesbaden, Allemagne	Rapporteur
M. COUR, Pierre	Docteur, Université de Montpellier II	Examineur
M. SIVADON, Ivan	Ing. Agr., CIRAME, Carpentras	Examineur

Illustration de couverture
(au fond, détail du "*Vignoble en Alsace*", par le peintre Ch.Husslein, ± 1950)

- le climat viticole
établi par des indices climatiques synthétiques
permet le classement et le regroupement climatique multicritères des régions viticoles à
différents niveaux d'échelle

A mes parents

Luiz (in memoriam) et Dalva

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je remercie l'EMBRAPA du Ministère de l'Agriculture du Brésil, pour avoir financé mon doctorat. Au niveau de mon centre de recherche au Brésil - le *Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho* - CNPUV/EMBRAPA, mes remerciements vont au directeur général - M. Paulo Ricardo Dias de Oliveira, pour m'avoir toujours apporté l'appui nécessaire. M. Francisco Mandelli qui a suivi le déroulement de mes études, M. Valdir Bettoni, Mme. Lúcia M. Padilha Nogueira et Mme. Elisabeth Tonietto Marchetto pour s'être occupé en mon absence de ce qui me concerne tant au niveau professionnel que personnel au Brésil.

En France, ma plus profonde gratitude va tout d'abord et essentiellement à mon Directeur de thèse - Prof. Alain Carbonneau, qui m'a accueilli dans l'Unité de Formation et Recherche - U.F.R. de Viticulture, à l'E.N.S.A./I.N.R.A de Montpellier. Il a su me transmettre son expérience et ses compétences scientifiques, et a énormément participé au développement des recherches qui font partie de cette thèse ; sans compter sur le bien fondé de ses cours d'ecofisiologie de la vigne ! ; sans son expérience cette thèse n'aurais jamais réussi à avoir une dimension à l'échelle de la viticulture mondiale.

Mes plus sincères remerciements vont également :

- M. Eric Lebon, chercheur I.N.R.A qui m'a énormément aidé avec ses compétences dans plusieurs domaines, en particulier pour l'exécution du Réseau Syrah, mais également sur le plan des techniques d'analyse des données et d'interprétation des résultats. Je le remercie également d'avoir lu et critiqué l'ensemble du contenu de la thèse.

- M. François Champagnol qui m'a toujours accueilli avec enthousiasme et cordialité, pour le grand respect que j'ai pour lui, pour tout ce qu'il m'a transmis dans le domaine de la physiologie de la vigne. Merci encore pour avoir lu et critiqué une grande partie de ma thèse !

- Enfin je tiens à remercier très très sincèrement Mme. Cécile Tessier qui a assuré la difficile tâche de faire les corrections grammaticales du texte de l'ensemble de la thèse en un espace de temps très court, et qui a également contribué aux commentaires au niveau technique.

- Également à Carole Chazoule pour les corrections des articles publiés.

Je remercie tout particulièrement aux rapporteurs - Professeur Joceline Pérard et Professeur Hans R. Schultz, pour avoir enrichi mes connaissances avec la qualité de ses commentaires sur l'ensemble de la thèse.

Également à M. Pierre Cour et M. Ivan Sivadon pour leur participation au jury.

À mes collègues thésards Teresa Guedes Lopes, Hatem Mabrouk, Hernan Ojeda et Helena Kraeva, pour leur amitié, leur collaboration et leur compréhension qui a toujours été présente.

À toute l'équipe de l'U.F.R. de Viticulture de l'I.N.R.A./E.N.S.A. de Montpellier - Denis Boubals, A. DeLoire, Eric Lebon, Gérard Bruno, Pierre Domergue, J.-M. Boursiquot, F. Jaillet, S. Iribarne, Gilbert Lopez, Christian Bédès, Pierre Parra, J.P. Peros, Yves Bertrand, P. This, A.F. Adam Blondon, L. Torregrosa, P. Soto, J.F. Balester, Isabel, Nicole Balsera, ...

Mais je n'oublie pas non plus, les autres scientifiques qui m'ont permis de profiter d'une parcelle de leur savoir ou de leurs compétences dans divers domaines : M. Jean-Michel Boursiquot pour ses superbes cours sur les régions viticoles, leurs cépages et la typicité des produits de leurs terroirs ; M. Michael Calleja et M. Pierre Cour, du Laboratoire de Paléoenvironnements et Palynologie, lesquels ont usé sans modération de leur temps afin de faire une analyse critique de l'ensemble des travaux de ma thèse tout au long de son déroulement - merci beaucoup !

Au niveau de la recherche développée à l'échelle mondiale, moi et le Prof. Alain Carbonneau, nous voulons remercier très sincèrement l'Organisation Météorologique Mondiale - O.M.M., et en particulier M. N.A. Gbeckor-Koue et M. V.K. Sivakumar du Département du Programme Climatique Mondial de la Division de Météorologie Agricole. Cette action intégrée a permis d'obtenir la coopération de l'ensemble des pays viticoles pour l'indispensable obtention des données climatiques, par l'intermédiaire des membres de la Commission de Météorologie Agricole - CMAg de chaque pays. Nous remercions également l'ensemble des autres institutions et des personnes qui ont travaillé à collecter les données dans les différents pays.

Ci-dessous on trouve la liste des personnes, de leurs institutions et des pays qui ont coopéré.

Nous remercions :

COLLABORATEUR	PAYS	INSTITUTION
Valerie BONNARDOT Victoria CAREY Glenda SWART Michael Victor LAING*	Afrique du Sud	Nietvoorbij Centre for Vine and Wine South African Weather Bureau Department of Environment Affairs - Weather Bureau
W. TRAMPF Karsten HEGER*	Allemagne	Deutscher Wetterdienst
Paul V. HARKER* M. N. HOUGH*	Angleterre	The Meteorological Office
Alcides LLORENTE Rubén N. OLIVA G.NORDENSTROM Hernán OJEDA Daniel FONTAGNOL Julio CHAAB	Argentine	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
G. KODJOYAN*	Arménie	Department of Hydrometeorology
Robin A. HICKS P. F. NAOR*	Australie	Bureau of Meteorology
Hartwig DOBESCH*	Autriche	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Francisco MANDELLI Dalton Antonio ZAT Ana B. C. CZERMAINSKI Luiz Balbino MORGADO	Brésil	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria
Chris KOCOT	Canada	Canadian Meteorological Centre
Fernando Caceres LEON Ivan Torres TAPIA Ph.PSKCZOLKOWSKI	Chili	Dirección Meteorológica de Chile Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Chile
Wang BINGZHONG* Zhang DAPENG	Chine	China Meteorological Administration China Agricultural University
Silas MICHAELIDES*	Chypre	Meteorological Service
Jose Daniel P. CAICEDO	Colombie	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
Marko VUCETIC*	Croatie	Meteorological and Hydrological Service
Antonio M. BARCELÓ* José DEL HOYO* Jaime G.-L. MARTINEZ	Espagne	Instituto Nacional de Meteorología

suite...

COLLABORATEUR	PAYS	INSTITUTION
Michael S. UHART*	Etats-Unis	Office of Meteorology - National Weather Service
Kenneth D. HADEEN		National Climatic Data Center
Dimitri KOZATCHENKO B.H. STRASHNII	Fédération de Russie	Université d'Etat d'Agronomie du Kouban
M. Z. SHAIMARDANOV		Russian Federal Service for Hydrometeor. and Environment Monitoring All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information
Marc PAYEN M. BRENEUR Victorine PERARNAUD*	France	MÉTÉO-FRANCE
N. TCHKHARTICHVILI	Géorgie	Institut de Recherches sur l'Horticulture, la Viticulture et l'Oenologie
Tamar TURMANIDZE*	Grèce	Agroecological Research Centre
Andreas LAZANIS*		Hellenic National Meteorological Service
Fulgencio GARAVITO Mario BAUTISTA	Guatemala	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
Balogh ISTVÁN	Hongrie	University of Horticulture and Food Industry Department of Meteorology
G. S. Prakash RAO G. V. MALLAN	Inde	India Meteorological Department
Zipora GAT* Dr. Zvi ZEMEL*	Israël	Israel Meteorological Service
J.M. TERRES J. MEYER-ROUX Teresa Guedes LOPES Maurizio FERLA Pietro ZANFRAMUNDO Luigi CIARMATORI	Italie	European Commission - Joint Research Centre - Space Applications Institute - Agriculture and Regional Information System Servizio Idrogr. e Mareografico Nazionale Ufficio Idrogr. e Mareografico di Bari Ufficio Idrogr. e Mareografico di Bologna Servizio Idrografico - Sezione Autonoma di Catanzaro
Hiroatsu MAKI	Japon	Japan Meteorological Agency
Humberto I. MACÍAS Damian MARTIN	Mexique Nouvelle-Zélande	Universidad Auton. Agraria Antonio Narro Horticulture and Food Research Institute of New Zealand
	Pérou	Servicio Nacional de Meteor. e Hidrología

COLLABORATEUR	PAYS	INSTITUTION
Gabriela BORREGO	Portugal	Instituto de Meteorologia
Maria Rita P.G.G. COSTA*		
João Cruz GARRIDO		Estação Vitivinícola Amândio Galhano
Byung-Chan KIM*	République de Corée	Korea Meteorological Administration
Pavol NEJEDLÍK*	Slovaquie	Slovak Hydrometeorological Institute
Dusan HRCEK	Slovénie	Hydrometeorological Institute
Iztok MATAJC*		
Claudio DEFILA*	Suisse	Institut Suisse de Météorologie
D. A. R. KASHASHA*	Tanzanie	Directorate of Meteorology
C. EG-KANTRONG	Thaïlande	Meteorological Department
Mohamed KETATA	Tunisie	Institut National de la Météorologie
Faycal Ben DAKHLIA*		
Mücahit KARAOGLU*	Turquie	State Meteorological Service
Eliseo L. SEQUEIRA*	Uruguay	Dirección Nacional de Meteorología
Pedro G. SANTIAGO		Instituto Nacional de Vitivinicultura
Ramon BRUZZONE		

* Membre de la Commission de Météorologie Agricole - CMAg de l'O.M.M.

Également M. Jean-Michel Boursiquot pour son aide dans la sélection des régions viticoles représentatives dans le monde.

Pour les recherches développées au niveau du Réseau Syrah, tout d'abord mes remerciements très sincères à M. Eric Lebon, qui à coordonné conjointement avec mon directeur de thèse cette recherche.

À M. Gérard Bruno et M. Pierre Domergue pour l'effort qu'ils ont fait dans la gestion de l'ensemble des parcelles du Réseau et de la collecte des données. Merci également de m'avoir donné la possibilité de travailler avec eux sur l'ensemble des parcelles. Merci pour leur compagnie lors des déplacements réalisés sur les parcelles situées dans le sud de la France.

M. Jean Claude Boulet, de l'I.N.R.A. de Pech Rouge, pour le grand et indispensable travail d'analyse du moût et surtout pour les microvinifications des vins du Réseau Syrah sur plusieurs années.

M. Jean-Luc Tondut, de l'Association Climatologique de l'Hérault, pour les données climatiques de Berlou, Valflaunès et St. Chinian et M. B. Molot, de l'Institut Technique de la Vigne - ITV - Rodilhan, pour les données climatiques de Moux.

Enfin, pour que le Réseau Syrah soit une réalité, une équipe d'expérimentateurs a coopéré pour assurer le déroulement de cette recherche dans plusieurs régions viticoles et sur plusieurs années. Moi et l'équipe de l'U.F.R. de Viticulture, nous remercions très sincèrement à tous ces expérimentateurs et à leurs institutions, cités dans la liste ci-dessous :

COLLABORATEUR	INSTITUTION
Alain ESCARGUEL	Chambre d'Agriculture du Tarn et Garonne
Alain SIXTRE	Lycée d'Enseignement Général Technique Agricole - LEGTA, Aubenas
Armelle DEROUET	Chambre d'Agriculture du Var
Camille VILOTTE	Chambre d'Agriculture de l'Aude
Catherine SIPP	Syndicat des Vignerons Réunis des Côtes du Rhône
Christophe GARNIER	Chambre d'Agriculture de la Drôme
Didier VIGUIER	Centre de Développement Agricole - CDA du Minervois
GAEC - DURAND et VALENTIN	Viticulteurs à Valflaunès, Hérault
Gilbert CAZALS	Chambre d'Agriculture de l'Aude
Gilles SUBE	Chambre d'Agriculture du Gard
Jacques OUSTRIC	Chambre d'Agriculture du Gard
Jean Claude CABROL	Viticulteur à Roujan, Hérault
Jean Jacques PAYAN	Institut Technique de la Vigne - ITV Nîmes
Laurent BOURROUSSE	Chambre d'Agriculture du Tarn et Garonne
Magalie DEBLIEUX	Chambre d'Agriculture du Rhône
Marc DUPLAN	Groupement de Développement Agricole - GDA Vaucluse
Michel GEBER	Chambre d'Agriculture du Gard
Michel LAURENT	Chambre d'Agriculture de la Drôme
Nathalie GOMA FORTIN	Chambre d'Agriculture de l'Hérault
Olivier JACQUET	Groupement de Développement Agricole - GDA Vaucluse
Olivier JULLIEN	Viticulteur à Jonquières, Hérault
Pascal BLOY	Syndicat des Vignerons Réunis des Côtes du Rhône
Philippe BARRAL	Chambre d'Agriculture du Rhône
Thierry HEIDON	Chambre d'Agriculture du Var

Au niveau des recherches développées dans le Vaucluse, nous remercions Mme. Edith Ebersbach, de la Société Coopérative Agricole et Oléicole La Balméenne, ainsi que l'équipe de l'I.N.A.O. d'Avignon pour leurs considérations sur la qualité et la date de récolte du Muscat de Hambourg autour des postes météorologiques, indispensables pour l'interprétation des résultats bioclimatiques. Nous remercions également M. Ivan Sivadon du CIRAME pour la mise à disposition des séries de données météorologiques des postes du Réseau Agroclimatique du Vaucluse.

Enfin, ma dette est très grande envers mes parents, ma famille et mes amis. Je les remercie tous chaleureusement pour leur compréhension, tout comme ceux de mon pays qui m'ont rendu visite en France. Je ne pourrais non plus oublier Adriane, Elisabeth, Teresa, João Pedro, Carole, Sonia, Cécile, Boglio,...

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	3
LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS.....	18

INTRODUCTION GENERALE

1. SITUATION DU PROBLÈME ET CADRE DE L'ÉTUDE.....	23
2. ORIENTATION GÉNÉRALE DU TRAVAIL ET OBJECTIFS.....	25
2.1. Recherche au niveau du macroclimat viticole à l'échelle mondiale.....	26
2.2. Recherche au niveau du mésoclimat à l'échelle d'un ensemble d'A.O.C. sur un réseau de parcelles du cépage de cuve Syrah dans la région sud de la France.....	27
2.3. Recherche au niveau du mésoclimat à l'échelle d'une A.O.C. dans le Vaucluse - France, sur le raisin de table Muscat de Hambourg.....	27
3. LE CONTENU DES DIFFÉRENTS CHAPITRES.....	27

Chapitre I

LES MACROCLIMATS DU VIGNOBLE MONDIAL *CLASSEMENT ET REGROUPEMENT DES REGIONS VITICOLES PAR DES INDICES CLIMATIQUES*

1. INTRODUCTION.....	30
1.1. Objectif de la recherche.....	31

2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	31
2.1. L'espace viticole dans le climat du globe	32
2.1.1. La production viticole dans le monde	32
2.1.2. La contrainte thermique : facteur déterminant de la géographie viticole en surface cultivée	33
2.1.3. Les climats dans les vignobles mondiaux	35
2.2. Échelles de l'environnement climatique: macroclimat, mésoclimat et microclimat.....	39
2.3. L'évaluation de l'environnement viticole par des indices climatiques.....	40
2.3.1. Les indices climatiques thermiques et héliothermiques.....	41
2.3.1.1. <i>Les degrés-jours de Winkler</i>	41
2.3.1.2. <i>Le produit héliothermique de Branas</i>	42
2.3.1.3. <i>L'indice héliothermique de Huglin</i>	43
2.3.1.4. <i>L'évaluation thermique sur la période de maturation</i>	45
2.3.1.5. <i>Autres indices thermiques</i>	45
2.3.2. Indices climatiques prenant en compte le facteur hydrique	46
2.4. Le zonage climatique des régions viticoles.....	46
2.4.1. Zonages sur le potentiel climatique d'un environnement.....	47
2.4.2. Les zonages climatiques sur le potentiel en sucres du raisin	48
2.4.2.1. <i>Dans l'Europe de l'Est</i>	48
2.4.2.2. <i>Des recherches en Allemagne</i>	48
2.4.2.3. <i>Sur quelques pays dans le cadre de l'Essai International d'Ecologie Viticole</i>	48
2.4.2.4. <i>Zonage dans l'Union Européenne : l'introduction d'un indice de bilan hydrique potentiel pour la vigne</i>	49
2.5. Analyse des connaissances actuelles concernant l'évaluation du climat des régions viticoles.....	53
2.6. Macroclimat des régions viticoles et caractéristiques des vins.....	54
2.6.1. Les vins des régions à différents potentiels thermiques.....	55
2.6.2. La température pendant la période de maturation du raisin et les caractéristiques des vins.....	56

2.6.3. Le facteur eau et les caractéristiques des vins	59
2.7. Sources de variabilité climatique entraînant des répercussions viticoles	60
2.7.1. La variabilité climatique en fonction du millésime	61
2.7.2. Le changement climatique	62
2.8. Sources de variabilité viticole entraînant des répercussions climatiques	64
2.8.1. Changement technologique au niveau du microclimat de la vigne	64
2.9. Concept de géoviticulture : l'analyse climatique à l'échelle mondiale	66
3. MATÉRIELS ET MÉTHODES	67
3.1. Indices climatiques utilisés pour la caractérisation du climat des régions viticoles	67
3.1.1. L'indice de sécheresse - <i>IS</i>	68
3.1.2. L'indice héliothermique - <i>IH</i>	70
3.1.3. L'indice de fraîcheur des nuits - <i>IF</i>	71
3.2. Constitution d'une base de données climatiques des régions viticoles au niveau mondial	71
3.2.1. Pays et régions viticoles retenus pour l'étude à l'échelle géoviticole	73
3.3. Regroupements et classification climatique des régions viticoles	75
3.3.1. Regroupement des régions viticoles par des indices climatiques	75
3.3.2. Système de classification climatique des régions à l'échelle géoviticole	75
3.4. Autres traitements des données	76
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION	76
4.1. Diversité climatique de l'ensemble des régions viticoles étudiées	76
4.2. Les indices climatiques des régions viticoles	78
4.2.1. L'indice de sécheresse et l'indice héliothermique	78
4.2.2. L'indice héliothermique et l'indice de fraîcheur des nuits	81

4.3. La définition d'un système de classification climatique des régions viticoles au niveau du vignoble mondial par des indices climatiques : la classification climatique multicritères.....	83
4.3.1. Les classes de l'indice de sécheresse - <i>IS</i>	83
4.3.2. Les classes de l'indice héliothermique- <i>IH</i>	85
4.3.3. Les classes de l'indice de fraîcheur des nuits - <i>IF</i>	86
4.3.4. La classification climatique multicritères.....	88
4.4. De nouveaux concepts dans le domaine du climat de la vigne	88
4.4.1. Le concept de Climat Viticole	89
4.4.2. Le concept de Groupe Climatique.....	89
4.5. Le climat viticole des régions viticoles et les groupes climatiques dans la viticulture mondiale.....	90
4.5.1. Le climat viticole et le positionnement des régions.....	90
4.5.2. Les groupes climatiques.....	90
4.6. Caractéristiques des groupes climatiques des régions viticoles à plus d'une récolte par année dans le climat tropical.....	92
4.6.1. Concept de Climat Viticole à Variabilité Intra-Annuelle.....	95
4.7. L'amélioration introduite par le regroupement multicritères des régions viticoles par rapport aux regroupements monocritère.....	96
4.7.1. Considérations pour l'approfondissement de l'étude du climat viticole des régions dans les groupes climatiques.....	97
4.8. Variabilité du climat viticole dans les différents types de climats mondiaux	98
4.9. Les régions viticoles des groupes climatiques et les caractéristiques reconnues des leurs vins	99
4.10. Groupes climatiques des régions viticoles françaises.....	104
5. CONCLUSIONS	106

Chapitre II

LE MESOCLIMAT ET SON INFLUENCE SUR LA QUALITE DU RAISIN ET SUR LA TYPICITE DES VINS DU CEPAGE SYRAH DANS LE SUD DE LA FRANCE

1. INTRODUCTION.....	109
1.1. Objectif.....	110
2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	110
2.1. Le climat du sud de la France.....	111
2.1.1. Le climat méditerranéen et les climats de transition dans la région	111
2.1.2. Le climat viticole dans le sud de la France	112
2.2. Milieu naturel, terroir et zonages viticoles dans le sud de la France.....	113
2.2.1. Quelques concepts de base	114
2.2.2. Recherches concernant l'influence des facteurs naturels du milieu.....	115
2.3. Importance et caractéristiques du cépage Syrah.....	118
2.4. L'influence du climat sur la qualité du raisin et la typicité des vins de Syrah dans le sud de la France.....	120
3. MATÉRIELS ET MÉTHODES	122
3.1. Dispositif expérimental du Réseau Syrah	122
3.1.1. Les parcelles viticoles du cépage Syrah	122
3.1.2. Localisation géographique des parcelles	123
3.1.3. La typologie des paysages des parcelles du Réseau Syrah.....	125
3.1.4. Géopédologie des parcelles.....	126
3.1.5. Caractéristiques d'établissement des vignobles et de conduite des parcelles...	126
3.2. Constitution d'une base de données climatiques.....	127
3.3. La phénologie des parcelles.....	128
3.4. Caractérisation du mésoclimat du Réseau Syrah	129

3.4.1. Les indices climatiques viticoles <i>IS</i> , <i>IH</i> et <i>IF</i>	129
3.4.2. Autres indices climatiques et bioclimatiques.....	129
3.5. Variables agronomiques des parcelles.....	130
3.6. Variables qualitatives du raisin.....	131
3.7. La caractérisation sensorielle des vins.....	132
3.8. Analyses des résultats et traitement des données.....	133
3.8.1. Climat viticole du Réseau Syrah.....	133
3.8.2. Facteurs explicatifs de la qualité de la récolte.....	133
3.8.3. La typicité des vins du Réseau Syrah en fonction des millésimes et des regroupements climatiques.....	134
3.8.4. Autres traitements des données.....	134
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	135
4.1. Réseau Syrah : le climat viticole, les groupes climatiques et leur variabilité interannuelle.....	135
4.1.1. Variabilité climatique du Réseau Syrah au sein des climats viticoles mondiaux.....	135
4.1.2. Les groupes climatiques du Réseau Syrah.....	137
4.1.3. La variabilité interannuelle des groupes climatiques.....	138
4.1.4. Caractérisation globale du climat viticole du Réseau Syrah des années 1994, 1995 et 1996.....	142
4.2. Indices climatiques et bioclimatiques du Réseau Syrah.....	146
4.3. Facteurs explicatifs de la qualité de la récolte.....	148
4.3.1. La teneur en sucre du moût du raisin à la récolte (<i>Sr</i>).....	148
4.3.2. La réserve technologique en polyphénols totaux (RTIPT).....	151
4.4. La typicité des vins du Réseau Syrah en fonction des millésimes et des regroupements climatiques.....	153
4.4.1. La typicité des vins selon les millésimes.....	153
4.4.2. Les groupes climatiques et la typicité des vins.....	156

4.5. Autres observations et essai d'explication de certains éléments de la typicité	160
4.5.1. Les tendances de la typicité des vins selon les indices climatiques et les variables agronomiques.....	161
5. CONCLUSIONS	165
6. ÉTUDE 1 - MODÉLISATION CLIMATIQUE DE LA DATE DE FLORAISON ET DE LA DATE DE VÉRAISON DES PARCELLES DU RÉSEAU SYRAH.....	167
7. ÉTUDE 2 - LE DETERMINISME CLIMATIQUE DE LA MATURATION DU RAISIN : APPLICATION DU ZONAGE DE LA TENEUR EN SUCRE DE LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE À L'ÉCHELLE DES PARCELLES DU RÉSEAU SYRAH.....	173

Chapitre III

FACTEURS MESOCLIMATIQUES DE LA TYPICITE DU RAISIN DE TABLE DE L'A.O.C. MUSCAT DU VENTOUX DANS LE DEPARTEMENT DE VAUCLUSE, FRANCE

1. INTRODUCTION.....	180
1.1. Objectif.....	182
2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	182
3. MATÉRIELS ET MÉTHODES	183
3.1. Dispositif expérimental.....	183
3.2. Les groupes climatiques et d'autres aspects du climat dans le Vaucluse.....	185
3.3. Le bioclimat pendant la phéno-phase véraison-récolte.....	186
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION	186
4.1. Les groupes climatiques dans le Vaucluse.....	186
4.2. Le climat dans l'aire de l'A.O.C. Muscat de Ventoux	188
4.2.1. Régime thermique de la période avril-octobre.....	188
4.2.2. Considérations sur d'autres variables climatiques.....	190

4.3. Le bioclimat de l’A.O.C. Muscat de Ventoux	191
4.3.1. Régime thermique à la véraison-récolte	191
4.3.2. D'autres caractéristiques bioclimatiques de la période véraison-récolte.....	193
4.4. Classement et potentiel climatique viticole de la région du Vaucluse.....	194
5. CONCLUSIONS	196

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

1. CONCLUSION GÉNÉRALE.....	199
2. PERSPECTIVES	201
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	205
ANNEXES.....	218
RESUMO.....	231
RESUMEN.....	232
SUMMARY.....	233

LISTE DES SIGLES ET DES ABBREVIATIONS

a) Variables climatiques, phénologiques, agronomiques, qualitatives du raisin et sensorielles du vin

Sigle/ Abréviation	Descriptif
A	amplitude thermique journalière ou thermopériode (en °C)
a-s	période du 01.04 au 30.09
A.C.P.	analyse en composantes principales
A.O.C.	appellation d'origine contrôlée
Aan	amplitude thermique annuelle (en °C)
ACI	acidité du vin - par analyse sensorielle gustative
ANI	arôme animal du vin - par analyse sensorielle olfactive
Avi	Poste météorologique d'Avignon
BAL	arôme balsamique du vin - par analyse sensorielle olfactive
BH	indice de bilan hydrique potentiel de Riou (en mm)
CHA	chaleur du vin - par analyse sensorielle gustative
CON	concentration du vin - par analyse sensorielle gustative
Dp	date de débourrement de Riou et Pouget (1992)
EMP	arôme empyreumatique du vin - par analyse sensorielle olfactive
EPI	arôme épicé du vin - par analyse sensorielle olfactive
ETP	évapotranspiration potentielle de Penman (en mm)
f	date de mi-floraison estimée
FLO	arôme floral du vin - par analyse sensorielle olfactive
Fo	date de floraison observée
FRU	arôme fruité du vin - par analyse sensorielle olfactive
HR	humidité relative de l'air (en %)
HRn	humidité relative minimale de l'air (en %)
HRx	humidité relative maximale de l'air (en %)
I	durée d'insolation (en h)
I.O.P.	indice d'ouverture du paysage
ICO	intensité de couleur du vin - par analyse sensorielle visuelle
IF	indice de fraîcheur des nuits (en °C)
IF₁	indice de fraîcheur des nuits - classe de climat à <i>nuits chaudes</i> ($IF > 18^{\circ}\text{C}$)
IF₂	indice de fraîcheur des nuits - classe de climat à <i>nuits tempérées</i> ($IF > 14 \leq 18^{\circ}\text{C}$)
IF₃	indice de fraîcheur des nuits - classe de climat à <i>nuits fraîches</i> ($IF > 12 \leq 14^{\circ}\text{C}$)
IF₄	indice de fraîcheur des nuits - classe de climat à <i>nuits très fraîches</i> ($IF \leq 12^{\circ}\text{C}$)
IH	indice héliothermique de Huglin
IH₁	indice héliothermique de Huglin - classe de climat <i>très frais</i> ($IH \leq 1500$)
IH₂	indice héliothermique de Huglin - classe de climat <i>frais</i> ($IH > 1500 \leq 1800$)
IH₃	indice héliothermique de Huglin - classe de climat <i>tempéré</i> ($IH > 1800 \leq 2100$)
IH₄	indice héliothermique de Huglin - classe de climat <i>tempéré chaud</i> ($IH > 2100 \leq 2400$)
IH₅	indice héliothermique de Huglin - classe de climat <i>chaud</i> ($IH > 2400 \leq 3000$)
IH₆	indice héliothermique de Huglin - classe de climat <i>très chaud</i> ($IH > 3000$)

Sigle/ Abréviation	Descriptif
IS	indice de sécheresse (en mm)
IS₀	indice de sécheresse - classe de climat <i>sub-humide</i> ($IS \leq 150 > 50$ mm)
IS₀₀	indice de sécheresse - classe de climat <i>humide</i> ($IS > 150$ mm)
IS₁	indice de sécheresse - classe de climat à <i>sécheresse modérée</i> ($IS \leq 50 > -100$ mm)
IS₂	indice de sécheresse - classe de climat à <i>sécheresse forte</i> ($IS \leq -100 > -200$ mm)
IS₃	indice de sécheresse - classe de climat à <i>sécheresse très forte</i> ($IS \leq -200$ mm)
j-d	période du 01.01 au 31.12
MIN	arôme minéral du vin - par analyse sensorielle olfactive
MS	matière sèche renouvelable produite sur un cycle végétatif
Nb.gra	nombre de grappes (par m ²)
Nb.ram	nombre de rameaux ou de sarments (par m ²)
NbJv-r	Nombre de jours de la période v-r
P	pluviométrie (en mm)
P.bois	poids frais des bois de taille (en kg/m ²)
P/gra	poids par grappe (en g)
P/ram	poids par rameau (en g)
P200	poids de 200 baies (en g)
Prec	production - poids de récolte (en kg/m ²)
r	date de récolte du raisin
Rg	rayonnement solaire global (en J/cm ²)
RTIPT	réserve technologique en polyphénols totaux de la pellicule du raisin à la récolte
S	teneur en sucre potentielle du raisin à maturité - zonage C.E. (estimée en g/l)
SFEp	surface foliaire exposée potentielle (en m ² /ha)
SFEp/Prec	rapport entre la SFEp/ Prec
Sr	sucres du moût mesuré à la récolte (en g/l)
T	température moyenne de l'air (en °C)
Tn	température minimale de l'air (en °C)
Tnr -20	température minimale de l'air - moyenne sur la période des 20 jours précédents la date r (en °C)
Tnr -30	température minimale de l'air - moyenne sur la période des 30 jours précédents la date r (en °C)
Tnv-r	température minimale de l'air - moyenne sur la période v-r (en °C)
Tx	température maximale de l'air (en °C)
Txv-r	température maximale de l'air - moyenne sur la période v-r (en °C)
UTB	Unité Naturelle de Terroir de Base
UTV	Unité de Terroir Viticole
v	date de mi-véraison estimée
V	vitesse moyenne du vent (en m/s)
v-r	période comprise entre la date de véraison et la date de récolte du raisin
VEG	arôme végétal du vin - par analyse sensorielle olfactive
Vo	date de véraison observée
Vx	vitesse maximale du vent (en m/s)
Wr	indice de bilan hydrique potentiel de Riou du 01.04 jusqu'à la date r (en mm)
Wv	indice de bilan hydrique potentiel de Riou du 01.04 jusqu'à la date v (en mm)
Wv -30	indice de bilan hydrique potentiel de Riou du 01.04 jusqu'à 30 jours avant la date v (en mm)

Sigle/ Abréviation	Descriptif
ΣA_{v-r}	somme de l'amplitude thermique journalière de la période $v-r$
ΣETP_{a-s}	somme de l'ETP de la période a-s
ΣETP_{v-r}	somme de l'ETP de la période $v-r$
$\Sigma Pa-s$	somme de la pluie de la période a-s
ΣP_{j-d}	somme de la pluie de la période j-d
ΣP_{v-r}	somme de la pluie de la période $v-r$
ΣR_{ga-s}	somme du rayonnement global sur la période a-s
ΣR_{gv-r}	somme du rayonnement global sur la période $v-r$
ΣT_0	somme de la température moyenne de l'air journalière au dessus du seuil de 0 °C
ΣT_{10}	somme de la température moyenne de l'air journalière au dessus du seuil de 10 °C
ΣT_{10a-s}	somme de la température moyenne de l'air journalière au dessus du seuil de 10 °C sur la période a-s
ΣT_{10v-r}	somme de la température moyenne de l'air journalière sur la période $v-r$
ΣT_{12}	somme de la température moyenne de l'air journalière au dessus du seuil de 12 °C
ΣT_{15}	somme de la température moyenne de l'air journalière au dessus du seuil de 15 °C
ΣT_n	somme de la température minimale de l'air
ΣT_{n0}	somme de la température minimale de l'air journalière au dessus du seuil de 0 °C
ΣT_{x0}	somme de la température maximale de l'air journalière au dessus du seuil de 0 °C
ΣT_{x10}	somme de la température maximale de l'air journalière au dessus du seuil de 10 °C
ΣT_{x15}	somme de la température maximale de l'air journalière au dessus du seuil de 15 °C sur la période a-s

b) Parcelles du Réseau Syrah

Abréviation Parcelle		Abréviation Parcelle	
ALA	Alaigne (11)	LUC	Le Luc (83)
AMP	Ampuis (69)	MER	Mercuriol (26)
AUB	Aubenas (07)	MOU	Moux (11)
CAU	Caunes Minervois (11)	PRA	Prades (34)
CAZ	Cazedarne (34)	ROD	Rodilhan (30)
CHA	Châteauneuf-de-Gadagne (84)	ROU	Roujan (34)
FRO	Fronton (31)	SAU	Sauteyrargues (34)
GRU	Gruissan (11)	VIC	Saint Victor la Coste (30)
JON	Jonquières (34)	VID	Vidauban (83)

c) Régions viticoles au niveau mondial

suite...

Sigle	Région	Pays
ARge	General Roca	Argentine
ARlu	Lujan de Cuyo	Argentine
AUmi	Mildura	Australie
AUmo	Mount Gambier	Australie
AUnu	Nuriootpa	Australie
BRbe	Bento Gonçalves	Brésil
BRpe	Petrolina	Brésil
CAqu	Quebec	Canada
CAsu	Summerland	Canada
CAva	Vancouver	Canada
CHge	Genève	Suisse
CLcu	Curico	Chili
CLsa	Santiago	Chili
CNbe	Bei Jing	Chine
CNto	Tong Chuan	Chine
CNur	Urumqi	Chine
CNyc	Yi Couniy	Chine
CNyl	Yi Li	Chine
COLa	La Unión	Colombie
DEfr	Freiburg	Allemagne
DEge	Geiseinheim	Allemagne
DEne	Neustadt	Allemagne
DEst	Stuttgart	Allemagne
DEtr	Trier	Allemagne
DEwü	Würzburg	Allemagne
ESci	Ciudad Real	Espagne
ESje	Cádiz	Espagne
ESlo	Rioja	Espagne
ESmd	Madrid	Espagne
ESml	Málaga	Espagne
ESmu	Murcia	Espagne
ESor	Orense	Espagne
ESsa	Tenerife	Espagne
ESta	Tarragona	Espagne
ESva	Valladolid	Espagne
FRag	Agen	France
FRaj	Ajaccio	France
FRan	Angers	France
FRba	Bastia	France
FRbe	Besançon	France
FRbo	Bordeaux	France
FRca	Carcassonne	France
FRcg	Cognac	France
FRcl	Colmar	France
FRma	Macon	France
FRmm	Montélimar	France
FRmp	Montpellier	France
FRna	Nantes	France
FRpa	Pau	France
FRpe	Perpignan	France

Sigle	Région	Pays
FRre	Reims	France
FRte	Toulouse	France
FRtn	Toulon	France
FRtr	Tours	France
GBma	Maidstone	Angleterre
GTes	Estanzuela	Guatemala
ILha	Haifa	Israël
INlu	Ludhiana	Inde
INpu	Pune	Inde
ITle	Lecce	Italie
ITmo	Modena	Italie
ITpe	Perugia	Italie
ITra	Ravenna	Italie
ITta	Trapani	Italie
ITte	Treviso	Italie
JPko	Kofu	Japon
KRpo	P'ohang	République de Corée
KRsu	Suwon	République de Corée
NZna	Napier	Nouvelle-Zélande
PEic	Ica	Pérou
PTan	Anadia	Portugal
PTev	Evora	Portugal
PTfu	Funchal	Portugal
PTli	Lisboa	Portugal
PTpe	Peso da Régua	Portugal
PTvi	Viseu	Portugal
SIbe	Beli Kriz	Slovénie
SIbi	Bizeljsko	Slovénie
SImu	Murska Sobota	Slovénie
SInm	Novo Mesto	Slovénie
SKbr	Bratislava	Slovaquie
THba	Bangkok	Thaïlande
THch	Chiangmai	Thaïlande
TNbi	Bizerte	Tunisie
TNna	Nabeul	Tunisie
TNtu	Tunis - Carthage	Tunisie
TRiz	Izmir	Turquie
TRte	Tekirdag	Turquie
TZda	Dar Es Salaam	Tanzanie
UScl	Cleveland	Etats Unis
USfr	Fresno	Etats Unis
USme	Medford	Etats Unis
USne	New York	Etats Unis
USpo	Portland	Etats Unis
USrc	Rochester	Etats Unis
USsc	Sacramento	Etats Unis
USse	Seattle	Etats Unis
USsl	Salem	Etats Unis
UYcn	Las Bruzas	Uruguay
ZAca	Cape Town	Afrique du Sud

INTRODUCTION GENERALE

1. SITUATION DU PROBLEME ET CADRE DE L'ETUDE

La qualité et la typicité des vins dépendent des facteurs naturels et des facteurs humains.

Dans les facteurs naturels nous allons trouver le climat du lieu et du millésime et l'Unité Terroir de Base - UTB (interaction mésoclimat x sol). Les facteurs humains comprennent les facteurs biologiques, culturels et les procédés œnologiques ; en interaction avec l'UTB, ils définissent l'Unité Terroir Viticole - UTV.

On observe que, même si la maîtrise humaine permet d'influencer la qualité et la typicité des vins, le rôle des facteurs naturels - y compris du climat, reste prépondérant (Figure 1).

On sait que, **au niveau mondial**, le climat des différentes régions viticoles est responsable pour une grande partie de la diversité trouvée en terme de produits viticoles, de qualité et de typicité des vins.

La bibliographie montre plusieurs études sur l'influence du climat sur la vigne. Elles concernent, entre autres, les limites climatiques de la vigne, la potentialité des régions et l'adaptation des cépages, l'influence du climat sur la qualité du raisin et sur les produits viticoles élaborés.

Mais la complexité du climat et celle de son rôle sur la vigne sont telles que leur étude ne constitue quelque chose de simple.

Un diagnostic de l'état des connaissances actuelles dans le domaine viticole permet de s'apercevoir que peu d'études sont disponibles sur le climat au niveau de l'ensemble de la viticulture mondiale. On vérifie qu'on connaît mal la diversité **macroclimatique** dans le vignoble mondial, même au niveau de certains types de climats où la viticulture est très répandue, comme dans le climat méditerranéen par exemple.

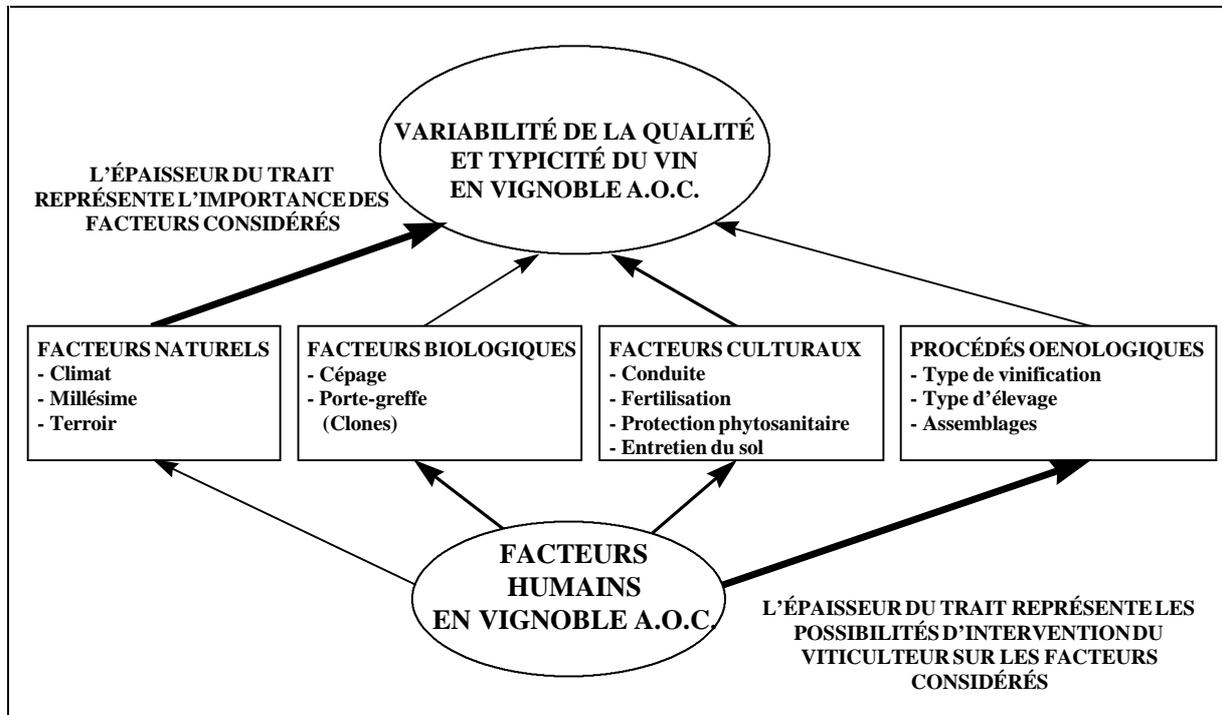


Figure 1. Facteurs influençant la qualité et la typicité du vin dans un vignoble A.O.C. et possibilités de maîtrise humaine de ses facteurs (Morlat et Asselin, 1993).

Les indices climatiques disponibles pour caractériser les régions viticoles restent surtout thermiques. On n'a jamais réalisé une véritable analyse plus complexe, multicritères, avec des indices synthétiques qui intègrent plus de composantes importantes du climat pour la vigne. De plus, une approche de cette nature n'a jamais fait l'objet d'une analyse au niveau mondial, dans le concept de la géoviticulture (Carbonneau et Tonietto, 1998).

Il manque également des critères climatiques pour l'établissement des groupes climatiques des régions viticoles, qui puisse permettre d'arriver à un niveau de regroupement assez cohérent.

Il apparaît qu'il n'existe pas de système de classification climatique des régions viticoles, du type multicritères, qui soit utilisable au niveau mondial.

L'arrivée à ce niveau de compréhension reste un élément de base pour évoluer dans la connaissance de l'influence du climat sur la vigne et le vin, soit au niveau du macroclimat, soit à une échelle plus grande, celle du mésoclimat de la vigne.

Quand on passe donc de l'échelle macroclimatique à **l'échelle du mésoclimat** de la vigne, la bibliographie fournit une série de résultats dans des conditions mésoclimatiques particulières qui montrent son influence sur la qualité et la typicité des vins.

Mais on est encore loin d'avoir approfondi le rôle du climat sur la vigne et la complexité de sa contribution aux caractéristiques des produits viticoles.

Bourke (1968) analyse la difficulté de la mise en corrélation des données météorologiques et biologiques par exemple : il considère qu'on se retrouve en présence de 2 ensembles qui sont déjà complexes par eux-mêmes et dont la complexité se trouve beaucoup plus que doublée à partir du moment où on les considère conjointement.

Cette étude traite du thème du climat, d'abord à partir d'une vue d'ensemble - à l'échelle mondiale et, par la suite, en descendant d'échelle, pour une approche au niveau des parcelles viticoles dans des régions précises.

2. ORIENTATION GENERALE DU TRAVAIL ET OBJECTIFS

La recherche a été développée en envisageant l'étude de la viticulture dans l'optique du climat viticole. Ainsi, le **macroclimat** et le **mésoclimat viticoles** ont été mis en valeur par une méthodologie d'évaluation comprenant des variables climatiques, des indices climatiques viticoles et des modèles climatiques. L'influence du climat sur la qualité de la récolte et sur la typicité des vins est également analysé.

La constitution des bases de données climatiques, 3 au total, a été à la source des études climatiques réalisées.

La recherche a été développée à **3 niveaux d'échelle**, chacun apportant des informations complémentaires (Figure 2). L'approche méthodologique développée dans l'étude réalisée au niveau mondial, qui concerne la caractérisation du climat viticole par des indices climatiques et des groupes climatiques, a été reprise aux 2 autres niveaux d'étude.

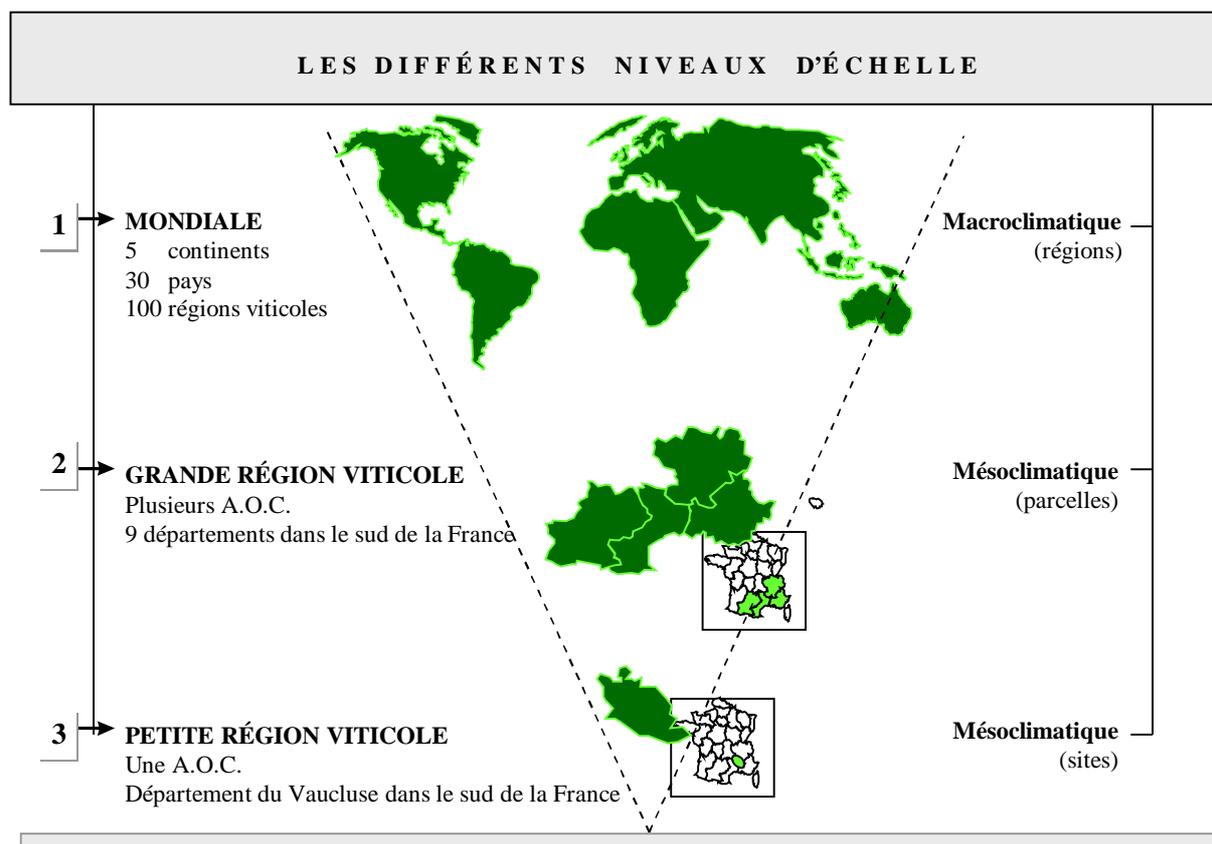


Figure 2. Les 3 niveaux d'échelle développés dans le travail de recherche sur le climat dans le domaine viticole.

2.1. Recherche au niveau du macroclimat viticole à l'échelle mondiale

La recherche a analysé les régions viticoles niveau macroclimatique à l'échelle mondiale. Une analyse de la diversité climatique du vignoble mondial a été d'abord développée à partir des indices climatiques viticoles synthétiques, une fois ces derniers validés comme descripteurs.

Une deuxième étape a essayé de faire ressortir les groupes climatiques des régions viticoles au plan mondial, à partir de la combinaison des indices climatiques viticoles complémentaires - analyse multicritères.

Les résultats obtenus ont permis d'élargir les objectifs initiaux et de proposer une classification climatique pour la viticulture mondiale.

2.2. Recherche au niveau du mésoclimat à l'échelle d'un ensemble d'A.O.C. sur un réseau de parcelles du cépage de cuve Syrah dans la région sud de la France

Le but initial était de vérifier la pertinence des méthodes développées dans l'étude mondiale, à l'échelle d'un ensemble de parcelles situées sur plusieurs régions viticoles du sud de la France.

Ainsi, la caractérisation des groupes climatiques et de leur variabilité interannuelle a été faite.

L'étude a également consisté à établir des relations entre les groupes climatiques et la typicité des vins au travers d'un ensemble de variables climatiques et agronomiques.

2.3. Recherche au niveau du mésoclimat à l'échelle d'une A.O.C. dans le Vaucluse - France, sur le raisin de table Muscat de Hambourg

L'étude part d'une caractérisation des groupes climatiques à l'échelle d'une petite région viticole située dans le Vaucluse, sur la base de la méthodologie développée dans les études précédentes.

Le but a été d'identifier des facteurs mésoclimatiques responsables de la typicité - couleur et arôme - du raisin de table de l'A.O.C. Muscat du Ventoux. Des critères climatiques pour la délimitation parcellaire de l'A.O.C. sont établis.

3. LE CONTENU DES DIFFERENTS CHAPITRES

Chaque chapitre de ce travail présente les résultats d'une des 3 recherches développées (voir paragraphes 2.1, 2.2 et 2.3 ci-dessus).

Ils présentent les justifications, les objectifs et la méthodologie adoptée pour chaque recherche et présentent également une revue bibliographique sur l'état actuel des connaissances sur la thématique concernée.

De plus, chaque chapitre présente les résultats obtenus par les recherches, particulièrement sur les aspects suivants :

- **Chapitre I** - sur la caractérisation de la diversité du macroclimat d'une centaine de régions viticoles à l'échelle mondiale, dans 30 pays ; sur les indices climatiques viticoles thermiques et hydriques et les différentes classes de climat utilisées pour une classification climatique multicritères. Les groupes climatiques de la viticulture mondiale sont décrits. Une étude sur les caractéristiques des groupes climatiques dans des régions à plus d'une récolte par année sous le climat tropical est présentée. Une discussion d'approfondissement de l'étude du climat viticole, de la variabilité du climat viticole dans les différents types de climats mondiaux et des groupes climatiques vis-à-vis des caractéristiques reconnues de leurs vins fait partie de ce chapitre. Des nouveaux concepts, comme les concepts de *climat viticole*, de *groupe climatique* et de *climat viticole à variabilité intra-annuelle* sont proposés. La partie finale rentre dans l'analyse des groupes climatiques des régions viticoles françaises en vue de préparer le développement du Chapitre II, qui traite du climat viticole dans des régions précises de la France.
- **Chapitre II** - ce chapitre applique la méthode présentée dans le chapitre précédent au niveau d'un réseau de 18 parcelles de Syrah dans le sud de la France. Il analyse le climat viticole, les groupes climatiques et sa variabilité interannuelle. Une analyse des facteurs climatiques et agronomiques explicatifs de la qualité de la récolte est ensuite proposée. La partie finale analyse la typicité des vins en fonction des millésimes et des regroupements climatiques. Quelques considérations sont développées autour du déterminisme climatique et agronomique de la typicité sensorielle des vins en fonction de l'UTB et de l'UTV ; un test de validation du zonage de la Communauté Européenne sur la base du déterminisme climatique de la teneur en sucre potentiel du raisin à la récolte est également présenté sur les données du réseau Syrah.
- **Chapitre III** - ici sont présentés les résultats de la recherche réalisée dans la région du Vaucluse où se trouve l'A.O.C. Muscat du Ventoux ; les groupes climatiques sont mis en évidence ; les facteurs climatiques responsables de la typicité du cépage Muscat de Hambourg - couleur et arôme - dans l'A.O.C. sont analysés. Un classement des zones et la mise au point des critères climatiques pour la délimitation parcellaire de l'A.O.C. sont proposés.

Des considérations finales sur l'ensemble de la recherche développée sont présentées dans la partie "Conclusions Générales et Perspectives".

Chapitre I

LES MACROCLIMATS DU VIGNOBLE MONDIAL

CLASSEMENT ET REGROUPEMENT DES REGIONS VITICOLES

PAR DES INDICES CLIMATIQUES

1. INTRODUCTION

Le climat des différentes régions viticoles au niveau mondial est responsable pour une bonne partie de la grande diversité trouvée en terme des produits viticoles, de la typicité et de la qualité des vins. Il détermine également la limite septentrionale où la vigne peut se développer.

La bibliographie montre plusieurs études sur l'influence du climat sur la vigne. Elles abordent les potentialités climatiques des régions, les limites climatiques de la vigne, l'adaptation des cépages aux différentes régions, l'influence du climat sur la qualité du raisin et des produits viticoles.

Mais la complexité du climat est telle que son étude devient assez difficile, et surtout quand on analyse son rôle au niveau de la biogéographie. Dans le cas de la vitiviniculture, le climat va interagir avec les autres composantes du milieu naturel, avec les différents cépages et avec les techniques de culture de la vigne. On rajoute ensuite toutes les étapes de vinification et de l'élevage pour arriver au produit final - le vin, avec sa caractéristique, sa typicité et sa qualité.

On est ainsi encore loin d'avoir approfondi le rôle du climat sur la vigne et son niveau complexe de contribution aux caractéristiques des produits viticoles.

Si l'analyse se fait au niveau de l'ensemble de la viticulture mondiale, on s'aperçoit que très peu d'études sont disponibles sur le climat. On vérifie en particulier qu'on connaît mal la diversité macroclimatique même au sein du vignoble mondial. Cela est particulièrement vrai pour certains types de climats importants du point de vue viticole, comme les types méditerranéen ou tropical par exemple, et même les types tempérés.

Il nous manque surtout des connaissances sur les groupes climatiques de la viticulture mondiale. Les indices climatiques disponibles pour caractériser les régions viticoles restent surtout thermiques. On n'a jamais réalisé une analyse multicritères générale des composantes

du climat viticole. De plus cette approche n'a jamais fait l'objet d'une analyse au niveau mondial, dans le concept géoviticole.

Il faut donc souligner que jusqu'à présent il n'existe pas de système de classification du type multicritères pour définir les climats des régions viticoles dans le monde.

Le développement de ce niveau de compréhension constitue un préliminaire fondamental a fin de mieux connaître l'influence du climat sur la vigne.

1.1. Objectif de la recherche

La recherche analyse les régions viticoles à l'échelle macroclimatique au niveau mondial.

L'objectif a été d'abord de constituer et de valider une base de données climatiques mondiale ; ensuite, de faire ressortir la diversité climatique et les regroupements climatiques des régions viticoles par la voie d'un ensemble d'indices climatiques viticoles, à travers une analyse multicritères. Cette approche a été réalisée avec des données climatiques des moyennes interannuelles des régions viticoles dans le monde.

A partir de l'analyse des indices climatiques de la viticulture mondiale, la recherche propose une nouvelle classification climatique pour les régions viticoles au niveau mondial.

2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

La bibliographie disponible sur le climat et la vigne est assez vaste. Mais il faut souligner que les recherches et études publiées concernent d'habitude un vignoble, une région ou même un pays viticole. Très rares sont les recherches développées à l'échelle mondiale. On cite ici l'étude publiée par Gladstones (1992), qui analyse la viticulture vis-à-vis de l'environnement, surtout au niveau des potentialités thermiques des régions viticoles en Australie, mais qui intègre également dans son analyse d'autres régions dans plusieurs pays viticoles.

2.1. L'espace viticole dans le climat du globe

2.1.1. La production viticole dans le monde

Sur les 5 continents, le monde de la vigne et du vin concerne plus de 40 pays comme le montrent les données statistiques de l'Office International de la Vigne et du Vin (Dutruc-Rosset, 1998).

Le vignoble mondial atteint une superficie totale plantée de 7.742.000 ha en 1996 : l'Afrique avec 333.000 ha ; l'Amérique avec 784.000 ha ; l'Asie avec 1.327.000 ha ; l'Europe avec 5.209.000 ha ; et, l'Océanie avec 89.000 ha. En effet, le vignoble européen et celui de l'Union Européenne représentent respectivement 67,3 et 46,7 % du vignoble mondial. La production totale de raisins - de cuve, de table en frais et en sec - est arrivée à 586.812.000 quintaux en 1996.

Si on analyse seulement la production de raisins de cuve, elle atteint au niveau mondial une production 272.534.000 hectolitres de vins en 1996 (année avec une production légèrement supérieure à la moyenne de la période 1991-95). Le total par continent est de : 11.024.000 hl en Afrique, 40.062.000 hl en Amérique, 6.588.000 hl en Asie, 207.503.000 hl en Europe, et 7.357.000 hl en Océanie.

Au niveau de la production de vins, les données de l'année 1996 montrent que la France et l'Italie sont les plus gros producteurs (59.650 milliers d'hl en France et 58.773 milliers d'hl en Italie). Ils sont suivis de l'Espagne (32.675 milliers d'hl), des Etats-Unis (18.643) et de l'Argentine (12.681). Quatorze autres pays produisent entre 10.000 et 2.000 milliers d'hl. Ils sont classés par ordre décroissant de production : l'Afrique du Sud, le Portugal, l'Allemagne, la Roumanie, l'Australie, la Chine, la Hongrie, la Grèce, le Chili, la Yougoslavie, la Russie, le Brésil, l'Autriche et la Bulgarie.

Dans certains pays, les régions viticoles se comptent par dizaines, dans d'autres elles sont beaucoup moins nombreuses. Dans le monde entier nous allons trouver des centaines de régions viticoles. On trouve un aperçu général de l'ensemble de ces régions viticoles sur plusieurs ouvrages, dont l'atlas publié par Clarke (1995).

2.1.2. La contrainte thermique : facteur déterminant de la géographie viticole en surface cultivée

La culture de la vigne a été tentée partout où les conditions naturelles la rendaient possible, mais elle ne se maintient et ne se développe que si les sociétés humaines lui portent un intérêt suffisant (Branas, 1974). Cet auteur souligne aussi le fait que la culture commerciale de la vigne devient impossible dans des conditions climatiques où la maturation reste incomplète. Mais même dans ces conditions les plantes peuvent survivre, de sorte que l'habitat d'un cépage est plus étendu vers les pôles que sa zone de culture commerciale.

La limite de la géographie viticole du globe, en surface cultivée, est établie par la contrainte thermique. Au niveau des latitudes, les vignobles commerciaux les plus septentrionaux dans l'hémisphère nord se trouvent au sud de l'Angleterre, autour du 52^{ème} parallèle. En effet l'Europe Occidentale bénéficie de l'influence favorable du *Gulf Stream* ce qui permet la vigne de s'étendre plus au nord que dans les autres continents (Becker, 1977). Dans l'hémisphère sud des vignobles se trouvent en Nouvelle-Zélande - Océanie, autour de 39° de latitude Sud.

Plusieurs études sur la limite thermique de la viticulture ont été développées :

Branas *et al.* (1946) ont réalisé des études classiques en climatologie viticole. Leurs observations ont montré que la culture de la vigne n'était presque plus possible lorsque le *Produit Héliothermique de Branass* (indice qui intègre températures et longueurs des jours) était inférieur à 2,6. La valeur de 2,6 a été considérée donc comme la limite Nord de la culture de la vigne en Europe occidentale et centrale (Figure 3).

Pour Prescott (1965), la limite polaire de la vigne *Vitis vinifera* en Europe est liée à une moyenne de température du mois le plus chaud supérieure à 19 °C et à une moyenne de température du mois le plus froid supérieure à -1 °C. Ces 2 conditions doivent être associées à une période d'environ 6 mois pendant laquelle la moyenne mensuelle des températures est supérieure à 10 °C. Quand la moyenne des températures descend de -1 °C, des précautions spéciales sont nécessaires pour la protection des vignes. Boubals (1989) fait référence aux climats à hiver très froid avec des minima de -16 °C et inférieures. Dans ces conditions, le *Vitis vinifera* meurt en hiver si on ne prend pas la précaution de couvrir les souches de terre au préalable. Galet (1993) parle de certains vignobles où cette pratique est couramment appliquée

dans des pays d'Europe orientale : Bulgarie, Roumanie, Russie, Turquie sur le plateau d'Anatolie ; en Amérique du Nord - Minnesota, Wisconsin, ou également en Chine du nord.

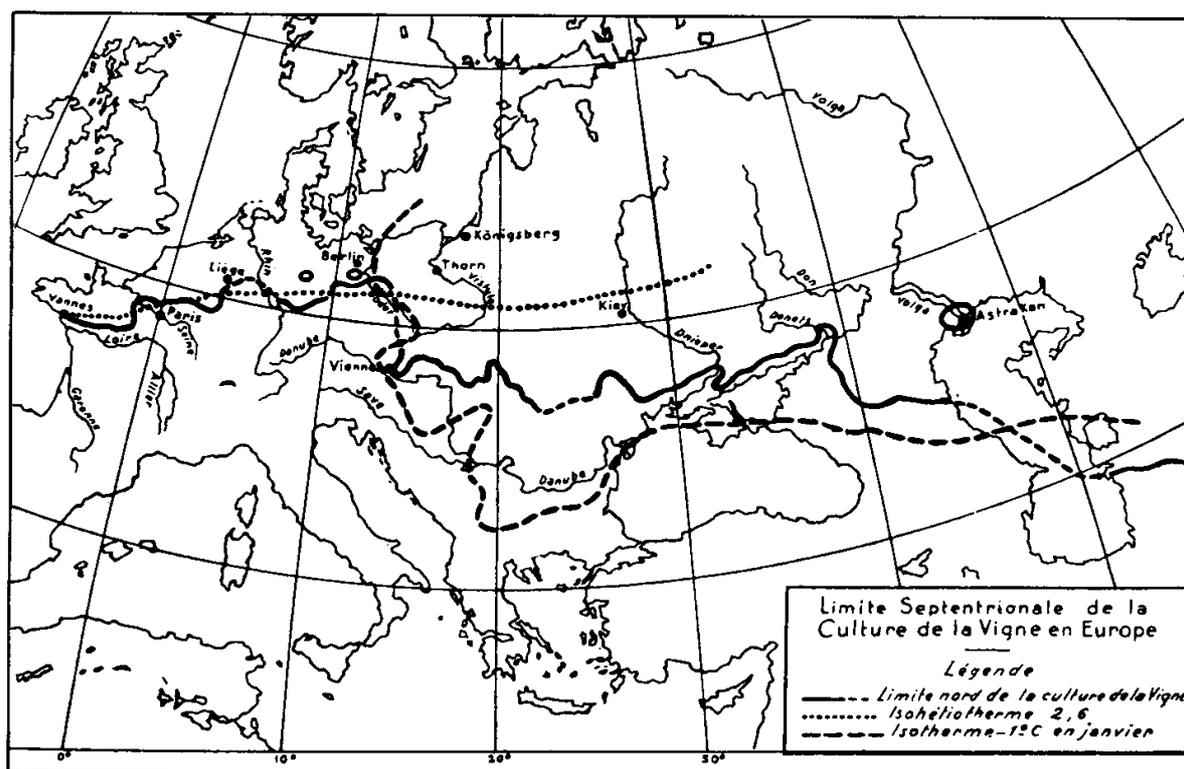


Figure 3. Limite nord de la culture de la vigne en Europe ; position de l'isohéliothermede 2,6 et de l'isothermede -1 °C en janvier (Branas *et al.*, 1946).

Prescott (1965) fait référence à d'autres cépages que les *Vitis vinifera*, lesquels ont permis l'extension de la superficie des vignobles dans certaines régions plus froides, comme aux Etats-Unis (New York et Ohio) et au Canada (Ontario). Jolivet *et al.* (1998) parlent du phénomène récent de l'exploitation de la vigne au Québec, qui compte plus de 25 vignobles commerciaux. Les conditions climatiques rigoureuses qui existent limitent le développement de la culture, notamment les températures minimales hivernales qui semblent être la principale composante bioclimatique la restreignant. Même si les cépages hybrides y sont les plus répandus, car ils résistent à des températures minimales entre -20 et -30 °C, actuellement quelques viticulteurs québécois tentent la culture de *Vitis vinifera*. Les études qu'ils ont réalisées montrent que la neige au sol est un facteur isolant très important. Elle permet de conserver les différentes

parties aériennes et les racines des ceps à des températures supérieures au seuil de tolérance au froid (-10 à -20 °C).

2.1.3. Les climats dans les vignobles mondiaux

La limite de la géographie viticole du globe est établie par la contrainte thermique. Il en résulte que dans certains types de climats on ne trouve pas de vignobles. Cependant la vigne s'est répandue tellement dans le monde qu'on la trouve sous la plupart des climats.

Un exemple de cette diversité climatique est présenté par Fregoni (1995) quand il analyse la viticulture dite *atlantique*. Celle-ci concerne plusieurs régions viticoles des pays de l'Amérique, de l'Europe et de l'Afrique. Il montre que la viticulture *atlantique* est très diverse et se caractérise par ses différents climats. Selon l'auteur, une étude de macrozonage en utilisant des indices climatiques est indispensable pour mieux comprendre ces régions viticoles. Carbonneau (1994b), en analysant quelques aspects de la viticulture *atlantique* en Europe souligne que cette unité géographique *apparente* recouvre de grandes disparités climatiques, auxquelles s'ajoutent la variabilité des terroirs (interaction mésoclimat \times sol) propre de chaque région. Il propose quelques indices climatiques, comme l'Indice héliothermique de Huglin, le bilan hydrique potentiel saisonnier de Riou et le cumul thermique pendant la période véraison-récolte, pour la caractérisation de ces régions.

La complexité du thème des climats et de sa classification fait que plusieurs auteurs ont proposé des idées originales. On fait référence au système de classification climatique de Péguy (1970), aussi utilisé à Huglin et Schneider (1998) pour décrire les climats des zones viticoles au niveau mondial¹. Péguy, donc, a adopté une classification, combinant des caractères thermiques et des caractères pluviométriques.

Un premier groupe climatique comprend d'une part des climats froids et d'autre part des climats tempérés. Les facteurs de différenciation qui interviennent sont essentiellement

¹ Dans notre travail, pour uniformiser le langage et pour être bien précis quand on parle du type de climat des différentes régions du globe nous utilisons le système de classification de Péguy (1970) comme référence.

thermiques. Il faut dire que sous les climats froids, la vigne n'est pas cultivée (climats de type Arctique continental, Arctique, Subarctique continental, Subarctique et Océanique froid).

Dans un autre groupe climatique, nous trouvons à la fois, sous des latitudes pratiquement identiques, un climat méditerranéen à sécheresse d'été et d'un climat subtropical à été humide. Les climats tropicaux, enfin, correspondent, d'après le système de Péguy, à l'hyperthermal non aride.

Les climats arides font partie d'un troisième groupe climatique. On peut passer progressivement de n'importe quel type de climat à un climat aride par un amenuisement des précipitations.

Il y a enfin les *climats de montagne* qui présentent une très grande diversité. N'oublions pas en effet qu'un déplacement vertical de 1 000 m, entraîne en moyenne une variation de température du même ordre de grandeur qu'un déplacement de 1 000 km, à altitude constante, le long d'un méridien (Huglin et Schneider, 1998).

Ces grands groupes sont pour la plupart subdivisées en plusieurs types de climats. Les types des climats qui sont plus particulièrement liés à la culture de la vigne sont indiqués dans le Tableau 1 :

Tableau 1. Les types de climats où se trouve le vignoble mondial.

Type de climat*	
Tempéré	Océanique
	Océanique Chaud
	Tempéré de Transition
	Continental
	Continental Froid
Méditerranéen	
Subtropical	Subtropical
	Subtropical Continental
Tropical	Atténué
	Tropical
Semi-Aride (Marges des climats arides)	
Aride	
Hyperaride	

* D'après Péguy, 1970.

Les **climats tempérés**, qui sont caractérisés par une température moyenne annuelle supérieure à 4 °C et par 5 moyennes mensuelles inférieures à 10 °C (sauf pour l'océanique chaud qui a 4 moyennes mensuelles inférieures à 10 °C). Considérés globalement, les climats tempérés ne peuvent être différenciés par leur régime pluviométrique :

- *Océanique* (amplitude thermique inférieure à 20 °C ; maximum de 7 mois avec températures supérieures à 10°C) : Exemples - très grande majorité de la France, bordure de l'océan Pacifique au NW des États-Unis et au Canada.
- *Océanique chaud* (amplitude thermique inférieure à 20 °C ; le mois le plus chaud est inférieur à 22 °C) : Exemples - fractions septentrionales du littoral adriatique, pointe NW de l'Espagne, extrême sud de l'Australie (ce type de climat est assez peu répandu).
- *Tempéré de transition*, parfois dénommé *semi-continental* (amplitude thermique entre 20 et 28 °C) : Exemples - Europe centrale depuis le massif vosgien jusqu'à l'ouest de la longitude de Moscou, bassins du Missouri inférieur et de l'Ohio aux États-Unis.
- *Continental* (amplitude thermique supérieure à 28 °C ; température du mois le plus chaud supérieure à 20 °C) : Exemples - plusieurs régions viticoles de la Chine, aussi en Corée du Sud.
- *Continental froid* (amplitude thermique supérieure à 28 °C ; température du mois le plus chaud inférieure à 20 °C) ; ce sont des climats qu'on trouve assez rarement en viticulture parce que ce sont des climats très froids pour la vigne à la fois en hiver et en été. : Exemple - on pense au cas du Québec au Canada.

À la différence des climats tempérés précédemment passés en revue, où les critères de détermination étaient surtout thermiques, le **climat méditerranéen** se définit avant tout par un régime pluviométrique qui comporte, dans sa forme la plus nette, un maximum d'hiver et un minimum d'été. On ne doit pas perdre de vue que replacée à l'échelle planétaire, cette association d'un été sec à une saison froide pluvieuse constitue d'ailleurs une anomalie. Du point de vue thermique, le mois le plus froid doit avoir moins de 15 °C. Au moins 8 moyennes mensuelles doivent être supérieures à 10 °C. En plus la région doit présenter un creux pluviométrique relatif (précipitations du trimestre estival inférieures au 1/6 du total annuel), soit 2 mois secs, au moins, au sens de Gaussen (Péguy, 1970, p.270). Hors du bassin

méditerranéen lui-même, quelques autres régions présentent ces types de conditions climatiques : le Portugal, le littoral californien (avec des étés moins chauds), la partie méridionale de l'Australie de l'Ouest, la région du Cap en Afrique australe, une région importante au sud de Santiago du Chili.

Le **climat subtropical** diffère essentiellement du précédent par des précipitations estivales excluant l'aridité. Comme limite thermique inférieure on y compte au moins 8 mois avec des températures supérieures à 10 °C et au moins un mois avec une température supérieure à 22 °C (sinon on parle d'un climat tempéré). Dans la limite supérieure, ces climats se caractérisent par une température du mois le plus froid inférieure à 15 °C ou par au moins 7 mois de température inférieure à 22°C (sinon on parle d'un climat tropical). On le subdivise en considérant tout d'abord :

- le *climat subtropical* proprement dit avec une amplitude thermique annuelle inférieure à 20 °C. Exemples - bande côtière au nord de Sydney en Australie, sud-est des Etats-Unis, Uruguay, Extrême Sud du Brésil, Chine méridionale.
- le *climat subtropical continental*, où l'amplitude thermique annuelle est supérieure à 20 °C. Exemples - grande partie de la Chine centrale, extrême Sud de la Corée, tiers méridional du Japon, hautes terres orientales en Afrique australe.

Le **climat tropical** se caractérise par des températures toujours supérieures à 15 °C et pendant 6 mois au moins supérieures à 22 °C. Du point de vue pluviométrique, il doit avoir une distribution pendant toute l'année ou une répartition de telle sorte que l'été ne puisse pas être considéré comme sec (nombre de mois chauds et humides au moins égal à 4). Il se subdivise :

- *climat tropical atténué* (de 4 à 8 mois chauds et humides). Exemples - la viticulture tropicale dans la région de Pune en Inde, en Colombie, en Thaïlande.
- *climat tropical* (amplitude thermique annuelle supérieure à 6 °C ; entre 9 et 10 mois chauds et humides) et *climat hypertropical* (amplitude thermique annuelle inférieure à 6 °C ; entre 11 et 12 mois chauds et humides). Dans ces conditions très humides la viticulture est moins fréquente.

Dans les climats **semi-arides** la pluviométrie annuelle se situe entre 250 et 400 mm, sauf pour le semi-aride tropical qui se caractérise par moins de 4 mois chauds et humides et une

pluviométrie annuelle inférieure à 1000 mm : Exemples - la vallée du San Francisco dans la région nord-est du Brésil, Mildura en Australie. Les climats **arides** ont des précipitations annuelles entre 100 et 250 mm : Exemples - la viticulture en altitude de Tanzanie, plusieurs régions viticoles de l'Argentine. Les climats **hyperarides** ont moins de 100 mm de pluie annuelle : Exemples - Ica, dans le désert péruvien.

2.2. Échelles de l'environnement climatique : macroclimat, mésoclimat et microclimat

Dans le dictionnaire encyclopédique d'agrométéorologie (Parcevaux *et al.*, 1990) le mot **macroclimat** s'applique à l'échelle d'une zone géographique très étendue : continent, océan, voire sur l'ensemble du globe. Huglin et Schneider (1998) définissent le macroclimat ou climat régional comme le climat moyen d'un territoire assez vaste exigeant pour sa caractérisation des données provenant d'un certain nombre de postes météorologiques.

Le **mésoclimat** ou climat local correspond en gros à une situation particulière du macroclimat, comme un ou plusieurs versants de même orientation, etc. Il est en général possible de caractériser un mésoclimat à l'aide d'un poste météorologique dont les résultats constitueront une base climatique valable pour l'évaluation des possibilités de culture de telle ou telle espèce végétale (Huglin et Schneider, 1998). La superficie intéressée par un mésoclimat peut être très variable mais, dans les régions viticoles, il s'agit souvent d'aires assez réduites pouvant concerner une situation très particulière du point de vue de l'exposition, de la pente ou de l'altitude par exemple. On utilise parfois le terme de **topoclimat** pour désigner un mésoclimat pour lequel l'orographie constitue l'un des critères principaux d'identification, par exemple : climat d'une vallée, d'une plaine, d'un versant montagneux (Parcevaux *et al.*, 1990).

Les macroclimats et les mésoclimats sont appréhendés par les mesures climatiques effectuées à l'aide d'appareils placés dans des conditions normalisées.

Le **microclimat** correspond, lui, aux conditions climatiques qui règnent sur une superficie réellement très réduite. Carbonneau (1984) a proposé de considérer 2 types de microclimats :

- un *microclimat naturel*, qui correspond à un maillage d'environ 10 à 100 mètres (N.B. : ceci revient à ramener le mésoclimat à l'échelle de la parcelle de culture systématiquement).
- un *microclimat de la plante*, qui concerne les mêmes paramètres, que les autres, mais mesurés au niveau réel de la culture avec des appareils situés sur la plante même. Le terme général de **bioclimat** est requis pour une approche qui vise l'étude conjointe du climat et des caractéristiques biologiques de la culture.

2.3. L'évaluation de l'environnement viticole par des indices climatiques

L'environnement naturel peut être analysé par différentes approches : approche climatique (dite aussi bioclimatique), pédologique, approche viticole basée sur l'étude de l'interaction *génotype x environnement*, approche sur la structure du milieu (avec l'outil informatique), approche intégrée ou multicritère (Falcetti, 1994). Morlat et Asselin (1993) présentent une approche intégrée des terroirs et des critères de caractérisation (Riou *et al.*, 1995). Lebon *et al.* (1993) développent cette approche dans le vignoble alsacien. Jacquet et Morlat (1997) mettent en évidence l'existence de mésoclimats associés aux éléments géopédologiques du terroir viticole en Val de Loire.

Nous nous intéressons ici aux approches bioclimatiques. En principe l'aptitude primaire exigée d'un milieu viticole est la faculté d'assurer une maturation satisfaisante des variétés de vigne qui y sont utilisées ou que l'on se propose d'y implanter. Son évaluation correspond donc à la base, à l'estimation des possibilités photosynthétiques qui sont essentiellement dépendantes du rayonnement global reçu, de la température et de l'alimentation hydrique (Huglin, 1983).

Plusieurs auteurs ont proposé des indices climatiques pour l'évaluation d'un milieu viticole (Amerine et Winkler, 1944, Branias *et al.*, 1946, Constantinescu, 1967, Huglin, 1978, Hidalgo, 1980, Jackson et Cherry, 1988, Kenny et Shao, 1992). Hidalgo (1980) a réalisé des études en Espagne et se réfère à une vingtaine d'indices soit de caractère thermique, héliothermique, hydrique ou des indices combinant ces facteurs.

Plusieurs indices ont été développés pour des conditions d'utilisation plus locales, comme au niveau d'un pays. Quelques indices ont été adaptés pour l'analyse climatique dans d'autres pays.

Ces indices cherchent à caractériser l'environnement sur plusieurs aspects d'intérêt viticole : le potentiel thermique pour le développement de la vigne, le potentiel des régions pour la culture

de cépages à précocité différente, le potentiel de maturation du raisin, les risques pour la vigne dus aux facteurs climatiques, l'estimation de l'incidence de maladies - comme le mildiou.

Par la suite nous détaillons quelques indices qui ont un usage au niveau géoviticole. Nous nous intéressons surtout aux indices de potentiel de maturation et de qualité du raisin.

2.3.1. Les indices climatiques thermiques et héliothermiques

Les premières observations sur les sommes de températures dans le domaine agricole et même viticole datent de 1735, suite à la découverte du thermomètre à alcool (Prescott, 1965). Sur la vigne les études très classiques sont présentées par Amerine et Winkler (1944). Elles sont exposées par la suite.

2.3.1.1. Les degrés-jours de Winkler

Connu comme les Degrés-jours de Winkler ou comme l'Indice Thermique de Winkler, cet indice a été initialement établi pour définir les régions viticoles de Californie, en fonction des seules caractéristiques thermiques de leur climat.

Les degrés-jours sont constitués par la somme des températures moyennes journalières au-dessus de 50° Fahrenheit (10° Celsius) sur la période du 1^{er} avril au 30 octobre, c'est-à-dire durant 7 mois. Les sommes sont calculées à partir des moyennes mensuelles.

Les limites qui définissent les 5 régions sont sur le Tableau 2.

Par la suite, cet indice a été utilisé dans d'autres pays viticoles et est couramment utilisé pour la description du climat d'une région viticole.

L'avantage de cet indice est qu'il est très simple. Il ne tient pas compte de la durée d'éclairement des jours, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il n'a été conçu, à l'origine, que pour la Californie, à des latitudes assez basses (33° à 39° de latitude nord) où le rôle de ce facteur n'est pas discriminant. Par contre avoir considéré le mois d'octobre dans la période de référence n'est pas très logique. Dans les régions viticoles chaudes les vendanges se déroulent en général en septembre sinon avant, et dans les vignobles des régions fraîches les températures

moyennes mensuelles d'octobre sont souvent inférieures à 10 °C ou à peine au-dessus (Huglin et Schneider, 1998).

Tableau 2. Intervalle des degrés-jours pour la classification des 5 régions viticoles dans le système défini par l'Indice thermique de Winkler.

Région	Indice de Winkler	
	°C	°F
I	< 1371	< 2500
II	1371 à 1649	2501 à 3000
III	1650 à 1926	3001 à 3500
IV	1927 à 2205	3501 à 4000
V	> 2205	≥ 4000

2.3.1.2. Le produit héliothermique de Branas

Après avoir analysé le bien-fondé de la durée de l'éclairement en tant que facteur de maturation Branas *et al.* (1946), ont établi un indice - le *produit héliothermique* $XH \cdot 10^{-6}$, qui couvre la durée totale de la *période favorable annuelle* pendant laquelle la température moyenne de l'air est supérieure au zéro de végétation. Les auteurs utilisent comme zéro de végétation la valeur moyenne de 10 °C. On multiplie le produit de la somme *des températures actives* X (somme des fractions des températures supérieures à 10 °C) par la somme des longueurs de jours pour la même période H ; le produit XH est multiplié par 10^{-6} et fournit alors l'indice héliothermique de Branas.

Cet indice tombe sous les mêmes critiques que celui de Winkler, avec le léger avantage de faire intervenir la durée du jour. Cette faculté de l'indice compense partiellement, aux latitudes élevées, le plus grand angle d'incidence (par rapport à la verticale) du rayonnement solaire. Le produit héliothermique donne des résultats plus précis pour les vignobles établis sous climats tempérés frais, où la fin de la période qui englobe les températures actives correspondent plus ou moins à l'époque de la récolte. Mais cette coïncidence disparaît dans les régions plus chaudes. À Montpellier, par exemple, cette période favorable est de 230 jours et ne prend fin

que 6 à 7 semaines après les vendanges. Dans les cas extrêmes elle finit par couvrir toute l'année (Huglin et Schneider, 1998).

2.3.1.3. L'indice héliothermique de Huglin

Plus récemment, un mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole est présenté par Huglin (1978), que l'on expose par la suite.

Un fait général très important est à remarquer : une durée du jour plus grande aux hautes latitudes compense en grande partie la diminution du flux d'énergie sous l'effet de son plus grand angle d'incidence. C'est ainsi qu'au solstice d'été, entre le 20° et le 80° parallèle, la somme d'énergie journalière reçue est à peu près égale. On remarque que la grande majorité des zones viticoles se situe en latitude entre le 20° et le 50° parallèle (Huglin, 1983).

Huglin (1978) essaye plusieurs indices climatiques et leur niveau de corrélation avec le taux de sucre du raisin. L'analyse est effectuée sur une série de 14 années de contrôle de maturité, sur une collection ampélographique avec une centaine de cépages, et complétée par des relevés effectués dans des parcelles de Sylvaner, d'Auxerrois blanc et de Pinot blanc. L'auteur travaille avec les données climatiques d'une période de 6 mois (du 01.04 au 30.09) à la place des 7 mois utilisés par Winkler. Il trouve une corrélation de 0,81 entre les sommes de températures et les taux de sucre du raisin. Les résultats sont nettement supérieurs aux corrélations obtenues par le "produit héliothermique de Branas" ($r=0,71$) et par les "degrés-jours de Winkler" ($r=0,73$).

Une seconde amélioration du coefficient de corrélation entre l'indice climatique et la teneur en sucre ($r=0,86$) a été obtenue avec la prise en compte des conditions thermiques régnant durant la période journalière à partir des sommes de températures journalières moyennes et maximales divisées par 2. Cette évaluation thermique porte donc sur la température moyenne de la fraction bien éclairée de la journée où la photosynthèse a effectivement lieu.

Cette amélioration fait partie du raisonnement qu'en réalité les températures moyennes journalières, qui dépendent autant des conditions thermiques nocturnes que diurnes, ne sont pas toujours en bonne concordance avec les possibilités photosynthétiques. Ceci est particulièrement vrai en début et en fin de cycle végétatif, où les amplitudes journalières peuvent être très importantes. De ce fait, des moyennes journalières inférieures à 10°C correspondent souvent à des jours ayant plusieurs heures de conditions favorables à la

photosynthèse. On sait aussi que selon que l'on se trouve sous climat océanique ou semi-continentale, du fait de leurs différentes amplitudes thermiques journalières, une même moyenne n'a pas forcément la même signification dans les 2 cas.

A partir de ces constatations et en tenant compte de la longueur des jours, par un coefficient pour les latitudes entre 40 et 50° (à des latitudes plus basses cet aspect de la question n'a plus aucune signification pratique), Huglin a proposé une nouvelle façon d'évaluer les possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. C'est l'Indice héliothermique de Huglin (*IH*), dont la formule de calcul est présentée dans le paragraphe 3.1.2. (matériels et méthodes de ce chapitre).

Huglin (1988) estime que la limite inférieure des possibilités de culture de la vigne est atteinte au voisinage de la valeur de 1 400 de son indice héliothermique.

Des contrôles de maturation, effectués dans des conditions de milieu connues - à Colmar, ont permis d'établir les exigences des cépages en vue d'atteindre un taux de sucre donné. Bien entendu, selon le type de production, ces exigences pourront être très diverses pour un même cépage. De même il convient de garder en mémoire l'existence d'interaction entre les cépages et les climats, en particulier pour le taux de sucre du raisin (Carbonneau, 1992). On trouvera sur le Tableau 3 quelques propositions établies pour un taux de sucres de l'ordre de 180-200 g/l selon les rendements et les systèmes de conduite (Huglin, 1988) :

Tableau 3. Exigences des cépages en vue d'atteindre un taux de sucres des raisins de l'ordre de 180-200 g/l selon l'Indice héliothermique de Huglin.

Indice héliothermique de Huglin	Cépages
1 500	Muller-Thurgau, Portugais bleu
1 600	Pinot blanc, pinot gris, Aligoté, Gamay, Gewurztraminer
1 700	Pinot noir, Chardonnay, Riesling, Sylvaner, Sauvignon, Melon
1 800	Cabernet franc, Blaufrankisch
1 900	Cabernet-Sauvignon, Chenin blanc, Merlot, Sémillon, Riesling Italien
2 000	Ugni blanc
2 100	Cinsaut, Grenache, Syrah
2 200	Carignan
2 300	Aramon

Cet indice reste global et essentiellement thermique, mais il fait intervenir la température diurne plus significative et se calcule sur une période plus acceptable. Huglin fournit des comparaisons avec des valeurs de teneur en sucres, et propose des valeurs différentes suivant les cépages. Les données qui sont à l'origine de l'étude statistique restent cependant limitées dans l'espace.

2.3.1.4. L'évaluation thermique sur la période de maturation

Plusieurs études ont déjà montré que parmi les facteurs du climat, la température de l'air joue un rôle déterminant sur la maturité globale du raisin et notamment sur les arômes et la coloration, avec des répercussions importantes sur les caractéristiques des vins. On peut dire que dans les régions globalement assez froides la période de maturation du raisin aura lieu dans des conditions thermiques plus fraîches que dans les régions globalement plus chaudes.

Par exemple, Winkler *et al.* (1974) observent que les températures trop basses ou trop élevées sont associées à une faible coloration. Les températures du jour ont un effet sur la coloration, mais les températures nocturnes (effet favorable des nuits fraîches) en ont davantage (Kliwer et Torres, 1972, Kliwer, 1973).

Jackson et Lombard (1993) classent les régions viticoles en 2 groupes en fonction de la température à laquelle a lieu la maturation du raisin. Ce sont les régions *Alpha* et les régions *Bêta*. Pour les régions *Alpha*, la période de maturation a lieu à des températures moyennes, pour un cépage donné, entre 9°C et 15°C. Pour les régions *Bêta* la période de maturation du raisin se passe à des températures supérieures à 16°C.

Malgré l'importance du thème, jusqu'à aujourd'hui la climatologie viticole n'a pas proposé d'indices climatiques prenant en compte cet aspect.

2.3.1.5. Autres indices thermiques

Jackson et Cherry (1988) trouvent que l'Indice latitude-température (ILT) discrimine bien la capacité de maturation des zones qui sont dans la région I d'Amerine et Winkler. Cet indice est calculé avec la température moyenne du mois le plus chaud et la latitude.

2.3.2. Indices climatiques prenant en compte le facteur hydrique

En Roumanie, Constantinescu (1967) a proposé un indice bioclimatique (I_{bc}) faisant intervenir la somme des températures actives (T_a), la somme des heures d'insolation (I_e) et la somme des précipitations (P) durant le nombre de jours de végétation active (N). La formule de l' I_{bc} est :

$$I_{bc} = \frac{\sum T_a \cdot \sum I_e}{\sum P \cdot N \cdot 10}$$

Cet indice, qui a largement servi dans son pays d'origine, n'a cependant pas pu être utilisé tel quel dans d'autres pays. En Espagne, par exemple, où le développement végétatif dépend en grande partie des précipitations hivernales, Hidalgo (1980) a fait intervenir sur cet indice l'ensemble de la pluviométrie annuelle.

L'intérêt de cet indice réside dans le fait de faire apparaître la pluie comme facteur défavorable. Il réside également dans le fait de considérer que l'indice passe par un optimum, dû sans doute à une action défavorable des pluies trop faibles. Ceci est source d'erreur lorsque l'indice attend des valeurs élevées (saison de son échec).

Huglin (1986) souligne néanmoins, alors que le concept d'évapotranspiration et des ses composantes est devenu classique, que cet indice permet d'intégrer dans une même formule l'économie de l'eau et les conditions thermiques et lumineuses. En fait, on cherche un indicateur de l'état d'humidité ou de sécheresse du sol. Cette possibilité est certainement un des éléments indispensables pour une évaluation précise des milieux viticoles.

L'évaluation du facteur hydrique pour des régions viticoles a été mise au point à l'occasion des études du zonage climatique de l'Union Européenne. Elle sera donc traitée par la suite.

2.4. Le zonage climatique des régions viticoles

Le zonage climatique a été développé dans un très grand nombre de régions viticoles ou pour évaluer les potentialités d'un environnement en vue du futur développement de cette culture. Plus récemment d'autres études climatiques sont allées plus loin et ont caractérisé l'environnement en terme de potentiel qualitatif du raisin.

2.4.1. Zonages sur le potentiel climatique d'un environnement

Aney (1974) utilise le zonage climatique pour définir les zones de culture du *Vitis vinifera* dans l'Orégon, aux Etats-Unis. Quatre indices climatiques sont retenus : les températures minimales d'hiver, l'Indice de Winkler, l'Indice d'évapotranspiration de Thornthwaite et la longueur de la période végétative.

Davis *et al.* (1984) produisent une cartographie des régions à aptitude viticole dans les vallées d'Okanagan et Simelkameen, en Colombie Britannique (Canada). C'est un exemple de zonage dans une région de climat à tendance fraîche à froide. Le zonage délimite des zones d'exclusion de la vigne en raison de contraintes trop fortes. Délimite également des zones à différentes niveaux de potentialité viticole, sur une échelle prenant en compte la pente et l'orientation, soit au niveau de la radiation solaire, soit au niveau de la somme thermique et le risque de gelées. Les 4 classes d'aptitude climatique sur les 3 variables choisies offrent potentiellement 64 groupes de climats dans la région. Le sol a lui aussi fait l'objet du zonage.

Becker (1988) présente un zonage dans la région du Rheingau, en Allemagne. La démarcation des zones à des valeurs plus élevées de radiation solaire ont été recommandées pour le cépage Riesling. À des niveaux de rayonnement un peu inférieurs le cépage Muller Thurgau est recommandé ; et un troisième niveau de rayonnement détermine le seuil au-dessous duquel les zones sont classées non viticoles. Le sol à lui aussi intégré les études de ce zonage.

En plus des exemples ci-dessus, un très grand nombre de zonages climatiques seraient disponibles.

Aujourd'hui les "systèmes d'information géographiques" - SIG sont très performants pour la spatialisation des données climatiques numérisées en vue de l'identification des zones viticoles à forte potentialité viticole, comme on constate sur le zonage de la région du Cap en Afrique du Sud (Villiers, 1997).

2.4.2. Les zonages climatiques sur le potentiel en sucres du raisin

Plusieurs études dans le domaine de la biologie de la vigne sont arrivées à un zonage viticole avec une approche des potentialités qualitatives du raisin. Ces études ont montré d'autres aspects du climat influençant la maturité et la qualité du raisin.

Nous allons exposer par la suite les exemples les plus marquants concernant les pays ou régions où ces études ont été développées.

2.4.2.1. Dans l'Europe de l'Est

Turmanidze (1986) présente, dans le cadre de la Commission d'Agrométéorologie de l'Organisation Météorologique Mondiale - O.M.M., une étude effectuée sur le vignoble d'Europe de l'Est (ex-URSS et pays voisins producteurs). L'auteur propose 2 équations. La première porte sur l'augmentation moyenne journalière du taux de sucre pendant la maturation et la seconde fait une estimation du contenu en sucres. Bien qu'établies pour une seule région d'Europe de l'Est et sur un nombre limité de cépages, ces relations sont cependant intéressantes et mettent en évidence à la fois le rôle favorable de la température pendant la période de maturation et l'action défavorable de la pluie pendant cette même période.

2.4.2.2. Des recherches en Allemagne

N. Becker, cité par Riou *et al.* (1994) a étudié les relations climat-teneur en sucre des cépages Riesling, Muller-Thurgau et Pinot Noir en Allemagne. Il a montré que la teneur en sucre augmente avec la température et l'insolation ; elle diminue quand P-ETP (Pluie-Evapotranspiration potentielle) augmente. Il constate aussi un effet négatif dû au rendement.

2.4.2.3. Sur quelques pays dans le cadre de l'Essai International d'Ecologie Viticole

Calò *et al.* (1992) présentent certains des aspects de l'Essai International d'Écologie Viticole, préparé dans les années 1970 par P. Huglin pour évaluer l'influence des facteurs naturels sur l'expression quali-quantitative de la vigne.

Les résultats relatifs à l'accumulation des sucres ont montré un rôle différent des facteurs naturels suivant les 4 différentes régions climatiques étudiées : nord-continentale (Pully en Suisse, Fribourg et Trèves en Allemagne, Colmar en France), nord-atlantique (Montreuil),

subalpin (Conegliano - Spresiano en Italie), sud (Jerez de la Frontera en Espagne, Stellenbosch en Afrique du Sud). La température moyenne de l'année et la durée d'ensoleillement sont des éléments très importants au nord, tandis qu'ils le sont beaucoup moins au sud. Un autre facteur qui s'est révélé important est le facteur *hydrique*.

Les résultats sur la station de Spresiano, à Conegliano, démontrent que l'effet positif des températures sur la teneur en sucres peut être réduit par un excès de disponibilité hydrique. Cet excès peut privilégier la phase végétative des plantes au détriment de la maturation. Les résultats ont montré le besoin de prévoir non seulement un algorithme liant l'accumulation des sucres aux facteurs thermiques et énergétiques du milieu, mais aussi à un indice d'excès hydrique.

En effet, les Stations des latitudes inférieures ont un contenu en sucres plus élevé et un comportement plus prévisible et constant. Par contre, quand le facteur thermique est limitatif (région nord-continentale) avec moins de sucres, on a un comportement plus variable dans l'espace ainsi que des valeurs qui fluctuent en fonction des années.

2.4.2.4. Zonage dans l'Union Européenne : l'introduction d'un indice de bilan hydrique potentiel pour la vigne

En 1994 est publié un ouvrage *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans l'Union Européenne* (Riou *et al.*, 1994). Les informations de base de cette recherche ont été publiées par Carbonneau *et al.* (1992).

La méthodologie a suivi plusieurs étapes. Une première a été la constitution du fichier des données et le calcul des paramètres agrométéorologiques calés sur les stades phénologiques. Un bilan hydrique potentiel a été établi, et des coefficients cépages ont été pris en compte. L'étude a abouti à des algorithmes statistiques multi-variates qui ont servi à formuler une première cartographie des vignobles européens sur la base du potentiel en sucres du moût à maturité. Dix zones viticoles sont proposées. Carbonneau (1994a) présente une synthèse sur ce zonage et ses potentialités.

L'utilisation d'un indice de bilan hydrique potentiel dans le zonage de l'Union Européenne

Dans le zonage de l'Union Européenne une nouvelle caractérisation de l'influence de l'état hydrique du sol est proposée. En raison de l'importance de celle-ci dans notre étude, nous allons, dans cette partie, présenter en détail la démarche qui a permis l'élaboration de cet indice, selon Riou *et al.* (1994).

Si l'action de la température pendant une phéno-phase de la vigne peut être exprimée convenablement par l'intermédiaire de la moyenne de la température, ou de la somme des températures, éventuellement avec un seuil donné, cela n'est pas le cas pour la pluie. Une même quantité de pluie, à un moment donné, peut s'ajouter à une réserve en eau du sol déjà importante et, éventuellement, avoir un effet négatif sur la maturation. Au contraire, elle peut tomber sur un sol sec et avoir, de ce fait, une action toute-à-fait positive. Ajoutons que l'influence du mode de conduite (densité de plantation, surface foliaire par unité de surface de sol) risque d'être plus importante sur le facteur hydrique que sur la température.

Le bilan traditionnel en agronomie : ces constatations conduisent à privilégier dans l'analyse, non la hauteur de pluie pendant une période donnée, mais **l'état potentiel de la réserve en eau du sol**, en relation directe avec le comportement de la vigne. Il doit tenir compte du bilan pluie-consommation d'eau.

Une première approximation peut s'appuyer sur le bilan hydrique couramment utilisé en agronomie des plantes annuelles, sous la forme d'une simple équation arithmétique :

$$W_t = W_o + \Sigma P - \Sigma E$$

où W_t est la réserve en eau à l'instant t , W_o est la réserve en eau à l'instant o , ΣP est le total des pluies entre les instants o et t , et ΣE le total des pertes en eau. Une des approximations courante dans ce domaine, consiste à remplacer E par l'évapotranspiration potentielle d'un couvert végétal homogène (ETP) tant qu'il reste de l'eau dans le sol.

Une telle approche ne rend pas compte du caractère particulier de la vigne qui ne couvre en général qu'une fraction du sol. En outre, un tel bilan, appliqué à la région bordelaise (qui n'est pas spécialement une région *sèche*) conduirait à un déficit moyen de -321 mm à la fin de septembre. Si l'on estime à environ 200 mm la réserve en eau moyenne utilisable par la vigne

(ce qui suppose déjà un système racinaire profond), on voit que ceci conduirai, dans l'hypothèse précédente, à des déficits hydriques atteints tôt dans la saison. Deux explications sont à l'origine de la distorsion : le fait de négliger les processus d'adaptation qui rendent l'utilisation de la réserve en eau d'autant plus difficile qu'elle est faible, et l'absence de prise en compte du niveau réel d'interception du rayonnement directement lié à la transpiration. Sur ce dernier point en tout cas le modèle apporte une correction indispensable.

Interception de l'énergie solaire par la vigne : un modèle d'interception de l'énergie solaire par la vigne établi et vérifié sur un vignoble traditionnel bordelais (Riou *et al.*, 1989) montre que la vigne orientée nord-sud n'intercepte qu'environ 40 à 42% de l'énergie solaire disponible : 15% est réfléchi et le reste, soit 44% environ, est absorbé par le sol. Pour un vignoble orienté est-ouest, ces valeurs sont d'abord plus faibles pour la vigne jusqu'à fin août, et deviennent un peu plus fortes fin septembre. Mais l'ordre de grandeur reste le même, au tour de 39 à 45% d'énergie interceptée.

Ces résultats conduisent à estimer à environ la moitié de l'ETP la consommation d'eau d'une vigne quand il n'y a pas de limitation de la fourniture. Plus exactement, si un couvert végétal continu en activité qui absorbe environ 0,8 Rg (effet de microporosité) et consomme l'ETP en rapport avec l'absorption, la transpiration potentielle du vignoble (TV) vaut :

$$TV = k \cdot ETP$$

et l'évaporation du sol humide (ES),

$$ES = (1-k) \cdot ETP$$

(obs. : la vigne est prioritaire dans l'accès à la réserve hydrique du sol).

L'évaporation du sol, forte après les épisodes pluvieux, se ralentit très vite et s'arrête dès qu'une couche de sol est sèche en surface (mulch à conductivité hydraulique de l'eau quasi nulle).

Une approximation consiste donc à évaluer le nombre de jours pluvieux et à estimer que l'évaporation n'est notable qu'un jour après l'épisode pluvieux. Une étude statistique, en France et en Tunisie, conduit à proposer pour estimer ce nombre de jours, la formule $P/5$, soit répartir la pluie (P) en séquences d'averses journalières de 5 mm. Avec un pas de temps mensuel, nous avons alors :

$$JP_m = P_m/5$$

Où, JP_m = Nombre de jours de pluie d'un mois donné et P_m = Pluie du mois

si N est le nombre de jours du mois, JP_m doit être $\leq N$

Le bilan hydrique potentiel devient pour un mois donné :

$$W_m = W_{m-1} + P_m - k.ETP_m - (1-k) ETP_m/N \cdot JP_m$$

Soit

$$W_m = W_{m-1} + P_m - ETP_m [k + (1-k) \cdot JP_m/N]$$

Valeurs de k (coefficient d'interception de l'énergie solaire par la vigne) suivant les régions : pour des vignes de forme régulière (section en parallélépipède), soit hauteur, largeur, écartement et porosité, le modèle montre que k varie de 0,70 pour les vignobles nordiques (Champagne, Alsace, R.F.A.), à 0,50 environ (Anjou, Bordelais), pour atteindre 0,40 dans le Languedoc et descendre à 0,30 au sud de l'Europe ; (NB : $k \cong 0,9.H/E$; H = hauteur projetée sur un plan vertical du rang de végétation et E =écartement entre rangs ; Carbonneau, 1991).

Calcul du bilan hydrique potentiel : avec les approximations ci-dessus, le bilan hydrique potentiel peut se calculer sur le cycle végétatif en appliquant les règles suivantes :

Moment initial: 1^{er} avril, réserve W_0

Moment final : 30 septembre

W ne peut être négatif et ne peut dépasser W_0

On appelle BH, la valeur obtenue en suivant les 3 règles et en adoptant $W_0 = 200$ mm.

Bilan hydrique à évaporation décroissante : le modèle élémentaire décrit précédemment est du type "tout ou rien", c'est à dire l'admission que l'évaporation est maximum tant qu'il reste suffisamment d'eau dans le sol. Sinon elle se réduit à la pluie.

Riou *et al.* (1994) a proposé d'améliorer ce modèle en introduisant une fonction de décroissance de l'évapotranspiration, plus conforme aux observations effectuées sur les couverts végétaux en présence d'un déficit hydrique. On admet que la consommation d'eau de

la vigne reste maximale, non pas tant qu'il reste de l'eau dans le sol ($W > 0$), mais que la réserve dépasse un certain seuil W_t , fraction de la réserve maximum W_o .

En ce qui concerne l'évaporation du sol nu, elle est calculée comme précédemment, puisqu'elle ne dépend que de la pluie.

Considérations sur le bilan hydrique : le bilan hydrique fin septembre combine à la fois la pluie et l'ETP et, représente en fait un complexe où interviennent température, rayonnement et pluie. Son intérêt vient de la prise en compte de la totalité des variables concernées pour estimer la réserve en eau du sol à un instant donné. Cette valeur moyenne est plus ou moins proche de la réalité locale, mais certainement représente mieux le rôle de l'eau sur la vigne que la pluie, ou la pluie moins l'ETP. Par ailleurs, le bilan établi sur un pas de temps mensuel, qui fournit des valeurs intermédiaires (état de la réserve en juin, juillet, août) permet une analyse de l'effet de la sécheresse. On doit noter qu'une liaison statistique entre la somme des températures entre la véraison-récolte et le bilan hydrique (BH) est souvent assez forte, **sans justifier l'exclusion d'une de ces 2 variables.**

2.5. Analyse des connaissances actuelles concernant l'évaluation du climat des régions viticoles

Les indices de Winkler, Branas et Huglin, sur lesquels la composante thermique est mise en évidence, sont des indices globaux portant sur l'ensemble de la période d'activité de la vigne.

L'Indice de Winkler, par exemple, a une bonne validité dans une zone précise. C'est le cas de la Californie, zone pour laquelle il a été créé. C'est un indice d'usage assez répandu dans le monde. Mais il perd en précision quand on compare plusieurs zones, et surtout dans des comparaisons entre régions viticoles présentant différents types des climats. Ainsi, 2 zones peuvent être dans un même groupe des régions de Winkler même avec un régime hydrique très différent (en outre il est anormal de trouver Bordeaux avec Napa !). Cette observation est également valable pour les indices de Branas et de Huglin. On souligne que, pour être un indice calculé à partir de la température moyenne, l'Indice de Winkler ne discrimine pas non plus les zones avec différents niveaux de températures minimales ou maximales pendant la période de

maturité par exemple. Bentryn (1988) analyse cet indice et considère qu'il ne permet pas le développement d'un système climatique compréhensible pour la viticulture mondiale.

On note cependant, à travers diverses approches pour le développement des indices climatiques, la tentative d'intégrer l'influence défavorable de la pluie pendant la période de maturation. Les études de zonage plus récentes font ressortir l'importance de l'aspect hydrique.

On n'a jamais intégré la composante hydrique sur la forme d'un bilan hydrique au niveau d'une caractérisation climatique de la viticulture mondiale. De même, pour une évaluation de l'aspect thermique qui intervient pendant la période de maturation du raisin, on ne dispose pas d'indices climatiques plus spécifiques.

On peut conclure que les indices disponibles sont encore très insuffisants pour la caractérisation climatique des régions viticoles et pour élargir la compréhension de la grande variabilité climatique trouvée dans le vignoble mondial.

La vitiviniculture mondiale ne dispose pas d'un système de classification climatique cohérent et performant. De ce fait, la tentative d'établir des regroupements des régions viticoles avec une certaine similarité climatique est également très limitée dans l'approche possible actuellement.

2.6. Macroclimat des régions viticoles et caractéristiques des vins

La bibliographie montre plusieurs études sur le climat des régions viticoles et son influence sur les caractéristiques des vins. Ses observations sont cependant assez générales au niveau mondial. Il est facile de s'apercevoir de la difficulté de réaliser des expérimentations comparatives à cette échelle géographique concernant les caractéristiques des vins en ne faisant ressortir que l'influence du climat.

Fregoni (1995) signale que le niveau d'information disponible ne permet pas de corrélérer les différents climats de la viticulture dite *atlantique* avec les différents vins produits dans ces zones.

Wahl (1988) met en évidence l'effet du climat dans des conditions de Franconie (Allemagne) sur la vigne et le vin. Il trouve que dans ces conditions l'effet du climat est plus important que l'effet du sol sur la qualité du vin.

Boubals (1989) répertorie plus de 30 pays avec des régions viticoles chaudes. Il montre quelques caractéristiques climatiques des ces régions liées aux potentialités en termes de types de produits viticoles (vin, eaux-de-vie, raisin de table et raisins secs). Selon lui, dans ces régions chaudes, lorsque la période de maturation des raisins est sèche, on peut obtenir sans difficultés des raisins de table, des raisins secs, des vins et des eaux-de-vie. Lorsque la période de maturation des fruits est humide on ne peut guère obtenir que du vin.

Pour l'analyse sur ce thème, nous allons traiter des caractéristiques des vins dans différentes conditions climatiques, soit au niveau thermique soit au niveau hydrique.

2.6.1. Les vins des régions à différents potentiels thermiques

D'une façon générale, Becker (1977) rapporte que dans les régions viticoles froides, on produit surtout des vins blancs frais acides avec du bouquet et de l'arôme. Les vins des régions très chaudes sont, normalement, bien alcoolisés et courts sur le palais. Par contre ces régions se prêtent à la production des vins de dessert.

D'une façon générale, on oppose, avec plus ou moins de vérité, les vignobles des régions fraîches et ceux des régions chaudes. Les vins des premiers sont plus acides et moins alcoolisés que les vins des régions chaudes (Peynaud, 1971, Branais, 1974, Winkler *et al.* 1974).

Des exemples sur l'effet climat sur les caractéristiques des vins sont exposés par Jackson et Lombard (1993). Ils analysent la différence de typicité des vins d'un même cépage en fonction de la région de production. Ils prennent pour exemple le Pinot Noir qui est produit dans la région de Bourgogne, dans la région sud de la Nouvelle-Zélande, dans les régions plus froides de la côte Nord de la Californie ou de la région ouest de l'Oregon, aux Etats-Unis. Becker (1977) compare, également, 4 régions qui produisent le vin de Pinot Noir en Europe. Selon lui, sur l'Ahr, la région viticole la plus septentrionale (50° de latitude Nord) et la plus froide, on produit un Pinot noir peu coloré léger et frais ; dans la Champagne, légèrement plus chaude, le Pinot noir donne des vins semblablement frais et d'une acidité prononcée qui sont élaborés en mousseux après vinification en blanc. Sur les pentes du Kaiserstuhl, le climat est nettement plus chaud et le Pinot donne des vins rouges plus corsés. En Bourgogne, zone la plus chaude, le Pinot noir subit une vinification classique. Climat, sol et vinification contribuent à donner des vins rouges de couleur plus prononcée et plus riches en alcool.

Pour Bidan (1977) les raisins des régions septentrionales arrivent difficilement à la maturité complète. Par ailleurs, ils accusent le plus souvent un degré alcoométrique en puissance de 9 à 11° et souvent une acidité totale élevée (60 à 170 meq/litre) et un pH bas. Selon lui, l'originalité des vins est attachée en grande partie à la qualité de leurs arômes.

Dans les régions chaudes, le raisin présente des caractéristiques analytiques particulières. Il est possible de le vérifier en analysant les résultats de 14 cépages sur 6 millésimes à Jerez de la Frontera, Espagne (Garcia de Lujan *et al.*, 1991). Les résultats montrent que le potentiel alcoométrique et le pH sont élevés et l'acidité totale est basse. Les caractéristiques des vins seront influencées par les caractéristiques du raisin.

2.6.2. La température pendant la période de maturation du raisin et les caractéristiques des vins

La Figure 4 montre sous forme synthétique l'ensemble des phénomènes accompagnant la maturation et l'effet de la température sur ces différents composés (Coombe, 1987).

Comme l'analyse Carbonneau *et al.* (1989), on remarque le rôle prééminent de la température sur les anthocyanes, avec en général un effet négatif des températures élevées et des basses températures.

Ils existe des régions viticoles où la période de maturation du raisin se passe juste avant que la température ne tombe au-dessous de 10°C. Dans les régions de climat chaud, au contraire, la période favorable à la croissance est beaucoup plus longue et permet d'arriver à la maturation des raisins des cépages soit précoces soit tardifs sur des périodes où la température est encore élevée. Jackson et Lombard (1993) classent ces 2 groupes de régions en régions *Alpha* et régions *Bêta*. Pour les régions *Alpha*, la période de maturation est liée à des températures moyennes entre 9°C et 15°C pour un cépage donné. La fin de la période de maturation se déroule pendant l'automne, avec des températures modérées et avec des nuits fraîches. Dans ces conditions, les millésimes plus chauds ou les mésoclimats chauds seraient un avantage. Une bonne maturation du raisin permet d'avoir des vins d'une bonne structure ; les nuits suffisamment froides assurent une bonne coloration du raisin. Les composantes gustatives et aromatiques semblent être dans des conditions optimales. Mais la maturation est souvent

limitée. Pour les régions *Bêta* la période de maturation du raisin se passe à des températures supérieures à 16°C. Dans ces régions la température du jour et la température des nuits sont encore élevées pendant la maturation. L'arrivée à la maturité, au moins au niveau des sucres, n'est donc pas un problème. Dans ces régions, ni les millésimes chauds, ni les mésoclimats chauds ni les techniques qui rendent la récolte plus précoce, ne sont nécessairement un avantage.

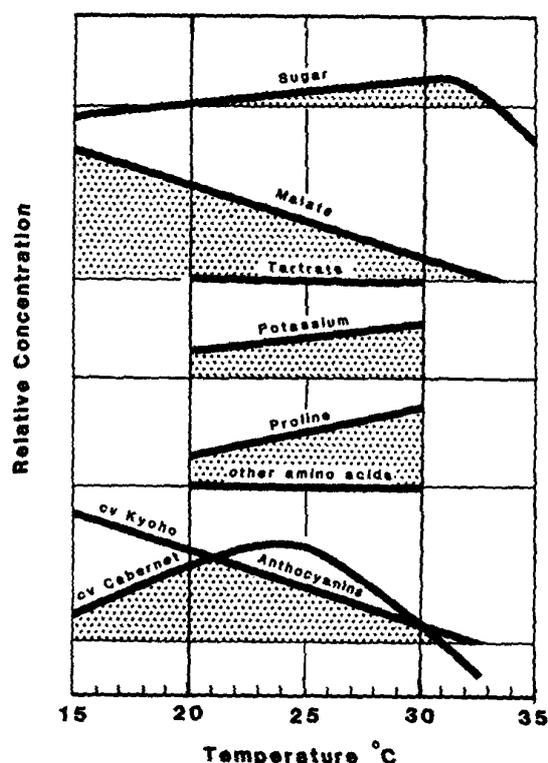


Figure 4. Synthèse des effets généraux de la température sur la concentration des principaux composés de la baie (cités par Coombe, 1987 - à partir des travaux de plusieurs auteurs).

Huglin (1983), à propos des composés phénoliques dit que les relations entre les facteurs chaleur et lumière et ces composés sont extrêmement complexes. Indépendamment d'une spécificité variétale considérable, les oenologues se préoccupent en effet plus de la fraction *extractible* des tanins et des anthocyanes que de leur taux global. En pratique, des déficiences apparaissent à ce sujet surtout dans des milieux soit très chauds soit relativement frais.

Winkler *et al.* (1974) avaient déjà observé l'effet positif des températures fraîches sur la coloration du raisin dans la région de Lodi - en Californie

La coloration des raisins rouges dépend de la température. Winkler *et al.* (1974) montrent que les températures trop basses ou trop élevées sont associées à une faible coloration. Ils observent les mêmes tendances par rapport aux polyphénols. Les vins en Californie des régions I, II et III (classification par l'Indice de Winkler) sont plus riches en anthocyanes et en polyphénols que les vins des régions IV et V.

Mais il faut considérer non seulement l'aspect de la **fraîcheur globale thermique pendant la période de maturation**, dont la température moyenne de l'air est un bon indicateur, mais tout particulièrement celle de **la fraîcheur des nuits**, mesurée par les températures minimales de l'air en période de maturation.

Les températures du jour ont un effet sur la coloration mais les températures nocturnes en ont davantage (Kliewer et Torres, 1972, Kliewer, 1973).

Sur **la fraîcheur des nuits** donc, Tomana *et al.* (1979) observent l'augmentation de la teneur en anthocyanes par des températures nocturnes plus fraîches sur le cépage Kyoho. L'effet des températures minimales a été aussi démontré par Kliewer et Torres (1972). La coloration du raisin Tokay a été très réduite voire nulle avec des températures jour/nuit de 25 °/30 °C ; faible avec 25 °/25 °C et excellente avec 25 °/15 °C ou 25°/20 °C. Selon Carbonneau *et al.* (1992), il apparaît que l'accumulation des anthocyanes dans les pellicules est favorisée par un état de stress hydrique modéré de la plante, par des températures diurnes relativement élevées mais sans excès, avec probablement une interaction positive avec des températures nocturnes fraîches. Les anthocyanes des raisins sont généralement localisées sur les 3 ou 4 couches extérieures des cellules de l'épiderme (Singleton et Esau, 1969). Les températures fraîches peuvent augmenter le niveau de sucres sur ces tissus par voie d'une perte respiratoire moins importante, en ayant comme résultat une augmentation de la synthèse d'anthocyanes (Kliewer et Torres, 1972). Tomana *et al.* (1979) ont trouvé que les teneurs des pellicules en acide abscissique et en anthocyanes étaient plus élevées lorsque les températures nocturnes étaient plus fraîches que lorsque celles-ci étaient plus chaudes. Ils ont suggéré que la teneur en acide abscissique pouvait jouer un rôle dans la synthèse des anthocyanes.

Coombe (1987) rapporte que la composition en polyphénols du raisin présente la même tendance que celle observée pour les anthocyanes par rapport à l'effet de la température.

Bonnardot (1998) fait référence à l'importance des brises maritimes pour la réduction des températures de l'air en période de maturation du raisin comme facteur de qualité du vin dans la zone de Stellenbosch, en Afrique du Sud. Également, Orffer (1977) fait référence aux essais dans la Province du Cap en vue de l'amélioration de la qualité des vins blancs de table et des certains types de vins rouges de table. La technique choisie était de soit avancer soit retarder la période de maturation du raisin pour échapper de la période la plus chaude de janvier-février.

Hernandez et Pszczolkowski (1986) rapportent que les conditions de fraîcheur en période de maturation sont fondamentales pour le développement des anthocyanes et pour la qualité du vin au Chili.

2.6.3. Le facteur eau et les caractéristiques des vins

Dans les régions avec un excédent de précipitations la maturation du raisin est affectée négativement. Jackson et Cherry (1988) montrent que les régions avec un total de pluie très élevé possèdent une capacité de maturation du raisin inférieure à la capacité prévue par les indices climatiques thermiques.

La pluviosité au moment de la maturation des grappes et l'humidité de l'air augmentent les risques de pourriture des grappes et rendent la pellicule de la baie très fragile. Dans les climats humides la récolte peut être anticipée à cause du risque de pourriture. De ce fait, les raisins auront un niveau de maturité insuffisant pour garantir une meilleure qualité du produit vin.

En climat atlantique, ce sont les années les plus chaudes et les plus sèches qui donnent les meilleurs vins, comme en Alsace, en Bourgogne, en Champagne et en Val de Loire (Galet, 1993). À Bordeaux, région de climat atlantique à absence de sécheresse forte, la qualité des vins des différentes récoltes est inversement corrélée au bilan hydrique du vignoble (Riou *et al.*, 1994). De nombreuses observations effectuées dans des régions tempérées, qui en règle général ne sont pas touchées par la sécheresse, indiquent qu'un certain déficit hydrique durant la période de maturation est favorable à la qualité organoleptique des vins (Huglin et Schneider, 1998).

Mais le problème d'alimentation en eau est en étroite relation avec le rôle du sol. Mérouge *et al.* (1998) confirment l'intérêt de la régulation de l'alimentation hydrique afin d'obtenir des vendanges de qualité. Un ensemble de recherches réalisées par Seguin, Duteau et Van Leeuwen dans le vignoble bordelais démontrent que le régime hydrique joue un rôle clé dans le potentiel qualitatif du raisin. Une alimentation en eau régulière, à un niveau plutôt faible et surtout sans excès d'aucune sorte semble être un paramètre déterminant de la qualité du vin. Des essais réalisés à Saint-Émilion et à Pomerol montrent que, pour un pourcentage de l'ETR par rapport à l'ETP entre 45% et 35%, la diminution de l'alimentation en eau se traduit par une amélioration de la qualité des vendanges (Seguin, 1983).

Bravdo et Hepner (1987) montrent que le stress hydrique peut améliorer la qualité dans la production de raisin de cuve. Champagnol (1984) considère que le meilleur régime hydrique est celui d'un assèchement progressif du sol jusqu'à la maturité. Le vieillissement de la végétation qui se produit alors est associé à une contrainte hydrique encore modérée permettant une réhydratation partielle de la plante pendant la nuit et au lever du jour, avec un maintien de la photosynthèse.

Concernant l'irrigation, Carbonneau (1998a) a présenté une analyse récente à propos de son usage et de son influence sur les aspects qualitatifs de la production vitivinicole. Il analyse et propose une stratégie de régularisation dans une optique de qualité. Selon lui, en règle générale, qu'il convient d'assurer un régime hydrique qui se réduit régulièrement mais sans blocage, en envisageant un épuisement de la réserve disponible à maturité, tout en essayant de contrôler une situation de stress modéré pendant la véraison et la maturation.

2.7. Sources de variabilité climatique entraînant des répercussions viticoles

Comme cela a déjà été indiqué, la variabilité macroclimatique est très importante dans la viticulture mondiale. Le climat détermine les potentialités viticoles majeures et influence les grandes caractéristiques du raisin et du vin.

Par la suite on va faire référence à 2 autres sources de variabilité climatique qui entraînent des répercussions viticoles également très importantes : la variabilité climatique due au millésime et la variabilité climatique due au changement climatique.

2.7.1. La variabilité climatique en fonction du millésime

La variabilité climatique due au millésime est responsable pour une bonne partie des caractéristiques des vins d'une région viticole.

La variabilité interannuelle du climat sur une série d'années est mise en évidence par Bonnardot (1996) qui a étudié les relations climat-vigne en Bourgogne.

Huglin (1977) analyse le climat des régions tempérées fraîches de latitude élevée. Dans ces zones, on trouve en Europe des vignobles nettement délimités qui présentent des conditions mésoclimatiques particulièrement favorables. Cet auteur précise que ces avantages ne sont malheureusement pas constants dans le temps et que les conditions thermiques y présentent des fluctuations impressionnantes. Il prend en exemple la collection ampélographique de la Station de recherches viticoles et oenologiques de Colmar. Il montre qu'avec le cépage tardif Carignan, l'année particulièrement chaude de 1971 a permis une récolte de 80 hl/ha avec 13,5° d'alcool probable. A l'opposé, en 1972, année très fraîche, la variété précoce Pinot blanc a péniblement atteint en vendange tardive 8,7° en puissance, avec un rendement de 60 hl/ha.

La variabilité climatique sur 25 années à Camberra, dans le sud-est de l'Australie, a été mise en évidence par Helm et Cambourne (1988). Ils ont pu regrouper les années en 4 différentes classes de sommes thermiques concernant les degrés-jours (16% des années avec une somme de températures entre 1 000 et 1 200 ; 20% entre 1 201 et 1 300 ; 40% entre 1 301 et 1 500 ; et, 24 % des années avec un total de degrés-jours supérieur à 1 501).

Gadille (1967), cité par Galet (1993), signale qu'en Bourgogne, pendant la période 1945-1963, les fortes températures supérieures ou égales à 30°C en juillet ont été généralement la garantie d'une bonne réussite viticole. Les grands millésimes sont ceux où le développement de la vigne et la maturation des raisins se sont réalisés dans des bonnes conditions de lumière, de chaleur, de pluie, de vent et d'absence de maladies ou de parasites.

Une étude sur la qualité du vin de la région de Bordeaux depuis 1924 montre qu'elle présente un coefficient de corrélation de -0,83 avec le bilan hydrique simplifié du vignoble (Riou *et al.*, 1994) (Figure 5). Il est admis que d'une façon générale, les meilleurs vins de Bordeaux sont liés aux années les moins humides dans la région.

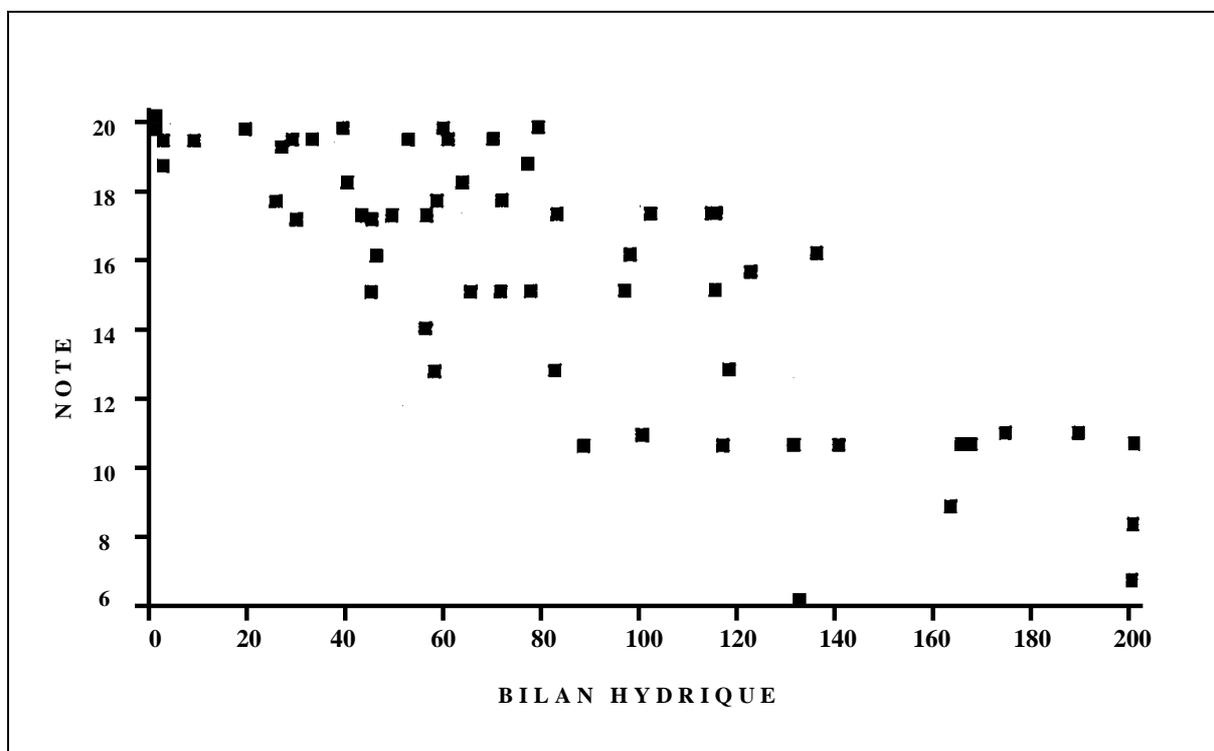


Figure 5. Notes de qualité sur l'ensemble des vins de Bordeaux depuis 1924 et bilan hydrique simplifié (Riou *et al.*, 1994).

2.7.2. Le changement climatique

Le changement climatique a des répercussions sur l'ensemble des régions viticoles, sur les millésimes et sur le microclimat de la vigne.

Le climat se modifie et a déjà été soumis à un réchauffement de la température de l'air au niveau du globe : au moins 0,5°C les 100 dernières années, changement nettement perçu par les données de l'Organisation Météorologique Mondiale - O.M.M. (Figure 6).

Les répercussions viticoles sont évidentes au niveau des régions productrices. Si on simule, sur quelques régions viticoles de la France, une augmentation de la température de l'air de 0,5°C, (ce qui est tout à fait prévisible pour une génération de vigne que serait raisonnée vers 2010), on a une idée de l'impact - très important - sur le profil des potentialités thermiques des régions viticoles. Cet impact est tel qu'il pourra permettre aux régions d'envisager alors éventuellement un changement au niveau de l'encépagement, par exemple. Sur la simulation présentée dans les régions viticoles de la France (Figure 7), la Syrah - cépage cultivé jusque

dans la région de Carcassonne, pourrait trouver à Toulouse, à Bordeaux et à Agen des possibilités thermiques pour une maturation régulière.

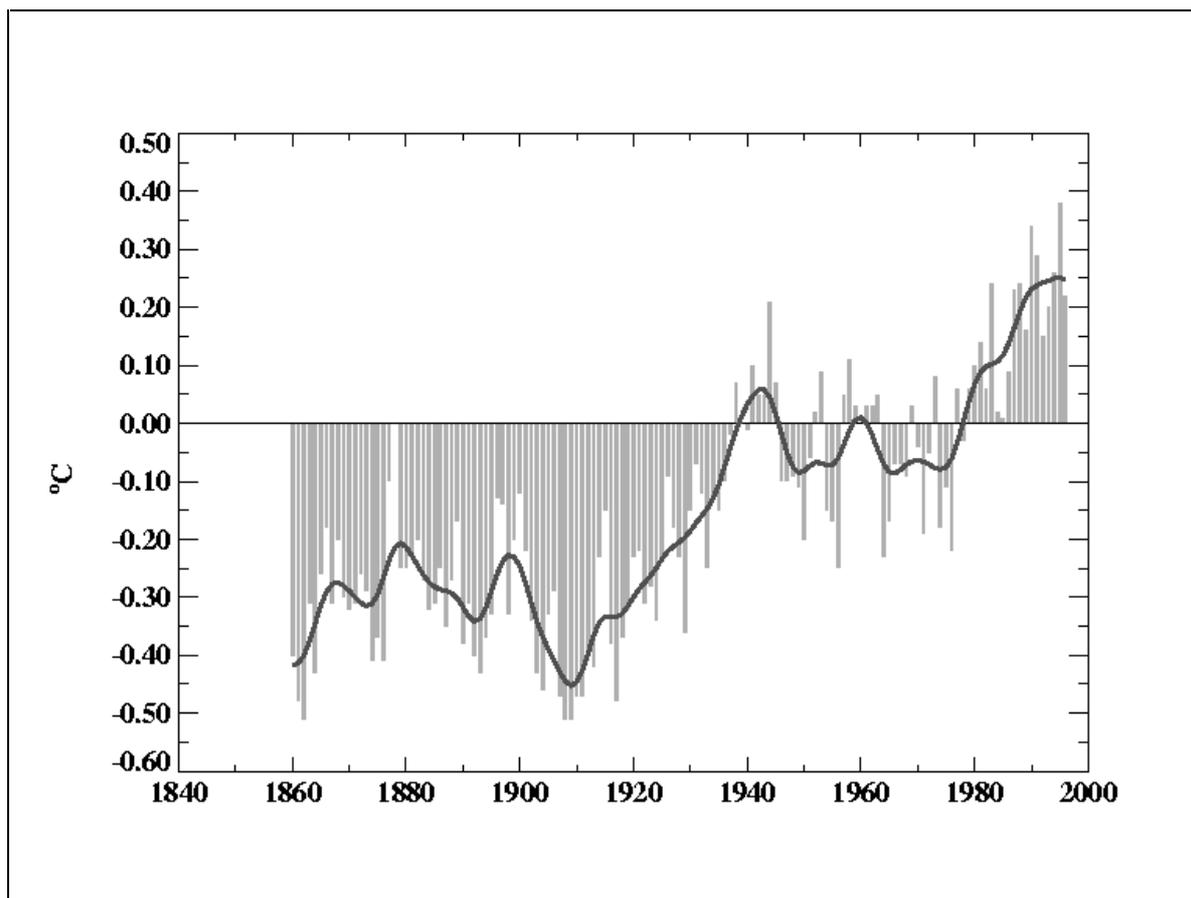


Figure 6. Tendence et variation de la température de l'air au niveau de la surface du globe de 1860 à 1996 (en °C par rapport à la moyenne 1961-90) (O.M.M. ; Hadley Centre for Climate Prediction Research ; Jones, 1994 ; Parker *et al.*, 1995).

En plus, une augmentation de 0,5 °C de la température nous permet de visualiser une nouvelle frontière dans la géographie viticole, avec une augmentation d'un degré de latitude nord et sud, soit une frange d'à peu près 100 km par rapport aux limites actuelles sur chaque hémisphère ou 100 m d'altitude.

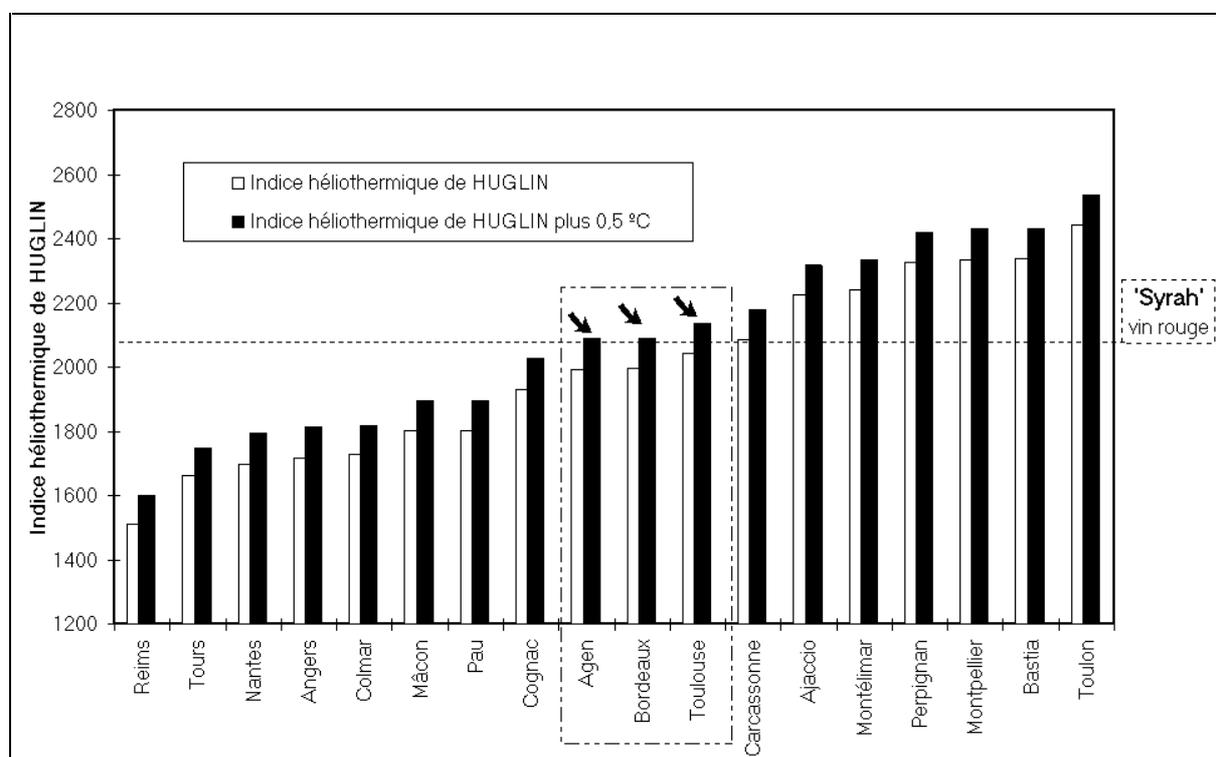


Figure 7. Indice héliothermique de Huglin de plusieurs régions viticoles françaises calculé sur la moyenne interannuelle 1986-1995, et simulation du même indice avec une température 0,5 °C supérieure à la moyenne (Carbonneau et Tonietto, 1998).

2.8. Sources de variabilité viticole entraînant des répercussions climatiques

2.8.1. Changement technologique au niveau du microclimat de la vigne

Ci-dessous on fait référence à quelques exemples de possibilités liées aux pratiques culturales et à leurs effets au niveau du microclimat de la vigne.

Les effets des pratiques culturales sur la qualité de la vendange dans les régions tempérées et dans les régions chaudes sont analysés par Huglin (1977) et Safran (1977), respectivement. Les modifications de technique de culture sont susceptible de modifier le microclimat de la vigne.

Carbonneau (1980) par exemple analyse le microclimat de la vigne sous l'angle des différents systèmes de conduite. On observe que le changement technologique est une façon de modifier le microclimat de la vigne.

Il est possible de réfléchir en terme de changement technologique au niveau du microclimat de la vigne, sur la base du changement du système de conduite et de l'entretien du sol. Une simulation sur un vignoble situé à Bordeaux - vigne traditionnelle et sol nu, par rapport à un changement technologique de type vigne avec un palissage haut ou une vigne en lyre enherbée à 50%, va augmenter l'interception du rayonnement, la température du feuillage et jouer sur le bilan hydrique. On s'aperçoit que le vignoble de cette région augmente la valeur de l'Indice héliothermique de HUGLIN (en estimant une augmentation de 0,5°C au niveau du feuillage pendant l'été) et réduit la valeur de l'Indice de bilan hydrique. Dans cet exemple, le vignoble ayant connu un changement technologique acquiert un nouveau profil et se déplace au niveau des régions viticoles mondiales par rapport à la situation classique, comme on peut l'observer sur la simulation de la Figure 8.

D'autre part, tout changement technologique qui accélère ou qui retarde les phases phénologiques du cycle végétatif de la vigne a également des implications sur le climat auquel le vignoble va être soumis. Cet effet se fait sentir surtout quand on change la période de véraison-récolte. Dans ce cas, la période de maturation pourra se passer soit dans des conditions plus chaudes ou plus froides, soit plus ou moins humides, avec des effets sur la qualité et la typicité des produits viticoles.

Un autre aspect très important est lié au changement de la disponibilité hydrique du sol par l'intermédiaire de la pratique d'irrigation dans le vignoble. Il existe des climats dans certaines régions viticoles où le niveau de sécheresse est tel que l'irrigation devient obligatoire. Les climats concernés sont les climats hyperarides, arides, semi-arides et quelques régions de climat de type méditerranéen où le niveau de sécheresse estival peut être très prononcé. Dans d'autres vignobles, l'irrigation est utilisée pour d'autres raisons, comme pour l'obtention de rendements plus importants. La pratique de l'irrigation, en augmentant la disponibilité hydrique au niveau du sol, modifie donc le bilan hydrique et le microclimat de la vigne. Carbonneau (1998a) analyse en détail le sujet de l'irrigation des vignobles et son influence sur les produits de la vigne.

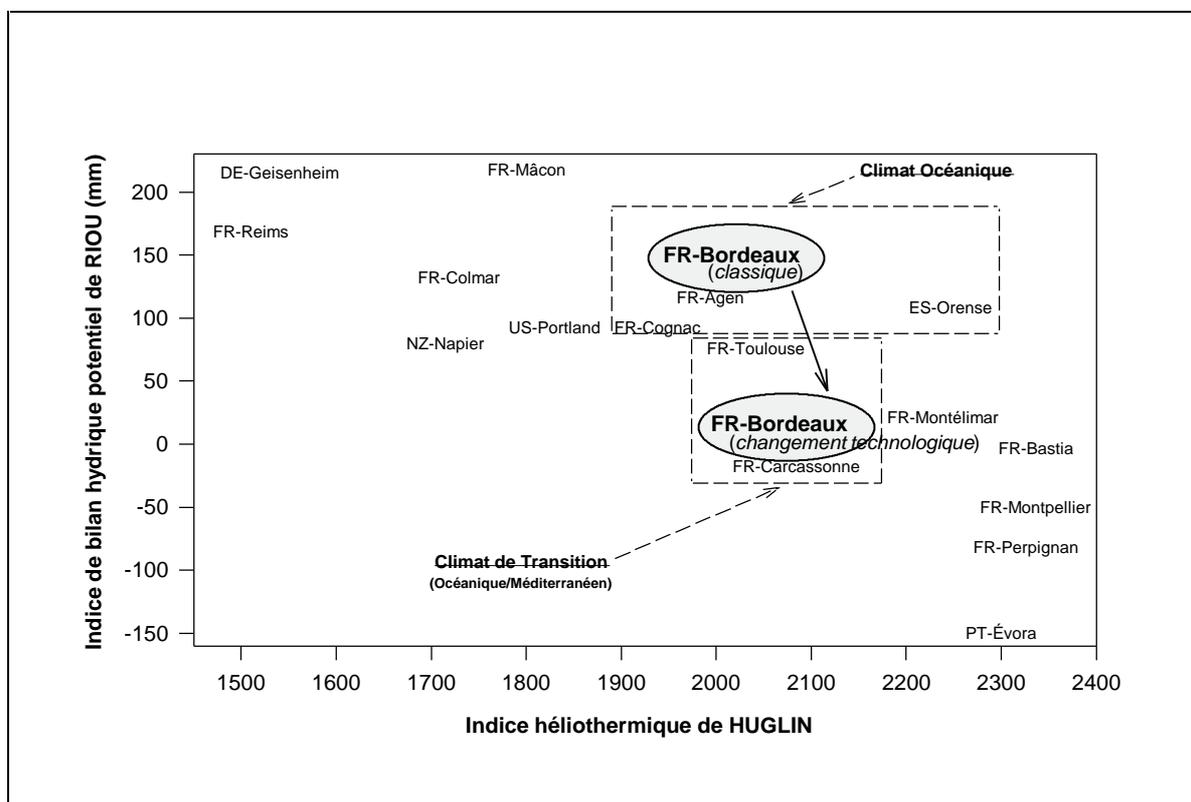


Figure 8. Simulation d'un *changement technologique* sur un vignoble *classique* à Bordeaux : le vignoble change son positionnement au plan mondial et se rapproche des conditions trouvées dans des régions plus chaudes et de bilan hydrique moins élevé (Carbonneau et Tonietto, 1998).

2.9. Concept de géoviticulture : l'analyse climatique à l'échelle mondiale

D'après Carbonneau et Tonietto (1998), la **Géoviticulture** est le traitement de l'information viticole à l'échelle mondiale. La géoviticulture permet d'évaluer et de suivre entre autres : l'espace viticole comme tel, **le climat viticole mondial et son évolution dans le temps**, l'impact des changements technologiques sur les zones viticoles et les produits viticoles. Cette nouvelle approche devient nécessaire dans le contexte de la mondialisation des relations scientifiques et économiques. La géoviticulture devra donc être capable d'analyser et de replacer l'information viticole au niveau mondial. À partir d'une base des données climatiques des régions viticoles dans le monde, les auteurs montrent comment la géoviticulture rend possible, par exemple, l'analyse prospective de l'impact des changements technologiques potentiels comme le développement de cépages résistants aux maladies.

Dans la recherche qui est présentée par la suite, l'analyse climatique puise son efficacité au niveau géoviticole. La gestion de bases de données volumineuses devient indispensable.

3. MATERIELS ET METHODES

La recherche a envisagé la réalisation d'une analyse climatique au niveau mondial, par l'étude d'un grand nombre de régions viticoles. Ces régions ont été choisies pour élargir la diversité des types de climats représentés ainsi que leur répartition géographique.

La recherche considère les régions où la vigne est cultivée à l'échelle commerciale pour la production de raisin de cuve. Les régions où la vigne n'est pas cultivée ne font donc pas l'objet de cette étude, même si certaines présentent des potentialités viticoles.

Les indices climatiques présentés ci-après résultent à la fois d'une étude préliminaire non rapportée ici qui a permis de tester leur pertinence sur une base de données élémentaires.

3.1. Indices climatiques utilisés pour la caractérisation du climat des régions viticoles

Trois indices climatiques ont été retenus pour cette étude. Ils sont du type hydrique, héliothermique et nycthermique (Tableau 4).

Tableau 4. Indices climatiques viticoles retenus pour l'étude des régions viticoles au niveau du macroclimat mondial.

Indice		
Type	Nom	Sigle
Hydrique	Indice de Sécheresse	<i>IS</i>
Héliothermique	Indice Héliothermique	<i>IH</i>
Nycthermique	Indice de Fraîcheur des Nuits	<i>IF</i>

Ces indices sont établis pendant différentes périodes du cycle végétatif de la vigne. Ils sont importants pour caractériser les potentialités climatiques d'une région et fortement liés au potentiel qualitatif et aux caractéristiques du raisin et des produits viticoles. Comme on le verra par la suite, ces 3 indices apportent des informations complémentaires les uns des autres.

3.1.1. L'indice de sécheresse - *IS*

Jusqu'à aujourd'hui, le bilan hydrique n'a jamais été intégré dans l'étude du climat des régions viticoles au niveau mondial.

L'Indice de Sécheresse - *IS* est mesuré sur la base de l'Indice de Bilan Hydrique Potentiel de Riou (Riou *et al.*, 1994), dans des conditions précises de calcul. Il permet de caractériser la composante hydrique du climat dans une région viticole. Il indique la présence ou l'absence de sécheresse d'une région. Il permet donc d'avoir une idée de la disponibilité en eau dans le sol qui pourra être comprise graduellement entre les niveaux excédentaires et déficitaires, jusqu'aux régions où l'irrigation devient obligatoire.

Formule de Calcul - L'Indice de bilan hydrique potentiel de Riou, ici adapté selon les critères décrits ci-dessous, est appelé Indice de Sécheresse (*IS*) est calculé par la formule :

$$W = W_0 + P - TV - ES$$

avec,

W = Estimation de la réserve hydrique du sol au terme d'une période donnée

W_0 = Réserve hydrique initiale utile du sol, exploitable par les racines

P = Pluie

TV = Transpiration potentielle du vignoble

ES = Evaporation directe à partir du sol

L'Indice de Sécheresse - *IS* est calculé sur une période de 6 mois. La valeur de W au moment initial et au moment final et la date initiale et finale selon l'hémisphère est reportée dans le Tableau 5.

Tableau 5. Période pour le calcul de l'*IS* et valeur de *W*.

	Date dans l'hémisphère		Valeur du <i>W</i>
	Nord	Sud	
Moment initial	1 ^{er} avril	1 ^{er} octobre	<i>W</i> = réserve <i>W</i> ₀
Moment final	30 septembre	31 mars	<i>W</i> = <i>IS</i>

Dans la formule précédente, *TV* et *ES* se calculent par :

$$\mathbf{TV = ETP \cdot k}$$

ETP = Evapotranspiration Potentielle, par la méthode de Penman

k = Coefficient d'absorption du rayonnement

$$\mathbf{ES = ETP \cdot (1-k) \cdot JP_m}$$

JP_m = Nombre de jours par mois où l'évaporation à partir du sol est effective

(*JP_m* = Pluie du mois en mm/5 ; *JP_m* doit être ≤ au nombre de jours du mois)

Valeurs de *k* adoptées :

- Dans l'hémisphère nord, *k* = 0,1 pour le mois d'avril, 0,3 pour le mois de mai et 0,5 pour les mois de juin à septembre.
- Dans l'hémisphère sud, *k* = 0,1 pour le mois d'octobre, 0,3 pour le mois de novembre et 0,5 pour les mois de décembre à mars.

***W* peut être négatif (*W* non plafonné), mais ne peut pas dépasser *W*₀.**

On appelle *IS* la valeur obtenue en suivant les règles ci-dessus et en adoptant *W*₀ = 200 mm.

La valeur retenue de 200 mm pour le *W*₀, qui est une moyenne admise sur l'ensemble des sols viticoles, est la même utilisée au niveau du Zonage de la CEE (Riou, *et al.*, 1994). Il est vrai qu'au niveau des régions viticoles la réserve utile en eau du sol peut être différente, même sur une moyenne de parcelles. Ceci paraît important pour des régions possédant une nappe de sol ou de site très dominant comme des sols profonds ou des coteaux. Dans ces cas notamment, les interprétations des résultats de *IS* pour une région donnée sont plus proches de la réalité si l'on prend en considération les informations disponibles concernant la réserve réelle en eau utilisable pour la vigne.

D'autres informations sur cet indice ont été présentées dans le cadre du *Zonage dans l'Union Européenne : l'introduction d'un Indice de bilan hydrique potentiel pour la Vigne* (voir paragraphe 2.4.2.4.).

Les données d'évapotranspiration potentielle par la méthode Penman

Pour le calcul de l'IS, on a utilisé les données d'ETP mensuelles fournies par les différents pays. Pour certaines régions, nous ne disposons pas de la valeur de l'ETP. Celle-ci a donc été calculée à partir des données climatiques de base fournies par les pays correspondants.

3.1.2. L'indice héliothermique- *IH*

L'importance des indices thermiques et héliothermiques pour la caractérisation du climat d'une région est évidente et a fait l'objet d'une analyse dans la partie revue bibliographique de ce chapitre.

Plusieurs raisons ont joué sur le choix de l'Indice Héliothermique de Huglin dans notre étude. Cet indice fait intervenir à la fois la température diurne et la longueur du jour, variables importantes dans les latitudes plus élevées. Il informe sur le niveau de potentialité thermique et est calculé sur une période biologiquement acceptable. Il permet également d'avoir une idée du potentiel en sucres selon les cépages et apporte donc une information qualitative.

Formule de Calcul - L'Indice héliothermique de Huglin - *IH* (Huglin, 1978) est calculé par la formule :

- Dans l'hémisphère nord

$$IH = \sum_{01.04}^{30.09} \frac{[(T - 10) + (Tx - 10)]}{2} \cdot k$$

dans la formule, T = température moyenne de l'air (°C),
 Tx = température maximale de l'air (°C),
 k = coefficient *longueur du jour*, variant de 1,02 à 1,06 entre 40 et 50 degrés de latitude :
 40° 1' à 42° 0' = 1,02 ;
 42° 1' à 44° 0' = 1,03 ;
 44° 1' à 46° 0' = 1,04 ;
 46° 1' à 48° 0' = 1,05 ; et,
 48° 1' à 50° 0' = 1,06.

- Dans l'hémisphère sud

L'indice est également calculé sur la période de 6 mois allant du 1^{er} octobre au 30 mars.

N.B. - L'indice a été calculé à partir de moyennes climatiques mensuelles.

3.1.3. L'indice de fraîcheur des nuits - *IF*

L'Indice de Fraîcheur des Nuits - *IF* est une variable du type thermique, nycthermique dans ce cas. Le but est d'améliorer l'évaluation des potentialités **qualitatives** des régions viticoles. L'importance de ce facteur climatique sur la coloration et les arômes du raisin et des vins a déjà été souligné dans la partie revue bibliographique de ce chapitre.

Formule de Calcul - La détermination de l'Indice de Fraîcheur des Nuits - *IF* se fait ainsi :

Dans l'hémisphère nord

IF = Température minimale de l'air du mois de septembre
(moyenne des minimales), en °C ;

Dans l'hémisphère sud

IF = Température minimale de l'air du mois de mars
(moyenne des minimales), en °C.

3.2. Constitution d'une base de données climatiques des régions viticoles au niveau mondial

L'une des contraintes pour la réalisation d'une étude de cette nature était d'avoir une base de données climatiques assez large et représentative des régions viticoles du vignoble mondial.

Pour cela, on a travaillé avec le support de l'Organisation Météorologique Mondiale - **O.M.M.** Le Département du Programme Climat Mondial de la Division de Météorologie Agricole de l'O.M.M. nous a particulièrement aidé dans nos contacts officiels avec les différents pays concernés.

La stratégie choisie avec l'O.M.M. a été de demander les données climatiques directement aux différents pays viticoles, par l'intermédiaire des membres de la Commission de Météorologie Agricole - CMAg/O.M.M de chaque pays. Nous avons donc envoyé un formulaire de demande des données climatiques aux membres de la CMAg. Au total plus de 40 pays viticoles ont été contactés, y compris les plus extrêmes au plan climatique.

Pour une quinzaine de pays pour lesquels les membres de la CMAg de l'O.M.M. n'ont pas répondu à notre demande, nous avons contacté directement d'autres institutions, surtout de recherche viticole, ou les services météorologiques des pays concernés.

Les pays, institutions et personnes qui ont contribué à cette étape sont répertoriés dans les remerciements de ce travail.

Pour chaque pays contacté, nous avons fourni, à titre indicatif, le nom des régions viticoles que nous avons sélectionnées *a priori*. Nous avons laissé à chaque pays, en dernière analyse, le choix des régions viticoles, soit pour un meilleur choix des régions par rapport à la liste fournie à titre indicatif, soit en fonction de la disponibilité des données climatiques demandées.

Dans ce travail nous allons appeler "climat d'une région viticole", le mésoclimat de cette région. Ce mésoclimat est représenté par les moyennes des données climatiques du poste météorologique correspondant et par les indices climatiques calculés à partir de ces données. Il est évident qu'une région viticole peut avoir, au sein de son macroclimat, un ensemble de mésoclimats qui ne sont pas représentés dans notre étude. De plus, nous ne nous intéressons pas à la variabilité interannuelle du climat d'une région viticole, qui peut être assez grande autour de la moyenne climatique interannuelle.

Les données climatiques demandées sont présentées dans le Tableau 6. Nous avons demandé les moyennes interannuelles décennales ou mensuelles d'un poste météorologique normalisé, représentatif du climat de la région viticole correspondante. Aussi souvent que possible, nous avons essayé d'obtenir les données des *normales* climatiques, c'est à dire des données des variables climatiques calculées sur une période de référence de 30 ans. La période 1961-1990 est actuellement utilisée.

Chaque poste météorologique d'une région viticole a été caractérisé par son nom, sa latitude, sa longitude et son altitude.

Comme résultat de cette démarche, nous avons rassemblé des données climatiques pour 216 régions viticoles représentant 39 pays. La base de données climatiques comprend pour toutes les régions viticoles, les moyennes mensuelles interannuelles des variables de température et de pluviométrie. Nous avons également pu obtenir la totalité des variables climatiques demandées pour 100 régions.

Tableau 6. Variables climatiques demandées au différents pays, symboles et unités de mesure utilisés pour exprimer les résultats.

Variable climatique	Symbole	Unité de mesure
Température minimale de l'air	Tn	°C
Température maximale de l'air	Tx	°C
Température moyenne de l'air	T	°C
Pluviométrie	P	mm
Humidité relative moyenne de l'air	HR	%
Vitesse moyenne du vent	V	m/s
Rayonnement solaire global	Rg	J/cm ²
Durée d'insolation	I	heures
Evapotranspiration potentielle de Penman	ETP	mm

3.2.1. Pays et régions viticoles retenus pour l'étude à l'échelle géoviticole

Pour l'étude climatique nous n'avons retenu que les régions pour lesquelles il a été possible de calculer les 3 indices climatiques sélectionnés pour la caractérisation du climat des régions, soit *IIS*, *I_H* et *I_F*.

Autant que possible, nous avons travaillé avec les normales climatiques des régions (série 1961-90). Comme les normales ne sont disponibles que pour au tour de la moitié des régions, nous avons travaillé en prenant également les régions d'intérêt majeur avec des moyennes climatiques calculées sur une période inférieure à 30 ans (période minimale de 8 ans).

Travailler sur des moyennes interannuelles normales pour l'ensemble des régions nous donnerait des résultats plus précis pour le calcul des indices climatiques viticoles. Ce n'est cependant pas possible dans notre cas du fait de l'indisponibilité des données pour une grande partie des régions. En fait notre recherche s'intéresse moins aux régions elles mêmes, mais surtout à évaluer la grande diversité climatique du vignoble mondial et les macroclimats du point de vue des regroupements climatiques des régions. Ainsi, une grande précision sur la moyenne climatique d'une région en particulier est moins importante.

Certaines régions viticoles ne figurent pas dans cette étude, soit parce que les données climatiques n'existent pas, soit parce qu'elles sont incomplètes (trop de variables manquantes ou moyennes interannuelles calculées sur un nombre insuffisant d'années), soit parce que nous n'avons pas pu les récupérer.

Pour avoir une vision de l'ensemble du vignoble mondial, quelques régions situées à l'extrême limite polaire de culture de la vigne ont aussi été retenues, même si elles sont peu représentatives au niveau de leur production.

Le Tableau 21 (Annexe 1) répertorie les **30 pays et les 100 régions retenues pour l'étude**. L'échantillon est assez représentatif de la viticulture mondiale soit au niveau de sa géographie, soit au niveau des types de climats représentés : océanique, océanique chaud, tempéré de transition, continental, continental froid, méditerranéen, subtropical, subtropical continental, tropical atténué, climats arides et hyperarides et marges des climats arides (semi-aride). Le même tableau indique également la latitude, la longitude et l'altitude des postes météorologiques des différentes régions et la période sur laquelle les moyennes interannuelles sont disponibles. Les informations des coordonnées géographiques sont présentées en degrés et minutes. La longitude fait référence au méridien international de Greenwich et l'altitude à l'élévation des postes météorologiques, en mètres, par rapport au niveau de la mer.

Les Sigles d'Identification des Régions Viticoles : Chaque région viticole est identifiée par un sigle à 4 lettres.

Les 2 premières, en majuscule, correspondent au code international A₂ des pays de la norme *ISO 3166* et rapportent donc au nom du pays. Ainsi, par exemple, la France est représentée par les lettres *FR*.

Pour identifier la région viticole nous avons utilisé les 2 premières lettres, en minuscule, du nom de la ville ou de la région où se trouve le poste météorologique. Dans le cas général, Bordeaux, par exemple, est représenté par les lettres *bo*. Si 2 régions d'un même pays présentaient les 2 mêmes lettres, nous avons utilisé l'initiale de la région et une deuxième lettre choisie dans le nom de façon à différencier les régions les unes des autres.

De cette façon *FRbo* correspond au poste météorologique du pays France, de la région viticole de Bordeaux.

Dans la "Liste des Sigles et des Abréviations" de ce travail sont présentées les sigles, les noms des régions viticoles et leur pays respectif pour l'ensemble des régions étudiées.

3.3. Regroupements et classification climatique des régions viticoles

L'étude des différents climats des régions viticoles au niveau mondial, par l'intermédiaire des indices climatiques viticoles, a offert la possibilité de travailler le problème de la classification et du regroupement climatique des régions.

3.3.1. Regroupement des régions viticoles par des indices climatiques

L'analyse des données des indices climatiques des régions viticoles (*IS*, *IH* et *IF*) a été à la base de la proposition d'un ensemble de classes pour chaque indice climatique. Ces classes permettent de regrouper les régions viticoles au niveau mondial ce qui est proposé dans l'analyse des résultats.

3.3.2. Système de classification climatique des régions à l'échelle géoviticole

L'analyse des données des indices climatiques des régions viticoles (*IS*, *IH*, et *IF*) et des classes qui regroupent les régions a permis la proposition d'un nouveau système multicritères de classification climatique des régions viticoles, présenté dans la partie résultats.

3.4. Autres traitements des données

Les données des 3 indices climatiques (analyse multicritères) ont été aussi traitées par Analyse Multivariées - Analyse en Composantes Principales (A.C.P.). Le programme utilisé pour l'analyse est "Statistica pour Windows Version 5.1 Edition 97", de StatSoft France.

4. RESULTATSET DISCUSSION

4.1. Diversité climatique de l'ensemble des régions viticoles étudiées

Une grande partie des 100 régions viticoles étudiées sont localisées dans l'hémisphère nord, entre 04° et 51° de latitude. Dans l'hémisphère sud les régions se situent entre 06° et 39° de latitude (Tableau 21). Les 5 continents du globe sont représentés.

La diversité climatique de l'ensemble des régions viticoles est illustrée par la Figure 9. Les régions viticoles sont placées par rapport aux valeurs de la "Somme des températures en base 10° (ΣT_{10}) - Total annuel" (ΣT_{10} = somme de la température moyenne de l'air journalière supérieure à 10°C du 1^{er} janvier au 31 décembre) et de "l'Amplitude thermique annuelle - Aan" (Aan = température moyenne de l'air du mois le plus chaud moins la température moyenne de l'air du mois le plus froid de l'année).

On observe que la plupart des régions ont une valeur de ΣT_{10} entre 900 et 3000 et une amplitude thermique Aan entre 10°C et 20°C. Ces intervalles climatiques correspondent aux zones viticoles où se concentre la plus grande partie du vignoble mondial. La plupart des régions viticoles des pays européens comme la France, l'Italie, l'Espagne, le Portugal et l'Allemagne sont placées dans cette frange thermique. Plusieurs types de climats sont présentés, soit en Europe soit ailleurs (méditerranéen, océanique, océanique chaud et quelques climats arides). Les régions d'amplitude thermique Aan supérieure à 20°C correspondent aux régions viticoles de climat de type tempéré de transition, continental, subtropical continental ou à quelques climats arides. À partir des valeurs de ΣT_{10} supérieures à 4000, on trouve déjà les régions viticoles de la zone intertropicale où l'amplitude thermique Aan est faible.

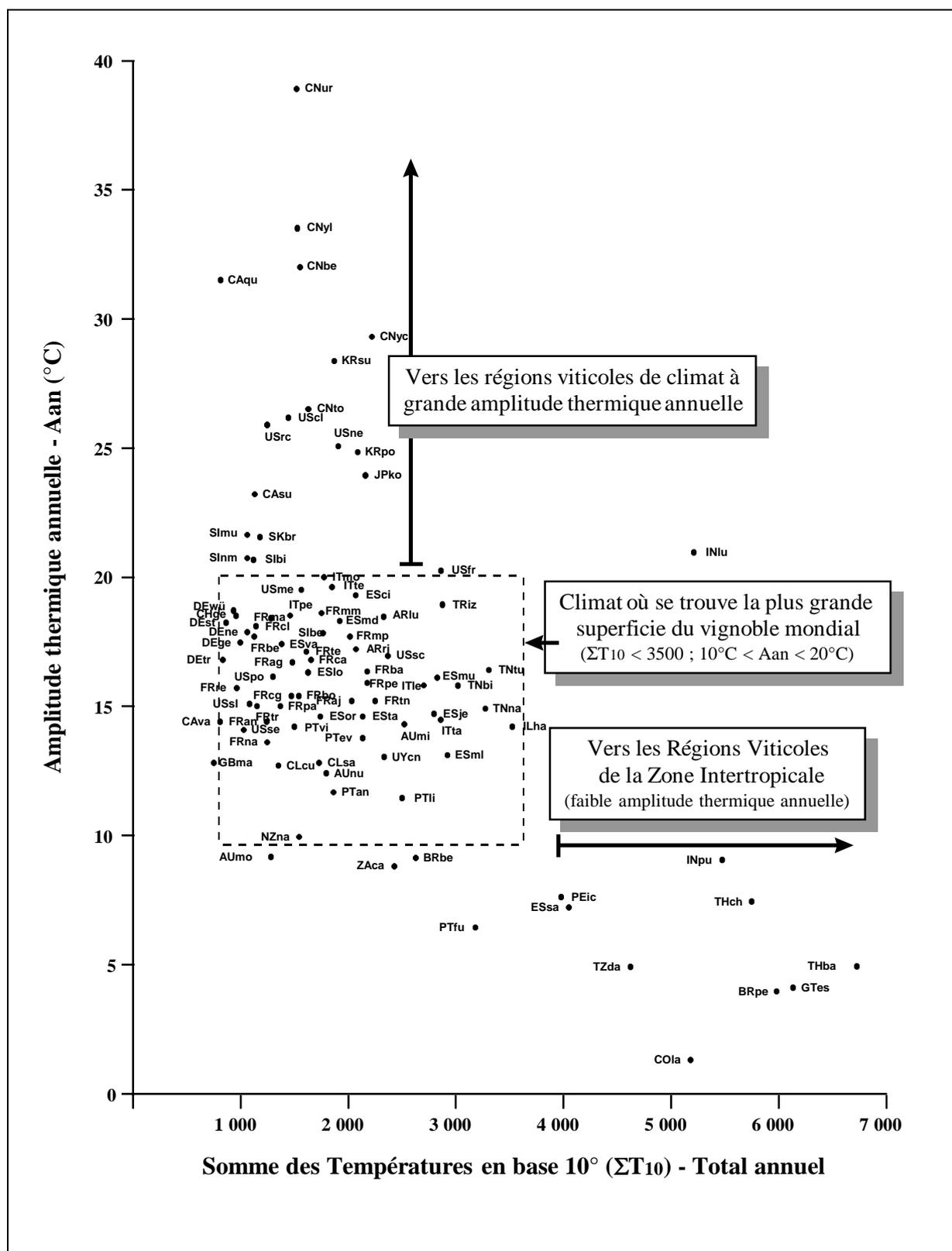


Figure 9. Positionnement des régions viticoles par rapport à la Somme des températures en base 10° (ΣT10) et à l'Amplitude thermique annuelle (Aan).

L'échantillon des régions viticoles de l'étude est assez représentatif des différents types de climats et de la diversité climatique trouvée dans la viticulture mondiale.

4.2. Les indices climatiques des régions viticoles

Le Tableau 7 présente la valeur des quartiles et l'écart-type pour les 3 indices climatiques calculés sur l'ensemble des 100 régions de l'étude : Indice de Sécheresse (*IS*), Indice Héliothermique (*IH*) et l'Indice de Fraîcheur des Nuits (*IF*).

Tableau 7. Quartiles et écart-type de l'ensemble des régions viticoles pour les 3 indices climatiques étudiés - *IS*, *IH* et *IF*.

Quartile	<i>IS</i> (mm)	<i>IH</i>	<i>IF</i> (°C)
Quartile 0	-369	1202	7,1
Quartile 1	-109	1797	10,9
Quartile 2	48	2212	13,2
Quartile 3	150	2528	16,7
Quartile 4	200	4305	24,8
<i>Écart-Type</i>	<i>148</i>	<i>602</i>	<i>4,0</i>

La médiane, ici représentée par le Quartile 2, montre une valeur de 48 mm pour l'*IS*, 2212 pour l'*IH* et 13,2 °C pour l'*IF*. Entre les valeurs des Quartiles 1 et 3 se trouvent 50 % des régions viticoles de l'étude. Les Quartiles 0 et 4 représentent les valeurs minimales et maximales, respectivement, pour les indices climatiques viticoles.

Ce qui devient évident c'est la grande variabilité climatique montrée par ces indices, soit par l'*IH* déjà bien connu pour son usage comme indice climatique dans la viticulture mondiale, mais aussi pour l'*IS* et pour l'*IF*, qui seront analysés par la suite.

4.2.1. L'indice de sécheresse et l'indice héliothermique

La Figure 10 permet de visualiser les indices *IS* et *IH* pour chaque région viticole. Les données des 2 indices sont inversement corrélées ($r = -0,37$), mais ne sont pas redondantes.

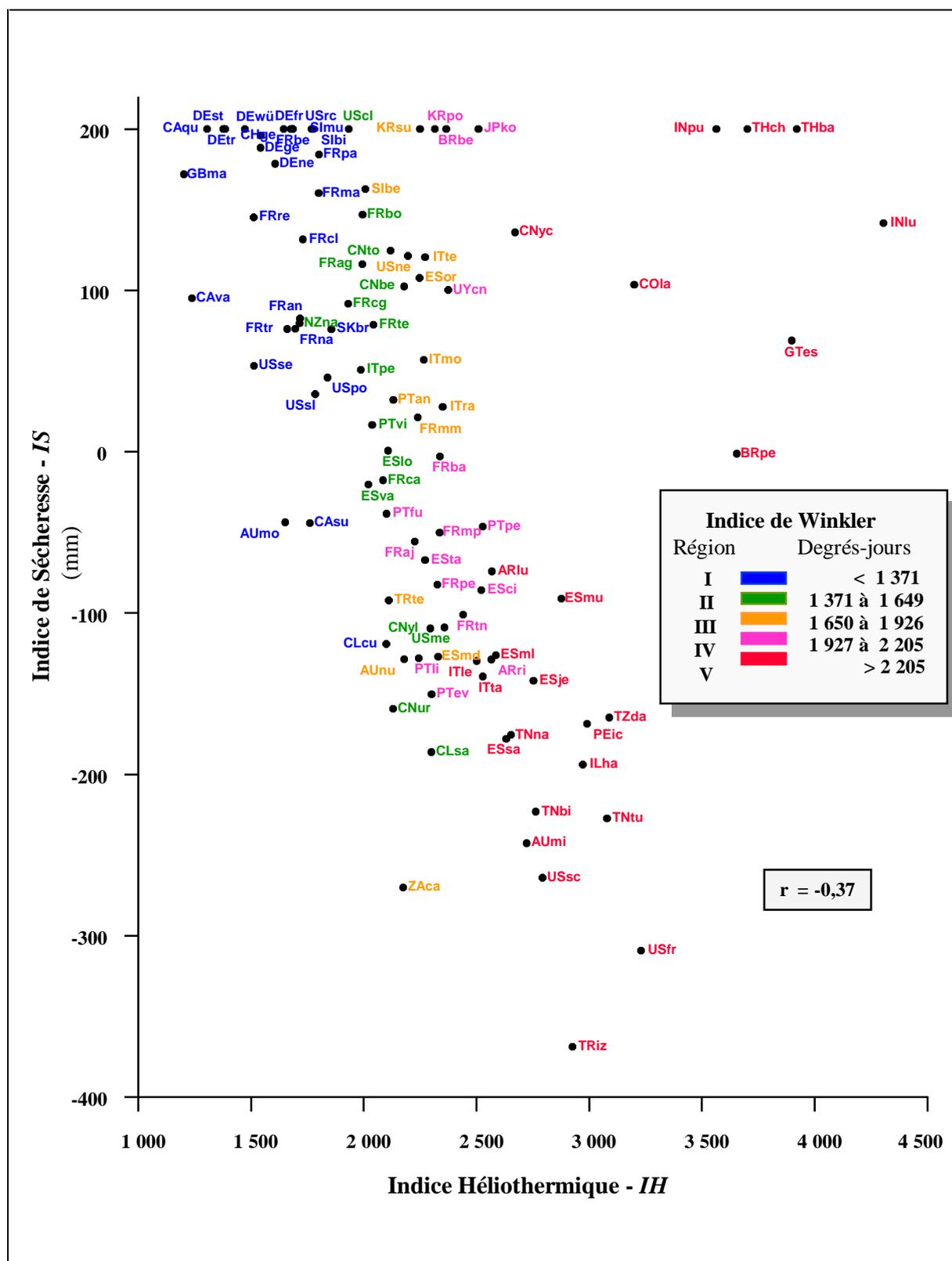


Figure 10. Positionnement des régions viticoles par rapport à l'Indice de Sécheresse - *IS* et l'Indice Héliothermique - *IH* ; les différentes couleurs indiquent le classement de la région selon l'Indice de Winkler.

On observe d'abord une grande variabilité de la valeur d'*IH*, dont les valeurs extrêmes sont situées soit dans des conditions de la limite septentrional de la vigne (comme au Canada - région *Cava* au en Angleterre - région *GBma*), soit dans des régions tropicales comme en Inde, en Thaïlande, au Guatemala ou dans le nord-est du Brésil.

D'autre part, ce qui devient très évident c'est l'énorme **diversité des conditions hydriques trouvée dans l'ensemble des régions**, représentée ici par l'*IS*. Cette approche, montrée par l'Indice du bilan hydrique *IS*, clarifie l'importance à considérer la composante hydrique comme élément fondamental de la variabilité pour la caractérisation du climat d'un milieu viticole.

Il est possible d'analyser l'importance de l'*IS* si on compare par exemple 2 régions viticoles présentant des valeurs d'*IH* similaires mais des *IS* très différents. C'est le cas de Bento Gonçalves, située dans l'extrême Sud du Brésil (*BRbe*) et de Montpellier, située dans le Sud de la France (*FRmp*). Par l'*IH*, les 2 régions ne se différencient pas. En réalité *BRbe* est en région de transition du climat de type océanique chaud-subtropical à été humide, d'où son bilan hydrique moyen de 200 mm. Par contre, *FRmp* se trouve en climat de type méditerranéen, région à sécheresse estivale, avec une valeur d'*IS* de -50 mm. La Figure 10 présente tout un ensemble d'exemples qui permettent de mettre en évidence la variabilité climatique du point de vue hydrique.

Le même raisonnement est aussi valable pour d'autres indices thermiques utilisés en viticulture, comme l'Indice de Winkler par exemple (l'Indice de Winkler est calculé sur la période de 7 mois, avril-octobre dans l'hémisphère nord, par la somme des températures moyennes de l'air journalières supérieures à 10°C ; dans l'hémisphère sud la période couvre les mois d'octobre à avril). Cet indice classe les régions viticoles dans 5 régions climatiques différentes. La Figure 10 montre le classement de l'Indice de Winkler appliqué aux régions viticoles de notre étude. Il devient alors évident que l'Indice de Winkler ne peut lui non plus, à l'exemple de l'*IH*, faire la distinction de la composante hydrique des régions viticoles. L'exemple des régions *BRbe* et *FRmp* est également valable dans ce cas.

4.2.2. L'indice héliothermique et l'indice de fraîcheur des nuits

Si on regarde maintenant l'Indice Héliothermique - IH par rapport à la valeur de l'Indice de Fraîcheur des Nuits - IF (Figure 11), on observe une nette tendance d'augmentation des valeurs d' IF avec l'augmentation de l' IH ($r = 0,82$). Il existe néanmoins une très grande distinction en fonction des valeurs d' IH et d' IF selon les régions :

- En Argentine, la région de Lujan de Cuyo ($ARlu$) a un IH de 2568, très proche donc de celui de la région de Rio Negro ($ARri - IH = 2566$), également en Argentine. Par contre, l' IF est de 13,2°C à $ARlu$ contre 8,9°C à $ARri$. Ce sont 2 climats arides qui présentent des conditions thermiques de maturation très différentes. À $ARri$ les températures nocturnes sont très basses, condition dont l'effet sur la coloration des raisins est très prononcé. L' IF permet alors de faire la distinction entre les climats thermiques de ces 2 régions.
- Un autre exemple très contrasté est celui de la région de l'île de Funchal - Portugal ($PTfu$) et de la région de Valladolid, en Espagne ($ESva$). Avec des IH similaires, les valeurs d' IF sont très contrastées, 19,0°C pour $PTfu$ contre 10,9 °C pour $ESva$. Cet exemple montre une condition de maturation à des températures nocturnes très fraîches à $ESva$ et, au contraire très chaudes à $PTfu$.
- D'autres exemples sont observables quand on compare les régions à IF similaires mais avec des valeurs d' IH éloignées. La région $CLsa$ à Santiago du Chili possède le même IF que $FRtr$ (Tours en France), autour de 10,7°C, mais un IH nettement différent - de 2300 à 1661 respectivement.

Les résultats montrent que le potentiel héliothermique (IH) n'est pas capable d'exprimer toute la variabilité thermique d'un milieu. Il existe une variabilité climatique importante au niveau des conditions nycthermiques qui jouent sur la période de maturation du raisin, avec des implications qualitatives. C'est là que réside l'importance d'intégrer les 2 indices - IH et IF pour la caractérisation thermique des régions.

4.3. La définition d'un système de classification climatique des régions viticoles au niveau du vignoble mondial par des indices climatiques : *la classification climatique multicritères*

L'adoption de la notion de classe de climat pour arriver à une classification des régions viticoles est déjà classique en viticulture. C'est le cas par exemple des régions I à V du système déterminé par l'Indice de Winkler.

Cette notion est liée au fait que chaque classe peut effectivement représenter des conditions climatiques différentes par rapport aux autres classes. Les différences climatiques interclasses peuvent effectivement représenter des répercussions au niveau de la réponse de la vigne ou de ses produits au facteur climatique du milieu défini par l'indice considéré. Elles permettent de ce fait de regrouper les climats des régions viticoles plus homogènes.

Dans cette étude nous allons introduire un classement climatique multicritères, c'est à dire, en utilisant les 3 indices : *IS*, *IH* et *IF*.

Pour réaliser un classement qui puisse être utilisé au niveau mondial, on cherche à établir un nombre de classes le moins grand possible pour chaque indice climatique viticole, ceci de façon à faire ressortir les différences les plus importantes entre les climats des régions viticoles.

Les classes proposées pour les différents indices climatiques viticoles, sur la base de l'expérience en viticulture mondiale, sont exposées ci-dessous.

4.3.1. Les classes de l'indice de sécheresse - *IS*

Sur le Tableau 8 sont présentées les 5 classes proposées pour l'Indice de Sécheresse - *IS* des régions viticoles.

Deux grandes classes apparaissent en premier lieu : la classe à **absence de sécheresse** et la classe à **présence de sécheresse**. Ces 2 classes sont subdivisées en sous classes dont les caractéristiques théoriques sont données ci-dessous :

Tableau 8. Les 5 classes de l'Indice de Sécheresse - *IS* des régions viticoles.

Indice de Sécheresse - <i>IS</i>			
Sécheresse	Classe de climat	Sigle	Intervalle de classe (mm)
Absence	<i>Humide</i>	<i>IS</i> ₀₀	> 150
	<i>Sub-humide</i>	<i>IS</i> ₀	≤ 150 > 50
Présence	À sécheresse modérée	<i>IS</i> ₁	≤ 50 > -100
	À sécheresse forte	<i>IS</i> ₂	≤ -100 > -200
	À sécheresse très forte	<i>IS</i> ₃	≤ -200

Climats à absence de sécheresse

*IS*₀₀ On considère qu'avec un *IS* supérieur à 150 mm - classe de climat *humide*, nous sommes dans la classe de climat à absence de sécheresse, avec un niveau de **disponibilité hydrique élevée, à tendance excessive** vis-à-vis de la qualité.

*IS*₀ Avec un *IS* compris entre 50 mm jusqu'à 150 mm la **condition est typique d'absence de sécheresse** (classe de climat *sub-humide*); la valeur de 50 mm serait une valeur seuil révélant l'apparition d'une contrainte hydrique de situations à sécheresse estivale et, donc, un bon indicateur du point de changement de la condition de disponibilité hydrique du sol pour caractériser les régions à présence ou à absence de sécheresse fréquente.

Climats à présence de sécheresse

*IS*₁ Déjà dans le grand groupe à présence de sécheresse, l'intervalle d'*IS* entre 50 mm et -100 mm présente des conditions climatiques où la vigne sera potentiellement confrontée à un certain niveau de sécheresse, appelé ici de classe de climat *à sécheresse modérée*, généralement favorable à la maturité. La pratique de l'irrigation est observée dans certains cas.

*IS*₂ Entre -100 et -200 mm (classe de climat *à sécheresse forte*) la sécheresse est déjà prononcée, entraînant des conditions théoriques de sécheresse forte ; dans la plupart des cas la pratique de l'irrigation est courante.

*IS*₃ Dans le niveau inférieur à -200 mm, l'*IS* caractérise des régions extrêmement déficitaires au niveau de la disponibilité hydrique du sol ; ce sont les régions de la classe de climat *à sécheresse très forte* où l'irrigation devient obligatoire et où des risques de stress de diverse nature sont fréquents.

4.3.2. Les classes de l'indice héliothermique- *IH*

Sur le Tableau 9 sont présentées les 6 classes proposées pour l'Indice héliothermique de Huglin - *IH* des régions viticoles.

Tableau 9. Les 6 classes de l'Indice Héliothermique - *IH* des régions viticoles.

Indice Héliothermique - <i>IH</i>		
Classe de climat	Sigle	Intervalle de classe
<i>Très frais</i>	<i>IH</i> ₁	≤ 1500
<i>Frais</i>	<i>IH</i> ₂	>1500 ≤ 1800
<i>Tempéré</i>	<i>IH</i> ₃	>1800 ≤ 2100
<i>Tempéré chaud</i>	<i>IH</i> ₄	> 2100 ≤ 2400
<i>Chaud</i>	<i>IH</i> ₅	> 2400 ≤ 3000
<i>Très chaud</i>	<i>IH</i> ₆	> 3000

Ces classes sont assez larges, ce qui signifie que dans chaque classe il existe des différences héliothermiques assez importantes. Les caractéristiques théoriques pour chaque classe de climat *IH* sont :

- IH*₁** Dans la classe de climat *très frais* est placé l'ensemble des régions qui se trouvent le plus proche de la limite thermique septentrionale de la vigne ; dans ces conditions héliothermiques ce ne sont que les cépages précoces qui peuvent arriver à la maturation, surtout les cépages blancs. Dans des conditions d'hiver très froid certaines régions utilisent les hybrides, plus résistants que *Vitis vinifera*.
- IH*₂** Dans la classe de climat *frais* le potentiel héliothermique permet de mûrir une gamme assez large de raisins, soit des cépages blancs soit rouges y compris le Cabernet franc par exemple.
- IH*₃** Dans la classe de climat *tempéré* des cépages plus tardifs comme le Cabernet-Sauvignon, l'Ugni Blanc et la Syrah peuvent également arriver à maturité.
- IH*₄** Dans la classe de climat *tempéré chaud* il est possible de faire mûrir l'Aramon par exemple. Il n'existe donc plus de contrainte héliothermique pour la maturation de l'ensemble des cépages cultivés.

IH₅ La classe de climat *chaud* se caractérise par un potentiel qui excède le besoin héliothermique pour la maturation des cépages, même tardifs.

IH₆ Dans la classe de climat *très chaud*, en plus de n'avoir aucune contrainte héliothermique pour la maturation des raisins, on commence à trouver les climats de la zone intertropicale, pour lesquels il est possible, dans certains cas, d'avoir plus d'une récolte par an.

Les classes de climat *IH₅* et *IH₆* présentent plus des risques de stress à cause des températures élevées.

L'Indice de Huglin perd beaucoup de son sens à partir de la classe de climat *IH₅* et surtout *IH₆*, à cause de l'inexistence de contrainte héliothermique à ce niveau. Aussi, l'évaluation du potentiel héliothermique sur une période de 6 mois devient trop longue dans les conditions *IH₆* et peut être représentative donc des conditions climatiques du cycle de la vigne. Dans la classe *IH₆* le nombre de mois dont la vigne a besoin pour compléter la phéno-phase débourrement-récolte est réduite par comparaison avec les régions moins chaudes.

Le Tableau 3 donne une idée du potentiel héliothermique d'un milieu par rapport aux exigences des cépages.

4.3.3. Les classes de l'indice de fraîcheur des nuits - *IF*

Sur le Tableau 10 sont présentées les 4 classes proposées pour l'Indice de Fraîcheur des Nuits - *IF* des régions viticoles.

Les caractéristiques théoriques génériques pour chaque classe de climat sont données ci-dessous :

IF₁ Dans la classe de climat à *nuits chaudes* la région viticole a une période de maturation du raisin avec des températures nocturnes élevées pour tous les cépages.

IF₂ Dans le climat de la classe à *nuits tempérées* il existe une condition intermédiaire entre les climats à *nuits fraîches* et à *nuits chaudes*. Les cépages plus tardifs auront une maturation dans des conditions de températures de nuits plus basses que les cépages précoces.

IF₃ Dans la classe de climat à *nuits fraîches* la maturation a lieu dans des conditions qui peuvent être plus ou moins fraîches en fonction de la précocité des cépages. Mais globalement les conditions sont plus fraîches que dans la classe **IF₂**, de telle sorte qu'un seuil maximum de température nocturne favorable à la maturation ne soit pas dépassé.

IF₄ Dans la classe de climat à *nuits très fraîches* les conditions nycthermiques sont basses et l'effet positif de ces températures est surtout dépendante d'un potentiel héliothermique capable d'assurer un bon niveau de maturation du raisin d'un cépage donné.

Tableau 10. Les 4 classes de l'Indice de Fraîcheur des Nuits - *IF* des régions viticoles.

Indice de Fraîcheur des Nuits - <i>IF</i> (°C)		
Classe de climat	Sigle	Intervalle de classe (°C)
<i>À nuits chaudes</i>	<i>IF₁</i>	> 18
<i>À nuits tempérées</i>	<i>IF₂</i>	> 14 ≤ 18
<i>À nuits fraîches</i>	<i>IF₃</i>	>12 ≤ 14
<i>À nuits très fraîches</i>	<i>IF₄</i>	≤ 12

L'*IF* donne une idée du régime thermique impliqué dans la période de maturation du raisin. L'effet des températures nocturnes pendant la période de maturation du raisin sur les caractéristiques du raisin a été présenté dans le paragraphe 2.6.2 de ce chapitre.

Comme l'on peut observer, l'effet est variable et est également dépendant d'autres facteurs climatiques, comme le potentiel héliothermique et la réserve hydrique du sol. Les différents cépages présentent également des réponses plus ou moins prononcées face aux températures de maturation.

D'une façon générale on pourrait dire que dans les conditions chaudes de maturation, la tendance est d'avoir une perte des arômes. Les cépages rouges risquent d'avoir une coloration plus faible. Au contraire, les conditions fraîches de maturation sont essentiellement des

conditions favorables à la coloration et aux arômes des raisins. Ces 2 caractéristiques du raisin s'expriment surtout dans des conditions héliothermiques suffisantes pour arriver à la maturation.

Dans des conditions très fraîches on pourrait trouver des raisins à potentiel de couleur et d'arômes élevés si les conditions de pleine maturation sont assurées (la plus grande partie des régions productrices des vins blancs réputés sont dans cette classe). Au contraire, le potentiel pourrait être très faible si les conditions pour une bonne maturation, surtout le potentiel héliothermique, ne sont pas assurées.

4.3.4. La classification climatique multicritères

Les indices climatiques de notre étude et les classes pour chaque indice rendent possible la classification climatique des régions viticoles.

Une région peut être classée par un seul indice (monocritère) : dans une classe d'*IH* par exemple. Mais elle peut être classée par plusieurs indices au même temps, 2 ou 3 dans notre cas. On appelle donc classification climatique multicritères l'utilisation de 2 ou 3 indices climatiques viticoles simultanément.

4.4. De nouveaux concepts dans le domaine du climat de la vigne

De façon générale, la terminologie utilisée lorsqu'on parle du climat doit être claire et précise. Et ceci d'autant plus dans cette étude puisque les variables climatiques intéressantes du point de vue de la viticulture ne sont pas forcément les mêmes que celles qui intéressent d'autres cultures ou d'autres domaines de l'activité humaine.

Dans cet esprit, nous proposons 2 nouveaux concepts, le premier pour définir ce qu'on appellera le *climat viticole* et le second pour définir la notion de *groupe climatique* dans le domaine viticole.

4.4.1. Le concept de *Climat Viticole*

Le ***Climat Viticole*** est le **climat** d'une parcelle, d'une localité, d'un vignoble ou d'une région viticole, **classé par un ou par plusieurs indices climatiques viticoles** de la parcelle, localité, vignoble ou région respectives. Le climat viticole pourra contenir d'autres informations climatiques d'un milieu viticole, comme le type de climat duquel il appartient (ex. : méditerranéen), le risque de gelée, etc...

Le climat viticole peut définir soit le climat moyen soit le climat d'un millésime en particulier.

Dans notre étude, Montpellier (*FRmp*) par exemple, a un ***Climat Viticole à sécheresse modérée, tempéré chaud et à nuits tempérées*** (pour l'Indice de Sécheresse, pour l'Indice Héliothermique et pour l'Indice de Fraîcheur des Nuits, respectivement). On propose d'exprimer ce climat par les sigles correspondants, soit ***Climat Viticole IS₁ IH₄ IF₂***. On pourrait rajouter que Montpellier présente un climat de type méditerranéen.

Le *climat viticole* est donc établie par des indices climatiques viticoles en base à des critères ayant une signification quant au fonctionnement de la culture de la vigne, différent et plus spécifique pourtant que le climat au sens climatologique général du terme.

4.4.2. Le concept de *Groupe Climatique*

Le **Groupe Climatique** des parcelles, des localités, des vignobles ou des régions viticoles est un **ensemble** de parcelles, de localités, de vignobles ou de régions viticoles qui présentent **une même classe de climat viticole**.

Un groupe climatique pourra regrouper des régions avec une même classe d'un seule indice climatique, ***IH₄*** par exemple (regroupement climatique monocritère), où les régions avec plusieurs indices climatiques (regroupement multicritères). Un exemple de regroupement climatique multicritères est celui de Montpellier (*FRmp*) et Perpignan (*FRpe*), qui appartiennent au même groupe climatique puisqu'ils ont la même classe de climat viticole : ***IS₁ IH₄ IF₂***.

4.5. Le climat viticole des régions viticoles et les groupes climatiques dans la viticulture mondiale

4.5.1. Le climat viticole et le positionnement des régions

Le Tableau 22 (Annexe 2) présente le climat viticole de chaque région de notre étude, par classement multicritères selon les classes des indices qui sont présentées dans le Tableau 8, Tableau 9 et Tableau 10.

Pour mieux montrer le positionnement des régions viticoles de notre étude, nous avons réalisé une analyse en composantes principales - A.C.P. avec les 3 indices climatiques - *IS*, *IH*, et *IF* (Figure 12). Les données gérées par l'ACP permettent de vérifier que les variables *IH* et *IF* présentent un coefficient de corrélation positif de 0,82. D'autre part *IS* est inversement corrélé à *IH* ($r = -0,37$) et à *IF* ($r = -0,27$). La Composante Principale 1 (CP1) explique 67,5% de la variation, avec les variables *IH* et *IF* très bien représentées sur cet axe. Sur la Composante Principale 2 (CP2), qui explique 26,8 % de la variabilité, c'est surtout la variable *IS* qui ressort (voir cercle des corrélations de la Figure 12).

Sur les axes de la CP1 et de la CP2 de l'A.C.P., qui explique **94,3 %** de la variabilité, il est possible de visualiser le positionnement relatif de chaque région viticole (Figure 12).

Sur une troisième composante, *IH* et *IF* sont représentés, mais cet axe possède une faible inertie - 5,7 % seulement. Il présente un certain intérêt surtout parce qu'il met en évidence les régions avec un *IF* et un *IH* très contrastés.

4.5.2. Les groupes climatiques

L'ensemble des 3 indices établi dans ce système de classification avec 5 classes pour l'*IS*, 6 classes pour l'*IH* et 4 classes pour l'*IF*, permet théoriquement d'avoir un total de 120 groupes climatiques différents. Un grand nombre de groupes climatiques ne se trouvent en effet pas dans le climat viticole des régions du globe. Par exemple, il n'existe pas de régions viticoles qui combinent à la fois un *IH*₆ et un *IF*₄ ou un *IH*₁ et un *IF*₁.

La Figure 12 met en évidence les 2 conditions majeures du point de vue de la disponibilité hydrique : un ensemble de régions à **absence de sécheresse** ($IS > 50$ mm) et un autre ensemble de régions à **présence de sécheresse** ($IS < 50$ mm).

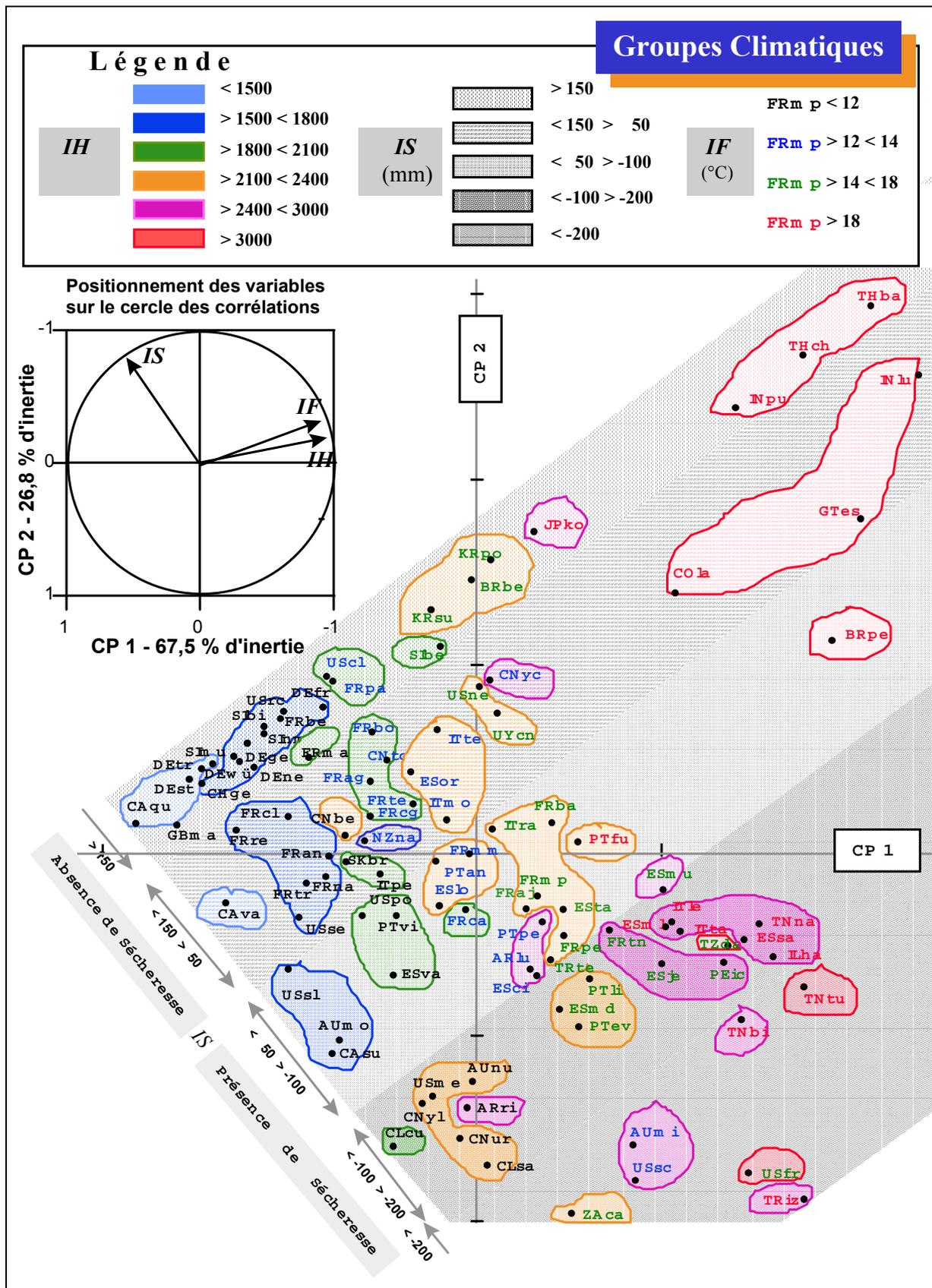


Figure 12. Analyse en Composantes Principales pour les 3 indices climatiques (*IH*, *IS*, *IF*) des régions viticoles : positionnement des régions viticoles, climats viticoles et groupes climatiques des régions.

Sur cette même analyse, dans un premier temps nous allons analyser les couples d'indice *IS* et *IH*. Par croisement des classes de ces 2 indices, sur 30 groupes théoriquement possibles, on observe **23 groupes** sur les 100 régions viticoles de notre étude.

Si on analyse maintenant les 3 indices climatiques simultanément, on obtient, sur les régions de notre étude, 38 groupes sur les 120 combinaisons théoriquement possibles. Ils sont représentés sur la Figure 12 par les différents contours sur les régions appartenant à chaque groupe. Par exemple, le groupe climatique situé à droite et sur la partie supérieure de la Figure 12 montre les régions viticoles *THba*, *THch* et *INpu*, avec un climat viticole d'*IH* supérieur à 3000, *IS* supérieur à 150 mm et *IF* supérieur à 18 °C ($IS_{00} IH_6 IF_1$).

La Figure 12 permet également de visualiser le positionnement relatif des groupes climatiques, les uns par rapport aux autres.

Cette démarche représente en fait la proposition d'un **nouveau système de classement climatique des régions viticoles**, permettant aux régions d'adopter cette classification pour le classement de leurs climats viticoles. Le système permet à la fois de visualiser dans quel groupe les régions se sont placées et de positionner les groupes climatiques les uns par rapport aux autres au niveau mondial.

4.6. Caractéristiques des groupes climatiques des régions viticoles à plus d'une récolte par année dans le climat tropical

La presque totalité du vignoble mondial à raisin de cuve est située dans des régions où le climat ne permet qu'une seule récolte par an. Le régime thermique annuel cause la chute des feuilles de la vigne. Après la chute des feuilles, la vigne ne présente plus d'activité végétative apparente et cette absence de croissance des bourgeons est appelée repos végétatif.

Dans la zone intertropicale, il existe au contraire des régions où les conditions thermique sont telles que la vigne n'a pas de période de dormance ni celle de repos végétatif classique des régions de climat du type tempéré. L'adoption d'un certain nombre de pratiques culturales peut permettre l'obtention de plus d'une récolte par an. Parfois une moyenne supérieure à 2 récoltes par année est possible, avec la possibilité d'échelonner la récolte des raisins sur tous les mois de l'année.

Se pose ici la question de savoir comment analyser et caractériser le climat viticole de ces régions qui, à la différence des régions traditionnelles, ont plus d'une récolte par année et n'ont pas obligatoirement la même période de production. Dans ces conditions le climat viticole d'une région pourra présenter des différences climatiques pendant la période de l'année considérée.

Pour étudier cette situation, nous prendrons l'exemple du climat de la Vallée du São Francisco, dans le nord-est du Brésil, dans la région viticole de Petrolina (*BRpe*). Cette région se situe à 09° 09' de latitude sud, en zone de climat Semi-Aride (marge du climat Tropical). La température moyenne de l'air annuelle est de 26,4 °C, avec une moyenne de 28,3 °C pour le mois le plus chaud et de 24,3 °C pour le mois le plus froid. Le total de pluie annuel est de 559 mm, concentré sur la période décembre-avril.

La valeur des 3 indices de notre étude pour cette région est de : $IS = -1$ mm ; $IH = 3654$; et, $IF = 21,3$ °C. Cette région possède donc un climat viticole $IS_1 IH_6 IF1$. Sa position par rapport à l'ensemble des régions viticoles est sur la Figure 12.

Pour étudier le climat viticole dans ces conditions, on a calculée les 3 indices pour tous les mois de l'année, par le décalage consécutive d'un mois sur la période classique de calcul des indices en étude. Les 12 valeurs obtenues montrent que pendant l'année les indices climatiques présentent des valeurs situés dans les intervalles de : 51 mm à -181 mm pour l' IS , 3265 à 3669 pour l' IH et 18,1 à 22,2 °C pour l' IF .

Les résultats sont représentés sur l'A.C.P de la Figure 13, qui montre le positionnement de *BRpe* avec les indices calculés mois par mois. Pour avoir une référence d'autres régions viticoles, nous avons gardé sur l'A.C.P. l'ensemble des régions viticoles de notre étude située dans la zone Intertropicale. On observe donc que le climat viticole de *BRpe* change chaque mois. On remarque surtout les périodes *BRpe09* à *BRpe01*, avec un Indice de Sécheresse IS plus élevé ; ou au contraire, *BRpe05* avec l' IS le moins élevé. Petrolina est alors placé, par rapport au climat viticole, en 3 situations : climat viticole À Sécheresse Forte, Très Chaud et À Nuits Chaudes (période *BRpe09* à *BRpe01*) ; climat viticole Sub-humide, Très Chaud et À Nuits Chaudes (période *BRpe05*) ; et climat viticole À Sécheresse Modérée, Très Chaud et À Nuits Chaudes pour les autres périodes. Cette région présente en faite 3 climats viticoles distincts, sur le critère IS surtout.

Groupes Climatiques d'un Climat Viticole à Variabilité Intra-annuelle

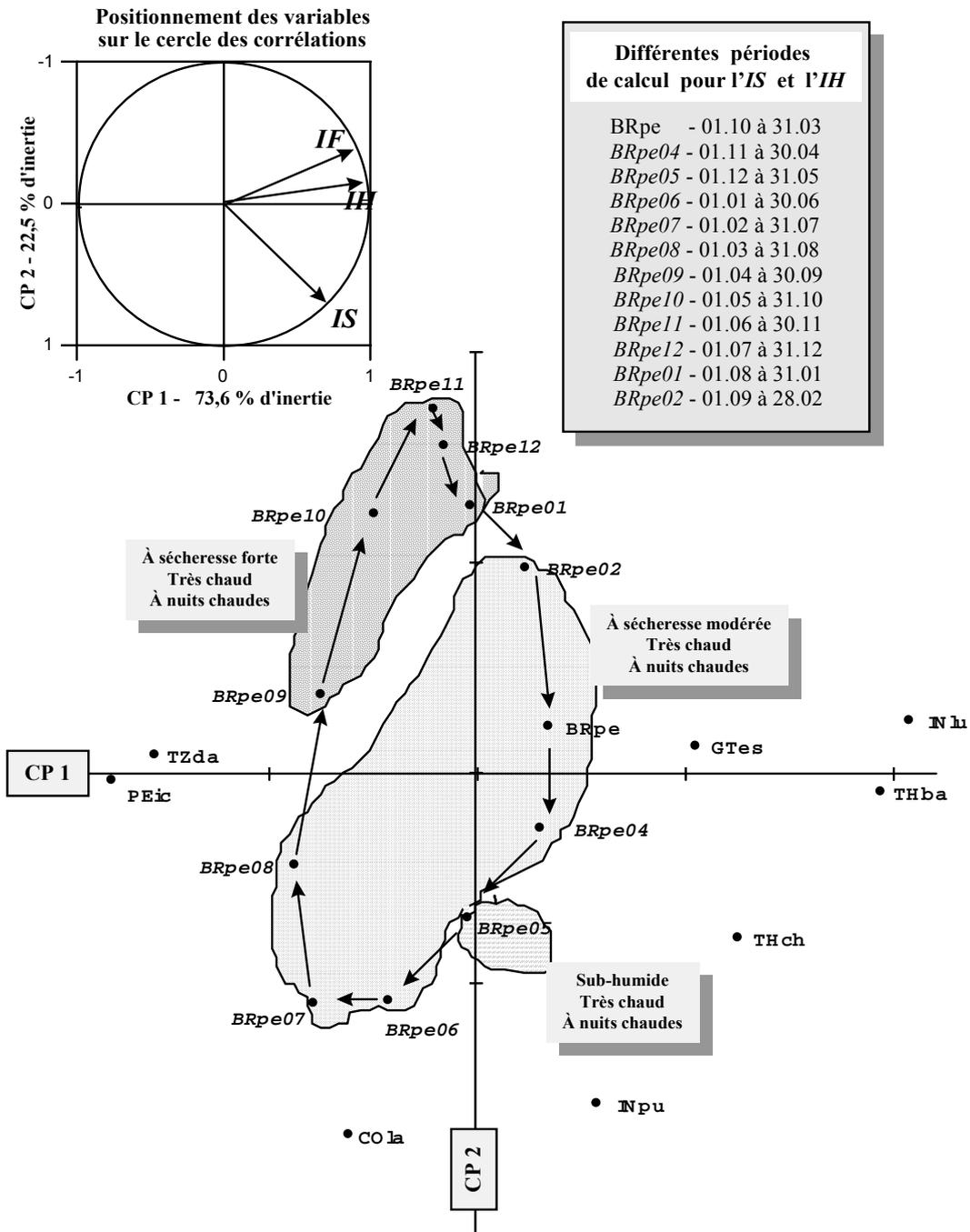


Figure 13. Exemple de climat viticole à variabilité intra-annuelle dans la région de Petrolina (BRpe), Brésil, région située dans la zone intertropicale (climat de type semi-aride): l'A.C.P. montre que le climat viticole change en fonction de la période de l'année au cours duquel on produit du raisin.

Cette observation nous amène à proposer un nouveau concept pour les régions présentant ces caractéristiques climatiques - le concept de climat viticole à variabilité intra-annuelle.

4.6.1. Concept de *Climat Viticole à Variabilité Intra-Annuelle*

Les observations ci-dessus permettent de formuler un nouveau concept - le concept des régions de **Climat Viticole à Variabilité Intra-Annuelle** ou **À Climat Viticole Mobile**, qui est ce où le **climat viticole** de la région change de classe en fonction de la période de l'année sur laquelle le raisin peut être produit.

Petrolina, au Brésil, est donc un exemple de région de climat viticole à variabilité intra-annuelle.

Ces situations climatiques permettent aux viticulteurs de choisir les périodes les plus intéressantes de production du raisin, vis-à-vis des contraintes phytosanitaires, des exigences du cépage, du type de produit recherché au même, dans le cas du raisin de table, de la demande du marché.

La viticulture tropicale se caractérise donc par une situation climatique particulière par rapport à la viticulture mondiale. Boubals (1989) rapporte qu'en Asie, dans la zone chaude des moussons, dans les régions où la vigne peut avoir 2 cycles végétatifs, on ne produit du raisin de table que pendant la période sèche. Lors du cycle se déroulant en période humide on pratique une taille courte qui ne produit pas de fruit.

Ces régions chaudes augmentent régulièrement leur importance au niveau de la production mondiale, même si celle-ci reste modeste de nos jours. La particularité de ces conditions de production fait actuellement l'objet d'un certain intérêt et d'une certaine curiosité de la part de la filière vitivinicole mondiale.

4.7. L'amélioration introduite par le regroupement multicritères des régions viticoles par rapport aux regroupements monocritère

La qualité du regroupement des régions viticoles par des indices climatiques monocritère est liée au contexte climatique de la région concernée. L'Indice de Winkler par exemple, basé sur une seule variable climatique - la température, donne déjà une très bonne information sur le potentiel thermique d'une région. Il peut être performant pour regrouper des régions assez homogènes au niveau du climat, si les autres variables climatiques sont en bonne corrélation avec la température. C'est effectivement le cas de la Californie, région pour laquelle cet indice a été créé. Le même type de commentaire est valable pour l'Indice Héliothermique de Huglin. Il est assez sensible pour le regroupement dans les conditions de latitudes élevées où la longueur du jour et les températures du jour sont importantes au niveau des potentialités de ces régions.

Mais avec un même valeur de l'Indice de Winkler ou de l'Indice Héliothermique de Huglin on peut trouver des régions de climats très différents soit très arides ou des régions très humides (Figure 10). Des exemples du regroupement monocritère et des ses inconvénients et restrictions ont déjà été présentés dans les paragraphes 4.2.1 et 4.2.2 de ce chapitre.

Sur le nouveau regroupement multicritères proposé, un groupe est formé par des régions qui ont en commun l'ensemble des classes des indices climatiques qui permet à la fois une d'évaluation hydrique, héliothermique et nycthermique. Sur l'aspect hydrique on souligne que l'évaluation du milieu viticole comme sous la forme d'un bilan hydrique de la vigne est beaucoup plus proche de la réalité viticole que ce qu'on avait jusqu'à maintenant. Les données soit d'ETP où de la pluie tout simplement étaient beaucoup moins informatives et très difficilement comparables pour une analyse du climat viticole avec une approche mondial.

Les groupes climatiques multicritères proposés sont donc beaucoup plus homogènes au niveau climatique par rapport aux régions qui en font partie si on les compare aux regroupements monocritère. On voit alors beaucoup plus de cohérence et de similitude climatique à l'intérieur de chaque groupe climatique par rapport aux systèmes existants.

4.7.1. Considérations pour l'approfondissement de l'étude du climat viticole des régions dans les groupes climatiques

Même si les indices climatiques proposés - *IS*, *IH* et *IF* sont très informatifs, il faut toujours souligner qu'ils sont synthétiques. Ils sont en effet établis sur des périodes et des dates prédéterminées.

Si on veut aller plus loin sur l'analyse climatique d'une région, il est alors important de faire d'autres observations sur le climat des régions viticoles. A part l'aspect purement climatique d'un milieu viticole, il est obligatoire, dans un milieu donné, d'analyser le climat et ses interactions avec l'ensemble des facteurs naturels et humains de ces régions.

Sur le plan hydrique

Il serait intéressant d'analyser la courbe évolutive du bilan hydrique sur un pas de temps mensuel ; la formule de calcul de cet indice permettrait d'avoir ces valeurs intermédiaires. Cette information permettrait de mieux évaluer l'évolution de la disponibilité hydrique théorique du sol pour la vigne atteint à différents stades du cycle. On observe que dans certains climats comme dans le climat du type méditerranéen, les pluies d'équinoxe restaurent une partie de la réserve potentielle en eau du sol. Sur le plan qualitatif, ces observations seraient importantes surtout entre la floraison et la récolte.

La valeur de l'*IS*, par exemple, part d'une réserve utile théorique du sol de 200 mm (W_0). Mais il ne tient pas compte ni du type de sol ni des capacités d'adaptation de la vigne. Bien sûr, chaque région viticole possède ses types de sols et ses caractéristiques de disponibilité hydrique qui doivent être considérées au moment de l'interprétation des informations apportées par la définition du climat viticole par des indices climatiques viticoles.

L'analyse au niveau du vignoble nous donne un autre exemple : l'écartement entre rangs et la hauteur du palissage vont jouer sur l'interception du rayonnement solaire et affecter le niveau de transpiration du vignoble avec des répercussions sur la réserve hydrique du sol, donc sur l'*IS* réel.

Sur le plan thermique

Dans l'analyse du climat des régions viticoles, il faut également évaluer le climat thermique des différentes phéno-phases en fonction de la précocité des cépages cultivés.

Un point intéressant à analyser est l'évolution de la courbe des températures moyennes mensuelles pendant la période végétative. Sur cet aspect, Bentryn (1988) donne des exemples de différentes courbes de températures pour des régions ayant une même somme thermique de Winkler, par exemple. Cet aspect thermique va jouer sur la longueur des phéno-phases et donc sur les conditions climatiques spécifiques incidentes pour les différents cépages concernés.

L'évaluation de la température minimale de l'air pendant la période véraison-récolte pour un cépage donné va améliorer l'information fournie par l'Indice de fraîcheur des nuits - *IF*, par exemple.

On observe que, dans les régions très chaudes, les indices climatiques utilisés - *IS* et *IH*, calculés sur une période de 6 mois, fournissent des valeurs assez éloignées des conditions climatiques réelles subies par la vigne, dont la durée du cycle est raccourci y compris pour les cépages plus tardifs.

4.8. Variabilité du climat viticole dans les différents types de climats mondiaux

L'analyse du climat viticole dans notre étude montre l'existence d'une très grande diversité climatique dans le vignoble mondial. Il pourrait également être intéressant de savoir quelle serait la variabilité du climat viticole dans un type de climat précis, par exemple entre les régions viticoles de climat de type méditerranéen. Prescott (1969b), par exemple a analysé la variabilité de la température dans ce type de climat.

En fait, l'étude multicritères que nous avons réalisée permet d'avoir une idée de la très large diversité climatique existant au sein de chaque type de climat. Dans le climat de type méditerranéen par exemple, les régions viticoles de notre étude sont présentes sur presque la moitié des groupes climatiques identifiés. Même si quelques groupes climatiques concentrent une plus grande partie du vignoble de climat méditerranéen, la diversité climatique est évidente. Le résultat démontre que la simple information concernant le type de climat constitue une

information assez imprécise pour caractériser le climat viticole d'une région dans le climat méditerranéen. Cette diversité joue certainement un rôle important sur la grande diversité des caractéristiques reconnues des vins qui sont originaires des régions viticoles de climat de type méditerranéen. Un autre exemple de la diversité climatique s'observe sur le regroupement des régions de climat de type océanique, qui sont présentes sur 35% de nos groupes climatiques.

4.9. Les régions viticoles des groupes climatiques et les caractéristiques reconnues des leurs vins

Il est reconnu que le climat exerce une influence forte sur la vigne et par conséquent sur la typicité du vin. Les grandes tendances de la typicité des vins par rapport au climat sont citées par des experts en viticulture comme Peynaud (1971), Branas (1974), Winkler *et al.* (1974) et Becker (1977).

Analyser les régions viticoles des groupes climatiques (Figure 12) et les caractéristiques reconnues des vins de ces régions consiste à mettre en relation à la fois le climat viticole et le produit vin. Mais si les caractéristiques des vins dépendent des facteurs naturels des régions viticoles, les facteurs humains sont également à prendre en considération. De ce fait, en considérant que le climat est une seule partie des composantes des facteurs naturels, il n'est pas forcément évident de relier les caractéristiques des vins à celles du climat.

Tout en tenant compte de ces limites, nous allons présenter, ci-dessous, une analyse comparative envisageant la mise en relation les régions viticoles des groupes climatiques de notre étude et quelques aspects de la typicité reconnue de leurs vins.

Les groupes climatiques seront présentés par ordre croissant d'indice héliothermique - du climat *très frais* au climat *très chaud* (IH_1 à IH_6).

On observe déjà que, dans les classes de climat IH_1 à IH_4 , le potentiel héliothermique détermine une certaine hiérarchisation concernant le choix de l'encépagement. Par exemple, les climats IH_1 et IH_2 ne produisent pas de vins de Cabernet-Sauvignon.

Groupes Climatiques IH_1

- Dans les régions à climat *très frais* (IH_1) on trouve parfois des régions viticoles qui sont à la limite ou très proches de la limite héliothermique minimale de la vigne. C'est le cas, dans les régions de climat *humide* (IS_{00}), du Québec ($CAqu$) et de l'extrême sud de l'Angleterre ($GBma$) et, dans le climat *sub-humide* (IS_0), de Vancouver ($CAva$). Dans ces conditions, les cépages précoces cultivés donnent des vins avec le caractère assez général d'acidité et de faible concentration, dont la qualité est très liée aux conditions du millésime, qui offrira plus ou moins de possibilités d'arriver à un niveau de maturation satisfaisant. D'autres vins produits à partir d'hybrides, plus résistants au froid d'hiver, seront trouvés assez fréquemment dans ses climats.

Groupes Climatiques IH_2

- Dans le climat IH_2 , en climat *humide* (IS_{00}), on trouve entre autres, des régions viticoles situées en Allemagne. Ce sont des climats IF_4 (à *nuits très fraîches*). Les régions sont surtout à vins blancs dont les millésimes moins humides permettent une meilleure maturation du raisin et un développement aromatique intense.

Encore sur le climat *frais* (IH_2), toujours dans l' IF_4 (à *nuits très fraîches*) et en climat *sub-humide* (IS_0), on trouve quelques régions françaises : Colmar en Alsace ($FRcl$), la Champagne ($FRre$), et la Vallée de la Loire ($FRan$, $FRna$, $FRtr$). Dans cette dernière région, qui présente un potentiel héliothermique déjà plus élevé, sont produits des vins rouges à concentration moyenne à partir des cépages comme le Cabernet franc.

Groupes Climatiques IH_3

- Dans le climat *tempéré* (IH_3), nous allons retrouver, en France, le climat à *nuits fraîches* (IF_3), qui regroupe : Pau ($FRpa$) dans la classe *humide* (IS_{00}), Bordeaux, Cognac, Agen et Toulouse ($FRbo$, $FRcg$, $FRag$ et $FRte$, respectivement) dans la classe *sub-humide* (IS_0), et Carcassonne ($FRca$) dans la classe à sécheresse modérée (IS_1). Ces 3 groupes qui couvrent différentes classes d'indice de sécheresse présentent des vins assez différents pour lesquels le facteur climatique du aux différents régimes hydriques est marquant. Leur concentration varie de moyenne à élevée.

Cependant, on observe que c'est dans la classe IH_3 , IF_3 dans la classe de climat à *absence de sécheresse* que se situe Braga par exemple ($IH = 1984$, $IF = 12,2$ °C, pluie annuelle de 1502 mm), dans la région de production des *Vinhos Verdes* au Portugal. Par rapport aux régions viticoles portugaises de notre étude, Braga est la région viticole d'indice héliothermique et d'indice de fraîcheur des nuits les plus bas et d'humidité la plus élevée. Cette caractéristique climatique joue sur la typicité des vins de cette région et sur le caractère d'acidité.

Groupes Climatiques IH_4

- Dans la classe de climat *tempéré chaud* (IH_4) et à *nuits tempérées* (IF_2) nous allons analyser les regroupements climatiques des régions par rapport aux différentes classes d'*indice de sécheresse* (IS) :

Classe IS_{00} : on trouve des régions comme le sud du Brésil ($BRbe$) où le climat humide résulte à des vins blancs avec un caractère d'acidité, malgré le potentiel héliothermique assez élevé. Les rouges sont de concentration plutôt moyenne et les millésimes les plus secs permettent l'obtention des vins les plus réputées.

Classe IS_1 : dans cette classe de climat, à *sécheresse modérée*, on trouve des régions comme Montpellier, Ravena, Bastia, Perpignan ($FRmp$, $ITra$, $FRba$ et $FRpe$, respectivement) avec des vins qui se distinguent des régions à *absence de sécheresse* ci-dessus. Les vins sont plus concentrés et ont plus de chaleur. Une richesse au niveau du développement aromatique est présente. On remarque que c'est dans un climat très particulier des classes IH_4 et IS_1 , mais avec la classe de climat à *nuits chaudes* ($IF = 19,0^\circ$) que sont produits les vins de l'île de Madeira ($PTfu$).

Classe IS_2 : se sont les régions à *sécheresse forte* comme Madrid, Lisbonne ou Évora ($ESmd$, $PTli$ et $PTev$, respectivement). C'est dans le climat de classe IH_4 et IS_2 , mais à *nuits très fraîches* (IF_4) qu'on trouve des vins rouges avec davantage de concentration et de richesse par rapport au développement aromatique, comme à Santiago du Chili ($CLsa$), à Nuriootpa, en Australie ($AUnu$) et à Napa, en Californie ($IH = 2160$, $IF = 11,2$ °C).

Classe IS_3 : on trouve des régions avec une aridité plus élevée comme à Cape Town ($ZAca$), en Afrique du Sud.

Groupes Climatiques IH_5

- Dans la classe de climat *chaud* (IH_5), à *sécheresse forte* (IS_2) et à *nuits chaudes* (IF_1), on trouve une série de régions viticoles dont la caractéristique des vins est liée surtout à la chaleur et à une faible acidité, comme à Málaga ($ESml$) ou en Sicile pour le Marsala ($ITta$). D'autres régions sont dans ce groupe climatique : Santa Cruz de Tenerife ($ESSa$), Haifa en Israël ($ILha$), Nabeul en Tunisie ($TNna$). Dans le groupe climatique voisin, $IH_5 IS_2 IF_2$ (à *nuits tempérées*), on retrouve la zone du Jerez de la Frontera ($ESje$) en Espagne et aussi la région de la zone intertropicale d'Ica ($PEic$) au Pérou. Une autre zone de vins avec ce type de caractère, dans le climat *chaud* mais sous climat à *sécheresse modérée* et à *nuits fraîches* est la région de Peso da Régua ($PTpe$) dans la zone de production du vin Porto, du Portugal.

Groupes Climatiques IH_6

- Dans la classe de climat *très chaud* (IH_6) et IS_3 , on trouve la région méditerranéenne de Tunis ($TNtu$). La région aride viticole de la Tanzanie ($TZda$) en Afrique est IS_2 et à *nuits tempérées* à cause de l'altitude de la région.

Mais, dans la classe de climat *très chaud* on trouve surtout les climats tropicaux à *nuits chaudes* (IF_1) avec ou sans sécheresse. Les vins possèdent une typicité particulière qui les distingue des vins des régions traditionnellement viticoles de climat du type tempéré. Ils présentent une certaine légèreté, mais de nos jours encore très méconnus. La diversité trouvée dans ses vins est déterminée également par le climat viticole, qui est à variabilité intra-annuelle, liée à la potentialité d'avoir ici plusieurs récoltes pendant l'année et donc à l'appartenance à plusieurs groupes climatiques.

Les exemples cités mettent en évidence le rôle majeur du climat sur les caractéristiques des vins. La bonne cohérence entre les groupes climatiques et les caractéristiques reconnues des vins des régions est également une façon de valider l'approche climatique de l'étude.

À titre indicatif, le Tableau 11 présente les tendances générales concernant la typicité des vins par rapport aux regroupements climatiques tout en tenant compte de limites d'une généralisation de ce type.

Tableau 11. Tendances générales de typicité des vins par rapport aux regroupements climatiques.

Classe de climat viticole <i>IS - IH - IF</i>							Tendances générales de typicité des vins par rapport aux regroupements climatiques		
<i>IH</i>	<i>IF</i>	<i>IS₀₀</i>	<i>IS₀</i>	<i>IS₁</i>	<i>IS₂</i>	<i>IS₃</i>	Caractère assez général	Caractère fonction du niveau de maturité	Développement aromatique
<i>IH₁</i>	<i>IF₄</i>	Québec (CAqu) Angleterre (GBma)	Vancouver (CAva)				Acidité	Concentration faible à moyenne	Faible à très bon (intensité)
<i>IH₂</i>	<i>IF₄</i>	Freiburg (DEfr) Trier (DEtr)	Alsace (FRcl) Champagne (FRre) Val de Loire (FRan, FRna)				(assez variable en fonction du niveau de maturité du raisin)		
<i>IH₃</i>	<i>IF₃</i>	PAU (FRpa) Braga (Vinhos verdes)	Bordeaux (FRbo) Toulouse (FRte)	Carcassonne (FRca)			Équilibre	Concentration moyenne à élevée	Moyen à très bon (complexité)
<i>IH₄</i>	<i>IF₄</i>	Bento Gonçalves, sud du Brésil (BRbe)		Montpellier (FRmp) Ravenna (ITra) Bastia (FRba)	Santiago (CLsa) Nuriootpa (AUnu) Napa (USna)		Chaleur	Concentration moyenne à très élevée	Moyen à très bon (richesse)
	<i>IF₂</i>				Madrid (ESmd) Evora (PTev)				
<i>IH₅</i>	<i>IF₁</i>			Madeira (PTfu)			Chaleur et faible acidité	Concentration moyenne à élevée	Moyen à très bon (caractère évolué)
	<i>IF₃</i>			Porto (PTpe)	Jerez (ESje) Ica (PEic)				
	<i>IF₂</i> <i>IF₁</i>				Málaga (ESml) Marsala (ITta) Haifa (ILha) Nabeul (TNna)				
<i>IH₆</i>	<i>IF₁</i>		Vallée du São Francisco - Brésil (BRpe) ← Climat viticole à variabilité intra-annuelle →				Légèreté	Concentration faible à moyenne	Moyen

CARBONNEAU, Alain et TONIETTO, Jorge - 1999.

4.10. Groupes climatiques des régions viticoles françaises

Dans les chapitres suivants nous allons présenter des études climatiques développées sur une gamme de climats viticoles de régions du sud de la France. Ainsi on fera une brève introduction au climat viticole des régions françaises pour permettre une transition entre l'analyse mondiale qui vient d'être présentée et les approches régionales.

La France possède une très grande diversité climatique sur ses différentes régions viticoles. Cette diversité climatique est responsable, pour une bonne partie, des caractéristiques et de la typicité des vins. La Figure 12 montre cette diversité par rapport à l'ensemble des groupes climatiques du vignoble mondial. On observe que *FRmm* (Montélimar) est placée à son centre. Elle représente un climat viticole moyen par rapport à l'ensemble des 100 régions étudiées au niveau mondial.

Pour mieux analyser cette diversité climatique, la Figure 14 montre une A.C.P réalisée sur les indices climatiques viticoles *IS*, *IH*, *IF* des 19 régions viticoles françaises de cette étude.

On vérifie que les régions sont réparties sur plusieurs groupes climatiques :

Dans le climat atlantique

Dans le climat atlantique (climat de type océanique), on trouve 5 groupes climatiques (Figure 14). Toutes les régions sont comprises dans les classes de climat *IS* à absence de sécheresse, surtout dans la classe *sub-humide*. L'*IF* est à *nuits fraîches* où à *nuits très fraîches*. Ce sont des régions avec un indice héliothermique assez variable - *frais* ou *tempéré*. L'Indice héliothermique présente des valeurs moins élevées que les valeurs des régions de climat du type méditerranéen.

Les régions de Carcassonne (*FRca*) et de Toulouse (*FRte*), présentent des valeurs intermédiaires pour les indices climatiques entre les régions dans le climat atlantique et celles situées en climat du type méditerranéen. Elles représentent un axe en zone de transition climatique.

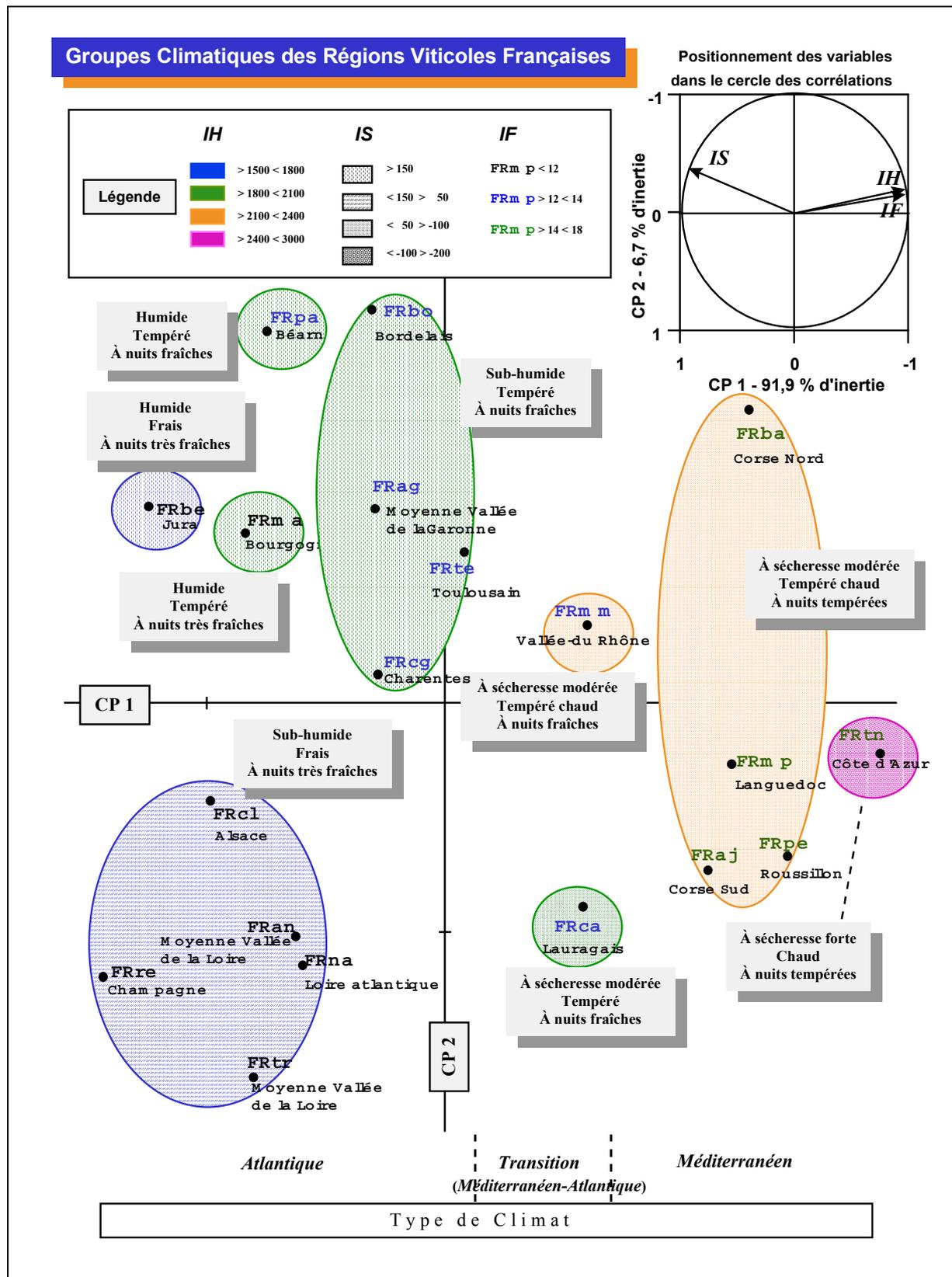


Figure 14. Positionnement d'un ensemble de régions viticoles françaises sur les axes d'une A.C.P. avec les indices climatiques *IS*, *IH* et *IF* et les 9 groupes climatiques de ses régions.

Dans le climat méditerranéen

Dans la zone de climat méditerranéen prédomine le climat viticole est à *sécheresse modérée*, comme c'est le cas de Montpellier (*FRmp*) et de Perpignan (*FRpe*) par exemple. Toulon (*FRtn*), sur la Côte-d'Azur, est la seule région à avoir un climat à sécheresse forte, mais situé en tout début de cette classe ($IS = -101$ mm) (Figure 14).

Les valeurs des indices climatiques viticoles en Corse apparaissent assez curieuses. Ajaccio (*FRaj* - Corse Sud) présente un *IS* similaire à celui trouvé à Montpellier. Par contre à Bastia (*FRba* -Corse Nord), l'*IS* est plus élevé. Cette variabilité au niveau hydrique sur des points très localisés en Corse représente une caractéristique du climat de cette île, comme l'explique Péguy (1977, p.364).

Les amplitudes thermiques annuelles (*Aan*) dans les régions françaises sont comprises entre 13,6°C (*FRna*) et 18,6°C (*FRmm*). Quelques unes de ces régions se rapprochent donc de la limite de 20°C classiquement utilisée pour définir les régions de climat de type *tempéré de transition*, parfois appelé climat *semi-continental*.

Cet aperçu global sur le climat viticole des régions françaises nous permet de mieux situer les études climatiques réalisées dans ce travail dans des régions viticoles du sud de la France. Ils sont présentées dans les chapitres suivantes.

5. CONCLUSIONS

L'étude réalisée permet de tirer les conclusions suivantes :

- a) L'Indice de Sécheresse - *IS* et l'Indice de Fraîcheur des Nuits - *IF* permettent de mettre en évidence d'autres aspects du climat des régions viticoles dans le vignoble mondial, et sont un complément aux indices thermiques ou héliothermiques d'usage courante.
- b) La proposition des nouveaux concepts de *climat viticole* et de *groupe climatique* pour les régions viticoles permet d'être plus précis dans l'étude de la climatologie viticole.

- c) Un nouveau système de classement climatique pour les régions viticoles est proposé au niveau de la viticulture mondiale.
- d) L'utilisation d'un système multicritères d'indices climatiques viticoles et de leurs classes respectives permet de définir les groupes climatiques des régions viticoles au niveau mondial. L'étude a identifié 37 groupes climatiques.
- e) Le système multicritères est plus performant pour le regroupement des régions viticoles que les systèmes monocritère disponibles.
- f) Dans le climat tropical, avec plusieurs récoltes par année, le concept proposé de *climat viticole à variabilité inter-annuelle* permet de caractériser le climat viticole pendant toute l'année par l'évaluation multicritères avec des indices climatiques viticoles.
- g) La très grande diversité climatique trouvée dans le vignoble mondial a été mise en évidence ; dans le climat de type méditerranéen, par exemple, on trouve les régions viticoles dans un très grand nombre de groupes climatiques.
- h) Les relations trouvées entre les groupes climatiques et la typicité des vins de ces groupes met en évidence le rôle majeur du climat sur la typicité du vin produit.

Chapitre II

LE MESOCLIMAT ET SON INFLUENCE SUR LA QUALITE DU RAISIN ET SUR LA TYPICITE DU VIN DE SYRAH DANS LE SUD DE LA FRANCE

1. INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, nous avons analysé le macroclimat des régions viticoles au niveau mondial. Les résultats ont montré que l'analyse multicritères, par l'intermédiaire des indices climatiques viticoles, permettait la caractérisation du climat viticole des régions tant au niveau mondial mais également au niveau d'un pays, comme nous l'avons montré pour la France.

Soit au niveau mondial soit au niveau de la France, les mêmes groupes climatiques sont ressortis. L'analyse présentée a mis en évidence l'existence d'un niveau de corrélation entre les regroupements des climats viticoles et la typicité globale des vins des régions concernées.

Dans ce chapitre, nous passons d'une étude macroclimatique à une étude au niveau du mésoclimat.

A ce niveau donc, on pourrait se demander si les groupes climatiques que nous avons proposés dans le chapitre précédent correspondent effectivement à une typicité des vins dans une région précise.

Une autre question peut également être posée : quelle est la variabilité climatique entre les différentes années et quelles sont les répercussions sur la qualité du raisin et la typicité des vins.

Quels modèles pourraient expliquer l'effet du climat sur la qualité du raisin ?

Une série de résultats sont déjà disponibles sur le climat viticole et son influence sur la qualité et la typicité des vins dans différentes conditions mésoclimatiques particulières. Mais le déterminisme climatique de la qualité du raisin et des caractéristiques des vins laisse encore un énorme vide sur les connaissances actuelles.

L'étude présentée ici contribue à une meilleure compréhension du climat viticole et de sa variabilité, ainsi qu'à son influence sur la vigne en terme de qualité du raisin et d'expression de la typicité des vins.

1.1. Objectif

Après la méthode développée dans le chapitre I pour caractériser le macroclimat viticole mondial, le but a présent est d'analyser le climat viticole en augmentant d'échelle : à l'échelle du mésoclimat d'une grande région viticole.

Pour réaliser cette étude, on a utilisé un ensemble de 18 parcelles viticoles du cépage Syrah situées dans différents mésoclimats du sud de la France.

L'analyse porte sur les groupes climatiques et sur la variabilité interannuelle du climat viticole. Des aspects concernant les relations entre les indices climatiques, variables agronomiques et la qualité du raisin sont également étudiés. La typicité est mise en relation avec les groupes climatiques. Quelques perspectives sur une meilleure connaissance générale du déterminisme de la maturation du raisin et de la qualité organoleptique des vins sont attendues.

2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans cette analyse bibliographique nous allons regarder, du point de vue de l'intérêt viticole, le macroclimat et le mésoclimat dans le sud de la France. Puis nous allons centrer l'attention sur l'influence du climat sur les caractéristiques du raisin et du vin de Syrah.

En fait, ce cépage s'est répandu en dehors de sa région de production traditionnelle en France - les côtes du Rhône septentrionales. Il a trouvé, ces dernières années, une place importante dans la viticulture productrice de vins de qualité dans le sud de la France avec des vins qui expriment des caractéristiques aromatiques et gustatives très originales.

2.1. Le climat du sud de la France

2.1.1. Le climat méditerranéen et les climats de transition dans la région

Le climat de type méditerranéen présente une grande variabilité au niveau mondial (Péguy, 1970 ; Daget, 1977). Pour la région méditerranéenne, Daget (1975) a publié une étude de délimitation basée sur les régimes des précipitations.

Le climat de la France méditerranéenne, par rapport au climat de l'ensemble des pays sur lesquels règne le climat méditerranéen, est presque entièrement un climat de transition. Emberger (1959) la caractérise comme *une région de méditerranéité atténuée*.

Le climat de la France méditerranéenne, même indépendamment des reliefs montagneux, montre une altération de plus en plus prononcée au fur et à mesure qu'on s'éloigne des rivages de la mer (Emberger, 1959) :

- 1) Vers l'Ouest, l'altération du régime des pluies méditerranéen sera marquée par une tendance progressive vers une répartition régulière de la pluviosité sur les 12 mois de l'année, par abaissement de la pluviosité des saisons d'automne à printemps et comblement correspondant du creux estival ; c'est le régime dit *océanique*. Toulouse en est un exemple.
- 2) Vers le Nord et l'Est, le minimum estival de la courbe s'atténue au bénéfice d'un affaïssement en hiver d'abord, puis en hiver et en automne. Ce phénomène déterminera, pour le premier cas, le transfert du minimum de pluviosité à l'hiver, l'été n'étant plus que le minimum secondaire, et, pour le deuxième cas, l'apparition du maximum de pluviosité en été et une courbe pluviométrique exactement inverse de la courbe méditerranéenne ; c'est le régime dit *continental*.

Le climat de transition entre le climat méditerranéen et le climat non méditerranéen est caractérisé, quant à la pluviosité, par le comblement du creux estival, soit par *rabattement* des sommets hivernal et automnal de la courbe méditerranéenne, soit par son aplatissement. On constate que les courbes pluviométriques des régimes de transition ne sont pas les moyennes d'années qui se ressemblent, qui ne différeraient que par les masses d'eau tombées au cours de l'année, mais d'années ayant les unes des étés franchement secs, et les autres des étés plus ou moins humides. En un mot, le *climat de transition* est, quant à la pluviosité, la moyenne de régimes opposés (Emberger, 1959).

2.1.2. Le climat viticole dans le sud de la France

Dans le chapitre précédent nous avons montré les groupes climatiques des régions viticoles françaises. Dans la région sud, plusieurs climats viticoles sont présents. La caractéristique la plus marquante de ce climat viticole est la présence de la sécheresse estivale (Figure 14 - paragraphe 4.10 du chapitre I).

Plusieurs études ont apporté des informations intéressantes pour la caractérisation de la variabilité du climat dans le sud de la France.

Guitard *et al.* (1979), par exemple, étudient les conditions thermiques moyennes de la période végétative de la vigne, estimée par l'Indice de Winkler, sur plus de 200 mésoclimats dans les départements méridionaux : Hérault, Pyrénées-Orientales, Gard, Bouches-du-Rhône, Var, Ardèche, Aude, Vaucluse, Drôme et les 2 départements de la Corse. L'ensemble des mésoclimats est situé dans les zones I à IV de Winkler, la zone V n'étant pas représentée. Pour les zones les plus chaudes - Corse, Bandol et Toulon, l'Indice se situe entre 2000 et 2100 degrés-jours. Par rapport à la variabilité thermique interannuelle, Clinet (1991) a publié une étude sur différentes parcelles de vignes dans le Gard.

Le vent est lui aussi une variable importante du climat viticole dans la région sud de la France (Figure 15). Les vents du nord sont des vents liés à de hautes pressions continentales ; ils sont secs, froids, parfois violents et desséchants. Dans le Midi méditerranéen, on remarquera le *Mistral*, vent descendant du Nord dans la vallée du Rhône et la *Tramontane*, un vent du Nord à Nord-Ouest, froid et sec. On remarquera également les vents du sud qui sont des vents de mer (Galet, 1993).

La sécheresse d'été est une caractéristique marquante du climat de la région du Midi méditerranéen. Les pluies d'automne et d'hiver sont importantes pour la reconstitution des réserves en eau du sol pour le cycle suivant de la vigne. Dans l'Aude, par exemple, Héritier (1990) observe que la sécheresse d'été se prolongeait encore au mois de décembre de l'année 1989 dans l'Ouest du département. Il y a des années où les réserves ne sont pas reconstituées à la fin d'hiver (comme en 1988 en Roussillon).

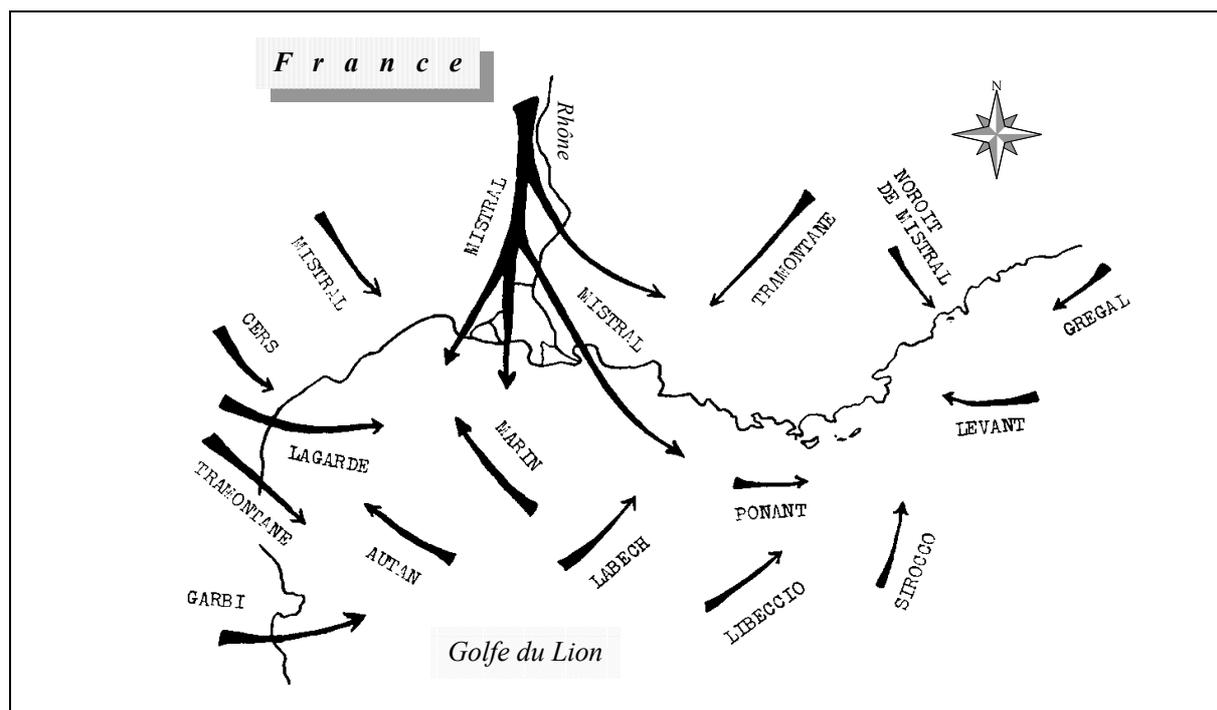


Figure 15. Les vents dans le Midi de la France (Galet, 1993).

Une étude macroclimatique réalisée dans l'Hérault sur une longue série d'années a montré une très grande variabilité du régime pluviométrique (Association Climatologique de l'Hérault, 1979). Le relief a une grande importance puisque la quantité de pluie augmente progressivement depuis le littoral vers la zone de relief située plus au nord. La moyenne annuelle de la quantité d'eau peut varier dans la proportion de 1 à 3. L'étude constate que la variabilité est également présente en fonction des années et de la période de l'année considérée, ce qui entraîne pour la vigne une forte variabilité de disponibilité hydrique au niveau du sol liée à la localisation géographique, au millésime et à la période de l'année.

D'autres études offrent une vue d'ensemble de la variabilité climatique des années en Roussillon (Station Viti-Vinicole CIVDN, 1996) où dans l'Hérault (Département Hérault, 1994, 1995 et 1996).

1.1. Milieu naturel, terroir et zonages viticoles dans le sud de la France

Dans les années cinquante, Kuhnholz-Lordat (1954) introduit la notion de *noyau d'élite*. Selon lui, ce noyau est constitué par les parcelles viticoles qui ont fait la réputation initiale de

l'appellation; elles correspondent à des conditions géographiques assez circonscrites, de sorte qu'elles sont bien en effet groupées en un noyau, d'ailleurs unanimement reconnu par la profession. Une fois ce noyau mis en place sur le terrain, il devient possible d'étudier l'amenuisement centrifuge de la qualité et de situer la limite extérieure admissible de l'aire de l'appellation. Il considère encore "...qu'il ne faut pas croire que la position de ces noyaux soit déterminable par des considérations strictement scientifiques, en ne tenant compte, par exemple, que de la géologie, de la pédologie, de la climatologie... Théoriquement, cela devrait pouvoir être fait. Peut-être y arrivera-t-on dans un avenir très lointain".

Dans les années soixante, Seguin (1970) est un pionnier des recherches scientifiques sur le terroir en France et établit des éléments pour une compréhension de l'effet terroir sur la typicité des vins à Bordeaux.

2.2.1. Quelques concepts de base

Sur le terme terroir, Carbonneau (1995a, 1996a) considère qu'en raison de l'usage très large du terme une clarification s'impose. L'acception la plus ancienne est celle du latin *territorium* ou territoire incluant une cohérence géographique, socio-économique et juridique : il faut sans doute y voir là la base du concept d'Appellation d'Origine Contrôlée ; plus récemment la signification populaire a entendu par terroir une région d'élaboration de produits originaux et naturels.

Plus spécifiquement, Morlat (1989) a proposé le concept de séquence écogéopédologique avec le paysage associé, qui recouvre l'interaction "mésoclimat x sol (sous-sol)" et s'appelle désormais **Unité Terroir de Base - UTB**. Riou *et al.* (1995) expliquent que l'UTB représente la plus petite surface de vignoble utilisable dans la pratique et dans laquelle la réponse de la vigne à travers le vin est reproductible. Les UTB identifiées et cartographiées selon cette méthode occupent une surface qui varie de quelques hectares à plusieurs centaines d'hectares. Elles peuvent constituer la base d'un zonage pour une région viticole à partir duquel on peut envisager une véritable gestion optimisée de ces terroirs dans divers domaines : choix des cépages et porte-greffes, entretien et fertilisation du sol, lutte contre l'érosion, conduite de la vigne, état de maturité, vinification et élevage des vins, etc.

Carbonneau (1995a, 1996a) a proposé la dénomination **Unité Terroir Viticole - UTV**, qui recouvre l'ensemble des composantes du terme *terroir*, en y attachant le sens d'une interaction

précise entre UTB, cépage, technologies viticoles et oenologiques associées. Le niveau d'échelle est ici plus celui de la parcelle que celui de l'exploitation ou de la petite région.

La démarche de délimitation, reliée au concept d'Appellation d'Origine Contrôlée - A.O.C., consiste à circonscrire un territoire de production le plus souvent de grande surface. Le tracé de la limite peut être considéré comme le fruit d'un consensus entre la mise en œuvre de critères techniques avancés par les experts et l'approche pratique reconnue par les viticulteurs. Le plus souvent, un vignoble A.O.C. délimité est constitué de plusieurs terroirs différents tels que définis par Morlat (1989). Il est donc possible d'identifier, à l'intérieur d'une aire A.O.C., plusieurs zones homogènes du point de vue des facteurs naturels que les composent (Riou *et al.*, 1995).

Dans l'analyse des résultats de la recherche développée dans ce chapitre, nous allons utiliser les dénominations UTB et UTV, selon les concepts ci-dessus. Également, en fonction de l'intérêt spécifique de cette recherche, nous retiendrons également 2 autres définitions, proposées dans l'article de Riou *et al.* (1995) :

- a) **terroir** - qui peut être défini, en un lieu donné, comme l'*ensemble des facteurs naturels* qui, par leur action sur la vigne, confère à un produit une véritable typicité et authenticité ; c'est un *système complexe* dans lequel divers facteurs interagissent et dont le vin est la résultante;
- b) **typicité du vin** - qui désigne l'ensemble des propriétés sensorielles d'un vin permettant de l'identifier.

2.2.2. Recherches concernant l'influence des facteurs naturels du milieu

L'histoire récente de la viticulture dans le Midi français montre une valorisation croissante des terroirs viticoles à la recherche d'une amélioration de la qualité et de la typicité des vins (Jacquinet *et al.*, 1989 ; Cerveau, 1991).

Astruc *et al.* (1980) ont publié un zonage des potentialités viticoles dans le département de l'Aude. Dans la partie de l'étude concernant l'évaluation du milieu naturel, la caractérisation des différents bioclimats a mis en évidence la diversité climatique dans cette zone. On observe la prédominance du climat de type méditerranéen. Mais des parties importantes du département présentent un climat de transition, à dominante méditerranéenne ou océanique. Les différents

bioclimats de la zone viticole de l'Aude ont été définis en prenant en compte la répartition de la végétation spontanée et le comportement phénologique des cépages (Figure 16).

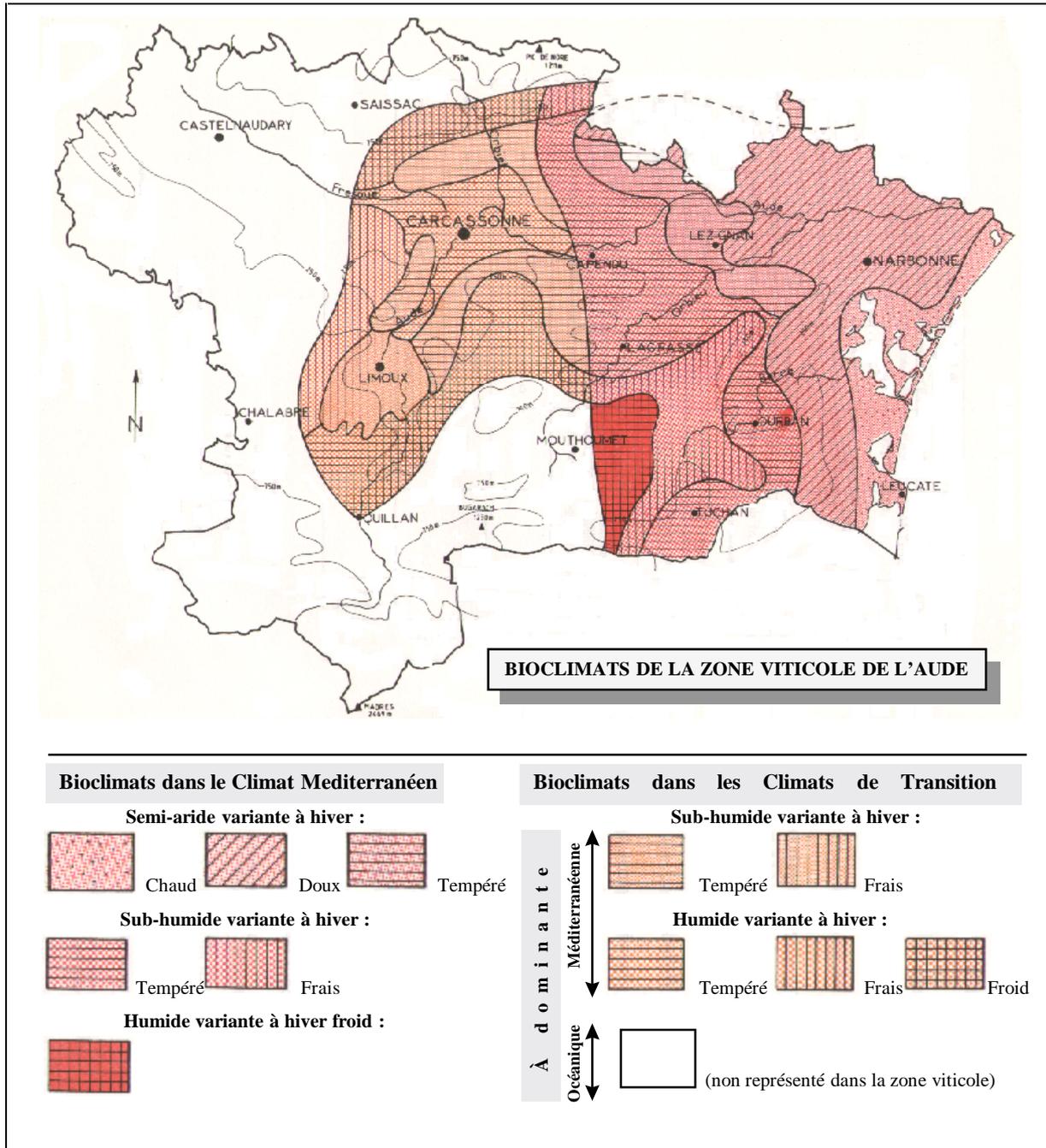


Figure 16. Bioclimats de la zone viticole de l'Aude (Astruc *et al.*, 1980 ; carte dressée par J.C. Jacquet)

La carte présentée sur la Figure 17 montre un exemple des différents milieux naturels de la zone nord du Mont Alaric, dans l'Aude (Astruc *et al.*, 1980). Les unités de milieu sont désignées par des sigles (T_1 , M_1 ...). Elles identifient les sous-zones qui correspondent à des caractéristiques écologiques identiques par rapport à l'appartenance à un ensemble d'éléments contrôlés, comme la nature et l'origine de la roche-mère, la position topographique, la texture et le drainage du sol, la profondeur exploitable par les racines et la réserve utile en eau du sol, etc. Le climat et le bioclimat sont également pris en compte.

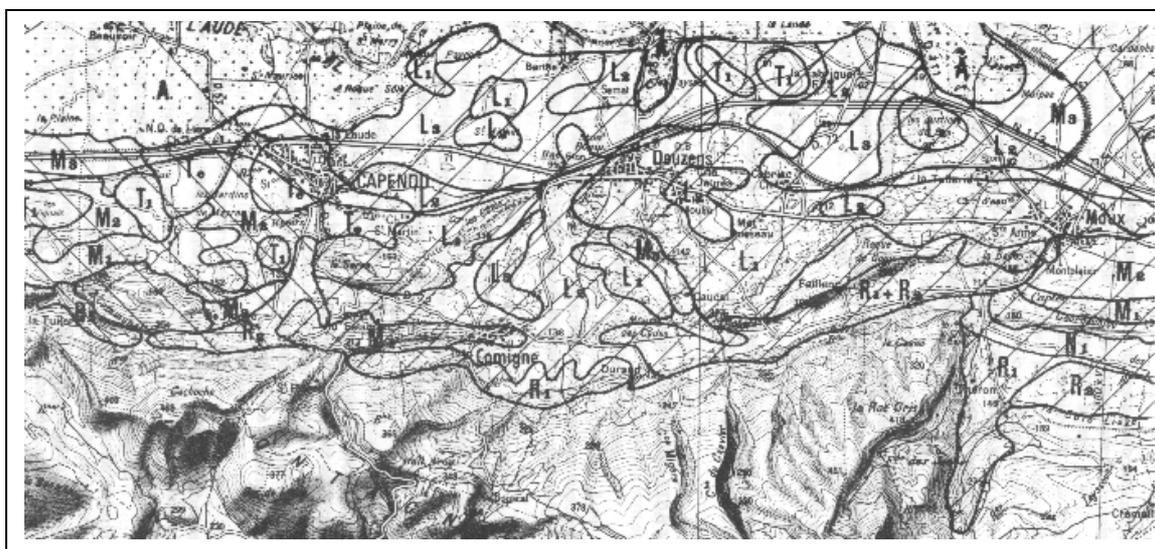


Figure 17. Extrait de la carte des milieux naturels de l'Aude (Astruc *et al.*, 1980).

Les terroirs viticoles des Corbières audoises sont décrits par Jacquinet *et al.* (1988). Du point de vue géoviticole, 7 régions naturelles sont caractérisées, essentiellement à partir de leurs caractéristiques climatiques, mais aussi par leurs caractéristiques géologiques dominantes, leurs sols et leurs situations géotopographiques. Une appréciation du comportement régional des cépages est présentée sur chaque région.

Envisageant une meilleure valorisation des terroirs viticoles du département de l'Hérault, un recueil du milieu naturel a été publié (Association Climatologique de l'Hérault, 1997). Cette approche globale des caractéristiques concernant le sol, le climat et le relief, a révélé les grands traits physiques départementaux. Les fortes disparités trouvées dans l'Hérault ont, en effet, abouti à l'identification de 8 régions (entités naturelles). Par la suite, l'analyse selon une

approche bioclimatique des données de pluie et de température, et l'utilisation de l'Indice d'Emberger comme indicateur d'aridité, ont abouti à une distribution des régions en 4 ensembles dont les caractéristiques agroclimatiques sont semblables. L'étude montre que la complexité et la diversité du milieu naturel de ce département constituent une richesse pour la viticulture régionale. L'étude montre qu'une adéquation terroir-cépage est envisageable pour une amélioration de la qualité et de la typicité des vins élaborés.

Les caractéristiques édaphiques sont importantes dans la viticulture du Midi. Champagnol (1997) analyse le sol et les potentialités qualitatives des terroirs du vignoble Languedocien et constate une extrême complexité sur la carte géologique, avec d'innombrables failles et une mosaïque de formations géologiques de nature lithologique contrastée. Il parle de la fertilité hydrique du sol - la caractéristique la plus remarquable, qui dépend des caractéristiques physiques du sol et de la profondeur. Sous climat méditerranéen, caractérisé par une sécheresse estivale, la fertilité agronomique potentielle d'un sol peut être généralement confondue avec ses aptitudes hydriques. La régularité de l'alimentation en eau dans le contexte d'une sécheresse progressive a ici aussi été soulignée pour les vignobles de qualité.

Mais la connaissance de l'alimentation de la vigne en eau n'est pas facile à estimer. L'estimation de ces paramètres est délicate. Récemment une étude développée dans le Midi (Trambouze et Voltz, 1996), a permis de relier la consommation en eau d'une parcelle de vigne avec la fraction d'eau transpirable du sol.

Pour son importance au niveau de la recherche concernant les terroirs viticoles, on cite les travaux développés dans le Val de Loire. Barbeau *et al.* (1998b), par exemple, mettent en évidence l'aspect vigueur et la typicité du vin liée au terroir. D'autres observations montrent que les différences de qualité de vendange qui peuvent exister entre 2 millésimes sont aussi importantes que celles que l'on observe entre 2 terroirs extrêmes pour un même millésime (Barbeau *et al.*, 1998a).

2.3. Importance et caractéristiques du cépage Syrah

On ne sait rien de précis sur l'origine du cépage Syrah (*Vitis vinifera* L.). Pour les uns, il serait originaire de la ville de Schiraz en Iran. Pour d'autres l'introduction des plants de Syrah en

France remonterait au III^{ème} siècle lors de la reprise des plantations de vigne en Gaule. Enfin, certains historiens pensent que la Syrah viendrait de la ville de Syracuse en Sicile. Il est curieux de remarquer qu'actuellement la Syrah n'est cultivée dans aucun de ses centres d'origine supposés (Galet, 1990).

Sur le plan mondial la Syrah présente une superficie cultivée de 63.760 ha (superficie estimée par Boursiquot, J.-M. - information personnelle). Largement diffusée, elle est trouvée surtout en France, mais également en Australie, en Afrique du Sud, en Argentine, aux États-Unis et en Italie.

En France, la Syrah est un cépage à forte expansion. Elle est passée de 1.602 ha en 1958 à 12.282 ha en 1979 ; elle arrive à 27.041 ha en 1988 (Entav, 1995). En 1998 elle présente une superficie de 44.800 ha (D.G.D.D.I.).

Les vins de Syrah ont fait la réputation de l'Hermitage, de Cornas et de Côte-Rôtie (Valat, 1992). Classé "recommandé" dans le Sud-Ouest, le Languedoc, la Provence et la Vallée du Rhône, ce cépage entre dans l'encépagement de nombreuses A.O.C. des Côtes-du-Rhône septentrionales : Côte-Rôtie, Cornas, Saint-Joseph, Hermitage, avec des plantations dans les départements du Rhône, de l'Ardèche et de la Drôme. Puis la Syrah a gagnée les Côtes-du-Rhône méridionales: Vaucluse, Gard et Bouches-du-Rhône (A.O.C. du Châteauneuf-du-Pape) et s'est propagé également dans les A.O.C. provençales : Palette, Côtes de Provence, Coteaux d'Aix-en-Provence.

Sa culture en Languedoc-Roussillon est plus récente pour les A.O.C. Coteaux du Languedoc, Saint-Chinian, Faugères, Minervois, Fitou, Corbières, Collioure, Côtes du Roussillon, Costières de Nîmes, Banyuls, Maury, Rivesaltes, dans les départements de l'Hérault, de l'Aude et des Pyrénées Orientales. Enfin, on trouve quelques plantations de Syrah dans le Sud-Ouest : Tarn pour l'A.O.C. Gaillac et Tarn-et-Garonne et Haute-Garonne pour l'A.O.C. Côtes du Frontonnais (Galet, 1990).

La Syrah possède un débourrement assez tardif ; la vigueur de la Syrah est plutôt élevée et sa fertilité plutôt faible ; les grappes sont moyennes, parfois ailées, compactes ; les baies sont ovoïdes, petites, juteuses, de peau fine mais assez résistante (Galet, 1990) ; sa maturité est de 2^{ème} époque, 2 semaines et demi après le Chasselas ; la Syrah mûrit rapidement ce qui se traduit par une période de véraison-maturité relativement courte. La Syrah s'adapte tardivement et

partiellement à la sécheresse et est sensible à la chlorose. Vis-à-vis des maladies et des ravageurs, on constate qu'elle est sensible aux acariens, et à la pourriture grise surtout en fin de maturation (Entav, 1995).

Seize clones sont actuellement agréés (Entav, 1995), dont la moitié sont multipliés de façon significative (clones numéros 73, 99, 100, 174, 300, 301, 381, 382, 383, 470, 471, 524, 525, 585, 747 et 877).

2.4. L'influence du climat sur la qualité du raisin et la typicité des vins de Syrah dans le sud de la France

Guitard *et al.* (1979) analysent les éléments permettant le choix des cépages *améliorateurs* dans le Midi de la France : ils doivent apporter de la couleur, de l'arôme et de la finesse pour combler les déficiences des vins qui ont été traditionnellement produits dans le Midi. De nombreux cépages ont été essayés comme améliorateurs, parmi eux la Syrah de la Vallée du Rhône.

Valat *et al.* (1989), en analysant les cépages et la qualité des vins dans le Midi méditerranéen, parlent de la profonde mutation de l'encépagement de cette région sous la poussée de cépages comme la Syrah, entre autres.

Le cépage Syrah est conseillé dans une grande gamme de zones thermiques du Midi - zones thermiques classées I à IV de Winkler (Guitard *et al.*, 1979).

Sur la Syrah, Torres (1989) trouve que la richesse en sucre est variable en fonction du millésime et influencée par le climat. L'influence du climat sur la teneur en sucre du raisin dans différents types de climats est montrée par Caló *et al.* (1992). Dans les régions chaudes à sécheresse d'été le facteur thermique perd de l'importance par rapport aux climats plus froids puisque les besoins thermiques de la plante sont toujours satisfaits, alors que l'influence des disponibilités hydriques devient déterminant.

L'éclairement au niveau du feuillage de la Syrah affecte la qualité du raisin et la composition du vin (Smart *et al.*, 1985). Dans l'Aude et dans l'Hérault, Bureau *et al.* (1996) trouvent évident l'effet de l'ensoleillement des grappes de Syrah en terme de potentiel aromatique. Pendant la

phase de maturation du raisin l'ensoleillement favorise la dégradation des caroténoïdes et accroît la formation des glycosides de C₁₃-norisoprénoïdes. On observe que sur les vins de Syrah, souvent caractérisés par une note de violette, les C₁₃-norisoprénoïdes doivent contribuer fortement à l'arôme. Cependant, les auteurs concluent qu'il reste à déterminer si cet enrichissement aromatique des baies va dans le sens d'une amélioration recherchée de la qualité et de la typicité du vin. Si cela s'avère convaincant les modes de conduite des vignes optimisant aux périodes optimales l'ensoleillement des grappes seront conseillés et privilégiés.

Dans les conditions du vignoble languedocien les caractéristiques édaphiques des terroirs sont également très importantes au niveau de la qualité de la vendange, comme l'analyse Champagnol (1997).

Dans le Midi, région la plus chaude de la France, Boubals et Champagnol (1982) signalent l'effet du climat, qui induit différents arômes des vins de Syrah entre la zone du bord de la Méditerranée et la région de Tain l'Hermitage. P. Charnay, cité par Galet (1990), parle à propos du déplacement de la Syrah du nord de la vallée du Rhône vers le sud, qui a provoqué des modifications dans le bouquet des vins obtenus. Il dit que "dans les Côtes du Rhône septentrionales le bouquet laisse percevoir des parfums floraux avec des dominantes de violette poivrée et de réséda ; avec le temps, cet ensemble aromatique devient truffe, ambre, réglisse-cachou. Dans le sud, le complexe aromatique de la Syrah est surtout dominé par des parfums de petits fruits : framboise, cassis, myrtille, que le temps rapproche des parfums de framboise sauvage, de truffe et de noyau". On obtient donc des vins différents et la Syrah apparaît comme un élément providentiel d'assemblage, apportant son intensité aromatique et sa relative lenteur à évoluer au Grenache et au Cinsaut, alors que ceux-ci lui apportent souplesse et liant.

Dans le Midi, l'importance de la Syrah pour l'obtention des vins de qualité est mise en évidence par Jacquinet *et al.* (1988), quand ils analysent le vignoble des différents terroirs dans les Corbières audoises.

Le rendement au niveau du vignoble est également une variable importante de la qualité des vins. Pour la Syrah, les rendements plus faibles permettent la production de vins de qualité, très colorés, riches en tanins et aromatiques. Cependant une élévation des rendements entraîne une perte du potentiel aromatique de ce cépage (Galet, 1990). En dehors des facteurs cultureux, la part du climat sur le rendement de la production vitivinicole a été traitée par Calleja (1995), sur

des études réalisées en France. Il montre que la température représenterait le facteur climatique le plus adapté pour expliquer l'évolution spatio-temporelle des rendements viticoles. Dans le Midi méditerranéen, quelques études interprètent la variabilité interannuelle de la production viticole en fonction des variables climatiques (Mériaux et Panine, 1986 ; Panine et Mériaux, 1988).

Également, il ne faut pas oublier l'ensemble des conditions des parcelles viticoles au niveau de l'Unité de Terroir Viticole - UTV et qui conditionnent la production d'une vendange de qualité, comme l'analyse Carbonneau (1998b).

La recherche présentée par la suite apporte des éléments nouveaux pour la compréhension du climat viticole et de son influence sur la qualité du raisin et la typicité des vins dans la région sud de la France.

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

La recherche développée ici concerne un dispositif expérimental appelé *Réseau Syrah* qui sera décrit par la suite.

3.1. Dispositif expérimental du Réseau Syrah

3.1.1. Les parcelles viticoles du cépage Syrah

Le dispositif expérimental viticole de cette recherche est composé par un ensemble de 18 *parcelles observatoires* de vigne du cépage Syrah - le *Réseau Syrah*. Elles sont placées sur une large gamme de conditions du milieu naturel, choisies pour intégrer le maximum de variabilité climatique et géopédologique.

Le cépage Syrah a été choisi parce qu'il est cultivé dans une région viticole extrêmement large dans le sud de la France et soumise à un ensemble de différents types de climats - climat méditerranéen et ses transitions, atlantique à l'ouest et semi-continentale au nord. Son importance réside également dans le fait que sa réponse aux différentes conditions du milieu naturel, y compris le climat viticole, s'exprime en termes qualitatifs au niveau du vin. Avec son introduction en dehors de sa région traditionnelle de production en France - la région nord du

Côtes du Rhône, la Syrah a gagné ces dernières années de l'importance au niveau des différentes appellations : il est maintenant présent dans le Midi de la France.

Chaque parcelle du Réseau est constituée d'une placette de 100 souches choisies au sein d'un vignoble, disposées en rectangle sur 3 à 4 rangs. Au sein de la placette, 15 séquences de 3 souches consécutives sont réparties de façon aléatoire, selon l'exemple montré sur la Figure 18. Ces séquences correspondent aux ceps contrôlés dans le Réseau Syrah.

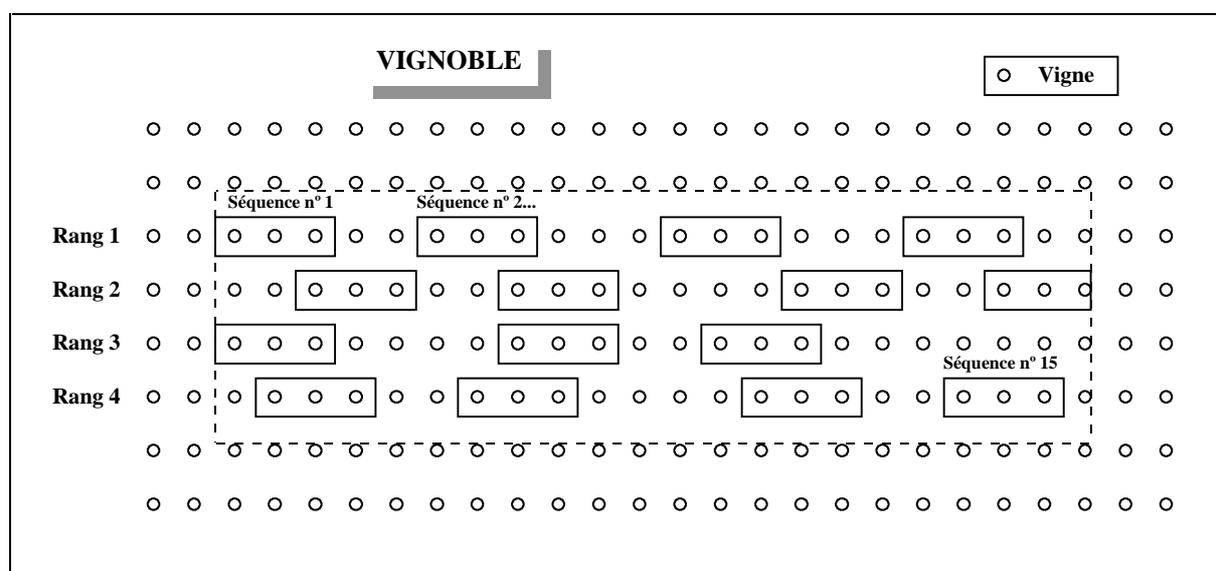


Figure 18. Exemple d'une parcelle expérimentale du Réseau Syrah : 15 séquences de 3 souches dans un vignoble.

La période d'observation du Réseau Syrah porte sur 3 années : 1994, 1995 et 1996.

3.1.2. Localisation géographique des parcelles

Le Tableau 23 (Annexe 4) présente les informations concernant la localisation des parcelles du Réseau Syrah ainsi que leur appartenance à une A.O.C. ou à une production de Vin de Pays.

Sur la carte de la Figure 19 on peut visualiser l'emplacement des 18 parcelles du Réseau Syrah, distribuées dans 4 régions et 9 départements du sud de la France.

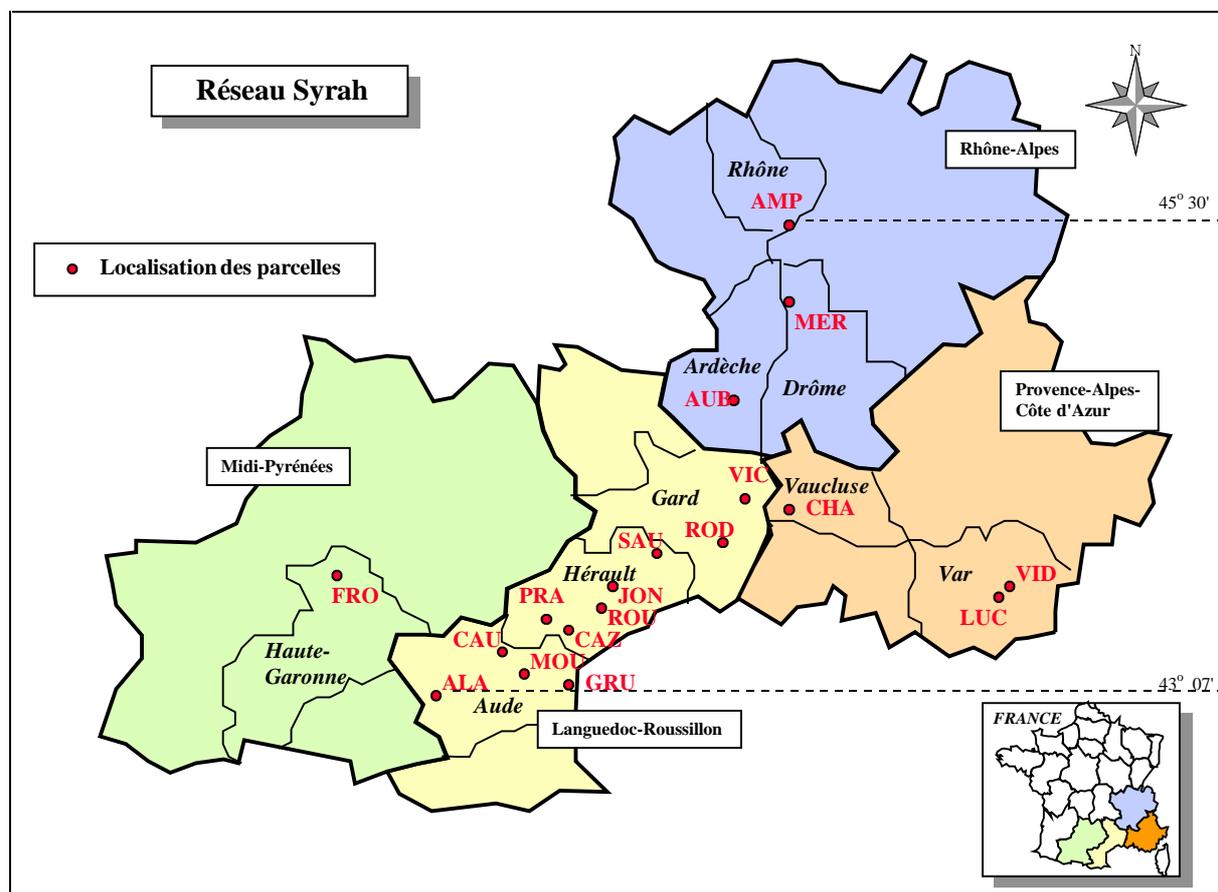


Figure 19. Localisation des 18 parcelles du Réseau Syrah dans les régions et départements du sud de la France.

Sur le Tableau 24 (Annexe 5) on trouve les coordonnées géographiques, l'altitude et la déclivité de l'ensemble des parcelles du Réseau Syrah. Les données de latitude et de longitude sont exprimées en degrés, minutes et secondes. La longitude est référée au méridien international de Greenwich. L'altitude des parcelles a été déterminée sur les cartes de l'Institut Géographique National - I.G.N. (à l'échelle 1:25.000), et représente l'élévation par rapport au niveau de la mer. La déclivité, en pourcentage, a été mesurée directement sur chaque parcelle avec l'utilisation d'un clinomètre.

On observe que les parcelles sont situées entre 43° et 46° de latitude Nord et entre 02° et 07° de longitude Est. Les altitudes sont variables et comprises entre 45 et 280 m. Les déclivités sont assez faibles - entre 0 à 9%, sauf pour la parcelle AMP avec 35% (Tableau 24- Annexe 5).

On trouve différentes zones climatiques dans l'ensemble des parcelles du Réseau. La plus grande partie des parcelles, situées dans le Gard, l'Hérault et le Var, sont soumises au *climat méditerranéen* avec plus au moins d'influence maritime. GRU est la parcelle la plus proche de la mer et de plus basse altitude. Les parcelles FRO (sud-ouest) et ALA sont plus exposées à un climat méditerranéen de transition, avec une *influence atlantique*. Dans des latitudes les plus élevées on trouve AUB, dans l'Ardèche, MER et AMP dans les Côtes-du-Rhône septentrionales. Ses parcelles sont déjà dans un climat de transition méditerranéen et soumises à *l'influence d'un climat atlantique* que l'on pourrait qualifier de *semi-continental*

3.1.3. La typologie des paysages des parcelles du Réseau Syrah

La méthode de Lebon (1993) a été utilisée pour l'évaluation de l'Indice d'Ouverture des Paysages - I.O.P. Les résultats de cette caractérisation des typologies des paysages des parcelles du Réseau Syrah sont présentés sur la Figure 20.

Parcelles et Orientation du Masque Principal	Indice d'Ouverture du Paysage - I.O.P.	Secteur Angulaire Fermé		
		<180°	180 - 270°	>270°
CAZ	10	Paysage très ouvert		
CAU, CHA	9	Paysage ouvert*		
	8			
ALA (N), AUB (N), JON (N), LUC (N), MER (S), SAU (N)	7	Paysage moyennement fermé*		
MOU (S), ROU (W)	6			
ROD (E), VIC (E)	5	Paysage fermé avec un masque principal* Paysage très fermé		
FRO (W), PRA (E)	4			
AMP (W), VID (W)	3			
GRU	2			
	1			

* Avec indication de l'orientation du masque principal

Figure 20. Typologie des paysages des parcelles du Réseau Syrah mesuré par l'Indice d'Ouverture du Paysage - I.O.P.

Les observations montrent qu'on trouve tous les types de paysages, de paysage très fermé comme à GRU, jusqu'aux paysages très ouverts, comme à CAZ, CAU et CHA, les paysages ouverts étant les plus fréquents.

L'I.O.P. des parcelles du Réseau Syrah est assez représentative de la diversité des paysages trouvés dans la viticulture du sud de la France.

L'analyse des données climatiques des parcelles du Réseau montre qu'on ne trouve pas des parcelles avec un paysage fermé et une vitesse moyenne annuelle du vent supérieure à 3 m/s, par exemple. Les parcelles CAU et MOU dans l'Aude, zone comprise entre les Corbières et la Montagne Noire, sont soumises à la *Tramontane*. De la même façon, la parcelle VIC souffre d'une forte influence du *Mistral* du fait de sa localisation géographique et du paysage non abrité du côté nord. Jacquet et Morlat (1997) analysent la variabilité climatique des terroirs viticoles dans le Val de Loire. Ils mettent en évidence l'existence de mésoclimats associés aux éléments géopédologiques du terroir en Val de Loire et démontrent l'importance de l'effet de la fermeture du paysage sur la vitesse du vent.

3.1.4. Géopédologie des parcelles

La géopédologie des parcelles est très variable. Les vignobles sont sur sol argilo-calcaire, calcaire dur, colluvions calcaires, alluvions schisteuses, alluvions limoneuses et grès feldspathique, ce qui suppose également différents niveaux de réserve en eau du sol.

L'objectif premier est ici de combiner la diversité des sols à celle des mésoclimats pour étudier la Syrah sur une gamme maximale de terroirs, plutôt que d'étudier les effets spécifiques d'un sol donné.

3.1.5. Caractéristiques d'établissement des vignobles et de conduite des parcelles

De manière à limiter le plus possible les effets du matériel végétal et du système de culture (facteurs humains) sur la qualité de la récolte, et donc sur celle des résultats, on a été conduit à privilégier le choix de parcelles relativement jeunes. Ainsi, il a été possible de connaître les caractéristiques du matériel végétal et de l'état général du vignoble, en particulier sanitaire.

Sur le Tableau 25 (Annexe 6) on trouve les caractéristiques d'établissement des vignobles des parcelles du Réseau Syrah. À la première récolte du Réseau Syrah - 1994, les vignobles des parcelles avaient en moyenne 10 ans, les parcelles les plus jeunes ayant 4 ans.

Toutes les parcelles sont greffées, la majorité sur le porte-greffe 110 Richter (110 R), de résistance élevée à la sécheresse, est le plus utilisé surtout dans les régions les plus chaudes. On trouve également le 140 Ruggeri (140 Ru) dans le cas où il faut garantir une bonne résistance à la chlorose calcaire. Dans les zones le plus septentrionales les porte-greffe 3309 Couderc (3309 C) et la Sélection Oppenheim n° 4 (SO4), adaptés à des conditions de moindre sécheresse, sont retenues.

Les clones de Syrah 100 et 174 ont été utilisés. Ces 2 clones ont une fertilité que se ressemblent. Mais le clone 100 possède un poids de grappe et un potentiel de production supérieur à celui du clone 174 qui, quant à lui, peut produire des vins avec plus de qualité (Entav *et al.*, 1995). Seules quelques parcelles du Réseau ont été établies avec du matériel de sélection massale.

La densité de plantation est comprise entre 3000 à 4300 ceps/ha, à l'exception des parcelles AMP et MER, qui ont une densité plus élevée (Tableau 25 - Annexe 6).

Pour une uniformisation de la conduite des parcelles, quelques opérations ont été adoptées pendant la période de la durée du Réseau Syrah : système de conduite en espalier avec relevage de la végétation, assurant un rapport H/E voisin de 0,5. Taille équilibrée par rapport à la charge, en cordon bilatéral, adaptation du palissage de façon à avoir une SFE non limitante sur la qualité de la récolte.

3.2. Constitution d'une base de données climatiques

Pour la caractérisation du mésoclimat des parcelles du Réseau Syrah, une base de données climatiques a été créée, au pas de temps journalier, sur la période des 3 années - du 01.01.94 au 31.12.96. Elle comprend les 8 variables utilisées dans l'analyse mondiale et répertoriées dans le Tableau 6 (Chapitre I).

Le Tableau 26 (Annexe 7), présente pour chaque poste météorologique utilisé pour l'obtention des données climatiques de chaque parcelle du Réseau Syrah, les coordonnées géographiques et les variables climatiques respectives.

Ces postes météorologiques ont été choisis pour être les plus représentatifs du mésoclimat des parcelles, plusieurs d'entre eux étant situés à proximité immédiate des parcelles du Réseau, cas des parcelles ALA, AUB, CHA, FRO, GRU, LUC, MER, ROU et SAU.

L'Evapotranspiration Potentielle (ETP) journalière, selon la méthode de Penman, a été calculée en utilisant les données climatiques de base du (des) poste(s) météorologique(s) de chaque parcelle (Tableau 26 - Annexe 7).

Dans le cas des quelques données manquantes, on a réalisé la reconstitution des séries de données par régression linéaire simple avec les séries de postes voisins.

3.3. La phénologie des parcelles

À partir de la constitution d'une base des données phénologiques sur les parcelles du Réseau, les dates de floraison et de véraison ont fait l'objet d'une modélisation climatique. Cette démarche est présentée dans l'*Étude 1* - paragraphe 6 de ce chapitre.

Les notations phénologiques des parcelles ont portées sur 4 stades :

- Date de début de débourrement de Riou et Pouget (D_p) : elle a été estimée par le modèle (ci-dessous) de Riou et Pouget (1992) (voir *Étude 1* - paragraphe 6 de ce chapitre) :

$$F = e^{0,07T} - 1,91 e^{-0,126T}$$

- Date de mi-floraison (f) : estimée par le modèle climatique (ci-dessous) géré à partir d'un ensemble d'observations phénologiques du Réseau Syrah lui-même (voir *Étude 1* - paragraphe 6 de ce chapitre) :

$$f = \Sigma T_{10} \text{ de } 385 \text{ degrés-jours à partir de la date } D_p$$

- Date de mi-véraison (v) : estimée par le modèle climatique (ci-dessous) géré à partir d'un ensemble d'observations phénologiques du Réseau Syrah lui-même (voir *Étude 1* - paragraphe 6 de ce chapitre) :

$$v = \Sigma T_{10} \text{ de } 1.168 \text{ degrés-jours à partir de la date } D_p$$

- Date de récolte (r) : la date de récolte des raisins des parcelles du Réseau Syrah correspond à la date de maturité optimale pour l'appellation. Dans les parcelles les plus septentrionales la date de récolte est en général la plus tardive possible. Autant que possible les parcelles ont été suivies par 3 contrôles de maturité, effectués sur un échantillon de 200 baies, dont le premier prélèvement a été réalisé 15 jours avant la date probable de récolte.

3.4. Caractérisation du mésoclimat du Réseau Syrah

La caractérisation du mésoclimat des parcelles a été faite à partir de la base de données climatiques du Réseau Syrah, décrite dans le paragraphe 3.2.

3.4.1. Les indices climatiques viticoles IS , IH et IF

Les indices climatiques viticoles IS , IH et IF , selon la méthode présentée dans le Chapitre I, ont été calculés pour l'ensemble des parcelles sur les années 1994, 1995 et 1996.

3.4.2. Autres indices climatiques et bioclimatiques

D'autres indices climatiques ou bioclimatiques ont été calculés sur différentes périodes de l'année et sur différentes phéno-phases. Ces indices sont répertoriés ci-dessous (obs. : consulter la *Liste des Sigles et des Abréviations* pour le descriptif des sigles) :

- Sur la période janvier-décembre : ΣP_{j-d} ;
- Sur la période avril-septembre : ΣR_{ga-s} , ΣP_{a-s} , ΣETP_{a-s} , ΣT_{10a-s} ;
- Sur la phéno-phase véraison-récolte ($v-r$) : NbJ_{v-r} , T_{xv-r} , T_{nv-r} , T_{v-r} , ΣT_{10v-r} , A_{v-r} , ΣR_{gv-r} , ΣP_{v-r} , ΣETP_{v-r} ;
- Sur les 30 jours précédant la date de récolte (r) : T_{nr-30} ;

- Sur les 20 jours précédant la date de récolte (r) : $Tnr-20$;
- Sur d'autres périodes : indice de Winkler, $Wv-30$, Wv , Wr .

NB : 1) en raison de l'absence des informations plus précises sur la réserve utile en eau du sol sur les parcelles du Réseau Syrah, nous avons gardé, à l'exemple de l'étude réalisée au niveau mondial - Chapitre I, la référence de 200 mm de stock d'eau disponible pour l'ensemble des parcelles du Réseau Syrah en début de cycle - 01.04, ceci pour le calcul des indices de bilan hydrique potentiel de Riou sur les variables IS , $Wv-30$, Wv , Wr ; 2) en fonction des résultats d'A.C.P. montrant la proximité globale de IS et de MS (matière sèche renouvelable produite sur un cycle végétatif), et de la plus grande pertinence de MS que de IS dans les 2 cas extrêmes où IS fournit des valeurs a priori aberrantes (JON, VIC), une dernière série d'analyse a consisté à utiliser MS comme estimation du bilan hydrique réel de la parcelle.

3.5. Variables agronomiques des parcelles

Au niveau de chaque parcelle du Réseau Syrah, un ensemble de variables agronomiques a été mesuré, comme décrit ci-dessous :

- Poids par rameau ou sarment, en g (P/ram) : calculé par la formule $P/ram = (P.bois/Nb.ram)1000$; c'est une mesure de la vigueur (Champagnol, 1984).
- Nombre de rameaux ou de sarments, par m^2 ($Nb.ram$) : par le comptage du nombre des rameaux ou des sarments lors de la taille, cep par cep, sur les 15 séquences de 3 ceps de la parcelle ;
- Poids frais des bois de taille, en kg/m^2 ($P.bois$) : par la pesée du bois de taille cep par cep, sur les 15 séquences de 3 ceps de la parcelle ;
- Production, en kg/m^2 ($Prec$) : par la pesée de la récolte cep par cep, sur les 15 séquences de 3 ceps de la parcelle ;
- Poids de 200 baies, en g ($P200$) : l'importance de la fraction pelliculaire a été évaluée par prélèvement aux ciseaux, à la date de récolte du raisin (r), d'un échantillon de 200 baies

(environ 50 bouquets de 3 à 5 baies) ; échantillonnage réalisé sur le bas et le haut de la grappe et sur le 2 côté du rang.

- Matière Sèche, en kg/m^2 (MS) : estimation de la matière sèche renouvelable produite sur un cycle végétatif, calculée par la formule $MS = 0,2\text{Prec} + 0,5\text{P.bois}$; c'est une mesure de la puissance (Riou *et al.*, 1999).
- Surface foliaire exposée potentielle, en m^2/ha (SFEp) : elle est calculée selon la méthode proposée par Carbonneau (1995b), sur la base des paramètres morphologiques du couvert et mesuré chaque année ; la SFEp estime un potentiel théorique alors que la surface foliaire exposée réelle - SFE tient compte des caractéristiques précises de la végétation (la SFE étant définie comme le produit de la "surface foliaire par unité de surface au sol au *Leaf Area Index*" et "l'éclairement moyen de la végétation") ; en d'autres termes, SFEp estime la surface foliaire capable d'atteindre le potentiel photosynthétique assorti d'une capacité d'exportation d'assimilats.
- Rapport entre la Surface foliaire exposée potentielle et la Production (SFEp/Prec) : exprime la capacité photosynthétique des feuilles en fonction du potentiel de production du vignoble considéré (Carbonneau, 1996b).

NB : les moyens alloués à l'équipe de viticulture, et malgré la collaboration avec tous les organismes locaux concernés, n'ont pas permis d'aller au-delà de ce volume d'observation. En particulier seuls ont été établis les liens entre l'environnement climatique, les caractéristiques de base des vignes, les analyses des raisins et des vins avec leur évaluation sensorielle ; le déterminisme écophysologique n'a pu être développé.

3.6. Variables qualitatives du raisin

Les analyses qualitatives du raisin ont été réalisées sur l'échantillon des 200 baies prélevé à la date de récolte (r), c'est à dire sur le même échantillon que celui utilisé pour la détermination de la variable Poids de 200 baies (P200).

Les variables retenues pour cette étude sont :

- Sucres, en g/l (Sr) : par réfractométrie

- Réserve technologique en polyphénols (RTIPT) : déterminée sur les pellicules du raisin selon la méthode développée par F. Champagnol (in : Mabrouk et Sinoquet, 1998).

3.7. La caractérisation sensorielle des vins

Le raisin récolté sur les 15 séquences de chaque parcelle du Réseau Syrah a été soumis à la microvinification dans des conditions standardisées au Domaine Expérimental de l'I.N.R.A de Pech-Rouge.

Après un stockage du raisin récolté pendant 24 heures à 15 °C, chaque lot de 80 kg de raisins d'une parcelle du Réseau a été éraflé, foulé et encuvé pour chaque parcelle. Un levurage a été effectué avec une L.S.A. *Vitilevure BC* à raison de 20 g.hl⁻¹ et la vendange a été sulfitée à 5 g.hl⁻¹. La fermentation alcoolique a été réalisée à 25-30 °C avec 1 pigeage par jour. Après une macération de 8 jours, le marc a été pressuré à 5 reprises jusqu'à 5 bars ; les jus de goutte et de presse ont été assemblés dans des fûts inox de 50 litres. En fin de fermentation malolactique, les vins ont été soutirés à 2 reprises et conservés en fûts inox de 30 litres (Gross, 1995). Les vins ont été suivis par des contrôles d'analyse chimique avant la mise en bouteille.

La dégustation a été faite par un jury de professionnels régionaux connaissant les parcelles du Réseau. Elle a été réalisée l'année après la vinification, après que le vin soit resté 2 mois en bouteille (millésime 1994 - dégustation au mois de février, par 2 jurys de 14 dégustateurs qui ont dégusté chacun la moitié des vins ; millésime 1995 - dégustation au mois d'avril par 26 dégustateurs ; millésime 1996 - dégustation au mois de juin, par 19 dégustateurs). L'ordre de service du vin était différent pour chaque dégustateur.

Trois groupes de descripteurs ont été notés suivant une intensité croissante de 0 (intensité nulle) à 5 (intensité maximale):

- 1) *visuels* (ICO - intensité de la couleur) ;
- 2) *olfactifs* (arômes : VEG - végétal, FLO - floral, EPI - épicé, BAL - balsamique, EMP - empyreumatique, ANI - animal, MIN - minéral, FRU - fruité) ; et,
- 3) *gustatifs* (CHA - chaleur, CON - concentration, AST - astringence, ACI - acidité).

La fiche de dégustation utilisée est présentée sur la Figure 41 (Annexe 3).

3.8. Analyses des résultats et traitement des données

L'analyse des résultats a été faite en priorité sur le climat viticole du Réseau Syrah. Mais d'autres observations ont également été réalisées pour avoir une idée de l'effet du climat viticole sur les caractéristiques qualitatives de la récolte et sur la typicité des vins.

3.8.1. Climat viticole du Réseau Syrah

L'analyse du climat viticole des 18 parcelles du Réseau Syrah, sur la base des indices climatiques *IS*, *IH* et *IF*, a été réalisé suivant 3 approches :

- 1) en remplaçant les indices climatiques des parcelles du Réseau Syrah par rapport aux climats des vignobles français et mondiaux (les indices climatiques viticoles utilisés au niveau mondial sont ceux de l'étude macroclimatique présentée dans le Chapitre I) ;
- 2) caractérisation des groupes climatiques du Réseau sur la moyenne de la période 1994-96 (NB : une étude sur les zones viticoles du Réseau Syrah selon les critères du zonage de la Communauté Européenne - Riou *et al.*, 1994 - basé sur le déterminisme climatique de la maturation du raisin, a été également réalisée - voir *Étude 2* - paragraphe 7 de ce chapitre) ;
et,
- 3) caractérisation de la variabilité interannuelle des groupes climatiques sur les années 1994, 1995 et 1996.

Quelques exemples sur la variabilité interannuelle des groupes climatiques sont présentes. Également, une caractérisation des caractéristiques climatiques des années 1994, 1995 et 1996 est réalisée.

3.8.2. Facteurs explicatifs de la qualité de la récolte

Une modélisation des variables dépendantes Sucre (*Sr*) et Réserve technologique en polyphénols (RTIPT) a été réalisée par Analyse de Régression Linéaire Multiple. Les variables

indépendantes testées ont été celles de la phénologie, et les variables climatiques, bioclimatiques et agronomiques citées dans les paragraphes 3.3, 3.4 et 3.5 ci-dessus.

Un test de validation du modèle de déterminisme climatique de la maturation du raisin - zonage de la teneur en sucre potentiel au niveau de la Communauté Européenne (Riou *et al.*, 1994), a été développé à l'échelle des parcelles du Réseau Syrah (voir *Étude 2* - paragraphe 7 de ce chapitre).

3.8.3. La typicité des vins du Réseau Syrah en fonction des millésimes et des regroupements climatiques

Une évaluation est réalisée sur la typicité des vins du Réseau Syrah des millésimes 1994, 1995 et 1996. Les données utilisées pour l'évaluation sont ceux du tableau des moyennes de l'analyse sensorielle, calculées pour chaque descripteur, sur l'ensemble des évaluations individuelles des membres du jury de dégustation. Les A.C.P. suivent la méthode proposée par Razungles *et al.* (1998).

Une analyse comparative entre la typicité des vins de chaque millésime en fonction des regroupements climatiques est également présentée.

3.8.4. Autres traitements des données

L'étude sur le climat viticole du Réseau Syrah a été réalisée sur l'ensemble des 18 parcelles du Réseau, et sur les années 1994, 1995 et 1996.

Les études sur les facteurs explicatifs de la qualité de la récolte et sur la typicité des vins en fonction des millésimes et des regroupements climatiques ont été réalisées sur 39 observations (13 parcelles x 3 millésimes; parcelles AMP, AUB, GRU, JON, LUC, MER, MOU, PRA, ROD, ROU, SAU, VIC et VID) pour lesquelles nous avons des résultats complets sur l'ensemble des années d'observation (années 1994, 1995 et 1996) et sur l'ensemble des indices climatiques, bioclimatiques, des variables agronomiques, qualitatives du raisin et sensorielles des vins. L'étude sur "Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application du zonage de la teneur en sucre de la Communauté Européenne à l'échelle des parcelles du Réseau Syrah" (voir *Étude 2* - paragraphe 7 de ce chapitre) a été également réalisée sur ses parcelles.

Les données traitées par analyse multivariée - Analyse en Composantes Principales - A.C.P. et par régression linéaire multiple, ont été réalisées avec le programme Statistica pour Windows Version 5.1 Edition 97 - StatSoft France.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans l'étude précédente - Chapitre I, nous avons présenté une caractérisation du climat viticole des régions au niveau mondial et au niveau de la France. Également, les regroupements climatiques des régions ont été définis (voir paragraphes 4.5 et 4.10 - Chapitre I).

Maintenant, l'analyse du climat viticole concerne l'échelle du mésoclimat du Réseau Syrah, situé dans la région sud de la France, et qui a fait l'objet d'une étude complète sur une série de 3 années consécutives - 1994, 1995 et 1996.

Ce chapitre présente dans une première partie le climat viticole du Réseau Syrah, puis une analyse des facteurs explicatifs de la qualité de la récolte. La dernière partie des résultats analyse l'influence du mésoclimat du millésime et des groupes climatiques sur la typicité organoleptique des vins de Syrah.

4.1. Réseau Syrah : le climat viticole, les groupes climatiques et leur variabilité interannuelle

4.1.1. Variabilité climatique du Réseau Syrah au sein des climats viticoles mondiaux

La Figure 21 montre le climat viticole des 18 parcelles du Réseau Syrah (sur la moyenne de la période 1994-96), par rapport au climat viticole des régions au plan mondial, y compris de la France. L'A.C.P. intègre les 3 indices climatiques de notre étude - *IS*, *IH*, et *IF* (les données des régions viticoles au plan mondial sont celles utilisées pour l'A.C.P. de la Figure 12 - Chapitre I).

Par rapport au climat viticole mondial, le Réseau Syrah se positionne dans un espace assez éclaté, surtout pour l'*IS*, dans les classes *sub-humide* et à *sécheresse modérée*.

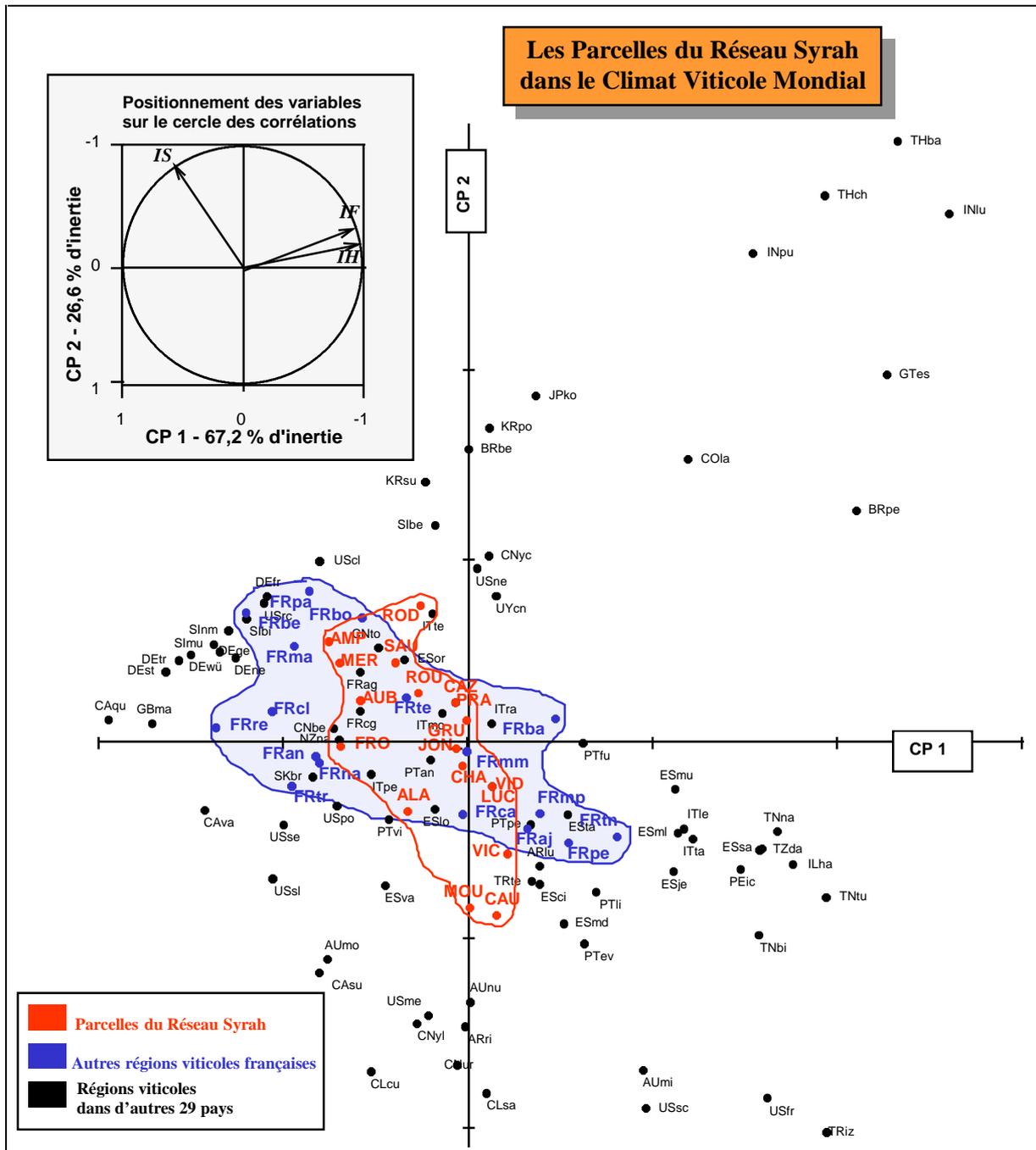


Figure 21. Le climat viticole moyen de la période 1994-96 des 18 parcelles du Réseau Syrah dans le climat viticole des régions au plan mondial et, en particulier, dans le climat viticole de la France.

Si on analyse l'insertion du climat viticole du Réseau Syrah dans le climat viticole de la France, on observe qu'il se regroupe avec l'ensemble des régions où le climat présente le potentiel héliothermique nécessaire aux exigences du cépage Syrah pour l'arrivée à la maturité du raisin.

4.1.2. Les groupes climatiques du Réseau Syrah

A l'exemple de l'analyse réalisée au niveau mondial, nous avons déterminé les groupes climatiques du Réseau Syrah sur les données climatiques de la moyenne de la période 1994-96. Les 3 indices climatiques viticoles - *IS*, *IH* et *IF*, ont été calculés pour chacune des 18 parcelles (Tableau 27 - Annexe 8). Les parcelles forment 7 regroupements climatiques. Ces groupes sont présentés sur l'A.C.P. de la Figure 22.

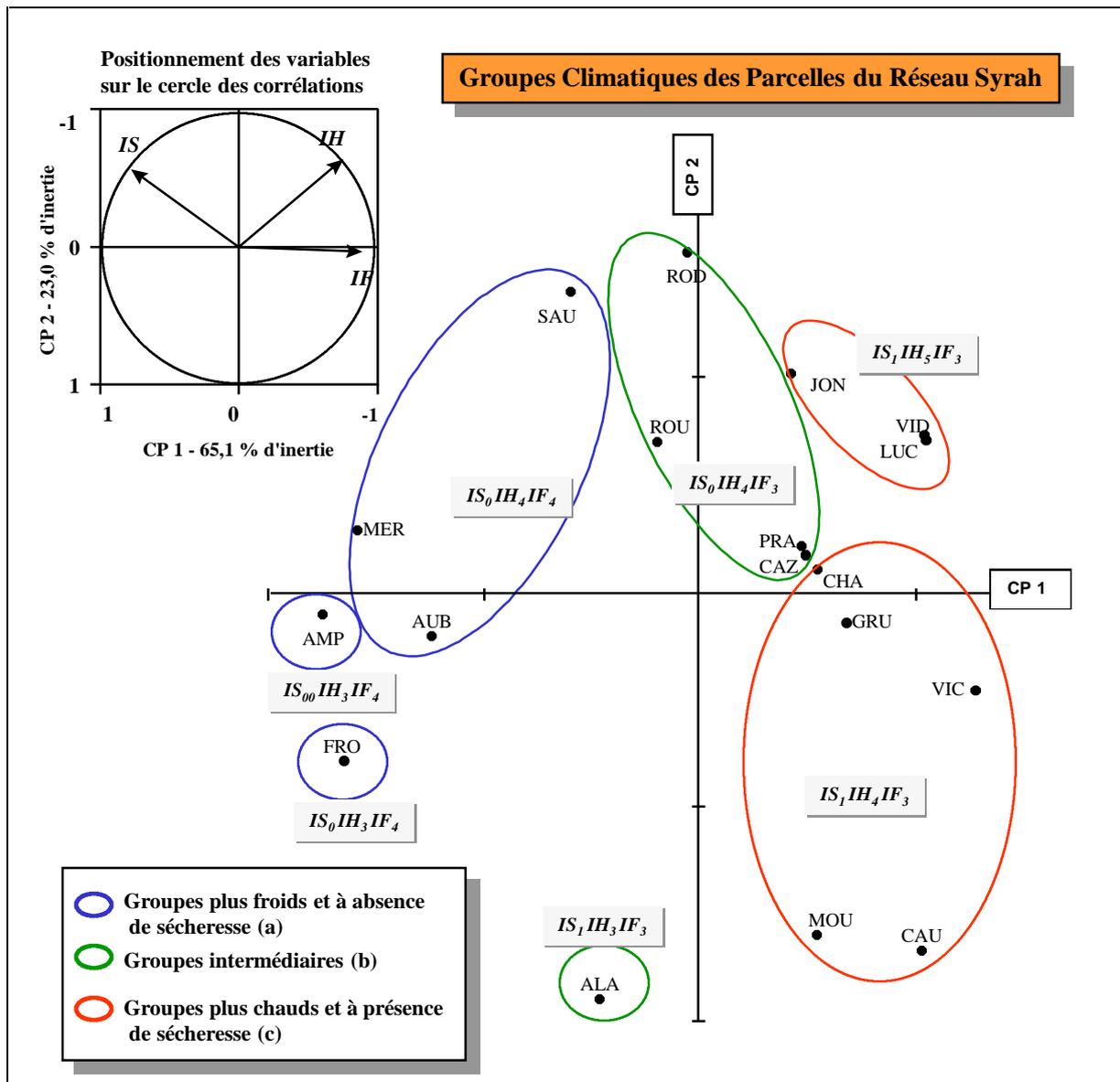


Figure 22. Les 7 groupes climatiques des parcelles du Réseau Syrah et leurs climats viticoles respectifs selon les classes des indices climatiques *IS*, *IH* et *IF* pour la moyenne de la période 1994-96.

Il existe des groupes plus globaux que les 7 précédents, ceux qui sont plus froids et à absence de sécheresse (a), ceux qui sont plus chauds et à présence de sécheresse (c), et des groupes intermédiaires (b). L'ensemble des groupes se situe sur les classes de climat viticole suivantes : pour l'IS - *humide, sub-humide et à sécheresse modérée* ; pour l'IH - *tempéré, tempéré chaud et chaud* ; pour l'IF - *à nuits fraîches et à nuits très fraîches*.

Il existe donc une diversité climatique assez importante dans les parcelles du Réseau et qui représente bien la diversité climatique de la région sud de la France où le cépage Syrah est cultivé.

Sur une étude que nous avons réalisée intitulée *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application du zonage de la teneur en sucre de la Communauté Européenne à l'échelle des parcelles du Réseau Syrah* (voir *Étude 2* - paragraphe 7 de ce chapitre), les résultats ont montré que les 18 parcelles du Réseau Syrah couvrent 5 zones viticoles sur les 10 zones définies dans ce zonage. Ces résultats renforcent ceux obtenus par les regroupements climatiques et confirment la grande variabilité du climat viticole trouvée dans le Réseau Syrah.

4.1.3. La variabilité interannuelle des groupes climatiques

La Figure 23 présente une A.C.P. avec le climat viticole des 18 parcelles du Réseau Syrah pour les années 1994, 1995 et 1996, sur la base des valeurs des indices climatiques IS, IH et IF (Tableau 27 - Annexe 8) et de leurs groupes climatiques respectifs.

Si on analyse la variabilité interannuelle des parcelles dans les groupes climatiques, on observe que, sauf pour les parcelles ALA et VIC qui ont gardés le même groupe climatique pendant 2 années, toutes les autres parcelles ont changé de groupe climatique chaque année.

Des 7 groupes climatiques du Réseau Syrah identifiés sur la moyenne de la période 1994-96 (Figure 22) nous arrivons à 17 groupes (Figure 23) si on intègre la variabilité interannuelle sur les 3 années. Ceci démontre la grande variabilité du climat viticole existant en fonction de l'année. On pourrait estimer que cette variabilité serait encore plus élevée si on considérait une série climatique plus longue.

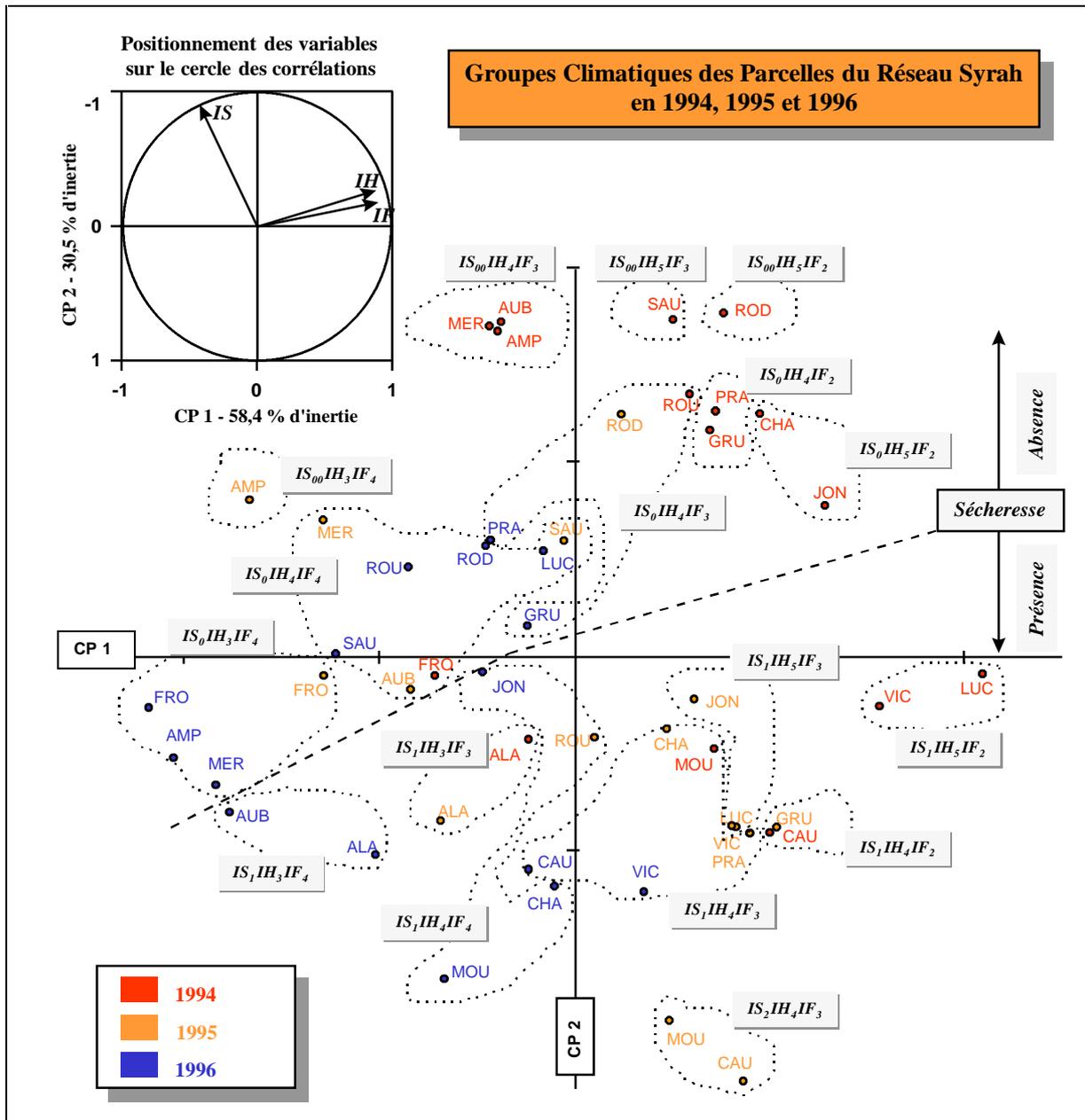


Figure 23. Groupes climatiques des parcelles du Réseau Syrah pour les années 1994, 1995 et 1996.

On observe sur l'A.C.P. une nette différence du climat viticole entre les différentes années, 1994 étant le plus chaud et 1996 le plus froid, soit pour l'IH soit pour l'IF. Mais il faut souligner qu'il existe un niveau assez élevé de corrélation entre les valeurs des indices climatiques des parcelles entre les années. L'indice le plus corrélé est l'IH, suivi de l'IF, toujours avec un coefficient de corrélation variant entre 0,80 et 0,97 (Tableau 27 - Annexe 8).

Cette corrélation a été beaucoup moins importante avec l'*IS* ($r = 0,76$ entre 1994 et 1995 ; $r = 0,43$ entre 1995 et 1996 ; $r = 0,47$ entre 1994 et 1996). Cela résulte du fait que la température change de façon plus uniforme sur l'ensemble des parcelles que d'autres variables climatiques, surtout la pluie qui peut, au niveau du mésoclimat, montrer de fortes différences entre 2 parcelles voisines par exemple, avec des répercussions sur la valeur de l'*IS*.

Même si la variabilité climatique interannuelle observée entre les parcelles du Réseau Syrah est importante, elle nous permet d'observer que les parcelles gardent un certain niveau d'équidistance entre elles en fonction des années. Cela résulte que les parcelles les plus froides seront toujours dans les groupes des parcelles les plus froides par rapport à l'ensemble des parcelles évaluées. La sécheresse garde également cette tendance, mais constitue une variable climatique moins stable que l'*IH* et l'*IF*.

4.1.3.1. Exemple de la variabilité interannuelle des groupes climatiques sur une longue série d'années dans le Midi

Pour mieux connaître la variabilité interannuelle des groupes climatiques, il faudrait étudier le climat viticole des parcelles du Réseau Syrah sur une longue série d'années. Notre base de données climatiques du Réseau Syrah ne permet pas de réaliser cette analyse.

Ainsi, pour avoir une idée de cette variabilité, nous avons développé un exemple sur le mésoclimat du poste météorologique d'Avignon, dans la région d'étude du Réseau Syrah. Une série de 28 années a été analysée, comprenant la période 1969 à 1996.

Pour simplifier l'analyse, nous avons retenu 2 indices climatiques viticoles - l'*IS* et l'*IH*. Les résultats sont présentés sur la Figure 24 qui place les années du poste d'Avignon et, également, de 19 autres régions viticoles de la France.

Trois constatations deviennent évidentes :

- a) le climat viticole moyen d'Avignon est $IS_1 IH_4$ (moyenne de la période 1969-96) ; sur cette série de 28 années, le climat viticole se retrouve sur 8 différents groupes climatiques, mais avec une fréquence élevée sur 3 groupes climatiques qui représentent 82% des années : climats viticoles $IS_1 IH_4$ (39%), $IS_0 IH_4$ (29%) et $IS_1 IH_3$ (14%).

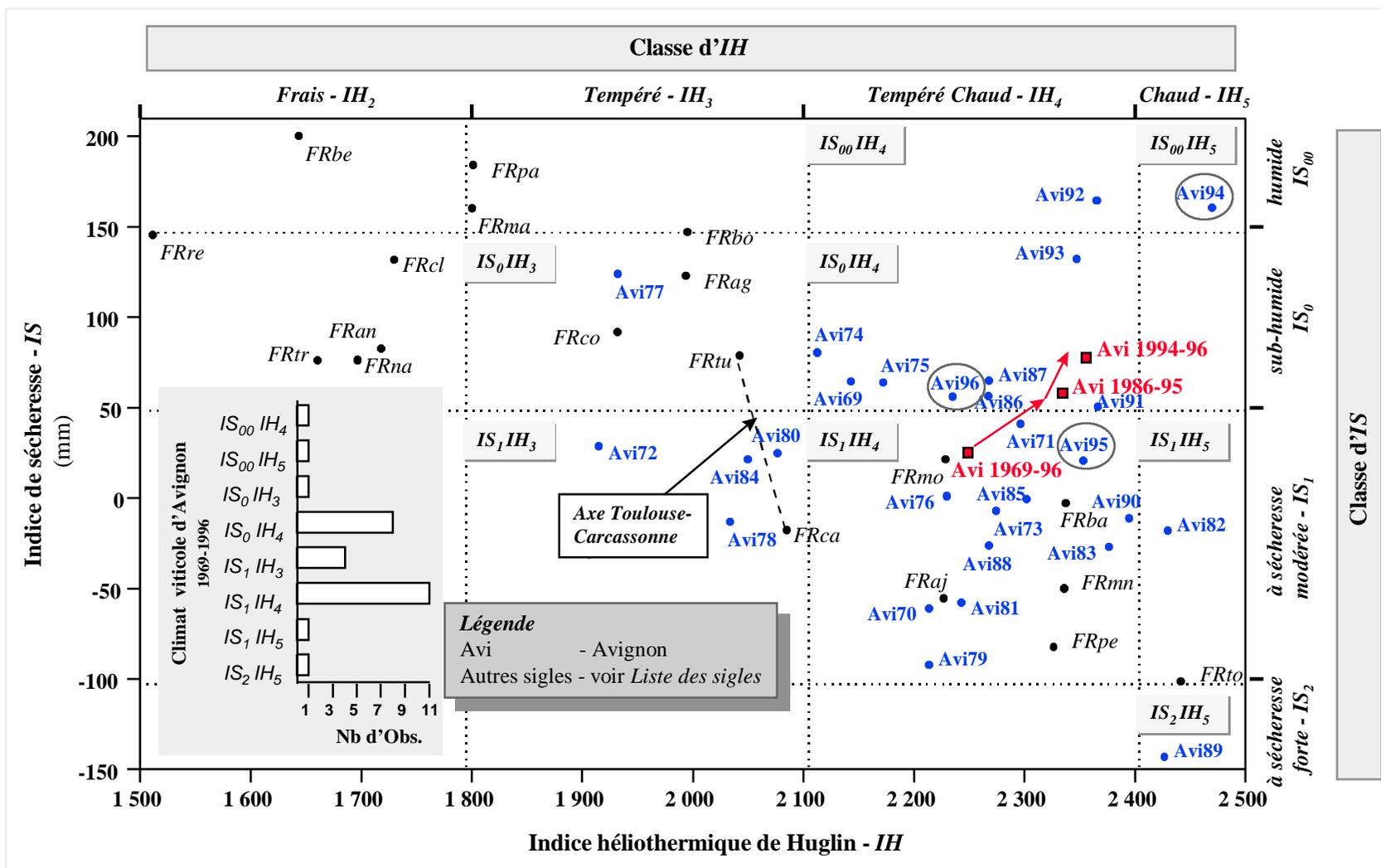


Figure 24. Exemple de la variabilité interannuelle du climat viticole selon les indices climatiques IS et IH : positionnement du climat viticole d'Avignon - années 1969 à 1996, et d'autres régions viticoles françaises (moyenne 1986-95).

- b) le climat viticole d'Avignon ne se situe jamais dans la zone où se trouve le climat viticole des régions du nord de la France, qui ont en moyenne des valeurs d'*IH* moins élevées et d'*IS* plus élevées ; et,
- c) on constate que la moyenne de la période 1986-95 correspond à une série plus chaude et présente un indice héliothermique et un indice de sécheresse plus élevé que la moyenne des 28 dernières années (1969-96) ; la même tendance est observée sur la moyenne de la série 1994-96 (période de suivi du Réseau Syrah), tendance également observée sur les données climatiques du Roussillon (Station Viti-Vinicole CIVDN, 1996).

L'exemple du poste d'Avignon donne une idée de l'importante variabilité du climat viticole en fonction des années. Mais le climat viticole le plus fréquent est celui du climat moyen ou de ses classes adjacentes. Les années avec une variabilité plus forte apparaissent de façon quasi exceptionnelle.

On cite ici également des études développées dans le nord de la France qui apportent des éléments de caractérisation et la variabilité climatique dans différents terroirs en Alsace, en Champagne et dans le Val de Loire (Dumas *et al.*, 1996, 1997 ; Cellier *et al.*, 1996 ; Jacquet et Morlat, 1997).

4.1.4. Caractérisation globale du climat viticole du Réseau Syrah des années 1994, 1995 et 1996

L'importance du millésime sur la qualité de la récolte et sur la typicité des vins est universellement reconnue dans le domaine de la vitiviniculture.

Si le climat viticole entre les millésimes montre une telle variabilité, comme celle que nous venons d'observer sur l'exemple d'Avignon on prend conscience de l'importance de sa caractérisation.

Une première question à répondre serait : par rapport à une longue série d'années, comment se situe le climat viticole des millésimes 1994, 1995 et 1996 du Réseau Syrah ?

Sachant que la base de données climatiques du Réseau Syrah ne dispose pas d'une longue série d'années pour réaliser cette analyse, nous l'avons réalisée en se basant sur d'autres données climatiques. L'analyse a porté sur l'étude des indices climatiques *IS*, *IH* et *IF* d'une longue

série d'années (1969-96) sur les postes météorologiques d'Avignon et de Montpellier, situés dans la région géographique du Réseau Syrah.

Les résultats sont présentés sur le Tableau 28 (Annexe 9), qui situe les années 1994, 1995, 1996 et la moyenne 1994-96 sur le quartile dans lequel le millésime est compris sur la série 1969-96, pour les indices *IS*, *IH* et *IF*. Sur les 2 postes, on observe que :

Pour l'*IS* : 1994 - quartile Q3 à Q4 ; 1995 - quartile Q1 à Q2 ; 1996 - quartile Q3 ; moyenne 1994-96 - quartile Q3 (moyenne de la série 1994-96 avec un *indice de sécheresse* compris entre les 25% des années avec les valeurs les plus élevées en fin septembre) ;

Pour l'*IH* : 1994 - quartile Q3 à Q4 ; 1995 - quartile Q3 ; 1996 - quartile Q1 à Q3 ; moyenne 1994-96 - quartile Q3 (moyenne de la série 1994-96 avec un *indice héliothermique* compris entre les 25% des années avec les valeurs les plus élevées) ; et,

Pour l'*IF* : 1994 - quartile Q3 ; 1995 - quartile Q1 ; 1996 - quartile Q1 ; moyenne 1994-96 - quartile Q1 (moyenne de la série 1994-96 avec un *indice de fraîcheur des nuits* compris entre les 25% des années avec les valeurs les plus faibles).

D'autres études réalisées sur ces millésimes, comme sur les annales climatologiques du département de l'Hérault (Département Hérault, 1994, 1995 et 1996) et dans le Roussillon (Station Viti-Vinicole CIVDN, 1996), sont convergentes avec les tendances climatiques trouvées sur les postes d'Avignon et de Montpellier. De plus, ces études montrent le profil climatique suivant :

- 1994 *Hérault* - pluies automnales en 1993 avec le rétablissement de la réserve hydrique du sol ; températures chaudes pendant le cycle de la vigne et pluies à des niveaux qui résultent en un déficit hydrique assez fort en période de maturité du raisin ; pluies abondantes en septembre après la période de récolte ;

Roussillon - année chaude, Perpignan avec ΣT_{10} de 1915 degrés-jours sur la période avril-septembre, contre une moyenne de 1825 pour la période de 1984-95 ; assez sec en été, sauf pour le mois de septembre qui a été un mois plus frais que la moyenne ;

- 1995 *Hérault* - pluies automnales en 1994, hiver sec, printemps et été secs (-30 à -40% de pluie que la normale) ; fort déficit hydrique en juillet-août ; en septembre, pluies excédentaires et températures 10 à 20% inférieures à la normale ;
Roussillon - chaud, mais moins qu'en 1994 ; déficit hydrique important et très précoce (pluie de 313 mm du 01.10.94 au 30.09.95, ce qui a situé l'année au 7^{ème} rang des millésimes les plus secs depuis 1850) ; frais en septembre ;
- 1996 *Hérault* - pluies en automne/hiver très excédentaires (record des dernières 40 années) ; insolation plus faible en juillet-août (-10 à -13% que la normale) ; pluies excédentaires au printemps et surtout en été ;
Roussillon - données non disponibles.

L'analyse de l'évolution des indices climatiques des parcelles du Réseau Syrah, sur les années 1994, 1995 et 1996 donne des informations complémentaires.

La Figure 25 montre que l'*IH* a présenté des valeurs décroissantes sur années 1994 à 1996, différence visible à partir de la moitié du mois de juillet.

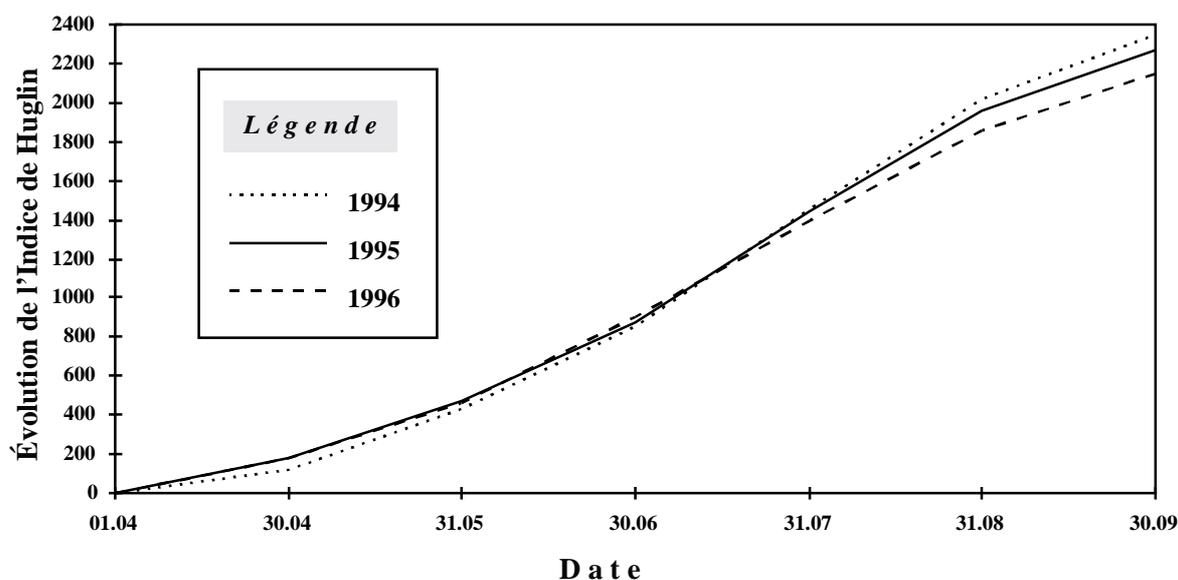


Figure 25. Évolution de l'Indice de Huglin pendant les années 1994, 1995 et 1996 - valeurs moyennes des 18 parcelles du Réseau Syrah.

L'indice de bilan hydrique potentiel de Riou montre des valeurs décroissantes de la période de 30 jours avant la date de véraison jusqu'à la date de récolte (Figure 26). Le niveau de

sécheresse est prononcé en 1994 et en 1995. L'année 1996 à été la plus humide pendant tout le cycle

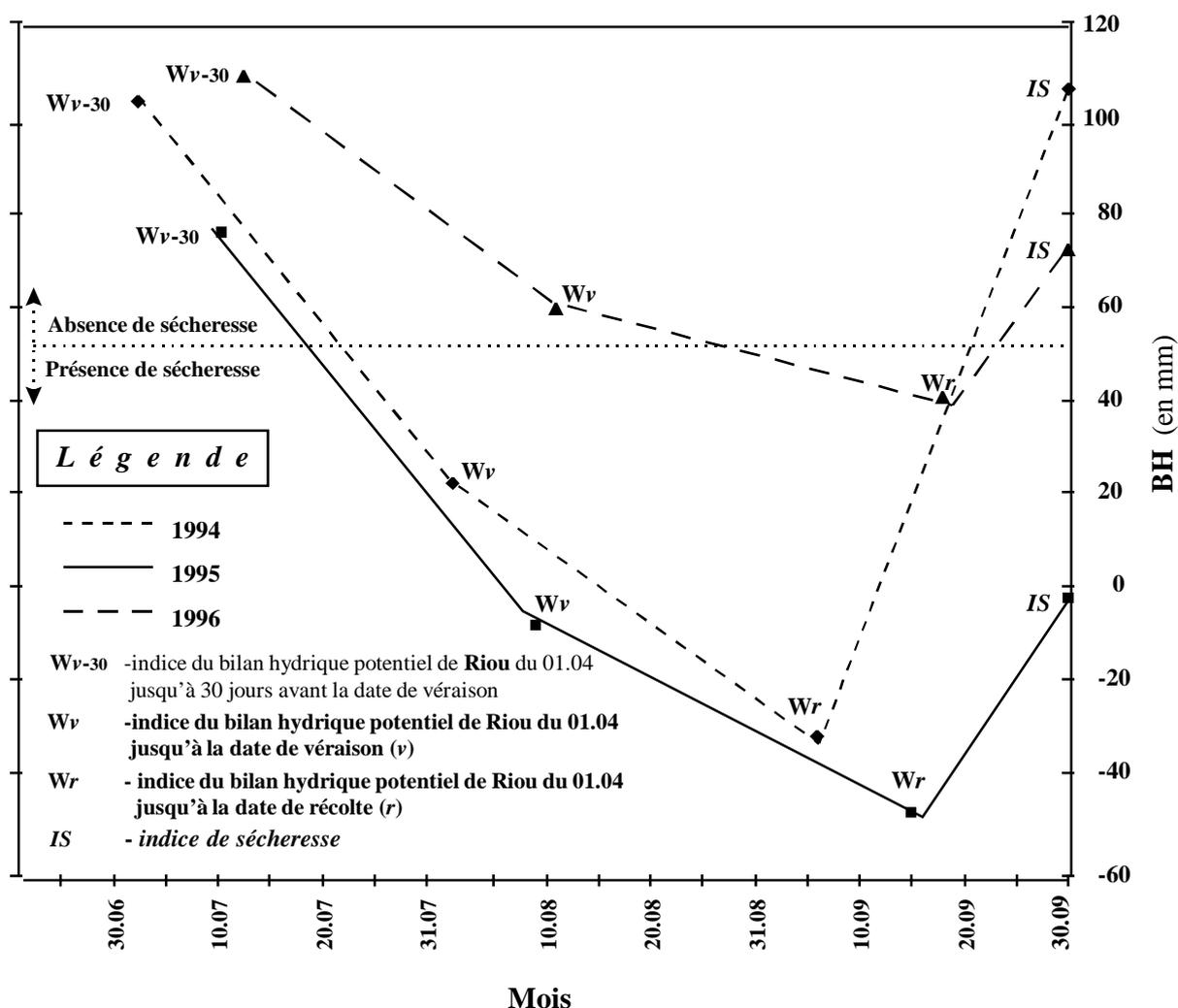


Figure 26. Indice de bilan hydrique potentiel de Riou pour les phéno-phases de 30 jours avant la date de véraison, à la véraison, à la récolte et au 30.09 (IS) pour les millésimes 1994, 1995 et 1996 - médiane sur les 18 parcelles du Réseau Syrah.

À partir des moyennes des indices climatiques viticoles IS , IH et IF (Tableau 27 - Annexe 8) et des données climatiques complémentaires (Figure 25 et Figure 26), il est possible de caractériser de façon globale le climat viticole moyen du Réseau Syrah pour les années 1994, 1995 et 1996 comme décrit sur le Tableau 12.

Cette caractérisation est cohérente avec les tendances observées sur les postes d'Avignon et de Montpellier ainsi qu'avec les tendances climatiques observées dans l'Hérault et en Roussillon (voir ci-dessus).

Tableau 12. Caractéristiques moyennes du climat viticole du Réseau Syrah sur les millésimes 1994, 1995 et 1996.

Millésime	Classification du millésime selon les indices climatiques viticoles	Autres observations sur le climat du millésime
1994	<i>IS - sub-humide</i>	à sécheresse modérée en période de maturation
	<i>IH - tempéré chaud</i>	à <i>IH</i> plus élevé que sur les millésimes 1995 et 1996
	<i>IF - à nuits fraîches</i>	
1995	<i>IS - à sécheresse modérée</i>	plus de sécheresse que sur le millésime 1994
	<i>IH - tempéré chaud</i>	à <i>IH</i> plus élevé que sur le millésime 1996
	<i>IF - à nuits fraîches</i>	à nuits plus fraîches que sur le millésime 1994
1996	<i>IS - sub-humide</i>	très peu de sécheresse en période de maturation
	<i>IH - tempéré chaud</i>	à <i>IH</i> le plus bas sur la série 1994-1996
	<i>IF - à nuits très fraîches</i>	

En se basant sur l'exemple de la Figure 24 et sur les données du Tableau 28 (Annexe 9), on pourrait dire que le climat moyen de la série 1994-96 est à potentiel héliothermique plus élevé et à indice de fraîcheur des nuits inférieur à la moyenne des 28 dernières années.

4.2. Indices climatiques et bioclimatiques du Réseau Syrah

Chaque parcelle du Réseau Syrah a été soumise, chaque année, à un climat viticole particulier en fonction du mésoclimat du millésime et des phéno-phases de la parcelle viticole.

Cependant on observe des coefficients de corrélation assez élevés entre les indices climatiques viticoles - *IS*, *IH* et *IF*, qui sont calculés sur des périodes préétablies, et les indices bioclimatiques équivalents, calculés sur les périodes liées aux phéno-phases : $r = 0,76$ entre *IS*

et Wr , $r = 0,87$ entre IH et ΣIHr , et $r = 0,95$ entre IF et $Tnv-r$ (r calculé sur les 54 observations du Réseau Syrah - 18 parcelles x 3 millésimes).

Le Tableau 13 montre la moyenne de ces indices pour les 7 différents groupes climatiques (Figure 22) du Réseau Syrah.

Tableau 13. Valeurs moyennes des indices climatiques et bioclimatiques sur les 7 groupes climatiques du Réseau Syrah - moyenne de la période 1994-96.

Groupe climatique		Indices					
		Climatiques			Bioclimatiques		
Climat viticole	Parcelles du groupe	IS	IH	IF	Wr	ΣIHr	$Tnv-r$
$IS_1 IH_3 IF_3$	ALA	11	2018	12,5	1	2030	13,5
$IS_{00} IH_3 IF_4$	AMP	152	2043	11,2	152	2012	12,2
$IS_0 IH_3 IF_4$	FRO	85	2047	10,5	79	2014	11,4
$IS_0 IH_4 IF_4$	AUB, MER, SAU	117	2196	11,2	65	2113	13,2
$IS_1 IH_4 IF_3$	CAU,CHA, GRU, MOU, VIC	-32	2279	13,2	-73	2078	16,8
$IS_0 IH_4 IF_3$	CAZ, PRA, ROD, ROU	82	2299	13,1	-5	2048	17,0
$IS_1 IH_5 IF_3$	JON, LUC, VID	7	2449	12,7	-43	2175	16,5

On observe que pour les groupes climatiques avec un IH moins élevé, la Syrah utilise tout le potentiel héliothermique pour l'arrivée à la récolte. Les groupes climatiques qui ont un potentiel héliothermique plus élevé, n'utilisent pas tout ce potentiel héliothermique pour l'arrivée à la récolte. Ils ont une récolte plus précoce qui conduit à des valeurs de Wr qui présente un niveau de sécheresse plus élevé que celui montré par l' IS . Dans ce cas, les valeurs de $Tnv-r$ sont beaucoup plus élevées que les valeurs de l' IF , à cause du climat plus chaud et d'une date de récolte plus précoce.

Mais la qualité de la récolte possède d'autres variables explicatives, à part les variables climatiques et bioclimatiques. Ainsi, les résultats présentés par la suite utilisent également les variables agronomiques comme éléments explicatifs de la qualité du raisin.

4.3. Facteurs explicatifs de la qualité de la récolte

Le but d'une étude comme la nôtre est de mettre en relation 2 types de variables : d'une part, un ensemble de variables élémentaires ou élaborées - indices climatiques, indices bioclimatiques et également des variables agronomiques et, d'autre part, les analyses effectuées à la récolte du raisin : la teneur en sucre du moût (Sr) et la réserve technologique en polyphénols totaux (RTIPT).

Dans le domaine viticole, Crowther *et al.* (1979) utilisent des données météorologiques - température et rayonnement, pour ajuster des équations d'estimation de la teneur en sucre du raisin en période de maturation. Ils obtiennent de bons résultats sur plusieurs millésimes d'une même parcelle viticole. Mais ils observent qu'il faudrait développer ce type d'étude également sur différentes conditions de milieu naturel et, en particulier, dans différents sols, ce qui est le cas du Réseau Syrah. Cela permettrait d'évaluer le rôle d'autres variables sur la qualité de la récolte.

4.3.1. La teneur en sucre du moût du raisin à la récolte (Sr)

Notre étude utilise l'analyse de régression linéaire multiple sur un échantillon de 39 observations du Réseau Syrah des années 1994, 1995 et 1996, comme détaillé dans la partie "Matériels et méthodes".

La meilleure régression obtenue a permis d'expliquer 56 % de la variation de la variable dépendante Sr ($p < 0,05$). La régression, les valeurs de Sr observées (NB : parcelle JON en surmaturation) et celles de Sr estimées par la régression sont présentées sur la Figure 27.

La régression montre le déterminisme de 4 variables indépendantes :

- a) **Dp** - la date de débourrement montre un effet sur Sr - effet positif en fonction de la précocité ; Dp est une variable climatique qui fonctionne comme un *indice de précocité* dans ce cas, avec un déterminisme sur le Sr ($r = -0,56$ entre Dp et Sr). Si on analyse d'autres variables du Réseau Syrah, on observe une corrélation positive entre la Dp et les dates de floraison (f), véraison (v) et récolte (r) ($r = 0,55$, $r = 0,59$, et $r = 0,61$, respectivement), et une corrélation négative ($r = -0,53$) entre Dp et le potentiel héliothermique IH (obs. : Riou, 1998, trouve une forte corrélation positive entre la teneur

en sucre et l'*IH*). En Val de Loire - région septentrionale atlantique, Barbeau *et al.* (1998a) ont trouvé des résultats similaires ; ils démontrent l'influence positive de la *précocité* sur la qualité de la vendange et des vins de Cabernet franc : une floraison précoce est souvent synonyme de véraison précoce, corrélée positivement avec la teneur en sucres et en anthocyanes du raisin et négativement avec la teneur en acide malique. Ils rajoutent que les millésimes chauds et peu pluvieux sont synonymes de précocité de maturation, de taux de sucre élevé, de potentiel couleur important et de risques de pourriture réduits ; il y a là un aspect qualitatif lié à un phénomène de précocité, rattaché au climat. Ils signalent de plus que ce même phénomène peut se retrouver, pour chaque millésime, au niveau des terroirs et concluent que la mise au point d'indices de précocité permet de comparer les millésimes entre eux et de hiérarchiser les terroirs ; une étude de cette nature a été publiée par Barbeau *et al.*, 1998b ; (NB : *Dp* doit intervenir mieux que *IH* car il doit être plus "complémentaire" de *Wr*).

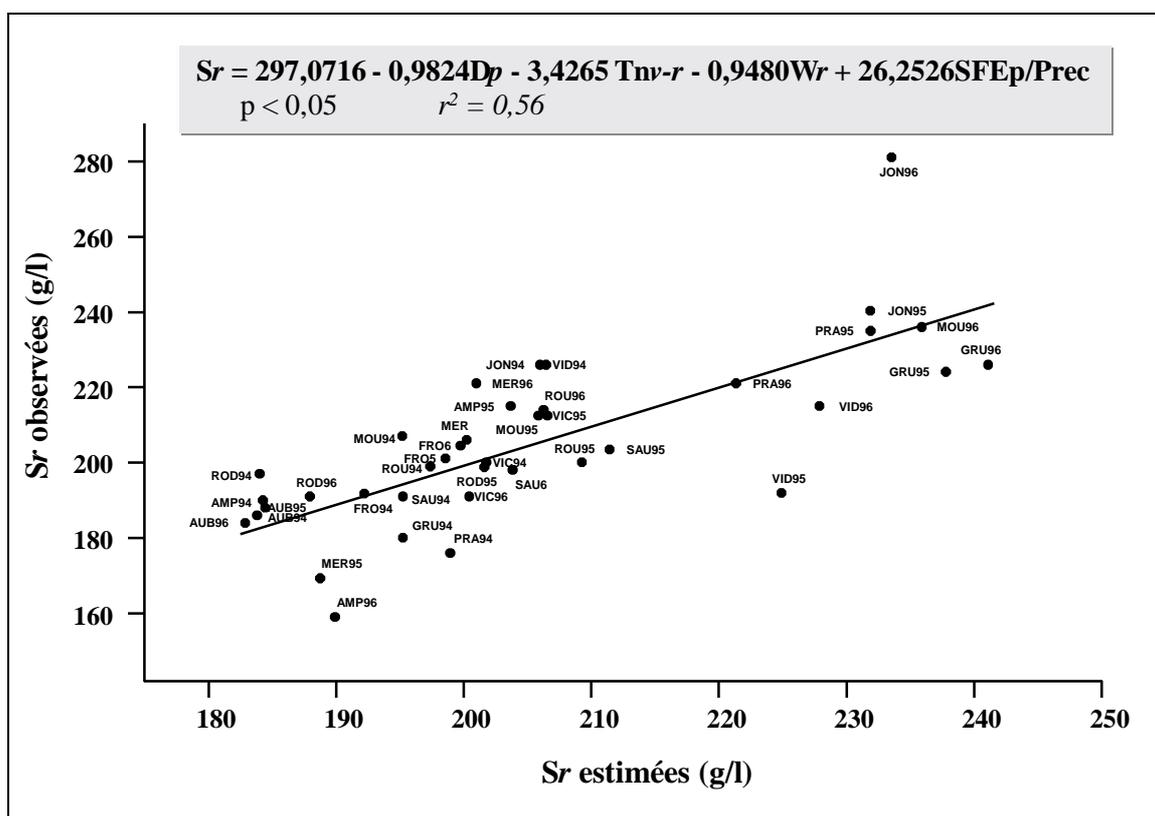


Figure 27. Teneur en sucre observée (*Sr*) et sucre estimé par le modèle sur les parcelles du Réseau Syrah pour les millésimes 1994, 1995 et 1996.

- b) **T_{nv-r}** - la température minimale - moyenne sur la période $v-r$, exprime dans ce cas surtout l'effet positif des dates de récolte plus tardives, qui permettent une accumulation de Sr plus élevée, et qui auront lieu, donc, dans des T_{nv-r} plus faibles (le coefficient de corrélation entre la date de récolte r et la T_{nv-r} est de -0,89). Cet indice fonctionne comme un complément de l'indice de précocité Dp : un effet positif sur la teneur en Sr lié à la précocité du débourrement et à une date de récolte plus tardive.
- c) **W_r** - cet indice montre l'effet positif sur le Sr des niveaux moins élevés de l'indice du bilan hydrique potentiel de Riou et donc d'une sécheresse modérée. Riou (1998) trouve le même type de résultat - une forte corrélation négative entre la teneur en sucre et l'indice de bilan hydrique théorique de Riou (W). Winkel et Rambal (1993) montrent, sur un essai réalisé dans l'Aude, que le stress hydrique sur le cépage Syrah affecte la réponse physiologique de la Syrah, qui apparemment s'adapte au stress hydrique par la réduction de la surface foliaire. Dans le cas du Réseau Syrah, le niveau de sécheresse des parcelles n'arrive pas à réduire le sucre. À l'inverse, les résultats trouvés sur Carignan par Mériaux et Panine (1986) montrent, en Languedoc, un abaissement des sucres par une forte sécheresse pendant la période de maturation. Sur la base des études développées à l'INRA-Bordeaux (De Albuquerque, 1992) et de celles développées à l'AGRO-INRA Montpellier par H. Schultz, E. Lebon et A. Carbonneau, il ressort que la Syrah peut être considéré comme un cépage relativement tolérant par rapport à l'adaptation ecophysiological à la sécheresse (Carbonneau, 1999).
- d) **SFEp/Prec** - des valeurs de SFEp/Prec plus élevées jouent un rôle positif sur la teneur en Sr des parcelles du Réseau Syrah. Cette variable confirme, à l'échelle de la parcelle, l'importance de la capacité photosynthétique des feuilles en fonction du potentiel de production du vignoble (Riou *et al.*, 1999). Carbonneau (1980, 1987, 1988) avait déjà démontré l'importance de la partie aérienne, d'expositions importantes de la végétation, et du rapport du type SFE/rendement ou SFE/puissance sur la qualité des raisins et des vins. Dans le même sens, Riou (1998) a trouvé, en zone méridionale de la France, le rôle positif des valeurs plus élevées de l'indice SFEp/MS sur le sucre, et négative de la charge, ce qui démontre que le taux de sucre est conditionné par un bon équilibre entre la surface foliaire et la puissance.

4.3.1.1. Application du zonage de la teneur en sucre de la Communauté Européenne à l'échelle des parcelles du Réseau Syrah

Un algorithme développé dans le zonage de la Communauté Européenne, fondé sur de variables climatiques, a été testé sur la base des données climatiques du Réseau Syrah. L'analyse complète est présentée dans l'*Étude 2* (voir paragraphe 7 de ce chapitre).

Les résultats montrent que le modèle d'estimation de la teneur en sucre potentielle du moût du raisin à maturité, appliqué au Réseau Syrah, explique 54 % de la variance, comme dans le cas de la Communauté Européenne. La différence moyenne de 10 g/l, supérieure sur les valeurs de S_r observées, peut-être attribuée à une bonne maîtrise technique des vignobles du Réseau Syrah, soit au niveau des rendements, soit au niveau du système de conduite, soit à celui de la date de récolte.

Ainsi, les résultats valident, à l'échelle du Réseau Syrah, l'algorithme du zonage de la Communauté Européenne. Cependant, comme ce modèle n'est applicable qu'à des moyennes interannuelles, il est moins performant au niveau du Réseau Syrah, que celui développé sur les données des 3 années, présentées ci-dessus.

4.3.2. La réserve technologique en polyphénols totaux (RTIPT)

La meilleure régression linéaire multiple obtenue a permis d'expliquer 55 % de la variation de la variable dépendante RTIPT ($p < 0,05$). La régression, les valeurs de RTIPT observées et celles estimées par la régression sont présentées sur la Figure 28.

Dans la régression, on observe le déterminisme de 3 variables :

- a) W_r - effet positif d'un indice du bilan hydrique potentiel de Riou plus faible et donc, d'un niveau de sécheresse modérée. Carbonneau (1987) et Carbonneau *et al.* (1992) avaient déjà signalé que l'accumulation des anthocyanes dans les pellicules est favorisée par un état de stress hydrique modéré de la plante. Champagnol (1997) explique que durant la maturation du raisin l'accumulation des anthocyanes et des tanins dans les pellicules évolue d'autant plus favorablement que les terroirs imposent un arrêt de croissance ;

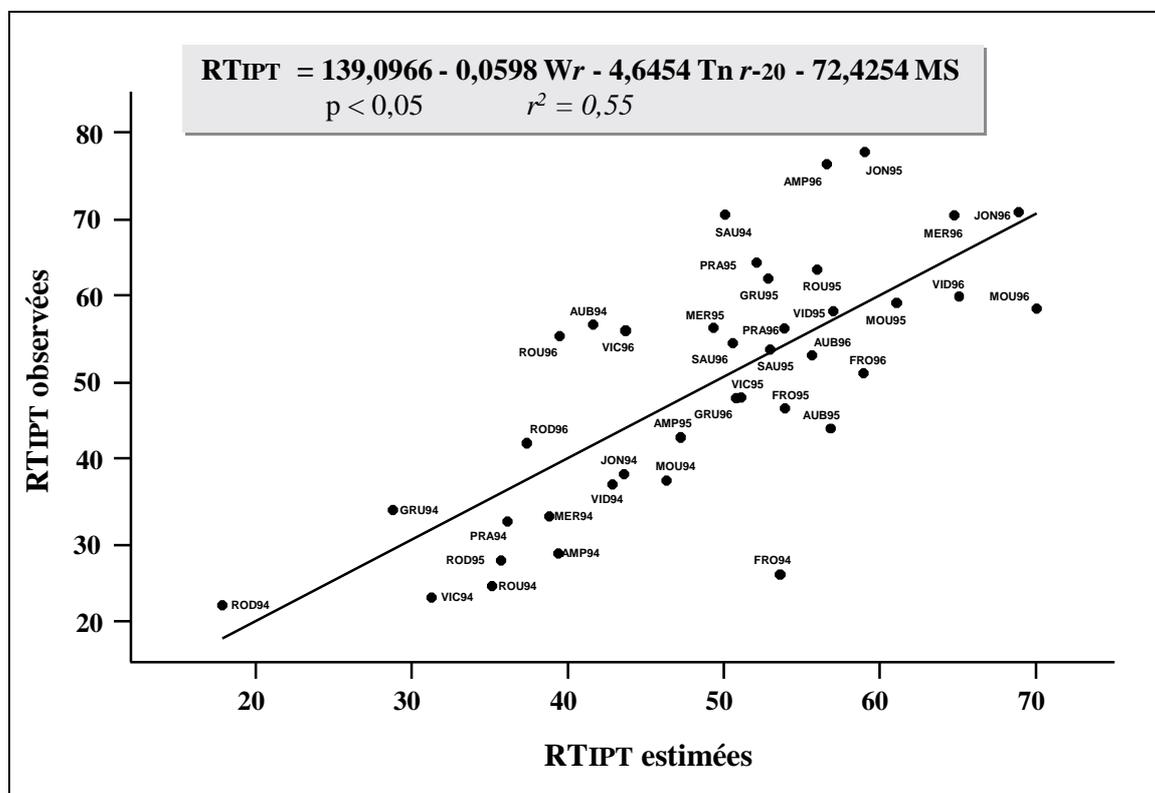


Figure 28. RTIPT observées et RTIPT estimées par le modèle sur les parcelles du Réseau Syrah pour les millésimes 1994, 1995 et 1996.

- b) **Tnr-20** - cette variable confirme l'effet positif des températures fraîches nocturnes pendant la période de maturation sur la RTIPT. Plusieurs auteurs ont remarqué l'effet des températures fraîches nocturnes sur les anthocyanes du raisin (Kliwer et Torres, 1972 ; Kliwer, 1973 ; Tomana *et al.*, 1979 ; Carbonneau *et al.*, 1989 ; Carbonneau *et al.*, 1992) ; on constate que l'influence de la température minimale de l'air est plus déterminante sur la valeur de la RTIPT plus proche de la date de récolte (20 jours dans notre analyse), puisqu'en remplaçant la Tnr-20 dans la régression pour la Tnr-30, le r^2 se réduit de 0,55 à 0,51, et se réduit encore plus avec la Tnv-r, avec un $r^2 = 0,48$ (obs. : v-r avec une durée moyenne de 36 jours pour le Réseau Syrah) ; et,
- c) **MS** - cet indice exprime l'effet négatif des valeurs élevées de matière sèche renouvelable annuellement (puissance) sur le RTIPT : l'augmentation de la puissance correspond à des valeurs plus faibles de la RTIPT. La variable MS doit être fortement stimulée par une réserve en eau utile du sol élevée ; on observe également un effet positif des valeurs plus

élevées de SFEP/Prec sur la RTIPT (régression avec un $r^2 = 0,46$ en remplaçant la variable MS par la variable SFEP/Prec).

Dans les 2 modèles développés pour le Sr et RTIPT, les variables explicatives retenus sont principalement des variables synthétiques, comme Wr et Dp dans les variables climatiques, SFEP/Prec et MS pour les variables agronomiques. Plusieurs autres variables testées, comme les variables P, ETP, Rg, T, sont beaucoup moins explicatives de la qualité du raisin que quand on les considère de façon intégrée, dans un bilan hydrique (Wr) par exemple.

Comme a été démontré par Lebon *et al.* (1995) dans 2 situations à réserve hydrique contrastée, le modèle du bilan hydrique saisonnier (Riou *et al.*, 1994) présente une bonne concordance avec les données de terrain. Ainsi, une amélioration des modèles d'estimation de Sr et de RTIPT pourrait être tentée si on pouvait intégrer, dans le bilan hydrique potentiel de Riou, la réserve utile initiale en eau du sol exploitable par les racines de vigne (W_0 au 01.04). De cette façon, on aurait une estimation réelle de l'alimentation en eau de la vigne, et du niveau de contrainte hydrique subi par la vigne.

4.4. La typicité des vins du Réseau Syrah en fonction des millésimes et des regroupements climatiques

Le but a été de vérifier les différences de typicité des vins en fonction des millésimes et des regroupements climatiques dans chaque millésime. La typicité ici est exprimée par les caractéristiques sensorielles des vins au travers de descripteurs visuels, olfactifs et gustatifs.

4.4.1. La typicité des vins selon les millésimes

La Figure 29 présente une A.C.P. qui intègre les 12 variables sensorielles des vins du Réseau Syrah des millésimes 1994, 1995 et 1996. Les 2 axes expliquent 48,5% de la variabilité. La première composante est bien corrélée surtout avec les notes de ICO, CHA et CON, qu'on

appellera d'axe de maturation. La deuxième composante, d'inertie plus faible, est corrélée principalement avec les notes de FLO, FRU, EPI et ACI.

On observe que les vins du millésime 1995 forment un groupe à part par rapport aux vins de 1994 et 1996. Ils ont comme typicité plus de couleur, plus de chaleur, sont plus concentrés, ont moins d'arômes végétal, floral, fruité et épicé.

Le positionnement des vins de 1995 permet d'observer l'influence du climat viticole du millésime qui est capable d'influencer un ensemble de caractéristiques sensorielles des vins sur l'ensemble des groupes climatiques.

En fait, le climat de ce millésime, en comparaison avec les années 1994 et 1996, a été le plus sec pendant tout le cycle. De plus c'est une année qui, pour certaines parcelles, peut avoir cumulé l'effet de la sécheresse de 1994 et ne pas avoir réalisé une recombinaison des réserves en eau du sol en période d'automne/hiver. On remarque également que 1995 présente un *IH* assez élevé et un *IF* moyen à *nuits fraîches* (Tableau 12). Cet ensemble de conditions climatiques a été favorable à une bonne maturation du raisin, avec une concentration élevée en sucres et en anthocyanes.

D'autre part, les vins des millésimes 1994 et 1996 sont beaucoup plus dispersés sur l'A.C.P. (Figure 29). Ces millésimes ont présenté un climat viticole très différent entre eux :

- même si le millésime 1994 a présenté une sécheresse modérée, cette sécheresse a été moins prononcée et moins précoce que celle observée en 1995 et la maturation a eu lieu avec des nuits plus chaudes qu'en 1995.
- le millésime 1996, avec le potentiel héliothermique le plus faible de la série 1994-96, a été à tendance sub-humide pendant tout le cycle, ce qui n'a pas permis d'atteindre le niveau de maturation et de couleur de la récolte de 1995, même avec un *IF* à nuits très fraîches (Tableau 12).

Les caractéristiques de typicité des vins de 1994 et 1996 sont, par rapport à 1995, surtout moins concentrés, avec des notes moins fortes pour CHA et ICO, et aux arômes plus floraux et parfois avec une note végétale.

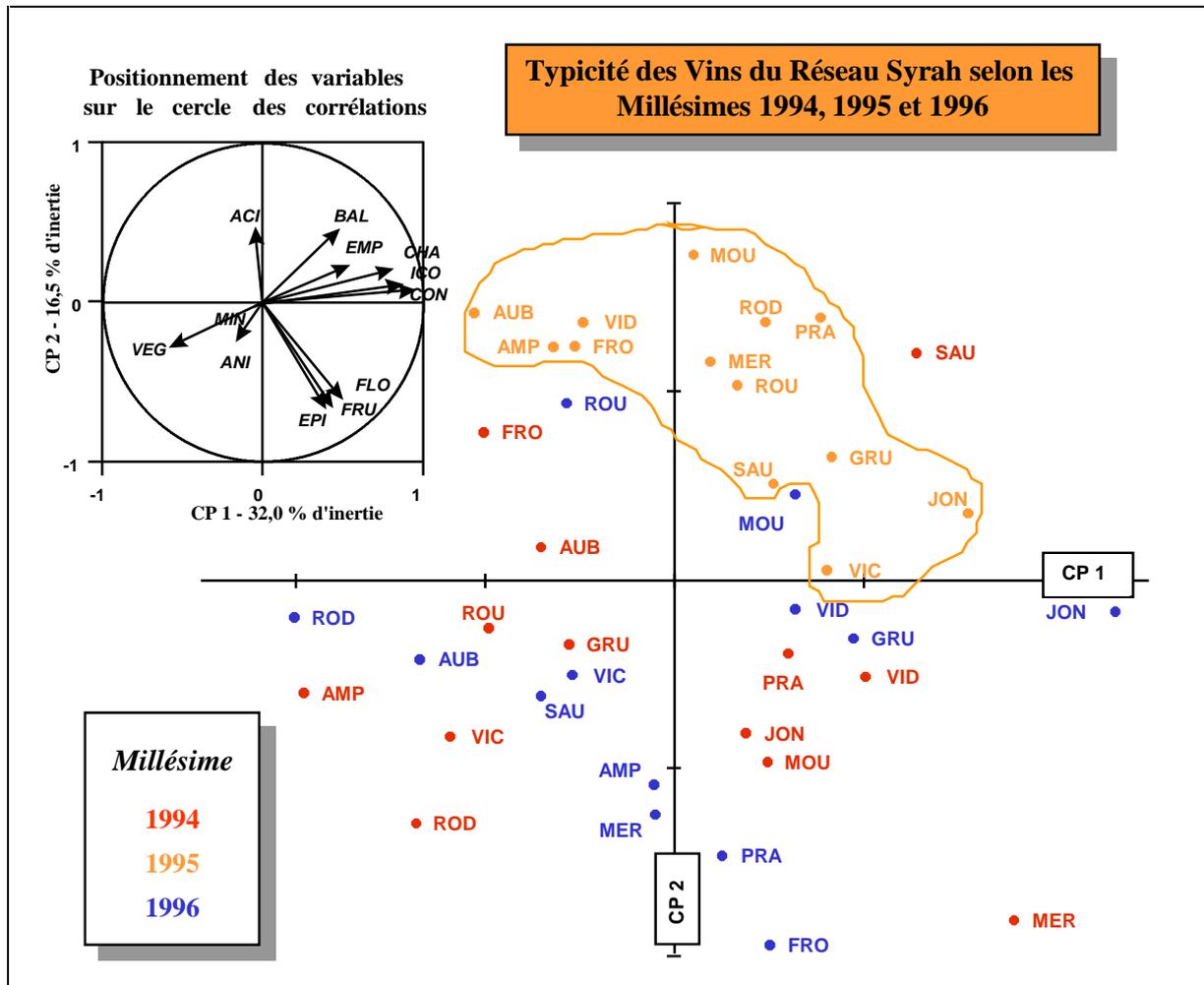


Figure 29. A.C.P. avec les caractéristiques sensorielles des vins du Réseau Syrah des millésimes 1994, 1995 et 1996.

Le résultat du millésime 1995 du Réseau Syrah nous permet de confirmer, au moins sur ce millésime, l'observation sur l'analyse sensorielle des vins de Syrah réalisée sur les millésimes 1989 à 1995 en Roussillon qui remarque : "contre toute attente, ce cépage qui vient des côtes du Rhône septentrionales se comporte mieux quand le climat méditerranéen est accentué avec des étés chauds et secs" (Station Viti-Vinicole CIVDN, 1996).

L'A.C.P. de la Figure 29 a montré également d'autres axes, indépendantes, dont 5 d'entre eux expliquent chacun entre 5% et 12% de la variabilité. Cela montre la complexité et la diversité sensorielle exprimées par les vins en fonction de leur terroir, y compris de leur climat viticole.

Une liaison assez étroite entre les notes ICO, CHA et CON, le degré alcoolique des vins et la richesse polyphénolique a été observée sur les vins du Réseau Syrah, comme l'avait déjà signalé Lebon *et al.* (1996).

4.4.2. Les groupes climatiques et la typicité des vins

Ici, on part du principe que l'on s'attend à trouver des différences plus évidentes sur la typicité des vins des groupes climatiques les plus éloignés. Compte tenu de cela et du faible nombre de vins dans chacun des 7 groupes climatiques du Réseau Syrah, nous avons travaillé avec les 3 regroupements climatiques présentés sur la Figure 22:

- a) groupes plus froids et à absence de sécheresse ;
- b) groupes intermédiaires; et,
- c) groupes plus chauds et à présence de sécheresse.

Le but de notre étude a été de mettre en relation 2 ensembles de données que nous avons illustrés par 2 A.C.P. : une A.C.P. avec les indices climatiques *IS*, *IH* et *IF* ; une A.C.P. avec les caractéristiques sensorielles des vins (Figure 29).

Les résultats de cette comparaison sont rapportés sur la Figure 30.

On observe, comme tendance globale la plus marquante que, indépendamment du millésime, les 2 regroupements climatiques les plus éloignés ("a" et "c") gardent toujours un même positionnement relatif : les vins du regroupement climatique "c" se caractérisent par une typicité des vins plutôt marquée par une plus grande concentration par rapport aux vins du regroupement climatique "a".

Sur le millésime 1994 on observe que les parcelles SAU et MER présentent une typicité différente de la tendance globale de son regroupement climatique. On pourrait expliquer au moins une partie de ce résultat si on considère que ces parcelles ont subi une sécheresse, particulièrement intense sur SAU (sol superficiel). La parcelle MER bénéficie également d'une SFEp/Prec particulièrement élevée, ce qui pourrait expliquer au moins en partie de l'exceptionnel état de maturité du raisin et les caractéristiques de typicité du vin.

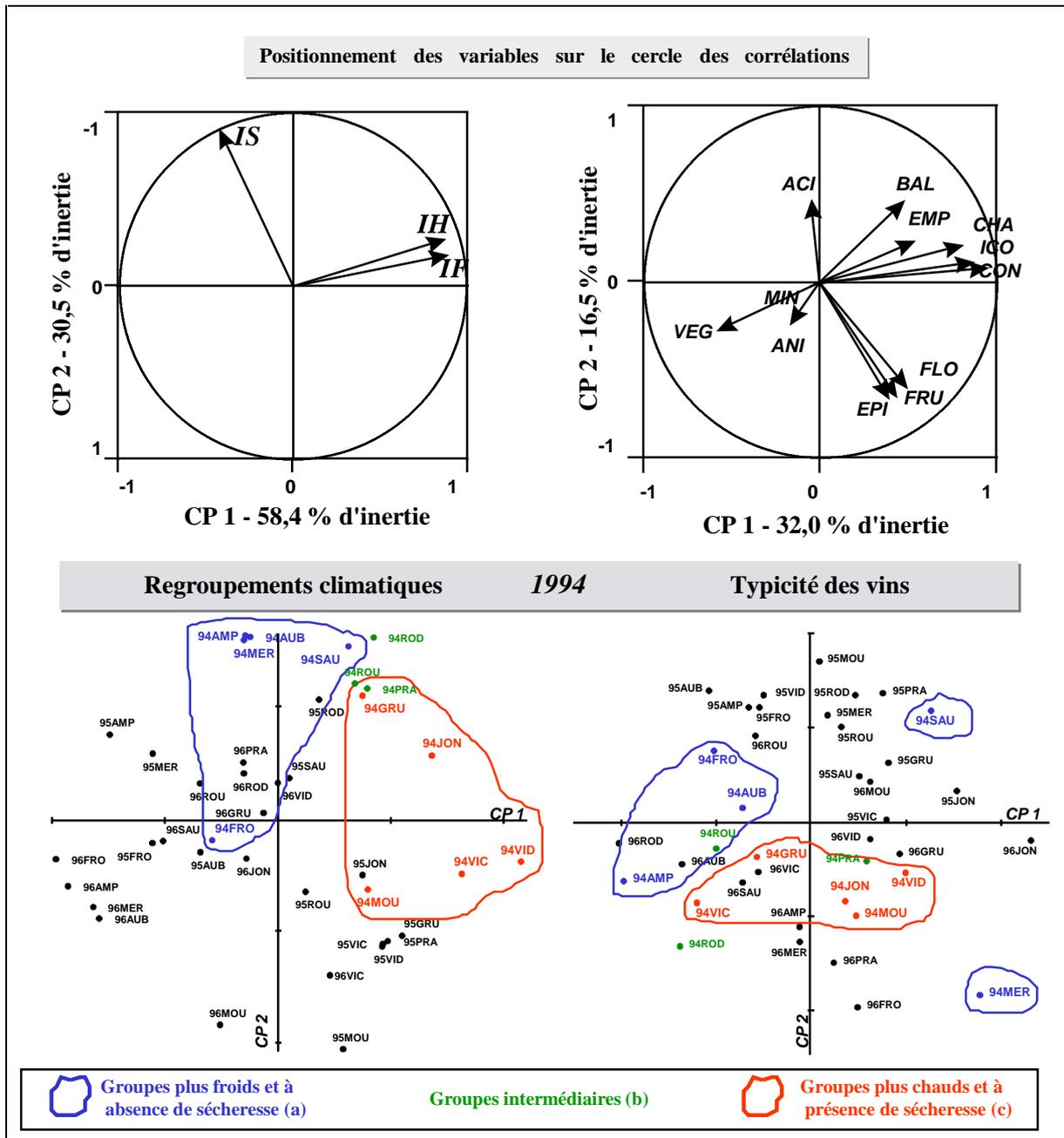


Figure 30. A.C.P. avec le climat viticole et A.C.P. avec la typicité des vins des parcelles du Réseau Syrah : regroupement des parcelles selon les regroupements climatiques "a", "b" et "c" sur le millésime 1994, sur le millésime 1995 et sur le millésime 1996 (voir suite).

Ces résultats permettent de conclure, en règle générale, que **la typicité des vins** de la grande région viticole du Réseau Syrah **garde toujours un positionnement relatif déterminé, a priori, par son regroupement climatique.**

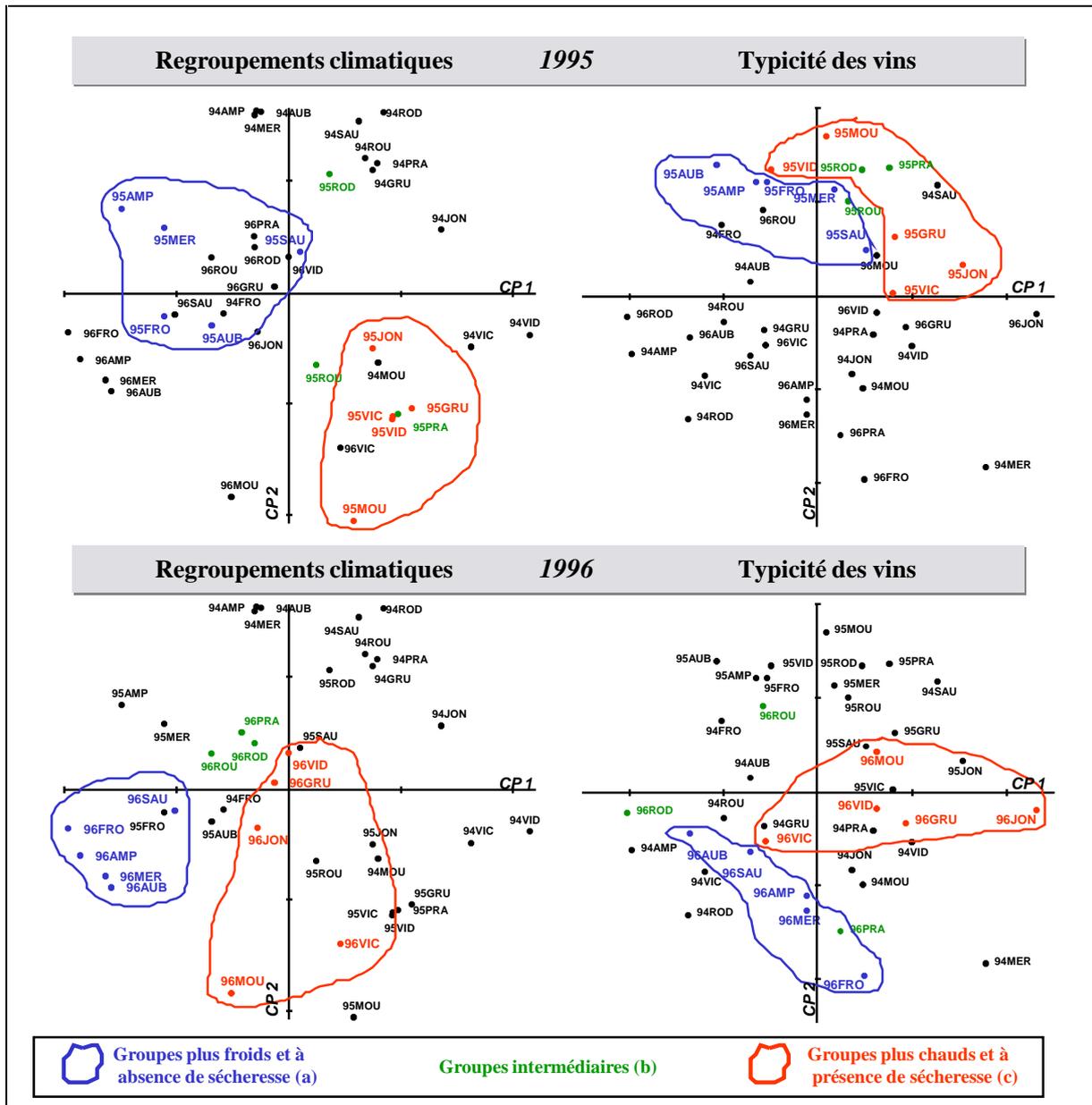


Figure 30. (suite).

Les parcelles du regroupement climatique "b" se positionnent dans un regroupement intermédiaire effectivement, où de façon moins nette, soit en intégrant le regroupement "a" soit le "c".

Sur la Figure 31 on observe le profil sensoriel moyen des vins du regroupement "a" et des vins du regroupement "c".

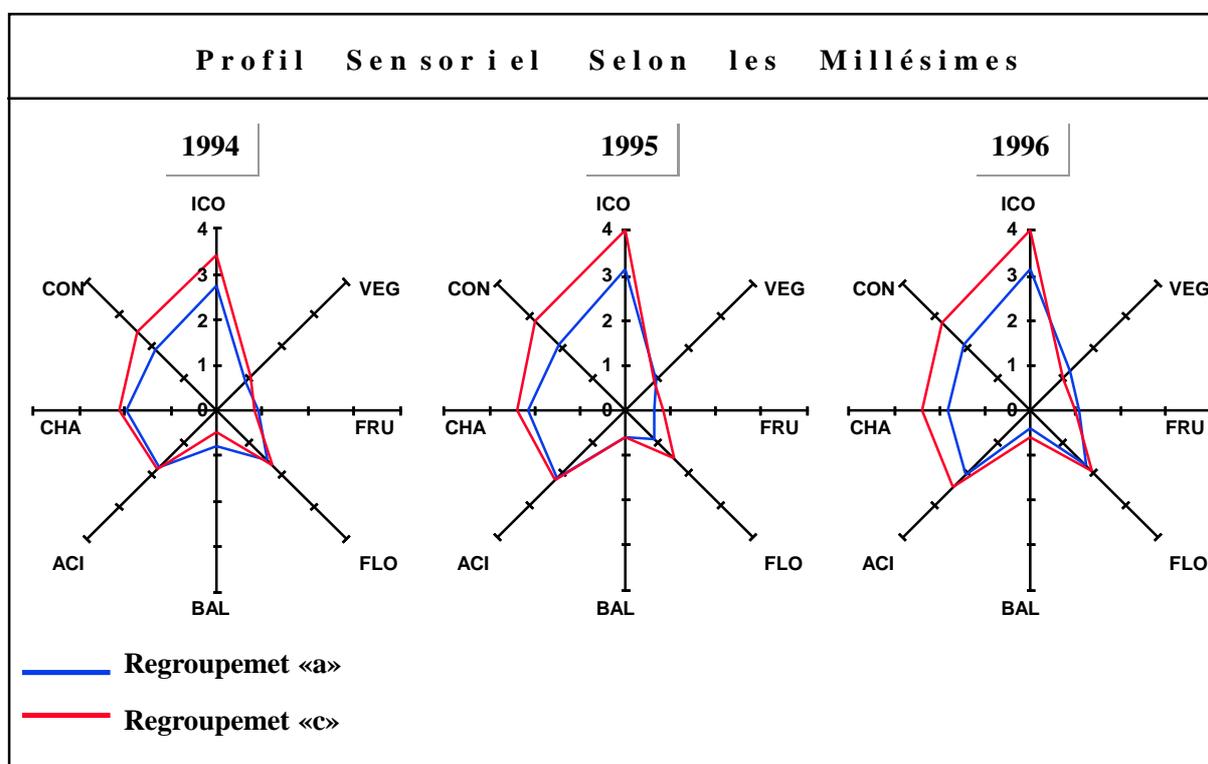


Figure 31. Profil sensoriel des vins du Réseau Syrah des millésimes 1994, 1995 et 1996 : moyenne des notes de chaque descripteur pour l'ensemble des vins du regroupement climatique "a" et du regroupement "c".

On observe que la grande différence entre les vins du regroupement "c" et les vins du regroupement "a", est surtout liée à des notes supérieures pour les descripteurs ICO, CHA et CON. Contrairement de ce qu'on pourrait penser, les vins du regroupement "a" n'ont pas globalement des notes supérieures à celles du regroupement "c" pour les descripteurs FLO, FRU, EPI, ACI et VEG. Ceci montre qu'une partie des différences sensorielles trouvées sur les vins des régions plus chaudes et avec plus de sécheresse ("c"), sont les notes de ICO, CHA et CON qui ressortent relativement plus que sur les vins du regroupement "a", en "masquant" probablement les caractères FLO, FRU, EPI.

Au contraire, les vins des régions les plus froides et à absence de sécheresse ("a"), permettent de mieux percevoir les notes de FLO, FRU, ACI et VEG, non pour la valeur de la note elle-même, mais surtout parce que les notes de ICO, CHA et CON sont moins présentes.

4.5. Autres observations et essai d'explication de certains éléments de la typicité

Dans le paragraphe 4.4. ci-dessus, nous avons mis en évidence l'aspect typicité des vins en fonction des millésimes et des regroupements climatiques. Il est intéressant d'essayer d'expliquer le déterminisme de certains éléments de la typicité sur la base des variables mésoclimatiques, mais aussi en cernant mieux le bilan hydrique des parcelles et en faisant intervenir des variables liées aux aspects cultureux. Ce déterminisme sera mis en rapport avec des tendances générales sur la typicité des vins notées lors d'études sur les terroirs et les systèmes de culture (Asselin *et al.*, 1992 ; Carbonneau, 1990).

Dans le cas du Réseau Syrah nous avons une très grande diversité des conditions de milieu au niveau de l'UTB (facteurs naturels du milieu, y compris le climat). On pourrait même penser que chaque parcelle du Réseau Syrah appartient à une UTB différente.

Au contraire, nous avons la moindre variabilité possible au niveau du cépage, des technologies viticoles et oenologiques, donc au niveau de l'interaction proposée par le concept de UTV. Si on avait adopté différentes techniques au niveau des technologies viticoles et oenologiques, on aurait influencé encore plus la qualité du raisin et la typicité des vins, mais au risque de compliquer l'interprétation.

Même si les résultats présentés sur le Réseau Syrah ont traité en priorité du climat viticole et de son influence, il est évident que d'autres variables liées à l'UTB sont importantes à analyser pour la mise en évidence de l'effet terroir sur la typicité des vins du Réseau Syrah.

Par exemple, Lebon *et al.* (1993) en Alsace font ressortir au niveau de l'UTB l'importance des séquences écogéopédologiques, de la typologie des paysages et de la répartition et de l'orientation des masques. Également, Morlat et Jacquet (1993) montrent au niveau des différents terroirs l'effet positif de la disponibilité hydrique du sol sur le système racinaire dans différents types de sol.

Ainsi, dans le Réseau Syrah on fera une brève référence des évidences de l'influence d'autres variables au niveau de l'UTB sur la qualité du raisin et sur la typicité des vins. On regardera en particulier l'aspect de la réserve utile en eau du sol. Elle détermine, entre autres, une réponse sur les variables agronomiques de la vigne par exemple. Comme on a déjà vu dans le

paragraphe 4.3., les variables agronomiques jouent également sur la qualité du raisin et par conséquent sur la typicité des vins. Ainsi il est important de prendre en compte SFEp et Prec, ainsi que P.bois et MS.

Du point de vue climatique, une idée de l'importance de la disponibilité en eau sur les parcelles du Réseau Syrah est donnée par la régression linéaire multiple trouvée pour expliquer la MS des parcelles (sur la période 1994-96) :

$$MS = -0,146054 + 0,000145 \sum P_{j-d} + 0,005574 Dp$$

La variable "quantité totale de pluie de l'année" ($\sum P_{j-d}$) et l'indice de précocité Dp (ce dernier corrélé négativement avec le potentiel héliothermique) expliquent 49 % de la variabilité de la MS des parcelles viticoles du Réseau Syrah ($p < 0,05$).

Si l' IS estime sur un plan climatique la réserve potentielle en eau du sol, il semble que la MS puisse être un bon indicateur de la réserve réelle utile en eau du sol et doive améliorer la précision de l'analyse des effets du facteur hydrique.

C'est ce qu'a montré l'observation des parcelles du Réseau Syrah comme VIC, avec une MS très élevée, et JON, avec une MS très faible. Sur ces parcelles la connaissance du sol, sa profondeur notamment, permet de penser que IS est trop loin de la réalité du bilan hydrique, alors que MS en est un bon estimateur.

4.5.1. Les tendances de la typicité des vins selon les indices climatiques et les variables agronomiques

Pour avoir un aperçu global des principales tendances du déterminisme de la typicité des vins, nous avons réalisé une A.C.P. avec les données de l'analyse sensorielle des vins du Réseau Syrah, dans laquelle nous avons inclus des variables explicatives. Ces variables sont les indices climatiques viticoles - IS , IH , IF . Également, nous avons inclus les variables agronomiques MS et SFEp/Prec, explicatives des modèles de qualité déjà présentés.

Le cercle des corrélations de cette A.C.P. est montré sur la Figure 32, qui explique 51,3 % de la variabilité. La matrice des corrélations est sur le Tableau 29 (Annexe 10).

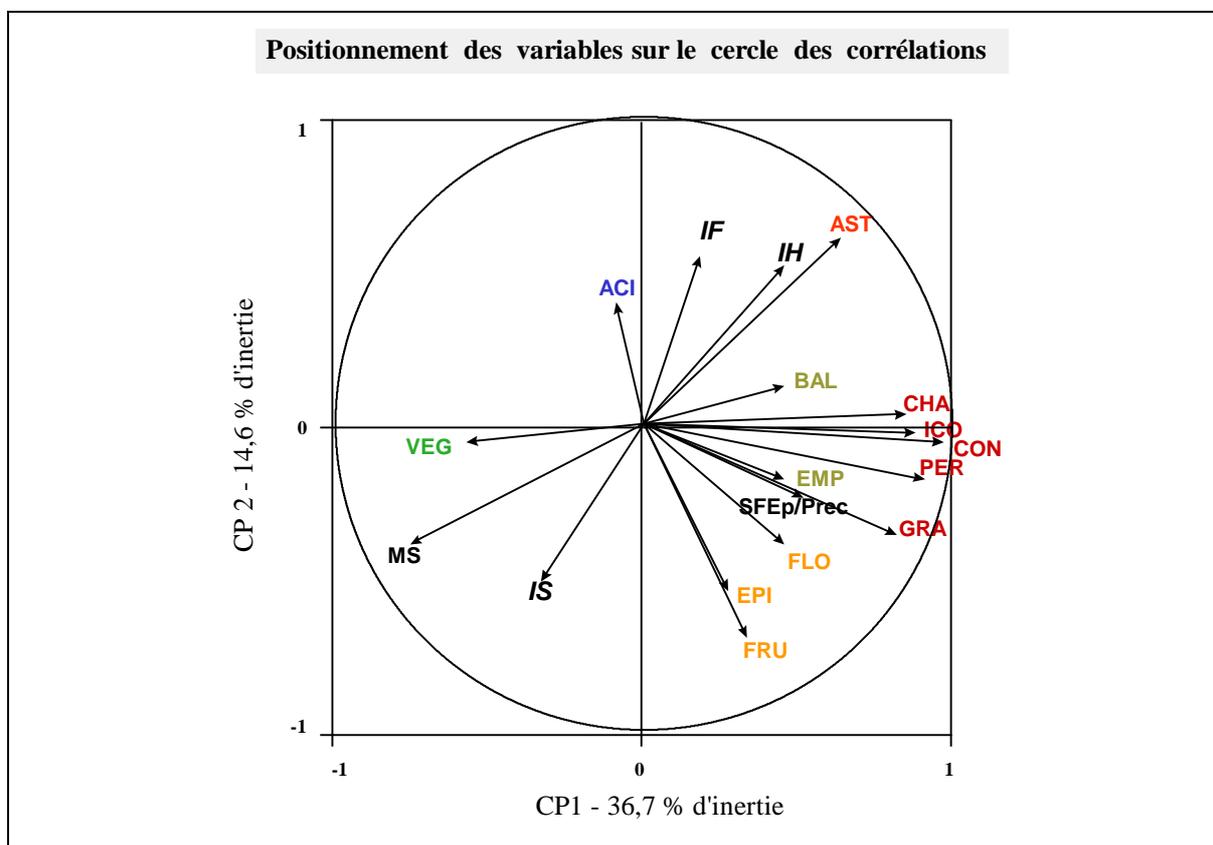


Figure 32. Cercle des corrélations de l'A.C.P avec les variables climatiques, agronomiques et de typicité des vins des parcelles du Réseau Syrah sur les millésimes 1994, 1995 et 1996 (sur 39 observations).

D'abord, on observe que **la MS possède une corrélation positive avec l'IS et négative avec l'IH**. Ces 3 variables sont liées à plusieurs variables de la typicité des vins.

Un essai donc, d'explication de certains éléments de la typicité au niveau de la perception sensorielle des vins peut être tenté à partir de résultats de cette analyse :

La concentration, le gras, la chaleur, la persistance et l'intensité de la couleur

La concentration (CON), est la variable la mieux représentée sur la composante principale 1. Elle représente bien cet axe, que l'on pourrait appeler **d'axe de maturation**.

CON est très fortement corrélée avec ICO ($r = 0,92$), avec GRA ($r = 0,86$), avec CHA ($r = 0,83$) et avec PER ($r = 0,89$).

CON est déterminée conjointement par *l'IS* (corrélation négative) et par *l'IH* (corrélation positive). CON possède également une corrélation négative avec MS ($r = -0,59$). Cette même tendance est observée sur toutes les variables bien représentées sur l'axe de maturation (ICO, GRA, CHA, PER).

Ce résultat rejoint les modèles explicatifs de la teneur en sucres du moût et de la réserve technologique en polyphénols des pellicules, où les mêmes variables (ou leurs homologues) que précédemment interviennent dans l'interprétation des bases écophysologiques de la maturation corroborent ces résultats.

Le degré de maturation de la Syrah nous amène, donc, à retrouver ces caractéristiques de typicité sur les vins.

L'astringence

La perception de l'astringence présente les mêmes tendances globales que celles des variables bien représentées sur l'axe de maturation. La différence se situe au niveau d'une corrélation plus élevée avec les indices climatiques *IS* (négative), *IH* (positive) et avec la MS (négative).

L'interprétation la plus rationnelle est celle d'une relation entre le niveau réel de sécheresse (faible MS) et la stimulation de certains composés phénoliques (tanins) responsables de l'astringence.

Les arômes floraux, fruités et épicés

Les arômes fruités, floraux et épicés, au niveau de la perception, sont présents de façon assez regroupée sur l'axe de maturation. Ils sont pour partie liés au niveau de maturation. On remarque, particulièrement, que FRU et FLO semblent être favorisées, en priorité, par une SFEP/Prec plus élevée (corrélation positive).

Cette observation rejoint de nombreux résultats de systèmes de culture dans des terroirs très variés.

Les arômes balsamiques et empyreumatiques

Les arômes BAL et EMP sont également présents sur l'axe de maturation. Ils sont liés à un niveau de maturation. La MS joue négativement sur BAL. La SFep/Prec joue positivement sur EMP. Il est possible aussi d'émettre l'hypothèse d'une opposition par rapport aux notes VEG, dont l'évolution conduirait à l'expression de notes balsamiques BAL au fur et à mesure du déroulement de la maturité et de l'augmentation de la concentration.

La note végétale

L'arôme végétal VEG, représenté dans l'axe de maturation, est corrélé négativement avec les perceptions de CON, CHA, PER, GRA, ICO. Cette note est donc liée à un faible maturation. Elle est également liée à des valeurs de MS élevée. Ces résultats sont corroborés par de nombreuses observations extérieures.

Le goût acide est peu représenté sur les axes de l'A.C.P. L'examen détaillé des parcelles semble indiquer que la perception d'acidité est ici liée à des situations relativement chaudes et sèches, ce qui laisse à penser que les éléments en cause seraient ici plutôt le faible niveau de K^+ et une teneur en acide tartrique relativement élevée.

L'arôme minéral et animal sont peu présents sur les vins de Syrah de l'étude.

Les résultats sur les parcelles du Réseau Syrah montrent que l'UTB influence la qualité de la récolte et la typicité des vins.

Les éléments de cet **essai** d'explication de certains éléments de la typicité, quelques uns plus évidents, d'autres beaucoup moins, permettent d'avoir des indications utiles surtout pour orienter l'expérimentation viticole et la recherche physiologique vers une meilleure compréhension du déterminisme climatique et agronomique des éléments de la typicité des vins.

5. CONCLUSIONS

L'étude réalisée au niveau du Réseau Syrah permet les conclusions suivantes :

- a) Par rapport au climat viticole mondial, le Réseau Syrah se positionne dans un espace assez éclaté, surtout pour l'*IS*, situé entre les classes *sub-humide* et à *sécheresse modérée* ; dans le climat de la France, il ne couvre pas les régions à potentiel héliothermique inférieur à celui dont la Syrah a besoin pour l'arrivée à maturité, qui concerne toutes les zones de climat atlantique ou à tendance semi-continentale en France, hormis les zones de transition ;
- b) Les parcelles du Réseau Syrah sont distribuées sur 7 groupes climatiques selon les classes de climat viticole des indices climatiques *IS*, *IH* et *IF*, ce qui est représentatif de la grande diversité climatique trouvée dans le sud de la France. Ces résultats sont corroborés par la constatation que le Réseau Syrah est placé sur 5 zones viticoles des 10 zones définies par le zonage de la Communauté Européenne, estimées en fonction de la teneur potentielle en sucres du moût du raisin à maturité ;
- c) La variabilité interannuelle du climat viticole est importante au niveau de chaque parcelle ; ainsi, on observe que les parcelles changent de groupe climatique en fonction de l'année. Mais entre les millésimes les parcelles gardent un certain niveau d'équidistance les unes par rapport aux autres, surtout pour les indices *IH* et *IF* qui sont beaucoup plus corrélés que l'*IS* ;
- d) Sur une longue série d'années, la variabilité du climat viticole au niveau d'un mésoclimat est importante, mais la plus grande fréquence des années va se situer dans la classe de climat viticole moyen ou dans les classes adjacentes ;
- e) Le climat viticole du Réseau Syrah de la période 1994-96 correspond à une série d'années avec un potentiel héliothermique plus élevé que la *normale* ; cette tendance est la même que celle trouvée sur les 10 dernières années, période qui correspond également à une série plus chaude que la moyenne régionale ;

- f) Les indices *IS*, *IH* et *IF* permettent une caractérisation globale du climat viticole du millésime, mais il est important également d'intégrer l'évolution de l'indice de bilan hydrique potentiel jusqu'à la récolte du raisin ;
- g) L'indice climatique de précocité *Dp*, la *Tnv-r*, le *Wr* et la variable agronomique *SFEp/Prec* expliquent une partie importante de la teneur en sucre du moût du raisin à la récolte de la Syrah dans le sud de la France ;
- h) Les indices climatiques *Wr*, la *Tnv-20* et la variable agronomique *MS* expliquent une partie importante de la réserve technologique en polyphénols totaux - RTIPT, trouvée dans les pellicules du raisin à la récolte ;
- i) Le climat viticole du millésime influence l'ensemble des caractéristiques de la typicité des vins sur l'ensemble des groupes climatiques ;
- j) Sur un même millésime, la typicité organoleptique des vins garde un positionnement relatif déterminé par leur regroupement climatique ; 2 regroupements climatiques stables par rapport à la typicité de leurs vins ont été mis en évidence ; et,
- k) Un essai d'explication du déterminisme climatique et agronomique des grandes tendances des notes sensorielles qui caractérisent la typicité de vins, par groupe de descripteurs organoleptiques, a permis de montrer des nouveaux éléments importants et offre des indications utiles pour le développement de la recherche scientifique sur ce sujet ; ainsi peuvent être avancés les déterminismes du niveau global de maturité lié à la richesse du vin, des caractères végétaux, balsamiques ou fruités.

Les *Étude 1* et *Étude 2* nous ont conduit à d'autres conclusions:

- l) La ΣT_{10} à partir de la date de débourrement de Riou et Pouget - *Dp* permet d'obtenir une bonne estimation de la date de floraison et de la date de véraison de la Syrah dans le sud de la France ; et,
- m) L'algorithme du zonage de la Communauté Européenne pour l'estimation de la teneur en sucre potentielle du raisin à maturité s'est montré valable sur le test réalisé à l'échelle des parcelles du Réseau Syrah.

6. **ÉTUDE 1 - MODELISATION CLIMATIQUE DE LA DATE DE FLORAISON ET DE LA DATE DE VERAISON DES PARCELLES DU RESEAU SYRAH**

Pendant la période d'évaluation du Réseau Syrah (1994, 1995 et 1996), la phénologie concernant les dates de floraison et les dates de véraison a été observée pour un ensemble restreint de parcelles (Tableau 14). Les dates observées correspondent aux stades suivants :

- *Date de floraison* observée (F_o) : date de mi-floraison où 50% des fleurs ont atteint le stade de l'anthèse (stade *I* de Baillod et Baggiolini, 1993).
- *Date de véraison* observée (V_o) : date de mi-véraison où 50% des grappes ont veré (observé par le changement de couleur sur une partie de la pellicule de la baie - stade *M* de Baillod et Baggiolini, 1993).

Pour la réalisation des études bioclimatiques sur l'ensemble du Réseau Syrah il était nécessaire d'avoir les dates de floraison et de véraison pour toutes les parcelles du Réseau et pour toutes les années d'évaluation.

Nous avons donc réalisé une modélisation climatique des dates de floraison et de véraison en utilisant les observations phénologiques effectuées sur les parcelles du Réseau (Tableau 14) et les données climatiques de la base de données créée pour le Réseau Syrah (voir paragraphe 3.3 du Chapitre II). Au départ il était nécessaire de définir le début de la période végétative ; ceci a été fait en application des travaux de Pouget.

La date de débourrement de Riou et Pouget

Pouget (1963, 1968, 1969, 1972 et 1988) a développé une série d'études sur la dormance de la vigne et les mécanismes de débourrement des bourgeons. Elles ont abouti à la mise au point d'un modèle climatique pour la détermination de la date de début de débourrement selon la précocité des cépages (Riou et Pouget, 1992). Ce modèle donne une très bonne estimation de la date du début du débourrement.

Tableau 14. Dates de floraison et dates de véraison observées sur les parcelles du Réseau Syrah - années 1994, 1995 et 1996.

Année	Parcelle	Date de floraison observée (<i>F_o</i>)	Date de véraison observée (<i>V_o</i>)
1994	ALA	12-juin	13-août
	AMP	10-juin	16-août
	CAZ	8-juin	06-août
	CHA	30-mai	26-juil
	MER	10-juin	07-août
	PRA	4-juin	02-août
1995	AMP	23-juin	17-août
	CHA	5-juin	03-août
	GRU	1-juin	30-juil
	LUC	1-juin	03-août
	MER	15-juin	16-août
	PRA	1-juin	02-août
	ROU	5-juin	31-juil
	VID	6-juin	08-août
1996	AUB	16-juin	16-août
	CAU	5-juin	10-août
	CAZ	7-juin	08-août
	LUC	1-juin	03-août
	MOU	6-juin	04-août
	PRA	4-juin	06-août
	SAU	11-juin	11-août
	VID	6-juin	29-juil

La date estimée par ce modèle correspond à celle où environ 10 à 20% du total des bourgeons laissés à la taille atteignent le stade *B* de Baggiolini (1952) (bourgeon dans le coton, avec les écailles écartées, laissant apparaître une masse cotonneuse constituée par un amas de poils qui se sont développés sur les organes primaires). Cette date est, pourtant, beaucoup plus précoce que la date de mi-débourrement du stade *C* de Baggiolini.

La formule de ce modèle, ci-dessous, est une fonction (*F*) de réponse à la température (*T*), "*e*" étant l'exponentielle en système népérien :

$$F = e^{0,07T} - 1,91 e^{-0,126T}$$

Pour calculer la date de débourrement, il faut faire la somme de la fonction *F* pendant une durée *D* à partir du 1^{er} janvier, jusqu'à atteindre une valeur *W* (*unités-jour*) d'autant plus élevée que le cépage est plus tardif. Pour la Syrah la valeur du *W* est égale à 53 *unités-jour*.

La *date de débourrement* (D_p) - selon Riou et Pouget (1992), a donc été calculée pour les différentes parcelles du Réseau Syrah (Tableau 14 et Figure 33).

Étude des modèles climatiques pour les dates de floraison et de véraison

Plusieurs études de modélisation climatique développées pour l'estimation des dates phénologiques sont présentes dans la bibliographie mondiale (Caló, 1972 ; Due *et al.*, 1993 ; Carbonneau, 1994 ; Muñoz *et al.*, 1997 ; Oliveira, 1998).

Pour la modélisation climatique de la date de floraison et de la date de véraison des parcelles du Réseau Syrah nous avons utilisé la méthode des sommes de températures, décrite par Guyot (1997). Nous avons retenu comme *point de départ* pour la somme des températures la date D_p (date de débourrement de Pouget et Riou, 1992).

Plusieurs formules ont été testées, en utilisant la température moyenne journalière de l'air (T), la température minimale (T_n) ou la température maximale (T_x). Différents seuils de température ont été analysés :

- Pour la somme des températures de la *Date de Floraison* (f) : on a travaillé sur les données disponibles (22 dates de floraison observées sur les années 1994-1996 - Tableau 14). Dix modèles climatiques ont été testés sur la période D_p - F_o (Tableau 15) ;
- Pour la somme des températures de la *Date de Véraison* (v) : la même démarche a été adoptée pour l'étude concernant la date de véraison. Les mêmes 10 formules utilisées pour l'étude de la *date de floraison* ont été testées pour l'étude de la *date de véraison*, calculées dans ce cas là sur la période D_p - V_o (Tableau 16).

Résultats

Les résultats du test des modèles pour l'estimation de la **date de floraison** des parcelles du Réseau Syrah sont reportés dans le Tableau 15. Ils montrent que le meilleur modèle pour l'estimation de la date de floraison est celui de la somme de températures, avec un seuil de 10°C (ΣT_{10}), de 385 degrés-jours à compter de la date D_p . Elle estime la date de floraison

avec un r^2 de 0,89 et un écart type de 3,5 jours, ce qui constitue une estimation très satisfaisante.

D'autres modèles ont également donné de bonnes estimations, comme la somme des températures avec le seuil de 12 °C et la formule n° 10, inspirée de la formule de l'indice de Huglin, qui estime la température moyenne de la fraction bien éclairée de la journée. Le modèle le moins performant a été logiquement celui qui utilise la température minimale de l'air.

Tableau 15. Résultats du test des modèles pour l'estimation de la date de floraison des parcelles du Réseau Syrah.

Modèle		Moyenne de la somme des températures (f) des parcelles sur la période $Dp-Fo$	r^2 (entre le nombre de jours $Dp-Fo$ et $Dp-f$)	Ecart type (en jours)
N°	Formule avec le seuil de température ¹			
1	$f = \Sigma T_{n0}$	830	0,42	8,0
2	$f = \Sigma T_0$	1365	0,84	4,6
3	$f = \Sigma T_{10}$	385	0,89	3,5
4	$f = \Sigma T_{12}$	244	0,89	3,6
5	$f = \Sigma T_{15}$	94	0,87	4,5
6	$f = \Sigma T_{x0}$	1909	0,74	5,2
7	$f = \Sigma T_{x10}$	881	0,79	4,7
8	$f = \Sigma T_{x12}$	691	0,80	4,9
9	$f = \Sigma T_{x15}$	439	0,85	4,8
10	$f = (\Sigma T_{10} + \Sigma T_{x10})/2$	633	0,87	3,7

¹ f = moyenne de la somme des températures des parcelles sur la période évaluée

Les résultats du test des modèles pour l'estimation de la **date de véraison** sont portés sur le Tableau 16. Ces résultats montrent que le meilleur modèle obtenu pour cette estimation est celui de la formule n° 10, qui estime la température moyenne de la fraction éclairée de la journée $((\Sigma T_{10} + \Sigma T_{x10})/2)$, avec la valeur de 1605 degrés-jours à compter de la date Dp . Elle estime la date de floraison avec un r^2 de 0,86 et un écart type de 4,0 jours. Même si le résultat est un peu moins précis que celui obtenu pour la date de floraison, ce qui confirme les résultats normalement trouvés sur la bibliographie, il présente une estimation de la date de véraison assez satisfaisante. Le modèle de la somme de températures avec le seuil de 10 °C a également

donné de bons résultats, avec un r^2 de 0,82 et un écart type de 4,6 jours (résultats qui ne diffèrent pas statistiquement du modèle antérieur). Encore ici, le modèle le moins performant a été celui qui utilise la température minimale de l'air.

NB : l'indice de sécheresse - *IS*, pourrait être essayé en complément de moins pour certains climats.

Tableau 16. Résultats du teste des modèles pour l'estimation de la date de véraison des parcelles du Réseau Syrah.

Modèle		Moyenne de la somme des températures (v) des parcelles sur la période $Dp-Vo$	r^2 (entre le nombre de jours $Dp-Vo$ et $Dp-v$)	Ecart type (en jours)
N°	Formule avec le seuil de température ¹			
1	$v = \Sigma Tn0$	1839	0,33	9,2
2	$v = \Sigma T0$	2755	0,81	4,9
3	$v = \Sigma T10$	1168	0,82	4,6
4	$v = \Sigma T12$	905	0,76	5,4
5	$v = \Sigma T15$	574	0,84	5,3
6	$v = \Sigma Tx0$	3680	0,78	4,9
7	$v = \Sigma Tx10$	2043	0,80	5,3
8	$v = \Sigma Tx12$	1731	0,81	5,5
9	$v = \Sigma Tx15$	1297	0,83	6,2
10	$v = (\Sigma T10 + \Sigma Tx10)/2$	1605	0,86	4,0

¹ v = moyenne de la somme des températures des parcelles sur la période évaluée

Modèles retenus pour l'estimation des dates de floraison et véraison du Réseau Syrah

Pour l'estimation des dates de floraison et de véraison de l'ensemble des parcelles du Réseau Syrah nous avons retenu le modèle de la formule n° 3 - calculé sur la somme des températures moyennes avec le seuil de 10°C ($\Sigma T10$), qui est le seuil le plus largement utilisé dans les modèles viticoles. La Figure 33 montre le positionnement des dates de floraison et de véraison observées et estimées par ce modèle.

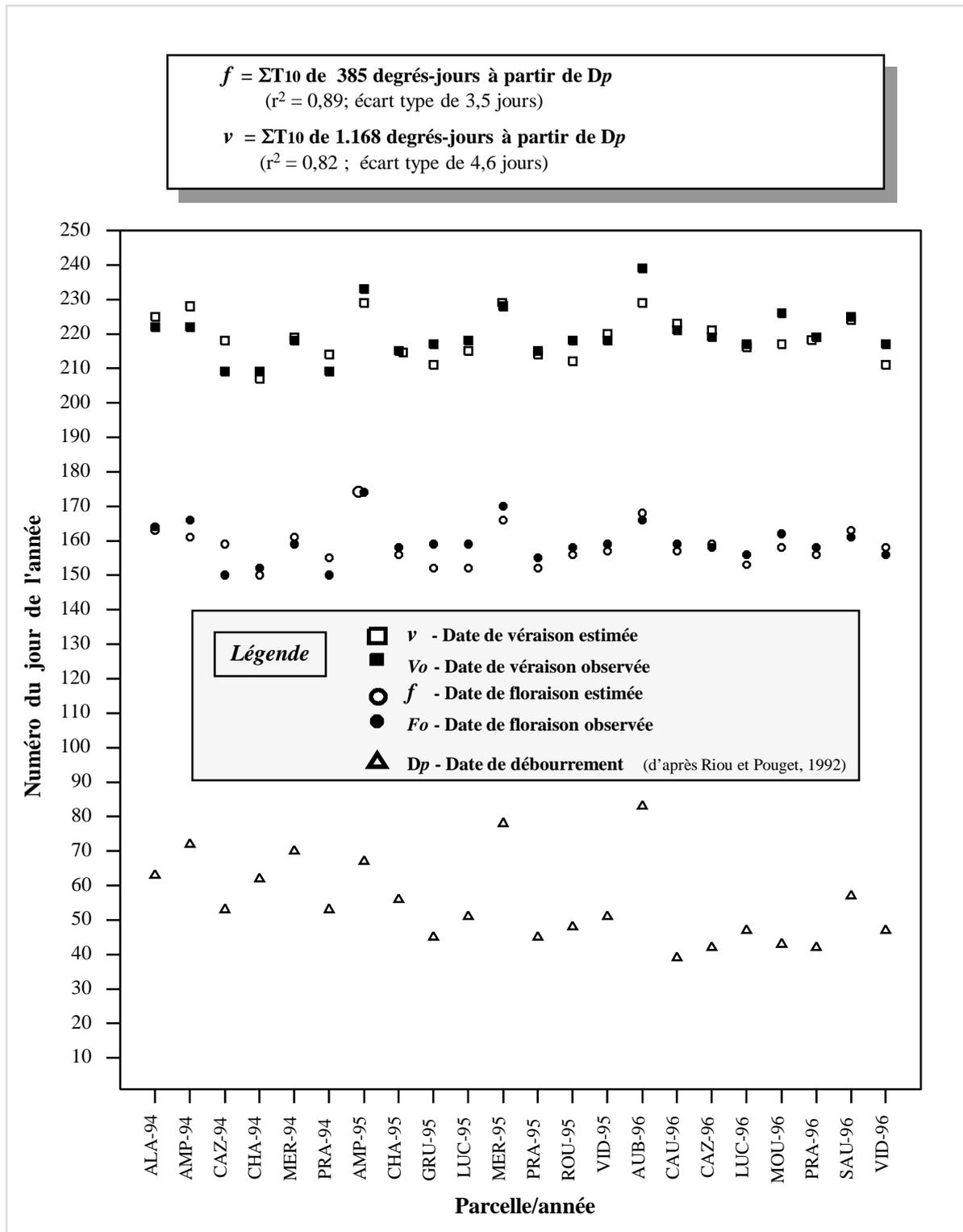


Figure 33. Phénologie des parcelles du Réseau Syrah : date de débourrement Dp (Riou et Pouget, 1992) ; dates de floraison et dates de véraison observées ; modèles climatiques et dates de floraison et de véraison estimées.

7. **ÉTUDE 2 - LE DETERMINISME CLIMATIQUE DE LA MATURATION DU RAISIN : APPLICATION DU ZONAGE DE LA TENEUR EN SUCRE DE LA COMMUNAUTE EUROPEENNE A L'ECHELLE DES PARCELLES DU RESEAU SYRAH**

En 1994, un zonage climatique au niveau européen, basé sur le critère de la teneur en sucre potentielle du moût du raisin à maturité a été publié (Riou *et al.*, 1994 ; Carbonneau, 1994a).

Il a été mené par un groupe d'experts viticoles, à la demande de la *Direction Générale à l'Agriculture VI de la Commission de l'Union Européenne*, dont le but était d'évaluer la faisabilité de zoner les potentialités viticoles à l'échelle de l'Europe, de tester la possibilité d'améliorer le zonage existant, et, si oui, d'en proposer un autre.

Le critère de la teneur en sucre potentielle du moût du raisin à maturité (S) a été retenu pour être la référence de base des potentialités viticoles. Le choix d'une démarche agrométéorologique a été fait. L'étude est arrivée à proposer des algorithmes statistiques de régression linéaire multiple pour l'estimation de la valeur de S . A la fin, il abouti à un zonage, avec la proposition de 10 zones viticoles en fonction du potentiel en S (Tableau 17). Une cartographie des ces zones au niveau européen fait partie des résultats finaux.

En disposant de cette étude, on a voulu la tester à l'échelle des parcelles du Réseau Syrah. Le but était de savoir sur combien des zones viticoles sont situées les parcelles du Réseau Syrah. On a voulu également vérifier la qualité de l'estimation de la valeur de S par rapport aux valeurs observées sur le terrain par le Réseau Syrah (S_r).

La méthode appliquée

L'algorithme d'estimation de la valeur de S - teneur en sucre potentielle à maturité, du zonage de la Communauté Européenne, a été testé sur les données climatiques du Réseau Syrah.

L'algorithme testé comporte une correction de l'estimation de la valeur estimée S par un coefficient cépage, disponible pour chacune des 17 cépages de l'étude, variable de 0,88 à 1,11. Pour le cépage Syrah le coefficient est égal à 1,00 (moyenne exacte de l'ensemble des cépages étudiés).

Cet algorithme, au niveau de la C.E., a estimé la valeur de S avec un r^2 de 0,54, jugé tout à fait utilisable en agrométéorologie pour réaliser un zonage acceptable. La régression et la méthode de calcul des différents variables climatiques sont décrites ci-dessous (applicable à des moyennes interannuelles):

Algorithme

$$S = 239,04 - 0,477*FLOR - 0,171*BH-SE + 1,025*DU-VR + 1,423*TM-VR_1 - 2,110*TM-VR_2$$

Où,

(obs. : la légende utilisée ici est la même que dans la publication originale ; elle n'est pas répertoriée dans la "Liste des Sigles et des Abréviations" de cette thèse)

S : teneur en sucre potentielle à maturité, estimée en g/l
 BH-SE : réserve en eau, en mm, au 30 septembre ; calculée par le modèle décrit par Riou *et al.* (1994, p.158), avec la valeur de k constante à 0,5, $W_0 = 200$ mm au 1^{er} Avril, dont $W_0 \geq BH-SE \geq 0$

DU-VR : durée en jours de la date de véraison à la date de récolte

TM-VR : température moyenne en °C pendant la période véraison-récolte

TM-VR₁ : Si $I > 95$ TM-VR₁ = TM-VR

Si $I \leq 95$ TM-VR₁ = 22,2 °C

TM-VR₂ : Si $I < 95$ TM-VR₂ = TM-VR

Si $I \geq 95$ TM-VR₂ = 17,1 °C

$$I = 100 EJS / \Sigma ETM$$

EJS = Somme des évapotranspirations mensuelles du 1^{er} Juillet au 30 Septembre

ΣETM = Somme des évapotranspirations maximum du vignoble

$$FLOR = 205,2 + 0,6382*LAT - 0,0398*STA - 0,0729*STM - 0,0373*STJ$$

V = date de v estimée par le modèle du Réseau Syrah (voir *Étude 1* - paragraphe 6 de ce chapitre)

$$R = 357,1 - 0,0528*STA - 0,0621*STM - 0,0299*STJ - 0,0071*STT - 0,0332*SPS$$

Les dates FLOR, V et R sont les date de floraison, véraison et récolte (numéro du jour de l'année après le 1^{er} Janvier)

- LAT : latitude
- STA : somme des températures moyennes du mois d'Avril
- STM : somme des températures moyennes du mois de Mai
- STJ : somme des températures moyennes du mois de Juin
- STT : somme des températures moyennes des mois de (Juillet + Août + Septembre)
- SPS : somme de la pluie du mois de Septembre

Les données climatiques du Réseau Syrah, utilisées pour le test de ce modèle, sont celles de la moyenne climatique journalière de la période 1994-96 de chaque parcelle. La base de données est la même que celle utilisée pour l'analyse climatique du Réseau Syrah, comme nous l'avons décrit dans paragraphe 3.2 de ce Chapitre.

Résultats du test du modèle sur les parcelles du Réseau Syrah

Le potentiel estimé en S

La valeur de S estimé par l'algorithme et la valeur de S_r observé présente un $r^2 = 0,54$ (calculé sur les 13 parcelles sur lesquelles on disposait des moyennes de S_r observé pour la période 1994-1996) (Figure 34). On voit alors que le modèle reproduit, sur les parcelles du Réseau Syrah, la même valeur de 0,54 pour le coefficient de détermination (r^2) obtenu dans le zonage de la C.E.

La valeur de S_r observée sur la moyenne des 13 parcelles du Réseau Syrah a été de 207 g/l. L'algorithme a donné une moyenne de S de 197 g/l. La valeur estimée est, donc, assez proche de la valeur observée. La différence de 10 g/l, supérieure sur les valeurs observées S_r , peut être attribuée à une bonne maîtrise technique des vignobles du Réseau Syrah, soit au niveau des rendements, soit au niveau du système de conduite, soit à celui de la date de récolte. Les parcelles du Réseau Syrah représenteraient des conditions plus favorables que celles trouvées dans les conditions moyennes de production.

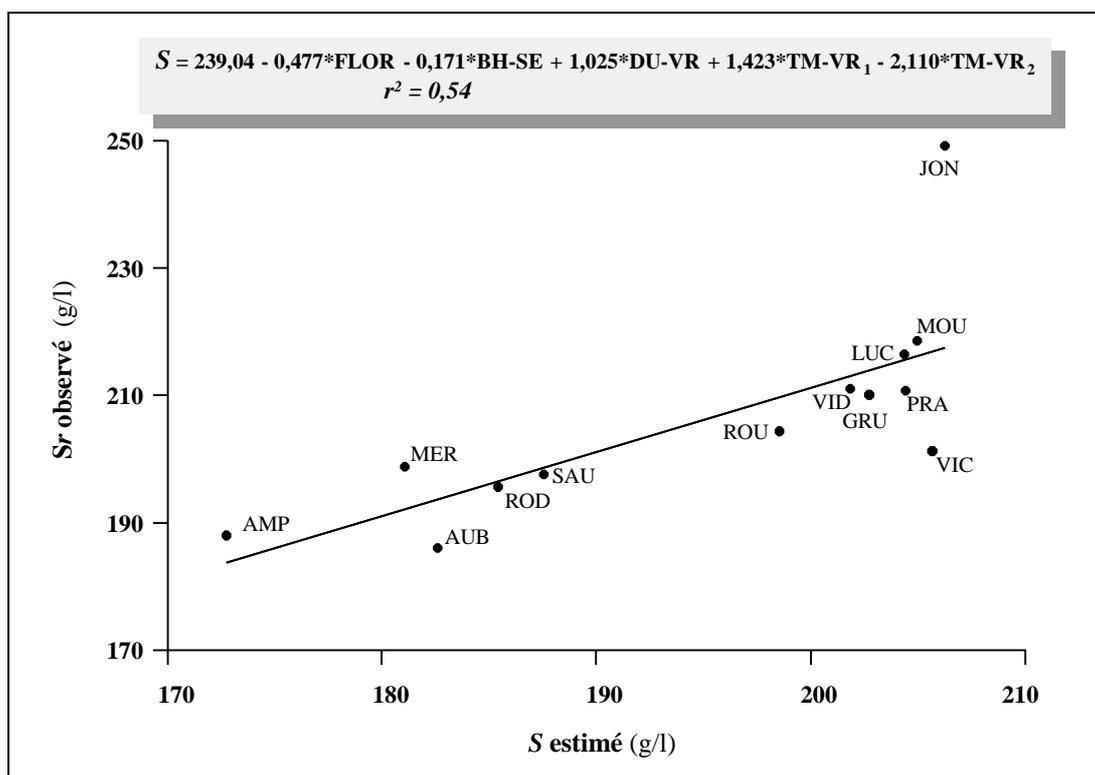


Figure 34. Valeurs de la teneur en sucres (Sr) observées sur les parcelles du Réseau Syrah et S estimé par l'algorithme du zonage de la Communauté Européenne, pour la moyenne de la période 1994-96.

Les zones des parcelles du Réseau Syrah dans le zonage de la Communauté Européenne

Les valeurs de S estimées par l'algorithme pour les parcelles du Réseau Syrah ont montré que le Réseau est situé sur les zones viticoles 5, 6, 7, 8 et 9 du zonage de la Communauté Européenne (Tableau 17).

La moyenne climatique 1994-96 a été plus chaude et plus humide que la *normale* de la zone (sur la base de la valeur du BH-SE). Ces 2 caractéristiques de la moyenne climatique 1994-96 se compensent entre elles sur l'algorithme. Ainsi, nous pouvons dire que la classification sur les zones 5 à 9 du zonage de la C.E sont bien représentatives de l'ensemble des zones couvertes par le Réseau Syrah dans le zonage de la C. E.

Tableau 17. Bornes et intervalles des isolignes de S pour les 10 zones viticoles européennes sur la base de la teneur en sucre potentielle du moût à maturité et position des 18 parcelles du Réseau Syrah estimée par l'algorithme sur la moyenne climatique de la période 1994-96.

Zones viticoles en fonction de S		Localisation des parcelles du Réseau Syrah dans les zones par les valeurs de S estimées par l'algorithme	
S (g/l)	Zone viticole		
$S \leq 150,0$	1 (zone non viticole)	-	
$150,0 < S \leq 157,5$	2	-	
$157,5 < S \leq 165,0$	3	-	
$165,0 < S \leq 172,5$	4	-	
$172,5 < S \leq 180,0$	5	AMP	
$180,0 < S \leq 190,0$	6	AUB, FRO, MER, ROD, SAU	
$190,0 < S \leq 200,0$	7	ROU	
$200,0 < S \leq 210,0$	8	ALA, CAU, CAZ, VIC, CHA, GRU, VID, JON, LUC, MOU, PRA	
$210,0 < S \leq 220,0$	9	VIC	
$S > 220,0$	10	-	

NB : les parcelles seraient décalées à une zone viticole de classe immédiatement inférieure pour des vignobles en conditions techniques normales (-10 g/l).

Ce classement des parcelles sur 5 zones (zones 5 à 9) du zonage de la C.E. est logique par rapport à ce qu'on attend pour cette région du sud de la France, selon l'estimation du zonage de la C.E. (Figure 35).

D'autre part, le positionnement de chaque parcelle dans une zone de la C.E. reflète l'expression de l'algorithme sur la moyenne climatique de la période étudiée (1994-96), ce qui pourrait présenter quelques différences si on utilisait une moyenne sur une période plus longue pour une parcelle donnée. Ceci est valable parce que le mésoclimat au niveau du climat local, comme

c'est le cas des parcelles du Réseau Syrah, reste assez variable si on considère une courte série d'années (3 ans sur notre étude). On observe une concentration des parcelles sur la zone 8, à potentiel de sucre assez élevé.

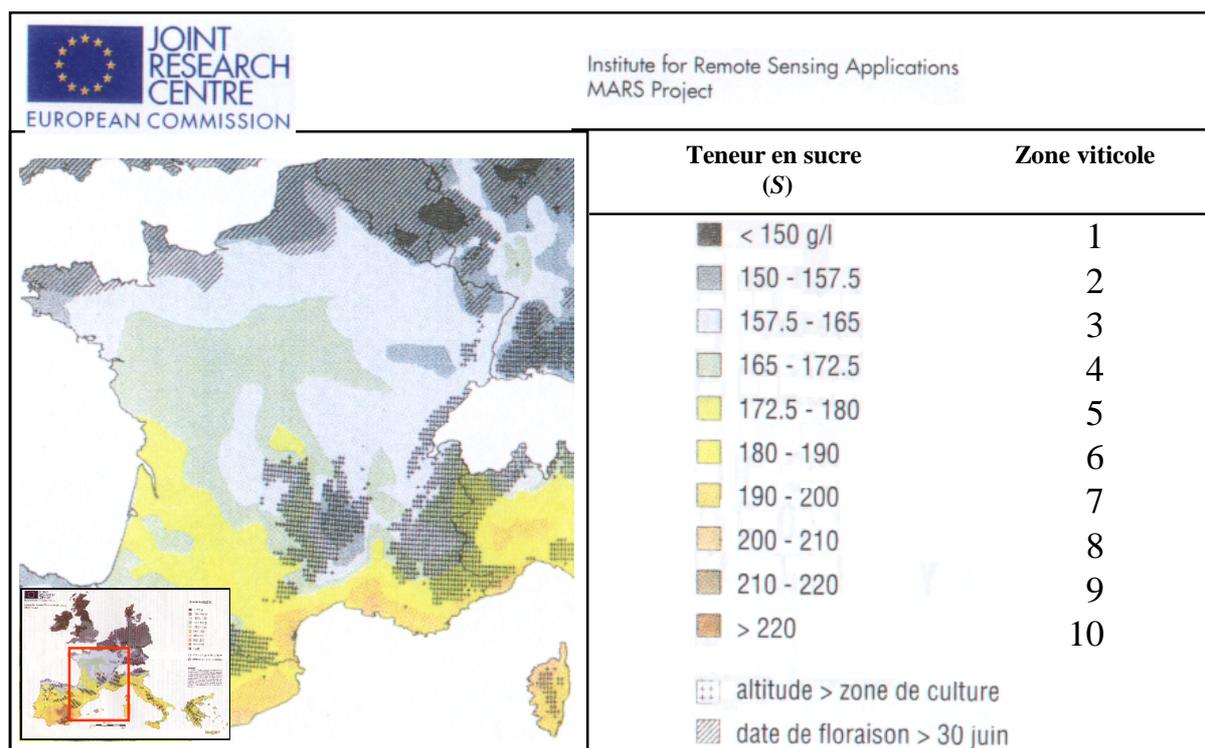


Figure 35. Cartographie des zones viticoles françaises par le teneur en sucre potentielle du moût à maturité (extrait de la carte de l'Europe ; Riou *et al.*, 1994).

Conclusion

- L'algorithme du zonage de la C.E. s'est montré valable à l'échelle des parcelles du Réseau Syrah, soit pour l'estimation de la teneur en sucre potentielle du moût du raisin à maturité, soit par rapport au classement de l'ensemble des parcelles dans les zones viticoles où le Réseau Syrah est placé au niveau du zonage de la C.E.
- Les 18 parcelles du Réseau Syrah couvrent 5 zones viticoles sur les 10 zones définies dans le zonage de la C.E. Le Réseau Syrah est, donc, représentatif de la très grande variabilité du climat viticole trouvée dans le sud de la France.
- Le Réseau Syrah présente une teneur en sucre potentielle à maturité plutôt élevée, surtout en zone méridionale.

Chapitre III

**FACTEURS MESOCLIMATIQUES DE LA TYPICITE
DU RAISIN DE TABLE DE L'A.O.C. *MUSCAT DU VENTOUX*
DANS LE DEPARTEMENT DE VAUCLUSE , FRANCE**

1. INTRODUCTION

En France le Muscat de Hambourg est cultivé principalement dans le Midi et dans la Vallée de la Garonne. Il occupe la première place parmi les raisins de table noirs et mûrit en moyenne 3 semaines après le Chasselas, qui est quant à lui le plus important des cépages blancs.

En Provence, dans le Département de Vaucluse, le vignoble de Muscat de Hambourg s'est développé régulièrement depuis 1960. Les 20 dernières années marquent une évolution significative au niveau de l'amélioration technique de ce vignoble de plus de 3.000 ha, qui représente 73% de la production française (Arnould, 1995).

Ces dernières années les viticulteurs de la région ont fait le choix d'une politique de qualité et de valorisation du terroir. En 1997, l'I.N.A.O. - Institut National des Appellations d'Origine Contrôlées publie le décret de reconnaissance de l'Appellation d'Origine Contrôlée (A.O.C.) *Muscat du Ventoux*. Il établit que les raisins de Muscat de Hambourg doivent provenir des parcelles situées à l'intérieur de l'aire géographique comprenant plusieurs communes situées sur 11 cantons du Vaucluse (Figure 36). Les parcelles doivent aussi respecter un ensemble de critères qui tiennent compte des données édaphiques et climatiques (France, 1997).

Galet (1990) signale que le Muscat de Hambourg est certainement le plus beau muscat noir, car il possède d'indéniables qualités : la beauté de ses grappes et de ses grains, leur saveur musquée, agréable sans être toutefois exagérée, en font un joli raisin de luxe, recherché par les consommateurs français.

Dans la zone d'A.O.C. on trouve un Muscat de Hambourg de très grande qualité, avec des baies de dimension plutôt grande ; mais la typicité du Muscat de la région réside dans sa coloration noir intense et dans un parfum musqué intense et élégant. Au contraire, dans d'autres zones du département, les baies sont insuffisamment colorées et n'ont pas l'arôme typique du Muscat produit dans le secteur du Ventoux.

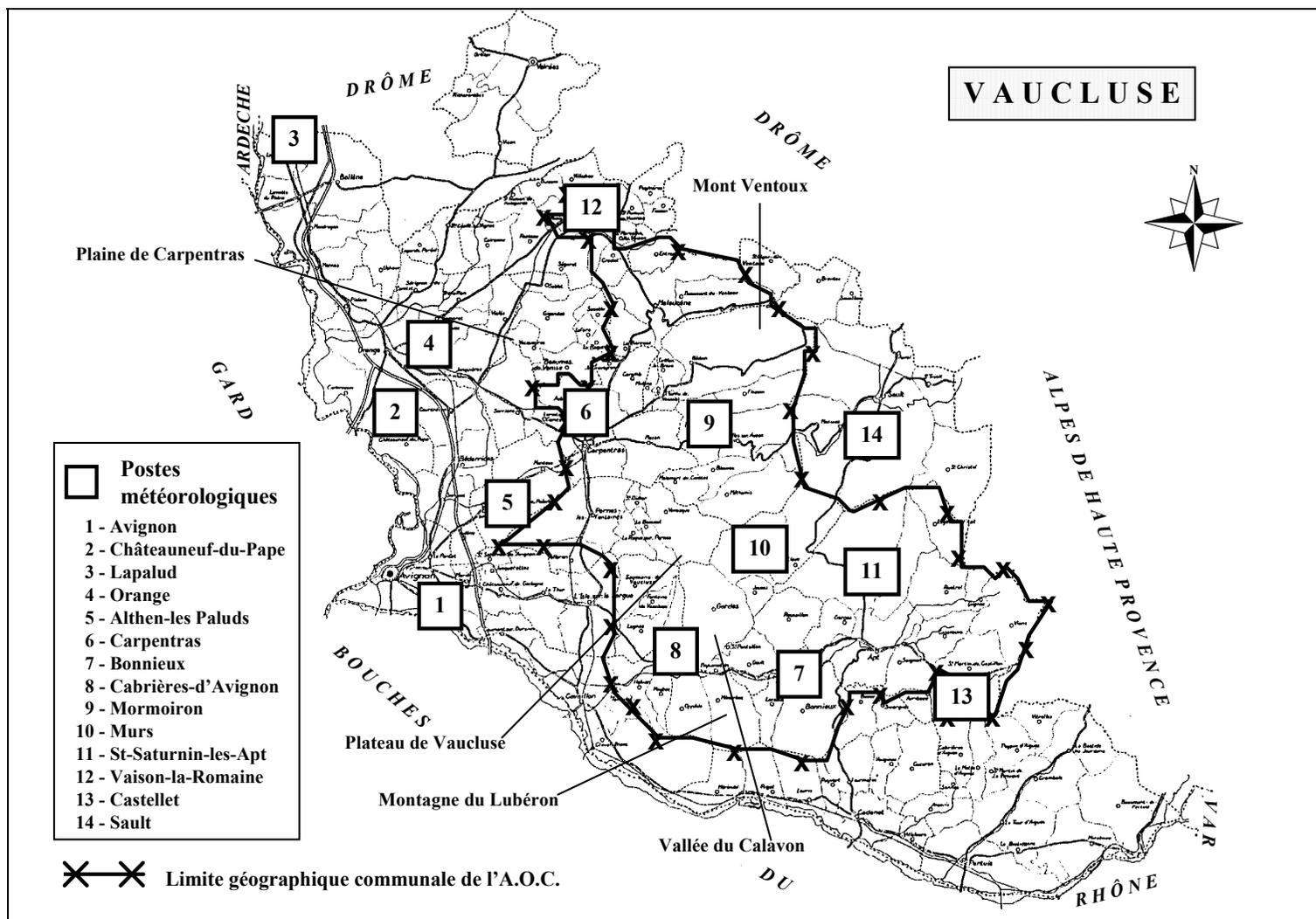


Figure 36. La limite géographique communale de l'A.O.C. Muscat du Ventoux dans le Vaucluse et localisation des postes météorologiques de l'étude.

Quelques études préliminaires ont estimé qu'au niveau de l'A.O.C. Muscat du Ventoux, le produit trouve un lien avec les conditions édaphiques et climatiques du terroir, en particulier avec le régime thermique propre au secteur du Ventoux (Arnould, 1995).

Ce chapitre présente essentiellement les résultats déjà publiés par Tonietto et Carbonneau (1998), mais intègre également un aperçu des groupes climatiques selon les indices climatiques viticoles développées dans le Chapitre I.

1.1. Objectif

L'objectif du travail a résidé dans la recherche des facteurs climatiques responsables de la typicité du raisin de table de l'A.O.C. Muscat du Ventoux, en envisageant la mise au point de critères pour définir l'aire géographique et guider la délimitation parcellaire au sein de l'A.O.C.

2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Au niveau des facteurs naturels, plusieurs études ont déjà montré que dans le climat, la température de l'air joue un rôle déterminant sur le niveau de coloration et les arômes du raisin (Winkler *et al.*, 1974 ; Buttrose *et al.*, 1971 ; Kliewer et Torres, 1972 ; Kliewer, 1977).

Un ensemble de résultats de la bibliographie sur l'effet de plusieurs variables climatiques sur la coloration et sur les arômes du raisin a été déjà présenté dans la partie "revue bibliographique" du Chapitre I. Cette analyse intègre, dans les paragraphes 2.6.1 et 2.6.2., une revue plus détaillée du rôle de la température, surtout pendant la période de maturation du raisin.

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Dispositif expérimental

Pour l'étude du mésoclimat de l'A.O.C. Muscat du Ventoux une base de données climatiques journalières du *Réseau Agroclimatique du Vaucluse* a été récupérée sur 14 postes météorologiques appartenant au CIRAME - Centre d'Information Régional Agro-Météorologique et Economique, à l'I.N.R.A. et à METEO-France.

Les postes sont placés dans le Département de Vaucluse (Figure 36). Les coordonnées géographiques et l'altitude de chaque poste météorologique est présenté sur le Tableau 18.

Tableau 18. Coordonnées géographiques des postes météorologiques utilisés pour l'étude du mésoclimat de l'A.O.C. Muscat du Ventoux.

Poste météorologique		Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
1	Avignon <i>I.N.R.A.</i>	43° 55'	04° 52'	30
2	Châteauneuf-du-Pape <i>CIRAME</i>	44° 05'	04° 49'	111
3	Lapalud <i>CIRAME</i>	44° 19'	04° 41'	46
4	Orange <i>METEO FRANCE</i>	44° 08'	04° 50'	52
5	Althen-les Paluds <i>CIRAME</i>	43° 59'	04° 57'	35
6	Carpentras <i>METEO FRANCE</i>	44° 05'	05° 03'	99
7	Bonnieux <i>CIRAME</i>	43° 52'	05° 18'	172
8	Cabrières-d'Avignon <i>CIRAME</i>	43° 54'	05° 10'	143
9	Mormoiron <i>CIRAME</i>	44° 04'	05° 13'	317
10	Murs <i>CIRAME</i>	43° 57'	05° 14'	475
11	St-Saturnin-les-Apt <i>CIRAME</i>	43° 57'	05° 22'	354
12	Vaison-la-Romaine <i>CIRAME</i>	44° 16'	05° 04'	243
13	Castellet <i>CIRAME</i>	43° 50'	05° 29'	292
14	Sault <i>CIRAME</i>	44° 04'	05° 24'	676

Les 14 postes météorologiques sont placés dans 5 différentes localisations par rapport à l'A.O.C. (Tableau 19) :

- 1) *zone de l'A.O.C.* - 5 postes météorologiques ;
- 2) *zone de transition de l'A.O.C./chaude* - 2 postes ;
- 3) *zone de transition de l'A.O.C./froide* - un poste ;
- 4) *hors zone d'A.O.C./chaude* (ce sont les zones plus basses et plus proches du Rhône) - 4 postes ; et,
- 5) *hors zone d'A.O.C./froide* - un poste.

Tableau 19. Localisation des postes météorologiques par rapport à l'A.O.C. Muscat du Ventoux et respective date moyenne de récolte.

Poste météorologique	Localisation par rapport à l'A.O.C. Muscat du Ventoux	Date moyenne de récolte sur la période 1992-95 (ΣT_{10} de 1.488 degrés-jours)
1 - Avignon	Hors zone/chaude	28.08
2 - Châteauneuf-du-Pape	Hors zone/chaude	29.08
3 - Lapalud	Hors zone/chaude	29.08
4 - Orange	Hors zone/chaude	28.08
5 - Althen-les Paluds	<i>Zone de transition/chaude</i>	04.09
6 - Carpentras	<i>Zone de transition/chaude</i>	28.08
7 - Bonnieux	Zone de l'A.O.C.	24.09
8 - Cabrières-d'Avignon	Zone de l'A.O.C.	14.09
9 - Mormoiron	Zone de l'A.O.C.	26.09
10 - Murs	Zone de l'A.O.C.	19.09
11 - St-Saturnin-les-Apt	Zone de l'A.O.C.	19.09
12 - Vaison-la-Romaine	Zone de l'A.O.C.	22.09
13 - Castellet	<i>Zone de transition/froide</i>	31.10*
14 - Sault	Hors zone/froide	Ne mûrit pas**

* ΣT_{10} de 1.471 degrés-jours au 31.10; ΣT_{10} de 1.400 degrés-jours à la date du 04.10.

** ΣT_{10} de 1.020 degrés-jours.

Cette méthodologie a été choisie pour permettre une évaluation comparative du mésoclimat entre les zones de production où le Muscat de Hambourg est par expérience reconnu typique

(zone principale de l'A.O.C.), et celles discutables où la qualité est limitée (zone de transition/chaude), celles où le Muscat n'a pas la typicité trouvée dans l'A.O.C. (hors zone de l'A.O.C./chaude), celles où les disponibilités thermiques et la maturité sont limitées (zone de transition/froide) et celles, enfin, où le raisin ne mûrit pas à cause d'un déficit thermique (hors zone de l'A.O.C./froide).

La période de 1992 à 1995 a été retenue pour l'étude. Ce choix se justifie par la disponibilité des séries complètes des données journalières pour l'ensemble des postes sur les mois d'avril à octobre. Concernant notamment les variables climatiques tels que les températures de l'air sous abri - minimales (T_n), maximales (T_x) et moyennes (T) - en °C, et la pluviométrie (P) - en mm, les séries de données étaient complètes pour l'ensemble des postes. D'autres paramètres ont également été utilisés bien qu'ils n'aient été disponibles que pour une partie seulement des postes : humidité relative de l'air sous abri - minimales (HR_n), maximales (HR_x) et moyennes de l'air (HR) - en %, rayonnement global (R_g) - en J/cm^2 , vent maximal (V_x) - en m/s et évapotranspiration potentielle par la méthode de Penman (ETP) - en mm.

L'étude comporte une analyse climatique et une analyse bioclimatique. L'analyse climatique présente l'évolution décennale et mensuelle des variables climatiques pendant la période d'avril à octobre. L'analyse bioclimatique caractérise le climat en fonction du stade phénologique de la vigne pendant la période de maturation du raisin.

3.2. Les groupes climatiques et d'autres aspects du climat dans le Vaucluse

Une première caractérisation a été faite sur les groupes climatiques dans le Vaucluse, par l'intermédiaire des indices climatiques I_H et I_F , selon la méthode présentée dans le Chapitre I. Les régions viticoles de l'ensemble de la France (Chapitre I - Figure 14) sont également intégrées dans l'analyse pour permettre une visualisation comparative par rapport à Vaucluse. Les données disponibles sur base de données du *Réseau Agroclimatique du Vaucluse* n'a pas permis d'intégrer sur notre analyse l'indice climatique viticole I_S .

Les variables étudiées au niveau de leur évolution décennale et mensuelle pendant la période d'avril à octobre correspondent à la température de l'air - maximale, minimale et moyenne, à l'amplitude thermique ou thermopériode - A (écart entre la température maximale et la température minimale de l'air), à la pluviométrie, à l'humidité relative de l'air - minimale, maximale et moyenne, au rayonnement global et à l'ETP.

3.3. Le bioclimat pendant la phéno-phase véraison-récolte

Les études au niveau bioclimatique ont concerné la période de véraison-récolte du raisin (*v-r*), phéno-phase décisive pour la biosynthèse des anthocyanes.

La date de récolte du Muscat de Hambourg a été estimée pour chaque poste météorologique du Vaucluse par la somme des températures en base 10 °C (ΣT_{10}). Le besoin thermique du Muscat de Hambourg dans le Vaucluse a été estimé par la moyenne de la ΣT_{10} calculée sur 8 postes météorologiques où on a pu avoir des informations fiables quant à la date de récolte moyenne des vignobles situés autour des postes météorologiques (Althen-les-Paluds, Bonnieux, Cabrières-d'Avignon, Carpentras, Mormoiron, Murs, St.-Saturnin-les-Apt et Vaison-la-Romaine). Ce besoin thermique, calculé à partir du 01.04 sur la moyenne interannuelle de la période 1992-1995, correspond à une ΣT_{10} de 1.488 degrés-jours. Les dates de récolte estimées sont sur le Tableau 19.

Les 30 jours précédant la date de récolte estimée ont été retenus comme étant approximativement la période véraison-récolte (*v-r*).

Sur cette période *v-r* plusieurs variables bioclimatiques ont été calculées, comme la moyenne de la température minimale, maximale et moyenne de l'air, l'amplitude thermique et l'humidité relative de l'air - minimale, maximale et moyenne. D'autres variables sont représentées par le total de la période *v-r* telles que la pluviométrie, le rayonnement global et l'ETP.

4. RESULTATSET DISCUSSION

4.1. Les groupes climatiques dans le Vaucluse

La Figure 37 présente les 5 groupes climatiques trouvés dans le Vaucluse, selon l'indice héliothermique de Huglin - *IH* et l'indice de fraîcheur des nuits - *IF*.

On observe que les groupes climatiques ont une grande variabilité concernant l'indice héliothermique. Les valeurs les plus élevées sont trouvées à Avignon et à Carpentras, situées dans la classe de climat *chaud* (IH_5). On remarque que Sault est situé en dehors de la région viticole.

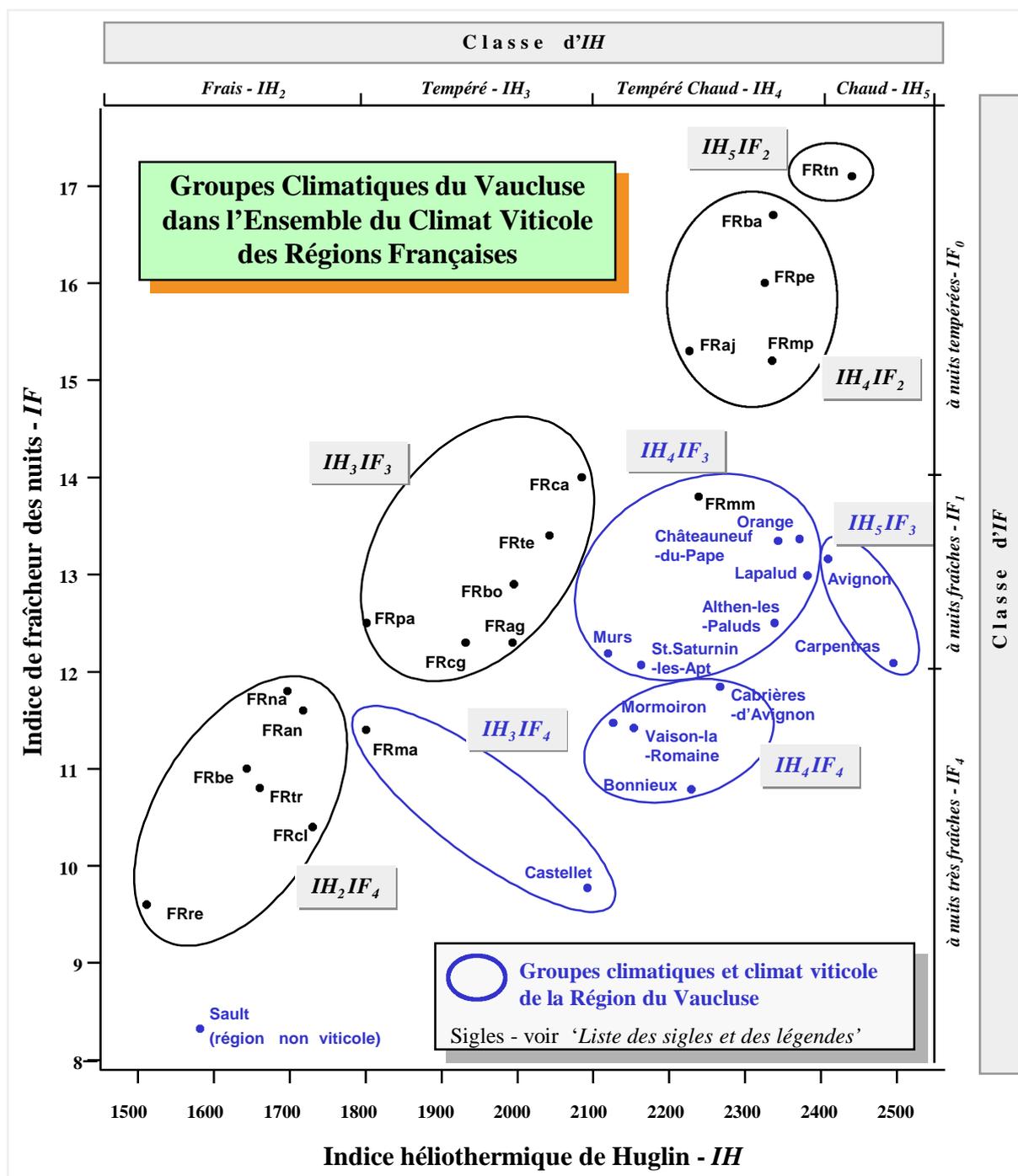


Figure 37. Les 4 groupes climatiques du Vaucluse selon les indices climatiques viticoles *IH* et *IF* (période 1992-95) placés sur l'ensemble des régions viticoles françaises.

Si on analyse l'*IF*, on observe que l'ensemble de la région du Vaucluse se caractérise plutôt par le régime nycthermique de fraîcheur des nuits. Ceci surtout perceptible si on regarde la région par rapport à l'ensemble des régions viticoles françaises. Dans le Vaucluse, même sur les régions qui présentent un climat *chaud* pour l'*IH*, on ne trouve pas la classe de climat à *nuits*

tempérées pour l'indice de fraîcheur des nuits : l'IF est toujours soit à *nuits fraîches* soit à *nuits très fraîches*.

La grande variabilité existante pour les valeurs de l'indice de fraîcheur des nuits - autour de 4 °C, peut être constatée sur les postes qui intègrent les 3 groupes situés dans la classe de climat IH_3 et IH_4 (*tempéré* et *tempéré chaud*, respectivement).

4.2. Le climat dans l'aire de l'A.O.C. Muscat de Ventoux

4.2.1. Régime thermique de la période avril-octobre

La Figure 38 montre que la température maximale de l'air d'avril à octobre est plus élevée de 0,7 °C pour la moyenne des postes situées hors de la zone de l'A.O.C./chaude (moyenne de 24,5 °C) que dans la zone même de l'A.O.C. (moyenne de 23,8 °C).

La température minimale de l'air est aussi plus élevée hors de la zone de l'A.O.C./chaude (moyenne 13,4 °C) que sur chacun des postes météorologiques situées dans l'A.O.C. (moyenne de 11,8 °C) et qu'en zone de transition/chaude ; cette différence est de 1,6 °C, et représente plus de 2 fois celle trouvée sur la température maximale de l'air.

Les raisins dans l'A.O.C. mûrissent, alors, dans des conditions thermiques plus fraîches que dans les 2 autres zones - zone de transition/chaude et zone hors A.O.C./chaude, et cela que ce soit pour les températures maximales ou minimales.

La température de l'air du poste météorologique de Carpentras présente des particularités par rapport à l'ensemble de la région. Il est situé en zone de transition/chaude. En d'autres termes cela signifie par expérience que l'on peut trouver du raisin de qualité à Carpentras - même si celui-ci est potentiellement de moindre qualité que celui trouvé dans la zone de l'A.O.C. - à condition que d'autres facteurs interviennent favorablement avec ce climat limite. Le sol et le système de conduite en font partie, par exemple. Par rapport à tous les autres postes météorologiques, Carpentras présente la température maximale de l'air la plus élevée. Celle-ci est même supérieure à celles enregistrées au niveau des postes situés hors zone/chaude et à plus basse altitude comme Orange et Avignon. Par contre, la température minimale de l'air est très proche de celle trouvée dans la zone de l'A.O.C. (Figure 38).

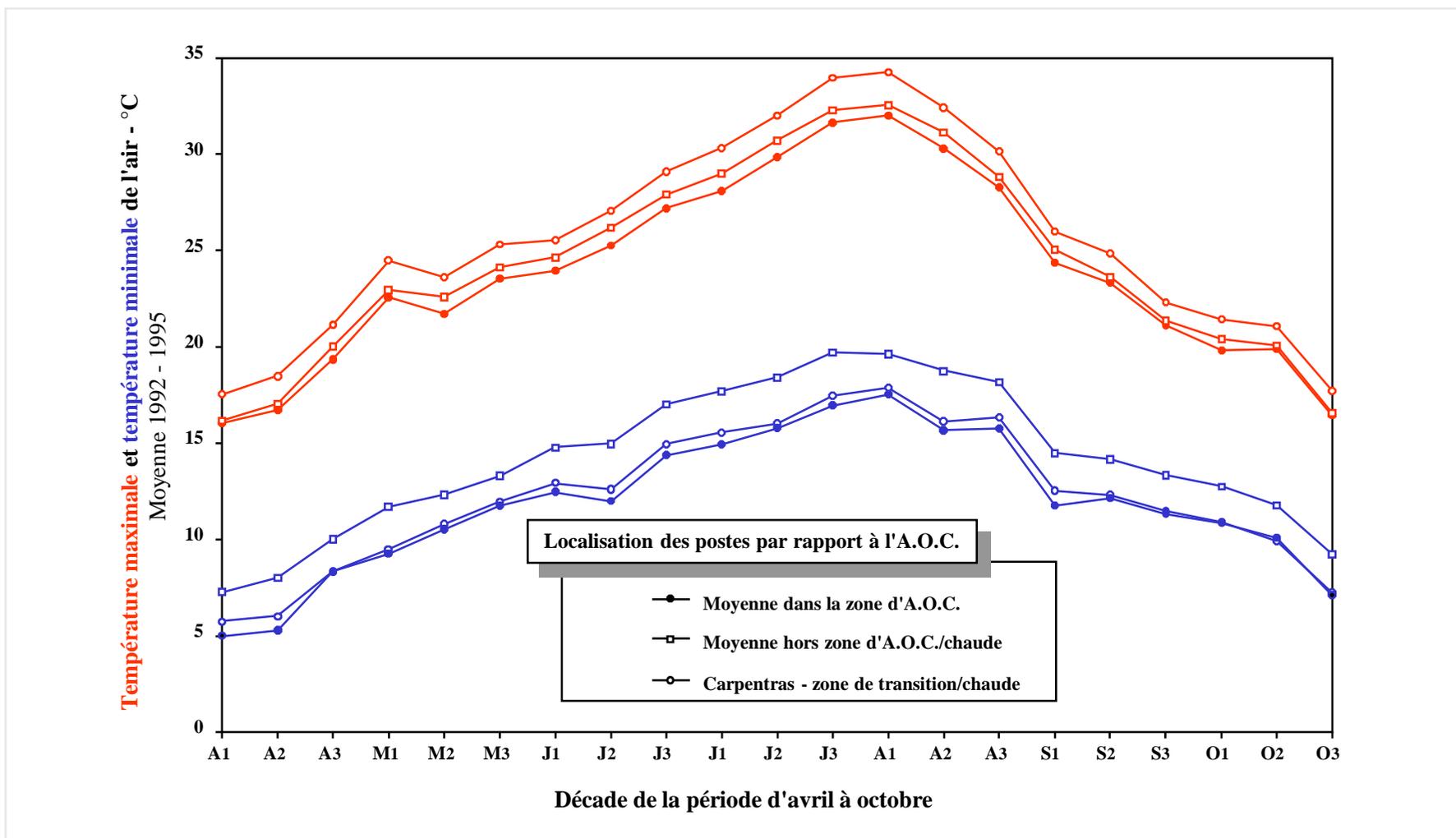


Figure 38. Évolution de la température maximale et de la température minimale de l'air, par décade, pour la période d'avril à octobre (1992-95) : moyenne des 7 postes météorologiques dans la zone d'A.O.C., moyenne des 4 postes hors zone d'A.O.C./chaude et le poste de Carpentras dans la zone de transition/chaude.

Carpentras peut-être considéré, donc, comme un exemple du besoin d'une température minimale de l'air pas trop élevée pour garantir un niveau de qualité du Muscat de Hambourg dans la région du Vaucluse.

Au regard du fait que la température maximale du mois d'août a commencé de chuter à une vitesse plus élevée que la température minimale, on vérifie que la maturité du raisin aura lieu en amplitudes thermiques moyennes (A) qui décroissent pour les raisins récoltés à partir de la troisième décennie du mois d'août. La variabilité de l'amplitude thermique pour l'ensemble des postes analysés s'explique surtout par la variabilité des températures minimales; cependant cela ne se vérifie pas pour Carpentras où l'amplitude s'explique également par le niveau de température maximale. Un des facteurs qui détermine une amplitude thermique inférieure dans la zone hors A.O.C./chaude (située dans le couloir rhodanien) par rapport à celle trouvée à Carpentras est lié aux différents régimes de convection - forcée et libre : la vitesse du vent plus élevée dans le couloir rhodanien augmente la convection forcée de l'air et réduit les écarts entre la température minimale et maximale.

Dans le Vaucluse, le Muscat de Hambourg est cultivé surtout entre 100 et 500 m d'altitude. En raison des conditions topoclimatiques de la zone, la température moyenne de l'air de la période d'avril à octobre ne présente pas toujours un gradient proportionnel à l'altitude (coefficient de corrélation $r = 0,88$ entre les données des 14 postes). Dans l'A.O.C., Murs et St.-Saturnin-les-Apt, par exemple, situés à des altitudes assez élevées sur le versant sud, au nord de la vallée du Calavon, présentent un mésoclimat particulier, où les températures sont supérieures à celles d'autres postes de moindre altitude.

À partir de la zone de transition/froide, l'insuffisance thermique commence à limiter la possibilité de maturation du Muscat de Hambourg. Dans ce cas, il devient nécessaire d'apporter une attention plus grande au système de conduite et au rendement du vignoble. A Sault par exemple, qui est située hors zone/froide, le Muscat de Hambourg ne mûrit pas (Tableau 19).

4.2.2. Considérations sur d'autres variables climatiques

Le total moyen des précipitations sur la région est à peu près le même, que ce soit dans la zone d'A.O.C., hors zone d'A.O.C./chaude ou en zone de transition/chaude, et se situe entre 568

mm et 589 mm pour la période d'avril à octobre. La distribution spatiale est également assez proche. L'humidité relative moyenne de l'air, pour les 7 postes météorologiques pour lesquels les données sont disponibles, montre que la moyenne de la période d'avril à octobre se situe entre 66% et 69%, sauf pour Sault située hors zone d'A.O.C./froide, où elle arrive à 73%.

Pour les données concernant le rayonnement global, pas plus de 3 postes météorologiques disposent de toutes les données sur la série 1992-1995. Avignon, assez éloignée de la région de l'A.O.C. Muscat du Ventoux, a un rayonnement global total de 390.449 J/cm² pour la période avril-octobre. Celui-ci est de 3% inférieur à Vaison-la-Romaine et de 5% inférieur à Cabrières-d'Avignon. Située dans le couloir rhodanien, la vitesse maximale du vent est comparativement plus forte à Orange que sur les postes météorologiques de Carpentras, Avignon et Castellet. L'ETP arrive à son maximum journalier à la troisième décennie du mois de juillet et diminue à partir de cette période.

4.3. Le bioclimat de l'A.O.C. Muscat de Ventoux

4.3.1. Régime thermique à la véraison-récolte

Dans la zone de l'A.O.C., la caractéristique thermique correspond à une température maximale de l'air comprise entre 23,3 et 27,3 °C - moyenne de la période *v-r* (17,6 à 20,7 °C pour la température moyenne de l'air). Par contre, pour les postes de la zone de transition/chaude et pour ceux hors zone d'A.O.C./chaude, la température maximale se situe entre 29,5 et 32,8 °C (23,0 à 25,0°C pour la température moyenne). En conditions contrôlées, Kliewer (1970 et 1977) montre que les températures de 20 °C sont plus efficaces vis-à-vis de la coloration du raisin que des températures de 30 °C ; des niveaux autour de 35 °C gênent fortement la coloration.

La Figure 39 présente la température minimale de l'air - moyenne à la véraison-récolte pour les différents postes. Avec cette variable il est possible d'observer une nette distinction entre les postes de l'A.O.C. et les autres. En outre, en fonction de la localisation des postes dans la région, il est possible d'arriver à un regroupement de l'A.O.C. parmi 5 différentes classes pour l'ensemble des postes météorologiques (Tableau 19). Ni la température maximale, ni la température moyenne de l'air pendant la véraison-récolte ne permettent d'arriver à faire la distinction entre la zone de transition/chaude et la zone hors A.O.C./chaude.

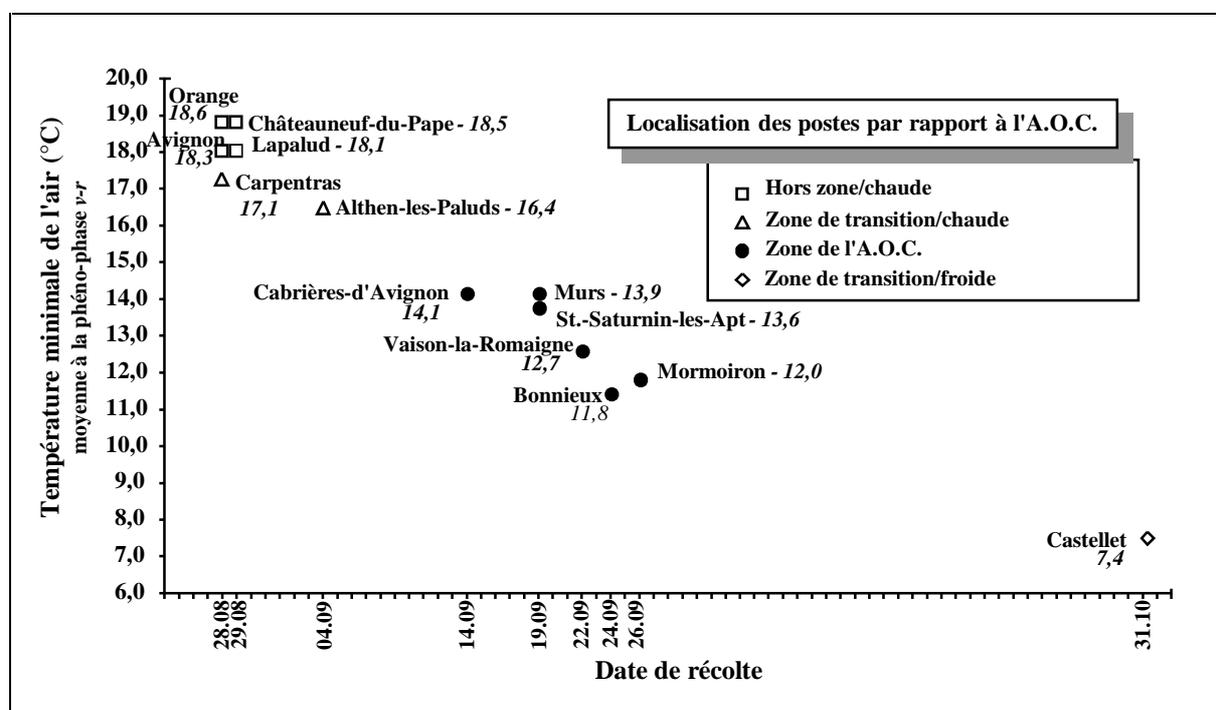


Figure 39. Température minimale de l'air - moyenne de la phéno-phase véraison-récolte selon les différents postes météorologiques et dates de récolte (1992-95).

Winkler *et al.* (1974) avaient déjà observé l'effet positif des températures fraîches sur la coloration du raisin dans la région de Lodi - en Californie. Tomana *et al.* (1979) observent l'augmentation de la teneur en anthocyanes par des températures nocturnes plus fraîches sur le cépage Kyoho. L'effet des températures minimales a été également démontré par Kliewer et Torres (1972). La coloration du raisin Tokay a été très réduite voire nulle avec des températures jour/nuit de 25°/30°C ; faible avec 25°/25°C et excellente avec 25°/15°C ou 25°/20°C. Selon Carbonneau *et al.* (1992), il apparaît que l'accumulation des anthocyanes est favorisée par un état de stress hydrique modéré, par des températures diurnes relativement élevées mais sans excès, avec probablement une interaction positive avec des températures nocturnes fraîches. Ceci semble être le cas du Muscat de Hambourg dans l'A.O.C. Même à Carpentras, sa meilleure couleur par rapport aux zones hors A.O.C./chaude est expliquée par des températures nocturnes plus fraîches, malgré un niveau plus élevé de températures maximales.

Les anthocyanes des raisins sont généralement localisées sur les 3 ou 4 couches extérieures des cellules de l'épiderme (Singleton et Esau, 1969). Les températures fraîches peuvent augmenter

le niveau des sucres sur ces tissus par voie d'une perte respiratoire moins importante, en ayant comme résultat une augmentation de la synthèse d'anthocyanes (Kliewer et Torres, 1972). Tomana *et al.* (1979) ont trouvé que les teneurs des pellicules en acide abscissique et en anthocyanes étaient plus élevées lorsque les températures nocturnes étaient plus fraîches que lorsque celles-ci étaient plus chaudes. Ils ont suggéré que la teneur en acide abscissique puisse jouer un rôle sur la synthèse des anthocyanes.

On remarque un coefficient de corrélation très élevé entre l'indice de fraîcheur des nuits - *IF* (Figure 37) et la température minimale de l'air pendant la période de véraison-récolte ($r = 0,96$). Ce résultat montre que l'*IF* est un bon indicateur des conditions nycthermiques de la période véraison-récolte dans la région de Vaucluse.

Si on analyse maintenant l'amplitude thermique dans la région de l'A.O.C. Muscat du Ventoux, on observe qu'il est possible de produire du Muscat de Hambourg de qualité à différentes amplitudes thermiques pendant la période véraison-récolte, variable de 10,8 à 13,4 °C. Dans cette gamme de valeurs d'amplitude se trouvent aussi les postes hors zone de l'A.O.C./chaude (Figure 40). Dans la vallée du Calavon, Murs et St.-Saturnin-les-Apt présentent une amplitude thermique moins élevée que Bonnieux et Cabrières-d'Avignon, surtout à cause du topoclimat local sur le versant sud, au nord de la vallée. Il est possible de conclure que l'amplitude thermique n'est pas une variable climatique qui discrimine la qualité du Muscat de Hambourg de l'A.O.C.

4.3.2. D'autres caractéristiques bioclimatiques de la période véraison-récolte

Les récoltes plus tardives sont accompagnées d'une augmentation de la pluviométrie, typique du climat de cette région méditerranéenne à cette époque. L'humidité relative de l'air - minimale, maximale et moyenne, augmente au fur et à mesure que la récolte est tardive.

En raison de la diminution du rayonnement global, qui commence dès la première décade du mois d'août, le Muscat récolté plus tardivement bénéficiera d'un rayonnement global total inférieur pendant la période véraison-récolte, comme cela apparaît entre Avignon - 62.781 J/cm², Cabrières-d'Avignon - 57.528 J/cm² et Vaison-la-Romaine - 49.029 J/cm².

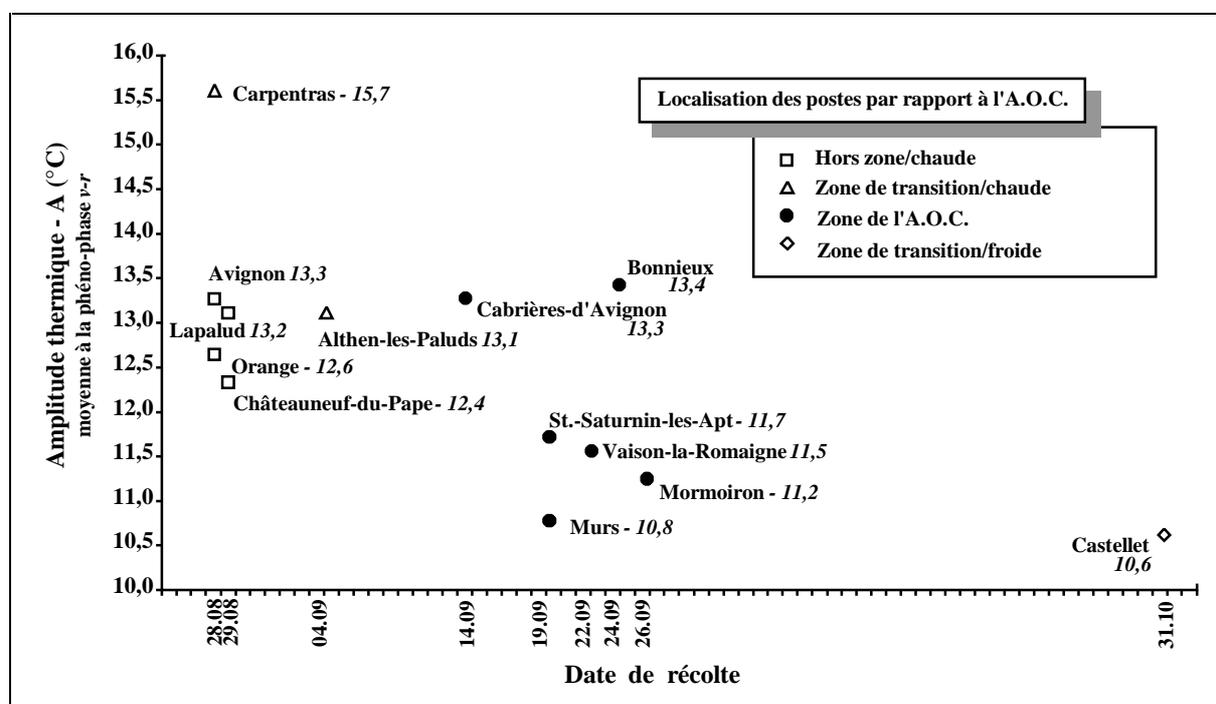


Figure 40. Amplitude thermique de la phéno-phase véraison-récolte et date de récolte du Muscat de Hambourg pour les 14 postes météorologiques (1992-95).

L'ETP - totale de la période véraison-récolte, est moins importante dans la zone de l'A.O.C. que dans la zone de transition/chaude et hors zone d'A.O.C./chaude.

Mais pour ces variables bioclimatiques il est difficile de trouver une explication physiologique à la meilleure coloration constatée dans la zone de l'A.O.C. Muscat du Ventoux.

4.4. Classement et potentiel climatique viticole de la région du Vaucluse

Sur le plan du régime thermique, la température minimale de l'air pendant la phéno-phase véraison-récolte (*v-r*) est donc la seule variable qui soit en bonne cohérence à la fois avec l'aire géographique de l'A.O.C., avec les zones de transition/chaude et froide et avec les zones hors A.O.C./chaude ou froide. Un classement climatique de l'ensemble de la région en 5 zones, sur la base de la température minimale est, donc, cohérent avec la typicité du Muscat de Hambourg au niveau de la coloration et de l'arôme trouvé dans le secteur du Ventoux et de ces alentours (Tableau 20).

Tableau 20. Classement et potentiel climatique viticole de l'A.O.C. Muscat du Ventoux et de l'ensemble de la région de production du Muscat de Hambourg dans le Vaucluse, exprimé par la température minimale de l'air et par l'indice héliothermique de Huglin sur les données de 14 postes météorologiques (1992-95).

Classement de la Zone	Température minimale de l'air (moyenne de la période v-r) (°C)	Indice héliothermique - IH						
		Frais		Tempéré		Tempéré chaud		Chaud
		> 1500 ≤ 1800	> 1800 ≤ 2100	> 2100 ≤ 2200	> 2200 ≤ 2300	> 2300 ≤ 2400	> 2400 ≤ 3000	
Poste météorologique								
1 Hors zone/chaude	18,1 - 18,6						- Orange - Lapalud - Châteauneuf-du Pape - Avignon	
2 Transition/chaude	16,4 - 17,1						- Althen-les-Paluds - Carpentras	
3 Zone de l'A.O.C. Muscat du Ventoux	11,8 - 14,1			- Murs - Vaison-la-Romaine - St-Saturnin-les-Apt - Mormoiron		- Bonnieux - Cabrières-d'Avignon		
4 Transition/froide	7,4			- Castellet				
5 Hors zone/froide	5,4*			Sault*				

* Sault - dans cette zone froide le Muscat ne mûrit pas; la température minimale est la moyenne du mois d'octobre.

Il est possible alors de formuler l'hypothèse du besoin d'un seuil de température nocturne (assez fraîche), pour avoir une coloration satisfaisante du Muscat de Hambourg dans le Vaucluse. Le seuil observé sur les postes de l'A.O.C. a été inférieur à **14,2 °C** pour la moyenne de la température minimale de l'air pendant la période de véraison-récolte, et inférieur à 17,2 °C dans la zone de transition/chaude. Les postes hors zone d'A.O.C./chaude ont présenté des températures minimales à la *v-r* supérieures à 18,0 °C (Tableau 20).

Cependant il ne faut pas oublier que le régime thermique n'est pas le seul facteur de la qualité du raisin. D'autres facteurs interviennent, comme le sol, son état hydrique, le système de conduite et le rendement et qui sont aussi à considérer dans les critères de délimitation de l'aire de production de l'A.O.C.

Le positionnement du climat viticole des postes météorologiques selon les indices climatiques viticoles *IH* et *IF* et les 4 groupes climatiques qu'ils forment (Figure 37), offrent une aperçu de l'ensemble de la région très utile pour la compréhension des 5 zones de la région de Vaucluse.

Le **potentiel** et la **diversité climatique** de la région viticole du Vaucluse sont bien représentés par la température minimale de l'air et l'indice héliothermique de Huglin, même si ce dernier n'est pas un critère discriminant dans le choix des aires de production de l'A.O.C. Muscat du Ventoux. D'un côté, la température minimale de l'air rend compte de la fraîcheur nocturne et, de l'autre l'indice héliothermique de Huglin, qui valorise les conditions thermiques régnant durant la période journalière, montrent la diversité des conditions thermiques rencontrées dans la région du Vaucluse tout en aboutissant à une définition logique de l'ensemble de l'aire géographique (Tableau 20).

5. CONCLUSIONS

L'étude réalisée dans le Vaucluse permet de tirer les conclusions suivantes :

- a) Les indices climatiques viticoles *IH* et *IF* des postes météorologiques et les 4 groupes climatiques qu'ils forment offrent une aperçu de l'ensemble de la région qui est très utile pour la compréhension des 5 zones de la région de Vaucluse.

- b) La température minimale de l'air pendant la période *véraison-récolte* est un facteur climatique discriminant de l'aire de l'A.O.C. Muscat du Ventoux par rapport aux autres critères et aux autres zones viticoles de la région du Vaucluse ; elle permet de regrouper les zones sur 5 différentes classes climatiques et peut être utilisée comme critère climatique pour la délimitation de l'A.O.C.

- c) L'amplitude thermique, la température moyenne et la température maximale de l'air pendant la période de *véraison-récolte* n'ont pas été des variables climatiques discriminantes.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

1. CONCLUSION GENERALE

En considérant que les conclusions concernant chacune des 3 études réalisées ont été déjà exposées, le but est ici de présenter les conclusions générales en analysant l'ensemble de la recherche aux 3 niveaux d'échelle développées.

Le classement et le regroupement climatique des régions viticoles à différents niveaux d'échelle

La méthode de classement du climat viticole des régions créé pour la caractérisation du macroclimat dans le vignoble mondial, où 38 groupes climatiques ont été retrouvés, s'est montrée également valable aux différents niveaux d'échelle testés : 1) au niveau d'un pays - la France ; 2) au niveau d'une grande région viticole - le Réseau Syrah dans le sud de la France ; et, 3) au niveau d'une petite région viticole - le département de Vaucluse.

Les regroupements climatiques trouvés à chaque niveau d'échelle fournissent des informations importantes pour la compréhension du climat viticole de ces régions.

On peut dire que la classification climatique proposée présente une universalité et peut être utilisée pour la caractérisation du climat viticole dans n'importe quel pays ou région viticole du globe.

Les améliorations introduites par le classement climatique multicritères des régions viticoles

L'amélioration introduite par le classement et par le regroupement climatique multicritères des régions viticoles, par rapport aux regroupements monocritère, est due à l'importance universelle des variables climatiques utilisées. Celles-ci intègrent les indices climatiques

viticoles à caractère synthétique qui augmentent la fourchette d'évaluation climatique sur les plans nycthermique et hydrique ; ceci par rapport aux indices utilisés, qui étaient surtout thermiques ou héliothermiques. Les nouvelles informations obtenues permettent de détecter d'autres différences climatiques discriminantes entre les climats viticoles des régions.

Ainsi, les groupes climatiques multicritères trouvés, que ce soit sur les analyses à l'échelle macroclimatique ou à celle mésoclimatique, ont montré des groupes beaucoup plus homogènes et avec plus de cohérence climatique.

Le classement climatique pour les climats à plus d'une récolte par année

La méthode élaborée pour évaluer le climat viticole trouvé dans des régions de climat du type tropical, avec la potentialité d'avoir plus d'une récolte par année, constitue une avancée. Elle permet en effet d'évaluer la variabilité climatique intra-annuelle et donc, de caractériser un climat viticole très différent de celui trouvé dans les régions de viticulture classique, à une récolte par année.

Les groupes climatiques et la typicité des produits

L'analyse réalisée a montré qu'il existe une liaison entre les groupes climatiques existants au plan mondial et la typicité des vins provenant des régions qui intègrent ces groupes.

Sur le Réseau Syrah, nous avons démontré que les groupes climatiques sont déterminants pour la typicité des vins produits. Sur chaque millésime les vins ont gardé une typicité déterminée par rapport au regroupement climatique des parcelles correspondantes. On peut penser que les différences de typicité des vins de Syrah serait encore plus grande si on avait pris en compte d'autres régions appartenant à des groupes climatiques très différents.

Ces résultats montrent que, entre terroirs de régions de climat viticole très contrasté, c'est l'effet du **climat viticole** (partie intégrante du terroir) y compris l'effet millésime, qui est à la base de la typicité des vins. Cependant, la prise en compte du bilan hydrique réel du sol (MS notamment) et des effets des techniques culturales (SFEp, Prec,...) est indispensable pour expliquer les principaux éléments de la typicité.

Les études réalisées ont montré l'importance d'approfondir l'analyse du climat viticole, au niveau des phéno-phases de la vigne. Cette étape permet de mieux expliquer les caractéristiques qualitatives du raisin destiné à la vinification. Les variables proposées, comme l'indice de précocité mesuré par la date de débourrement de Pouget, la température minimale de l'air en période de maturation et l'indice du bilan hydrique théorique à la date de récolte permettent d'expliquer le niveau de sucre et de la composition phénolique de la récolte. C'est le cas également des températures nocturnes pendant la période de maturation du raisin qui conditionnent la couleur et l'arôme, éléments de la typicité du Muscat du Ventoux dans le Vaucluse.

Au niveau du Réseau Syrah, l'analyse du déterminisme climatique et agronomique de la typicité des vins a permis d'obtenir des résultats intéressants, notamment vis à vis de la concentration, de l'astringence, des arômes floraux et fruités, des arômes balsamiques et empyreumatiques et, également des notes végétales. Ceci fournit des éléments importants pour la gestion de la viticulture au niveau de l'UTB et de l'UTV.

2. PERSPECTIVES

Les méthodes développées et les résultats obtenus dans cette étude ouvrent de nouvelles perspectives sur le plan de la connaissance du climat et de son influence sur la qualité du raisin et la typicité des produits, mais également sur celui du développement de la recherche viticole. Quelques perspectives sont répertoriées par la suite.

Perspectives sur le plan des nouvelles connaissances

On souligne les connaissances qui pourront être acquises au niveau du climat viticole à l'échelle géoviticole. Les méthodes proposées permettent d'analyser et de replacer l'information climatique viticole au niveau d'une région, d'un pays et au niveau mondial.

Tous les pays viticoles, voire toutes les régions viticoles, disposent d'une méthode capable d'améliorer la connaissance de leurs climats viticoles et de leur variabilité interannuelle. Elle permettra également d'analyser le positionnement relatif de chaque région par rapport aux groupes climatiques de la viticulture mondiale.

Un autre aspect concerne la possibilité d'améliorer l'analyse de l'évolution du climat viticole, à différents niveaux d'échelle, en fonction du changement climatique.

L'approche constitue un complément à la caractérisation du climat viticole des millésimes qui, quant à eux, doivent rajouter des informations climatiques complémentaires aux indices climatiques *IS*, *IH* et *IF*.

Perspectives sur le plan des nouvelles recherches viticoles

Un ensemble de recherches pourra bénéficier de la caractérisation du climat viticole et des groupes climatiques. Ainsi, par exemple :

- On pourrait améliorer la méthodologie des essais destinés à l'évaluation de l'effet du climat viticole sur la typicité des vins à tous les niveaux d'échelle, jusqu'à l'échelle mondiale. À l'exemple du Réseau Syrah, on pourrait sélectionner différentes régions viticoles appartenant aux groupes climatiques représentant l'ensemble de la variabilité climatique au niveau mondial pour conduire un essai plus large du type du Réseau Syrah (qui était placé sur différents groupes climatiques, mais seulement dans le climat du type méditerranéen et de transition). Cela permettrait de connaître l'effet du climat sur la typicité des vins de Syrah à l'échelle mondiale, par exemple.
- La méthode de caractérisation du climat viticole, dont l'universalité a été démontrée, permettrait de comparer sur un plan très large le climat des différentes régions, ou des différents millésimes indépendamment de la région. Ainsi, on pourrait analyser la typicité des produits en fonction du climat viticole correspondant déterminé.
- On pourrait approfondir l'étude sur la variabilité du climat viticole dans les différents types de climats mondiaux.

- Un autre axe de recherche intéressant serait l'étude de la variabilité interannuelle du climat viticole d'une ou de plusieurs régions dans un même type de climat, ou dans différents types de climats. L'étude du niveau de stabilité des groupes climatiques en fonction du type de climat est également envisageable.

Les éléments de l'essai d'explication de certains éléments de la typicité de la Syrah, permettent d'avoir des indications utiles surtout pour orienter l'expérimentation viticole et la recherche physiologique vers une meilleure compréhension du déterminisme climatique et agronomique des éléments de la typicité des vins.

Dans la mesure où les résultats obtenus permettent une meilleure caractérisation du climat viticole, ils apporteront une contribution aux recherches au niveau du terroir viticole. Le climat viticole est apparu être le facteur de base du terroir. Cependant, on sait que l'effet terroir sur la typicité des vins est également liée à d'autres facteurs, comme les éléments du sol par exemple (ici seul une estimation de son bilan hydrique a été réalisée). On remarquera également que d'autres facteurs au niveau du microclimat de la vigne ou au niveau des technologies viticoles ou oenologiques sont déterminants pour la typicité des produits.

Ceci débouche sur un approfondissement du déterminisme de la typicité des produits.

D'autres indices climatiques et d'autres méthodes pourraient permettre d'aller plus loin dans l'évaluation a priori des potentialités des régions non viticoles, comme moyens importants d'évaluation des facteurs naturels en vue de la connaissance et du développement de la viticulture mondiale.

Si notre étude a permis d'évoluer dans la connaissance du climat et de ses effets sur la qualité du raisin et la typicité des produits, on peut conclure qu'il reste encore beaucoup à faire pour que la recherche arrive à une meilleure compréhension de son rôle complexe et de ses effets sur la vigne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMERINE, M.A., WINKLER, A.J. 1944. Composition and quality of musts and wines of Californiagrapes. *Hilgardia*, v.15, 493-673.
- ANEY, W. W. 1974. Oregon climates exhibiting adaptation potential for vinifera. *Amer.J. Enol. Vitic.*, v.25, n.4, 212-218.
- ARNOULD, I. 1995. *Accession en AOC du Muscat du Ventoux* : caractérisation de la typicité et du terroir en vue de la définition des conditions de production. Institut National Agronomique de Paris-Grignon. 69p. (Mémoire de DAA).
- ASSELIN, C., PAGES, J., MORLAT, R. 1992. Typologie sensorielle du Cabernet Franc et influence du terroir : utilisation de méthodes statistiques multidimensionnelles *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v.26, n.3, 129-154.
- ASSOCIATION CLIMATOLOGIQUE DE L'HÉRAULT. CENTRE AGROMÉTÉO DEPARTEMENTAL. 1997. *Recueil départemental du milieu naturel : pour une meilleure valorisation des terroirs viticoles de l'Hérault*. Montpellier. 106p. (Réalisé à partir des Zonages de Potentialités Viticoles mis en oeuvre sous les IXème et Xème contrats de Plans Etat-Région).
- ASSOCIATION CLIMATOLOGIQUE DE L'HÉRAULT. 1979. *Contribution à l'étude de la pluviométrie du Département de l'Hérault : approche macroclimatique en liaison avec le cycle végétatif de la vigne*. Service d'Utilité Agricole de Développement/Chambre d'Agriculture de l'Hérault. 56p.
- ASTRUC, H., HERITIER, J., JACQUINET, J.-C. 1980 *Zonage des potentialités agricoles d'un département : méthode appliquée à la viticulture*. Aude/ Chambre d'Agriculture de l'Aude. 56p. (Service d'Utilité Agricole du Développement).
- BAGGIOLINI, M. 1952. Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Rev. Romande Agric. Vitic. Arb.*, 1, 144-150 et 8, 4-6.
- BAILLOD, M., BAGGIOLINI, M. 1993. Les stades repères de la vigne. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hort*, 28, 7-9.
- BARBEAU, G., ASSELIN, C., MORLAT, R. 1998a. Estimation du potentiel viticole des terroirs en Val de Loire selon un indice de précocité du cycle de la vigne. *Bulletin de l'O.I.V.*, n.805-806, p.247-262.
- BARBEAU, G., MORLAT, R., ASSELIN, C., JACQUET, A., PINARD, C. 1998b. Comportement du cépage Cabernet Franc dans différents terroirs du Val de Loire : incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale (exemple de 1988). *J. Int. Sci. Vigne. Vin*, v.32, n.2, 69-81.
- BECKER, H. 1988. Mapping of soils and climate in the Rheingau. In : INTERNATIONAL COOL CLIMATE VITICULTURE AND OENOLOGY, 2, Auckland, 1988. Proceedings. Auckland, New Zealand for Viticulture and Oenology, 1988. p.21-22.

- BECKER, N. 1988. Site climate effects on development, fruit maturation and harvest quality. In : International Cool Climate Viticulture And Oenology Symposium, 2, 1988. *Proceedings*. Auckland, New Zealand for Viticulture and Oenology, 1988. p.13-16.
- BECKER, N.J. 1977. Influence des facteurs géographiques et topographiques sur la qualité de la vendange. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA QUALITÉ DE LA VENDANGE , Le Cap, 14-21 Fév., 1977, Actes... Stellenbosch, Oenological Viticultural Research Institute. p.169-180.
- BENTRYN, G. 1988. World climate patterns and viticulture. In : INTERNATIONAL COOL CLIMATE VITICULTURE AND OENOLOGY, 2, Auckland, 1988. *Proceedings*. Auckland, New Zealand for Viticulture and Oenology. p.9-11.
- BIDAN, P. 1977. Points de vue d'un oenologue vis-à-vis de la qualité du raisin en vue de l'amélioration des vins de haute qualité dans les vignobles septentrionaux. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA QUALITÉ DE LA VENDANGE , Le Cap, 14-21 Fév., 1977, Actes... Stellenbosch, Oenological Viticultural Research Institute. p.381-392.
- BOISSENOT, E. 1998. Incidences du climat, des sols et du comportement de la vigne sur les caractères analytiques et organoleptiques des vins rouges du Haut-Médoc : relations avec la maturation des raisins. *Bulletin de l'O.I.V.*, n.805-806, p.328-329.
- BONNARDOT, V. 1996. *Le climat et la vigne en Bourgogne orientale*. Dijon, Thèse Doctorat 'Géographie'. Université de Bourgogne. 238p.
- BONNARDOT, V. 1998. Étude préliminaire des brises de mer pendant la période de maturation dans la région viticole du Cap en Afrique du Sud. 8p. (A paraître dans le Vol. 11 de la Revue de l'Association Internationale de Climatologie).
- BOUBALS, D. 1989. La viticulture en climats chauds. *Progr. Agric. Vitic.*, v.106, n.13-14, 313-326.
- BOUBALS, D., CHAMPAGNOL, F. 1982. Le poids du climat sur la culture de la vigne en France. *Vignes & Vins*, 5-12. (Numero spécial - Agrometeorologie et Vigne).
- BOURKE, P.M.A. 1968. Introduction : les buts de l'agrométéorologie. In : *Agroclimatological Methods*, *Proceedings*, Reading, UNESCO, 1968. p.16-21.
- BRANAS, J. 1974. *Viticulture*. Montpellier, Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 990p.
- BRANAS, J., BERNON, G., LEVADOUX, L. 1946. *Éléments de viticulture générale*. Montpellier, École Nationale d'Agriculture de Montpellier. 400p.
- BRAVDO, B.-A., HEPNER, Y. 1987. Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. *Acta Horticulturae*, n.206, 49-67. (Symposium on Grapevine Canopy and Vigor Management).

- BUREAU, S., RAZUNGLES, A., BAUMES, R., BAYONOVE, C. 1996. Influence de l'ensoleillement sur la composante aromatique des baies de raisin. Angers, URVV-Angers/ISVV-Montpellier. In : Colloque International "Les Terroirs Viticoles - Concept, Produit, Valorisation". p. 292-297.
- BUTTROSE, M.S., HALE, C.R., KLIEWER, W.M. 1971. Effect of temperature on the composition of 'Cabernet Sauvignon' berries. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 22, 71-75.
- CALLEJA, M. 1995. *La part de l'homme et du climat dans l'évolution du rendement des productions agricoles*. Montpellier, Université Paul Valéry - Montpellier III. (Tome 1 : Texte - 218p. ; Tome 2 : Illustrations - 196p.).
- CALO, A. 1972. Influenza di alcune condizioni ambientali sull'epoca di fioritura nella Vitis vinifera L. *Riv. Vitic. Enol.*, v.25, n.4, 149-161.
- CALÒ, A., COSTACURTA, A., TOMASI, D., BECKER, N., BOURQUIN, H.D., VILLIERS, F.S. de, GARCIA DE LUJAN, A., HUGLIN, P., JAQUINET, L., LE MAITRE, C. 1992. La teneur en sucre du raisin : le déterminisme climatique. *Riv. Vitic. Enol.*, n.3, 3-29.
- CARBONNEAU, A. 1980. *Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne : essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité*. Thèse Doctorat 'Oenologie-Ampélogie'. Université de Bordeaux II. 240p.
- CARBONNEAU, A. 1984. Place du microclimat de la partie aérienne parmi les facteurs déterminant les productions viticoles. *Bulletin de l'O.I.V.*, 473-477.
- CARBONNEAU, A. 1987. Stress modérés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la vigne. In : III^{ème} Symp. Int. Physiologie Vigne. Bordeaux. 24-27 juin 1986. O.I.V. Ed. Paris, Section IV. 376-385.
- CARBONNEAU, A. 1990. Influence de la conduite du vignoble sur la qualité des vins. *C. R. Acad. Agric.*, v.76, n.1, p.13-21.
- CARBONNEAU, A. 1992. La teneur en sucres du raisin. *Progr. Agric. Vitic.*, v.109, n.22, 9.495-500. (Spécial Sitevinitech).
- CARBONNEAU, A. 1994a. Le zonage des potentialités viticoles à l'échelle de l'Union Européenne. *Progr. Agric. Vitic.*, v.111, n.22, p.505-514. (Spécial Sitevinitech).
- CARBONNEAU, A. 1994b. La géométrie du vignoble et ses tendances : réflexion préliminaire sur la viticulture atlantique. In : CONGRESO INTERNACIONAL DE LA VITIVINICULTURA ATLANTICA, 1, 1994. Libro de Ponencias. Pontevedra, Xunta de Galicia. p.95 (Tomo I).

- CARBONNEAU, A. 1995b. La surface foliaire exposée potentielle : guide pour sa mesure. *Progr. Agric. Vitic.*, v.112, n.9, 204-212.
- CARBONNEAU, A. 1996a. Interactions *terroir x vigne* : facteurs de maîtrise du micro-environnement et de la physiologie de la plante en rapport avec le niveau de maturité et les éléments de typicité. In : Colloque International "Les terroirs viticoles". Angers, URVV-Angers/ISVV-Montpellier. p.147-153.
- CARBONNEAU, A. 1996b. Le système de conduite : un enjeu majeur pour la viticulture. C.R. GESCO, 9, annexe, p.19-23.
- CARBONNEAU, A. 1998a. *Irrigation, vignoble et produits de la vigne*. In : Traité d'irrigation, Chapitre IV - Aspects qualitatifs. Paris, Lavoisier. P.257-276.
- CARBONNEAU, A. 1998b. Récolte et qualité du raisin : conditions de production d'une vendange de qualité. In : Oenologie : fondements scientifiques et technologiques. Paris, Lavoisier. p.649-668. (Coordonnateur Claude Flanzzy).
- CARBONNEAU, A. 1999. Adaptation des cépages internationaux - Chardonnay, Merlot, Cabernet-Sauvignon, Syrah : aspects écophysologiques. Paris, G.E. "Terroir Viticole" - O.I.V., mars.
- CARBONNEAU, A., RIOU, C. 1991. Zonage viticole : méthodes climatiques. Comm. 6^{ème} session G.E. "Physiologie de la Vigne", O.I.V.
- CARBONNEAU, A., RIOU, C., GUYON, D., RIOM, J., SCHNEIDER, C. 1992. *Agrométéorologie de la vigne en France*. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes. 169p.
- CARBONNEAU, A., TONIETTO, J. 1998. La géoviticulture - De la géographie viticole aux évolutions climatiques et technologiques à l'échelle mondiale. *Revue des Oenologues et des Techniques Vitivinicoles et Oenologiques*, n.87, 16-18.
- CELLIER, P., LANGELLIER, F., BRUN, O., PERSONNIC, P., PANIGAI, L. 1996. Terroir et variabilité microclimatique: pour une approche à l'échelle de la parcelle. In : Colloque International *Les Terroirs Viticoles*. Angers, URVV-Angers/ISVV- Montpellier. p.118-121.
- CERVEAU, A. 1991. Méthode de zonage des potentialités viticoles. *Progr. Agric. Vitic.*, v.108, n.15-16, 337-338.
- CHAMPAGNOL, F. 1984. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Montpellier. 351p.
- CHAMPAGNOL, F. 1997. Caractéristiques édaphiques et potentialités qualitatives des terroirs du vignoble languedocien. *Progr. Agric. Vitic.*, v.114, n.7, 157-166.
- CHUDYK, R.V., CROWTHER, R.F., BRADT, O.A. 1979. Use of meteorological data to estimate field sugar levels in Concord grapes. *Amer. J. Enol. Vitic.*, v.30, n.3, 253-255.

- CLARKE, O. 1995. *Atlas Hachette des vins du monde*. Italie, Hachette. 320p. (Adaptation de Robert Tinlot. Traduction de Catherine Delaruelle).
- CLINET, S. 1991. Méthode d'évaluation des potentialités thermiques d'une parcelle en vue du choix rationnel de l'encépagement : application à quatre sites du Gard. *Progr. Agric. Vitic.*, v.108, n.15-16, 339-345.
- CONSTANTINESCU, G. 1967. Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d'une région et du choix des cépages. *Bulletin de l'O.I.V.*, 441, 1179-1205.
- COOMBE, B.G. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae*, Davis, n.206, 23-35. (Symposium on Grapevine Canopy and Vigor Management - 1986).
- DAGET, P. 1977. Le bioclimat méditerranéen : analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Vegetatio*, v.34, n.2, 87-103.
- DAGET, P. 1975. Délimitation de la région méditerranéenne selon les régimes des précipitations. Ext. : Recherches écologiques relatives au développement des zones arides (déserts méditerranéens) à précipitation hivernales, Symposium Israel-France, 11-14 Mars 1974. Bet Dagan, Israel : 3-13.
- DAVIS, R., CHILTON, R., OTTENBREIT, L., SCHEELER, M., VIELVOYE, J., WILLIAMS, R., WITTNEBEN, U. 1984. *Atlas of suitable grape growing locations in the Okanagan and Similkameen Valleys of British Columbia*. Kelowna, Association of British Columbia Grape Growers. 141p.
- DE ALBUQUERQUE, R.M. 1992. Réponses des cépages de *Vitis vinifera* L. aux variations de l'environnement : effets de la contrainte hydrique sur la photosynthèse, la photorespiration et la teneur en acide abscissique des feuilles. Thèse "Oenologie-Ampélogie", Université de Bordeaux. 213p.
- DE LUCCA, R. 1995. Aportes y reflexiones para la zonificación vitícola de América del Sur. In : CONGRESO MUNDIAL DE LA VINA Y EL VINO, 21, 1995, Punta del Este. *Anales*. Punta del Este, O.I.V. p.213-240. (Viticultura, 1).
- DÉPARTEMENT HÉRAULT. 1994. *Annales climatologiques départementales*. Montpellier, Météo-France/Association Climatologique de l'Hérault. 76p.
- DÉPARTEMENT HÉRAULT. 1995. *Annales climatologiques départementales*. Montpellier, Météo-France/Association Climatologique de l'Hérault. 87p.
- DÉPARTEMENT HÉRAULT. 1996. *Annales climatologiques départementales*. Montpellier, Météo-France/Association Climatologique de l'Hérault. 85p.
- DUE, G., MORRIS, M., PATTISON, S., COOMBE, B.G. 1993. Modelling grapevine phenology against weather : considerations based on a large data set. *Agric. Forest Meteorol.*, 65, 91-106.
- DUMAS, V. ; LEBON, E. ; MORLAT, R. 1997. Différenciations mésoclimatiques au sein du vignoble alsacien. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v.31, n.1, 1-9.

- DUMAS, V.; LEBON, E.; MORLAT, R. 1996. Différenciation mésoclimatique des terroirs alsaciens et relation avec les paramètres du milieu naturel. In : Colloque International *Les Terroirs Viticoles*. Angers, URVV-Angers/ISVV- Montpellier. p.135-143.
- DUTRUC-ROSSET, G. 1998. Situation et statistiques du secteur vitivinicole mondial en 1996. *Bulletin de l'O.I.V.*, n.803-804, p.99-175.
- EMBERGER, L. 1959. Sur la notion de climat de transition, en particulier dans le domaine du climat méditerranéen. Ext. : *Bull. Serv. Carte phytogéogr.*, B, v.4, n.2, 95-117.
- ENTAV, INRA, ENSAM, ONIVINS. 1995. *Catalogue des variétés et clones de vigne cultivés en France*. Le Grau du Roi, ENTAV. 357p.
- FALCETTI, M. 1994. Le terroir : qu'est-ce qu'un terroir? pourquoi l'étudier? pourquoi l'enseigner? *Bulletin de l'O.I.V.*, 757-758, 246-275.
- FRANCE. 1997. Décret du 22 août 1997 relatif à l'appellation d'origine contrôlée « Muscat du Ventoux ». *J. Officiel Rép. Française*, Paris, p.12490-12493, 23 août.
- FREGONI, M. 1995. The assesment of growing aptitudes of viticultural areas. In : FREGONI, M. 1994. Las zonas vitícolas atlánticas : delimitación, influencia sobre la fisiología de la vid y sobre la calidad de la uva. In : CONGRESO INTERNACIONAL DE LA VITIVINICULTURA ATLANTICA, 1, 1994. *Libro de Ponencias*. Pontevedra, Xunta de Galicia. p.25-38. (Tomo I).
- GALET, P. 1990. *Cépages et vignobles de France : l'ampélographie française*. Montpellier, Déhan. 400p. (Tome II).
- GALET, P. 1993. *Précis de viticulture*. Montpellier, Déhan. 582p.
- GARCIA DE LUJAN, A., BUSTILLO, J.M., PUERTAS, B. 1991. *Comportamiento de variedades de vid universales en zona calida española : ensayo internacional de ecología vitícola*. Jerez de la Frontera, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 67p.
- GLADSTONES, J. 1992. *Viticulture and environment*. Adelaide, Winetitles. 310p.
- GROSS, F. 1995. *La Syrah : potentialités phénoliques et sensorielles*. Narbonne, INRA/Institut Jules Guyot. 39p. (Rapport de D.N.O.).
- GUITARD, P., LEFERRER, H., BOUBALS, D. 1979. Eléments permettant le choix rationnel de l'encépagement dans le Midi de la France. *Progr. Agric. Vitic.*, n.25, 529-537. (Numéro Spécial).
- GUYOT, G. 1997. *Climatologie de l'environnement : de la plante aux écosystèmes*. Paris, Masson. 505p.
- HALE, C.R., BUTTROSE, M.S. 1974. Effect of temperature on ontogeny of berries of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, v.99, n.5, 390-394.

- HELM, K.F., CAMBOURNE, B. 1988. The influence of climatic variability on the production of quality wines in the Canberra district of South Eastern Australia. In : INTERNATIONAL COOL CLIMATE VITICULTURE AND OENOLOGY, 2, Auckland, 1988. *Proceedings*. Auckland, New Zealand for Viticulture and Oenology. p.17-20.
- HERITIER, J. 1990. Bilan des pluies de l'automne 1989 : l'Aude à l'envers. *Prog. Agric. Vitic.*, v.107, n.3, 67-69.
- HERNANDEZ, A.M., PSZCZOLKOWSKI, P.T. 1986. *La vigne et le vin au Chili*. Santiago, Université Catholique du Chili. 253p.
- HIDALGO, L. 1980. *Caracterizacion macrofisica del ecosistema medio-planta en los vinedos espanoles*. Madrid, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 255p. (Comunicaciones I.N.I.A. Serie Produccion Vegetal, 29).
- HUGLIN, P. 1977. Influence des pratiques culturales sur la qualité de la vendange dans les régions tempérées. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA QUALITÉ DE LA VENDANGE , Le Cap, 14-21 Fév., 1977, *Actes...* Stellenbosch, Oenological Viticultural Research Institute. p.359-372.
- HUGLIN, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR L'ÉCOLOGIE DE LA VIGNE, 1, 1978. Constança, Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire. p.89-98.
- HUGLIN, P. 1983. Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Bulletin de l'O.I.V.*, 634, 823-833.
- HUGLIN, P. 1986. *Biologie et écologie de la vigne*. Paris, Payot Lausanne. 375p.
- HUGLIN, P., 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C. R. Acad. Agric.*, 1117-1126.
- HUGLIN, P., SCHNEIDER, C. 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. Paris, Lavoisier. 370p.
- JACKSON, D.I., CHERRY, N.J. 1988. Prediction of a district's grape-ripening capacity using a latitude-temperature index (LTI). *Amer. J. Enol. Vitic.*, v.39, n.1, 19-28.
- JACKSON, D.I., LOMBARD, P.B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality : a review. *Amer. J. Enol. Vitic.*, v.44, n.4, 409-430.
- JACQUET, A., MORLAT, R. 1997. Caractérisation de la variabilité climatique des terroirs viticoles en val de Loire : influence du paysage et des facteurs physiques du milieu. *Agronomie*, 17, 465-480.
- JACQUINET, J.-C., HERITIER, J., PLANAS, R. 1988. Les grands terroirs viticoles des Corbières audoises. *Prog. Agric. Vitic.*, v.106, n.1, 9-15.
- JACQUINET, J.C., PARNAUD, A., PICCININI, M. 1989. La sélection au terroir en viticulture. *Prog. Agric. Vitic.*, v.106, n.2, 48-50.

- JOLIVET, Y., DUBOIS, J.-M., GRANBERG, H. 1998. Évaluation du régime thermal du cépage *Vitis vinifera* L. var. Melon durant la saison froide au Québec. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v.32, n.2, 51-58.
- JONES, P.D. 1994. Hemispheric surface air temperature variations : a reanalysis and an update to 1993. *Journal of Climate*, v.17, p.1794-1802.
- KENNY, G.L., SHAO, J. 1992. An assessment of a latitude-temperature index for predicting climate suitability for grapes in Europe. *J. Hortic. Sci.*, v.67, n.2, 19-28.
- KLIEWER, W.M. 1970. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* grapes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 95, 693-697.
- KLIEWER, W.M. 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo and nycto-temperatures during maturation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, v.98, n.2, 153-159.
- KLIEWER, W.M. 1977. L'influence de la température, de la radiation solaire, de l'azote et du cépage sur la coloration du raisin. In : SYMP. INT. SUR LA QUALITE DE LA VENDANGE, Le Cap, 1977. Stellenbosch : Oenological Viticultural Research Institute. p.89-106. (14-21 fév.).
- KLIEWER, W.M., LIDER, L.A. 1968. Influence of cluster exposure to the sun on the composition of Thompson Seedless. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 19, 175-184.
- KLIEWER, W.M., TORRES, R.E. 1972. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 23(2), 71-77.
- KUHNHOLTZ-LORDAT, M.G. 1954. La chaîne de la qualité en matière de délimitation viticole. *Progr. Agric. Vitic.*, p.316-319.
- LEBON, E. 1993. *De l'influence des facteurs pedo- et mésoclimatiques sur le comportement de la vigne et les caractéristiques du raisin : application à l'établissement de critères de zonage des potentialités qualitatives en vignoble à climat semi-continental (Alsace)*. Colmar, Thèse Université de Bourgogne. 185p.
- LEBON, E., BOULET, J.C., BRUNO, G., CARBONNEAU, A., CHAMPAGNOL, F., DOMERGUE, P. 1996. Premiers résultats d'une étude des caractéristiques analytiques et sensorielles des vins de Syrah selon leur terroir. In : Colloque International "Les Terroirs Viticoles". Angers, URVV-Angers/ISVV- Montpellier. p.351-358.
- LEBON, E., DUMAS, V., METTAUER, H., MORLAT, R. 1993. Caractérisation intégrée du vignoble alsacien : aspects méthodologiques et application à l'étude des composantes naturelles des principaux terroirs. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v.27, n.4, 235-253.
- LEBON, E., SCHULTZ, H.R., DUMAS, V. 1995. Applications d'un modèle d'interception du rayonnement solaire par la vigne pour la simulation du bilan hydrique et de la photosynthèse à l'échelle du couvert : résultats préliminaires. In : Journées du Groupe Européen d'Études des Systèmes de Conduite de la Vigne - GESCO, 8, Vairão, Portugal, 1995. *Communications*. Vairão, Associação para o Desenvolvimento do Instituto Superior de Agronomia. p.31-39.

- MABROUK, H, SINOQUET, H. 1998. Indices of light microclimate and canopy structure of grapevines determined by 3D digitising and image analysis, and their relationship to grape quality. *Austr. J. Grape Wine Res.*, 4, 2-13.
- MÉRIAUX, S., PANINE, M. 1986. Essai d'interprétation de la variabilité interannuelle de la production viticole dans le midi méditerranéen : l'exemple du Carignan. *C.R.Acad. Agric.*, 72, 1053-1063.
- MÉROUGE, I., SEGUIN, G., ARROUAYS, D. 1998. Les sols et l'alimentation hydrique de la vigne à Pomerol : II - état hydrique et croissance de la vigne en 1995. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v.32, n.2, 59-68.
- MORLAT, R., PENAVAYRE, M., JACQUET, A., ASSELIN, C., LEMAITRE, C. 1992. Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthèse de la vigne en millésime exceptionnellement sec (1990) : conséquence sur la maturation du raisin. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v.26, n.4, 197-220.
- MORLAT, R., ASSELIN, C. 1993. Une approche objective des terroirs et typologie des vins en Val de Loire. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, v.79, n.3, 199-212.
- MORLAT, R., JACQUET, A. 1993. The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis*, 32, 35-42.
- MUÑOZ, G., ORTIZ, J.M., CABELLO, F. 1997. Phénologie des variétés de vigne et des clones cultivés dans la 'Comunidad de Madrid' : incidence des facteurs climatiques. *Bulletin de l'O.I.V.*, n. 797-798, 536-553.
- OLIVEIRA, M. 1998. Calculation of budbreak and flowering base temperatures for *Vitis vinifera* cv. Touriga Francesa in the Douro region of Portugal. *Amer. J. Enol. Vitic.*, v.49, n.1, 74-78.
- ORFFER, C.J. 1977. L'effet du temps de maturation sur la qualité du vin dans le sud-ouest de la Province du Cap. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA QUALITÉ DE LA VENDANGE, Le Cap, 14-21 Fév., 1977, Actes... Stellenbosch, Oenological Viticultural Research Institute. p.291-298.
- PANINE, M., MÉRIAUX, S. 1988. Essai d'interprétation de la variabilité interannuelle de la production viticole dans le midi méditerranéen. II. La production quantitative en conditions naturelles ou irriguées. *C.R.Acad. Agric.*, v.74, n.2, 129-138.
- PARCEVAUX, S de. et al. 1990. *Dictionnaire encyclopédique d'agrométéorologie*. Paris, INRA, 324p.
- PARKER, D.E., FOLLAND, C.K., JACKSON, M. 1995. Marine surface temperature : observed variations and data requirements. *Climatic Change*, v.31, p. 559-600.
- PÉGUY, C. P. 1970. Précis de climatologie. Paris, Masson, 468 pp.
- PEYNAUD, E. 1971. *De l'ampélogie à l'oenologie*. In : Traité d'Ampélogie : Sciences et Techniques de la Vigne. Dunod, Paris, Dunod. p.687-719. (Tome II).

- POUGET, R. 1963. Recherches physiologiques sur le repos végétatif de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : la dormance des bourgeons et le mécanisme de sa disparition. Paris : INRA, *Ann. Amélior. Plantes*, v.13. 247 p. (Numéro Hors Série, 1).
- POUGET, R. 1968. Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis*, 7, 201-205.
- POUGET, R. 1969. Etude méthodologique de la précocité relative de débourrement chez la vigne. *Ann. Amélior. Plantes*, v.19, n.1, 81-90.
- POUGET, R. 1972. Considérations générales sur le rythme végétatif et la dormance des bourgeons de la vigne. *Vitis*, 11, 198-217.
- POUGET, R. 1988. Le débourrement des bourgeons de la vigne : méthode de prévision et principes d'établissement d'une échelle de précocité de débourrement. *Conn. Vigne Vin*, v.22, n.2, 105-123.
- PRESCOTT, J.A. 1965. The climatology of the vine (*Vitis vinifera* L.) : the cool limits of cultivation. *Transac. Royal Soc. South Australia*, v.89, 5-23.
- PRESCOTT, J.A. 1969a. The climatology of the vine (*Vitis vinifera* L.) [3] : a comparison of France and Australia on the basis of the temperature of the warmest month. *Transac. Royal Soc. South Australia*, v.93, 7-15.
- PRESCOTT, J.A. 1969b. The climatology of the vine (*Vitis vinifera* L.) [II] : a comparison of the temperature regimes in the Australian and Mediterranean regions. *Transac. Royal Soc. South Australia*, v.93, p.1.
- RAZUNGLES, A., ABBAL, P., BELLON, V., SAINT-PIERRE, B., SAMSON, A., SCHLICH, P. 1998. *Analyse sensorielle des vins*. In : Oenologie : fondements scientifiques et technologiques. Paris, Lavoisier. p.238-290. (Coordonnateur Claude Flanzky).
- REYNOLDS, A.G., WARDLE, D.A., HALL, J.W., DEVER, M. 1995. Fruit maturation of 'Okanagan Riesling' grapes : effect of site, year, and basal leaf removal. *Fruit Varieties Journal*, v.49, n.4, 213-224.
- RIND, D., GOLDBERG, R., RUEDY, R. 1989. Change in climate variability in the 21st century. *Climatic Change*, 14, p.5-37.
- RIOU, C., MORLAT, R., ASSELIN, C. 1995. Une approche intégrée des terroirs viticoles : discussions sur les critères de caractérisation accessibles. *Bulletin de l'O.I.V.*, 767-768, p.93-106.
- RIOU, C., VALANCOGNE, C., PIERI, P. 1989. Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne : vérification expérimentale. *Agronomie*, v.9, n.5, 441-450.

- RIOU, Charles *et al.* 1994. *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne*. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes. 322p. (Collaborateurs : Norbert BECKER, Vicente SOTES RUIZ, Vicente GOMEZ-MIGUEL, Charles RIOU, Alain CARBONNEAU, M. PANAGIOTOU, Antonio CALO, Angelo COSTACURTA, Rogério de CASTRO, Aguiar PINTO, Carlos LOPES, Luis CARNEIRO, Pedro CLIMACO).
- RIOU, Charles, POUGET, R. 1992. Nouvelles propositions pour évaluer la vitesse de débourrement des bourgeons de la vigne et modélisation de la date de débourrement. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v.26, n.2, 63-74.
- RIOU, Christophe, DURAND, J.F., CARBONNEAU, A., LEBON, E. 1999. *Modèles qualité en viticulture : modélisation de la qualité de la vendange à partir de l'analyse des données des millésimes 1994 à 1997*. Paris, ITV/Centre Technique Interprofessionnel de la Vigne et du Vin. 74p. (Rapport d'étape, réalisé par Stéphanie PIALAT).
- RIOU, Christophe. 1998. Facteurs explicatifs des critères de qualité de la récolte : application au réseau modèles qualité en viticulture. *Progr. Agric. Vitic.*, v.115, n.11, p.247-252.
- SAFRAN, B. 1977. Les effets des pratiques culturales sur la qualité de la vendange dans les régions chaudes. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA QUALITÉ DE LA VENDANGE , Le Cap, 14-21 Fév., 1977, *Actes...* Stellenbosch, Oenological Viticultural Research Institute. p.243-261.
- SEGUIN, G. 1970. *Les sols de vignoble du Haut-Médoc : Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin*. Thèse Doctorat d'État. Bordeaux, Université Bordeaux II. 141p.
- SEGUIN, G. 1983. Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges. *Bulletin de l'O.I.V.*, n.623, p.3-18.
- SINGLETON, V.L., ESAU, P. 1969. Phenolic substances in grapes and wine, and their significance. *Advances in Food Research*, 112-133. (Supplement,1). (Academic Press).
- SMART, R.E., ROBINSON, J.B., DUE, G.R., BRIEN, C.J. 1985. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz II. Effects on must and wine composition. *Vitis*, 24, 119-128.
- STATION VITI-VINICOLE CIVDN. 1996. *Millésimes en Roussillon de 1984 à 1995 : les conditions climatiques, le comportement de la vigne, le vignoble, la qualité des vins*. Tresserre. 106p. (Colab. : ARPAJOU, H. *et al.*).
- TOMANA, T., UTSUNOMIYA, N., KATAOKA, I. 1979. The effect of environmental temperatures on fruit ripening on the tree. II. The effect of temperatures around whole vines and clusters on the coloration of 'Kyoho' grapes. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.*, 48, 261-266.

- TONIETTO, J., CARBONNEAU, A. 1998. Macroclimat viticole et groupes climatiques de la vitiviniculture mondiale. In : SIMPOSIO INTERNAZIONALE TERRITORIO E VINO, Siena, p.71, 1998. Siena, 1998. (Abstract degli interventi).
- TONIETTO, J., CARBONNEAU, A. 1998. Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de l'A.O.C. *Muscat du Ventoux* dans le Département de Vaucluse. *Progr. Agric. Vitic.*, v.115, n.12, 271-279.
- TORRES, P. 1989. Étude de la prévision de la richesse en sucre de la vendange. *Progr. Agric. Vitic.*, v.106, n.13-14, 307-311.
- TRAMBOUZE, W., VOLTZ, M. 1996. Caractérisation des relations hydriques sol/vigne dans un terroir languedocien. In : Colloque International "Les Terroirs Viticoles". Angers, URVV-Angers/ISVV- Montpellier. p.164-169.
- TURC, L. 1961. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle : formule climatique simplifiée et mise à jour. *Annales Agronomiques*, 12, 13-49.
- TURMANIDZE, T.I. 1986. *Report on the effect of agrometeorological parameters on viticulture in Socialistic Countries of Eastern Europe*. Genève, CAgM-WMO. 48p.
- VALAT, C. 1992. Les origines de la Syrah et son développement en France. Tain l'Hermitage. 4p. (Colloque sur la Syrah).
- VILLIERS, F. de. 1997. The use of a geographic information system (GIS) in the selection of wine cultivars for specific areas by using temperature climatic models. In : O.I.V. - Congress of the Vine and Wine, 22. Buenos Aires. 13p.
- WAHL, K. 1988. Climate and soil effects on grape-vine and wine : the situation on the northern border of viticulture - the example Franconia. In : INTERNATIONAL COOL CLIMATE VITICULTURE AND OENOLOGY, 2, Auckland, 1988. *Proceedings*. Auckland, New Zealand for Viticulture and Oenology. p.1-5.
- WINKEL, T.; RAMBAL, S. 1993. Influence of water stress on grapevines growing in the field: from leaf to whole-plant response. *Aust. J. Plant Physiol.*, 20, 143-157.
- WINKLER, A. J., 1962. *General Viticulture*. University of California. 633p.
- WINKLER, A.J., COOK, J.A., KLIEWER, W.M., LIDER, L.A. 1974. *General viticulture*. Berkeley, University of California. 710p.

A N N E X E S

ANNEXE 1

Tableau 21. Liste des pays et régions viticoles (postes météorologiques) respectifs, avec le sigle, la latitude, la longitude, l'altitude et les périodes des moyennes interannuelles considérées pour les variables climatiques (voir suite).

Pays	Poste Météorologique	Sigle	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Périodes des moyennes interannuelles récupérées pour les variables climatiques	
						Période	Sauf pour la variable
Afrique du Sud	Cape Town	ZAca	33° 59' S	18° 36' E	42	1961-90	
Allemagne	Freiburg	DEfr	48° 00' N	07° 51' E	269	1961-90	
	Geiseinheim	DEge	49° 59' N	07° 57' E	118	1961-90	
	Neustadt	DEne	49° 21' N	08° 11' E	125	1961-90	ETP: 1976-90
	Stuttgart	DEst	48° 41' N	09° 13' E	373	1961-90	ETP ¹ : 1961-70/1977-1990
	Trier	DEtr	49° 45' N	06° 40' E	265	1961-90	
	Würzburg	DEwü	49° 46' N	09° 58' E	268	1961-90	
Angleterre	Maidstone	GBma	51° 17' N	00° 31' E	20	1961-90	Rg ² : 1963-95
Argentine	Lujan de Cuyo	ARlu	32° 59' S	68° 52' W	921	1989-96	V: 1992-96
	General Roca	ARge	39° 01' S	67° 40' W	242	1923-87	HR: 1965-87; Rg: 1980-87
Australie	Mildura	AUmi	34° 14' S	142° 05' E	50	1946-97	Rg: 1969-93
	Mount Gambier	AUmo	37° 45' S	140° 47' E	63	1941-97	Rg: 1968-93
	Nuriootpa	AUnu	34° 29' S	139° 00' E	274	1952-97	Rg ³ : 1983-93
Brésil	Bento Gonçalves	BRbe	29° 10' S	51° 32' W	640	1961-90	Rg: 1983-89
	Petrolina	BRpe	09° 09' S	40° 22' W	366	1969-93	
Canada	Quebec	CAqu	46° 48' N	71° 23' W	70	1961-90	
	Summerland	CAsu	49° 34' N	119° 39' W	454	1961-90 ⁴	
	Vancouver	CAva	49° 11' N	123° 10' W	3	1961-90	
Chili	Curico	CLcu	34° 58' S	71° 14' W	228	1961-90	V: 1994-98
	Santiago	CLsa	33° 26' S	70° 41' W	520	1961-90 ²	V: 1994-98 ²
Chine	Bei Jing	CNbe	40° 27' N	115° 57' E	489	1969-90	

¹ETP du poste Stuttgart - Schnarrenberg n° 02743²Rg du poste East Malling: 51° 17' N; 00° 27' W; alt. 37m.³Rg du poste Adelaide: 34° 57' S; 138° 32' W; alt. 6m.⁴HR et V du poste de Penticton A: 49° 28' N; 119° 36' E; alt. 344 m.⁵Rg et V du poste Pudahuel: 33° 23' S; 70° 47' W; alt. 472 m.

ANNEXE 1

Tableau 21. (Suite 1)

Pays	Poste Météorologique	Sigle	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Périodes des moyennes interannuelles récupérées pour les variables climatiques		
						Période	Sauf pour la variable	
Chine	Tong Chuan	CNto	35° 05' N	109 04' E	979	1958-80		
	Urumqi	CNur	43° 47' N	87° 37' E	918	1951-89		
	Yi Li	CNyl	43° 57' N	81° 21' E	663	1952-70	V: 1959-69	
	Yi Couniy	CNyc	39° 21' N	115° 30' E	53	1960-80		
Colombie	La Unión	COLa	04° 32' N	76° 03' W	920	1970-89		
Espagne	Ciudad Real	ESci	38° 59' N	03° 55' W	629	1961-90		
	Cádiz	ESje	36° 45' N	06° 04' W	29	1961-90 ⁶		
	Rioja	ESlo	42° 27' N	02° 20' W	352	1961-90		
	Málaga	ESml	36° 40' N	04° 29' W	7	1961-90		
	Madrid	ESmd	40° 25' N	03° 41' W	667	1961-90		
	Murcia	ESmu	37° 57' N	01° 14' W	75	1961-90		
	Orense	ESor	42° 20' N	07° 52' W	150	1961-90		
	Tenerife	ESsa	28° 27' N	16° 15' W	36	1961-90		
	Tarragona	ESta	41° 09' N	01° 10' E	76	1961-90		
	Valladolid	ESva	41° 39' N	04° 46' W	735	1961-90		
	Etats Unis	New York	USne	40° 46' N	73° 54' W	3	1961-90	Rg: 1952-75
		Rochester	USrc	43° 07' N	77° 40' W	167	1961-90	Rg: 1952-75
		Cleveland	UScl	41° 25' N	81° 52' W	237	1961-90	Rg: 1952-75
		Medford	USme	42° 22' N	122° 52' W	396	1961-90	Rg: 1952-75
Portland		USpo	45° 36' N	122° 36' W	6	1961-90	Rg: 1952-75	
Salem		USsl	44° 55' N	123° 00' W	60	1961-90	Rg: 1952-75	
Seattle		USse	47° 27' N	122° 18' W	122	1961-90	Rg: 1952-75	
Fresno		USfr	36° 46' N	119° 43' W	100	1961-90	Rg: 1952-75	
Sacramento		USsc	38° 31' N	121° 30' W	5	1961-90	Rg: 1952-75	
France		Agen	FRag	44° 11' N	00° 36' E	59	1986-95	ETP: 1971-90
	Ajaccio	FRaj	41° 55' N	08° 48' E	5	1986-95	ETP: 1971-90	
	Angers	FRan	47° 30' N	00° 35' W	57	1986-95	ETP: 1971-90	

⁶ETP du poste de Jerez - Aeropuerto- n° 5969: 36° 12' N; 06°04' W; alt. 29m.

ANNEXE 1

Tableau 21. (Suite 2)

Pays	Poste Météorologique	Sigle	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Périodes des moyennes interannuelles récupérées pour les variables climatiques	
						Période	Sauf pour la variable
France	Bastia	FRba	42° 33' N	09° 29' E	10	1986-95	ETP: 1971-90
	Besançon	FRbe	47° 15' N	05° 59' E	309	1986-95	ETP: 1971-90
	Bordeaux	FRbo	44° 50' N	00° 42' W	47	1986-95	ETP: 1971-90
	Carcassonne	FRca	43° 13' N	02° 19' E	126	1986-95	ETP: 1971-90
	Cognac	FRcg	45° 40' N	00° 19' W	30	1986-95	ETP: 1971-90
	Colmar	FRcl	47° 56' N	07° 25' E	209	1986-95	ETP: 1971-90
	Macon	FRma	46° 18' N	04° 48' E	216	1986-95	ETP: 1971-90
	Montélimar	FRmm	44° 35' N	04° 44' E	73	1986-95	ETP: 1971-90
	Montpellier	FRmp	43° 35' N	03° 58' E	3	1986-95	ETP: 1971-90
	Nantes	FRna	47° 09' N	01° 37' W	26	1986-95	ETP: 1971-90
	Pau	FRpa	43° 23' N	00° 25' W	183	1986-95	ETP: 1971-90
	Perpignan	FRpe	42° 44' N	02° 52' E	42	1986-95	ETP: 1971-90
	Reims	FRre	49° 18' N	04° 02' E	91	1986-95	ETP: 1971-90
	Toulon	FRtn	43° 06' N	05° 56' E	24	1986-95	ETP: 1971-90
	Toulouse	FRte	43° 37' N	01° 23' E	151	1986-95	ETP: 1971-90
Tours	FRtr	47° 26' N	00° 44' E	108	1986-95	ETP: 1971-90	
Guatemala	Estanzuela	GTes	14° 58' N	89° 33' W	184	1955-90	
Inde	Ludhiana	INlu	30° 56' N	75° 52' E	247	1951-80	
	Pune	INpu	18° 32' N	73° 51' E	559	1951-80	
Israël	Haïfa	ILha	32° 33' N	35° 04' E	180	1954-97 ⁷	
Italie ⁸	Ravenna	ITra	44° 25' N	11° 59' E	-	1988-96	
	Perugia	ITpe	43° 03' N	12° 33' E	-	1988-96	
	Modena	ITmo	44° 30' N	10° 54' E	-	1988-96	
	Lecce	ITle	40° 13' N	18° 10' E	-	1988-96	
	Trapani	ITta	37° 50' N	12° 40' E	-	1988-96	
Japon ⁹	Treviso	ITte	45° 50' N	12° 13' E	-	1988-96	
	Kofu	JPko	35° 40' N	138° 33' E	273	1961-90	

⁷ ETP et Rg du poste Ein Carmel Perto⁸ Les données des variables climatiques de l'Italie sont des moyennes de l'ensemble de la région - données interpolées, la latitude est la moyenne de la région; base des données le la *European Commission - Joint Research Centre - Space Applications Institute - Agriculture and Regional Information System*, Ispra, Italie.

ANNEXE 1

Tableau 21. (Suite 3)

Pays	Poste Météorologique	Sigle	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Périodes des moyennes interannuelles récupérées pour les variables climatiques	
						Période	Sauf pour la variable
Nouvelle-Zélande	Napier	NZna	39° 30' S	176° 55' E	2	1900-80	ETP: 1941-83
Pérou	Ica	PEic	14° 05' S	75° 44' W	398	1971-75/1977-82	V ⁸ : 1994-98
Portugal	Anadia	PTan	40° 26' N	08° 26' W	45	1961-90	
	Evora	PTev	38° 34' N	07° 54' W	309	1961-90	
	Funchal	PTfu	32° 38' N	16° 54' W	58	1963-91	
	Lisboa	PTli	38° 43' N	09° 09' W	77	1961-90	
	Peso da Régua	PTpe	41° 10' N	07° 48' W	65	1961-90	
	Viseu	PTvi	40° 40' N	07° 54' W	443	1961-90	
République de Corée	P'ohang	KRpo	36° 02' N	129° 23' E	6	1961-90	
	Suwon	KRsu	37° 16' N	126° 59' E	37	1964-90	
Slovaquie	Bratislava	SKbr	48° 10' N	17° 12' E	133	1961-90	
Slovénie	Beli Kriz	SIbe	45° 32' N	13° 34' E	92	1975-91	
	Bizeljsko	SIbi	46° 01' N	15° 42' E	170	1961-90	
	Murska Sobota	SImu	46° 38' N	16° 11' E	188	1961-90	
	Novo Mesto	SInm	45° 48' N	15° 11' E	220	1961-90	
Suisse	Genève	CHge	46° 15' N	06° 08' E	420	1961-90	ETP: 1901-87
Tanzanie	Dar Es Salaam	TZda	06° 10' S	35° 46' E	1120	1932-91	Rg: 1977-91; V: 1994-98
Thaïlande	Bangkok	THba	13° 06' N	100° 06' E	3	1969-93	ETP: 1969-92
	Chiangmai	THch	18° 09' N	99° 00' E	317	1969-93	
Tunisie	Bizerte	TNbi	37° 15' N	09° 48' E	5	1986-96	
	Nabeul	TNna	36° 27' N	10° 44' E	1	1986-96	HR: 1986-95
	Tunis - Carthage	TNtu	36° 50' N	10° 14' E	3	1986-96	
Turquie	Izmir	TRiz	38° 26' N	27° 10' E	25	1966-95	Rg et V: 1990-96
	Tekirdag	TRte	40° 59' N	27° 33' E	4	1966-95	Rg et V: 1991-96
Uruguay	Las Bruxas	UYcn	34° 04' S	56° 04' W	31	1972-97 ⁹	

⁸ V du poste Pisco: 13° 45' S; 76° 17' W; alt. 7m.⁹ Rg du poste Prado: 34° 51' S; 56° 12' W; alt. 16 m.

ANNEXE 2

Tableau 22. Classification multicritères des climats viticoles de l'ensemble des régions étudiées, par classe d'indice climatique *IS*, *IH* et *IF*.

		<i>Suite...</i>			<i>Suite...</i>		
Région	Climat Viticole	Région	Climat Viticole	Région	Climat Viticole		
ARlu	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₃	ESva	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₄	NZna	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₃		
ARri	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₄	FRag	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₃	PEic	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₂		
AUmi	<i>IS</i> ₃ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₃	FRaj	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	PTan	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₃		
AUmo	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	FRan	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	PTev	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂		
AUnu	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₄	FRba	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	PTfu	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₁		
BRbe	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	FRbe	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	PTli	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂		
BRpe	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁	FRbo	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₃	PTpe	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₃		
CAqu	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₁ <i>IF</i> ₄	FRca	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₃	PTvi	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₄		
CAsu	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	FRcg	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₃	SIbe	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₂		
CAva	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₁ <i>IF</i> ₄	FRcl	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	SIbi	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄		
CHge	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	FRma	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₄	SImu	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄		
CLcu	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₄	FRmm	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₃	SImm	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄		
CLsa	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₄	FRmp	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	SKbr	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₄		
CNbe	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₄	FRna	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	THba	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁		
CNto	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₃	FRpa	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₃	THch	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁		
CNur	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₄	FRpe	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	TNbi	<i>IS</i> ₃ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁		
CNyc	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₃	FRre	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	TNna	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁		
CNyl	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₄	FRte	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₃	TNtu	<i>IS</i> ₃ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁		
COLa	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁	FRtn	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₂	TRiz	<i>IS</i> ₃ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁		
DEfr	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	FRtr	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	TRte	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂		
DEge	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	GBma	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₁ <i>IF</i> ₄	TZda	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₂		
DEne	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄	Gtes	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁	UScl	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₃		
DEst	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₁ <i>IF</i> ₄	ILha	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁	USfr	<i>IS</i> ₃ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₂		
DEtr	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₁ <i>IF</i> ₄	INlu	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁	USme	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₄		
DEwü	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₁ <i>IF</i> ₄	INpu	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₆ <i>IF</i> ₁	USne	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂		
ESci	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₃	ITle	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁	USpo	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₄		
ESje	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₂	ITmo	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₃	USrc	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄		
ESlo	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₃	ITpe	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₃ <i>IF</i> ₄	USsc	<i>IS</i> ₃ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₃		
ESmd	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	ITra	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	USse	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄		
ESml	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁	ITta	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁	USsl	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₂ <i>IF</i> ₄		
ESmu	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₂	ITte	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₃	UYcn	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂		
ESor	<i>IS</i> ₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₃	JPko	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁	ZAca	<i>IS</i> ₃ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂		
ESsa	<i>IS</i> ₂ <i>IH</i> ₅ <i>IF</i> ₁	KRpo	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂				
ESsta	<i>IS</i> ₁ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂	KRsu	<i>IS</i> ₀₀ <i>IH</i> ₄ <i>IF</i> ₂				

ANNEXE 3

ANALYSE DESCRIPTIVE ULISI

NOM : _____ DATE : _____

N° POSTE : _____

N° DE FEUILLE : _____



E.N.S.A.M.
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE
DE MONTPELLIER



INRA
INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

DESCRIPTEURS	PRODUIT 1	PRODUIT 2	PRODUIT 3	PRODUIT 4
<u>Visuel:</u>				
Intensité	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Nuance / Etat	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
<u>Olfactif:</u>				
Intensité	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Végétal	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Floral	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Fruité	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Epicé	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Balsamique	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Empyreumatique	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Animal	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Minéral	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Autres notes	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
<u>Gustatif:</u>				
Acidité	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Gras/Moelleux	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Astringence	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Chaleur	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Amertume	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Concentration	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Persistance Arôme ..	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
<u>Jugement Qualitatif:</u>				
Qualité d'ensemble ..	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5

COMMENTAIRES :

ULISI est distribué sous licence INRA par SERISUD - 4, boulevard des Sources - 34980 ST-CLEMENT-DE-RIVIERE - Tél. 67.66.65.00 - Fax 67.66.65.01

Figure 41. Fiche d'analyse sensoriel des vins du Réseau Syrah avec les descripteurs visuels, olfactifs et gustatifs.

ANNEXE 4

Tableau 23. Régions et départements français des 18 parcelles du Réseau Syrah et leurs Appellations d'Origine Contrôlée/Vin de Pays respectives.

Parcelle		Région*	Département		Appellation
Nom	Sigle		Nom	N°	d'Origine Contrôlée
Alaigne	ALA	Languedoc-Roussillon	Aude	11	V.D.Q.S. - Côte de la Malepère
Ampuis	AMP	Rhône-Alpes	Rhône	69	Côte Rôtie
Aubenas	AUB	Rhône-Alpes	Ardèche	7	Vin de Pays - Coteaux de l'Ardèche
Caunes Minervois	CAU	Languedoc-Roussillon	Aude	11	Minervois
Cazedarne	CAZ	Languedoc-Roussillon	Hérault	34	Saint Chinian
Chateauneuf-de-Gadagne	CHA	Provence-Alpes-Côte d'Azur	Vaucluse	84	Côtes du Rhône
Fronton	FRO	Midi-Pyrénées	Haute-Garonne	31	Fronton
Gruissan	GRU	Languedoc-Roussillon	Aude	11	Corbières
Jonquieres	JON	Languedoc-Roussillon	Hérault	34	Côteaux du Languedoc
Le Luc	LUC	Provence-Alpes-Côte d'Azur	Var	83	Côtes de Provence
Mercurol	MER	Rhône-Alpes	Drôme	26	Crozes Hermitage
Moux	MOU	Languedoc-Roussillon	Aude	11	Corbières
Prades	PRA	Languedoc-Roussillon	Hérault	34	Saint Chinian
Rodilhan	ROD	Languedoc-Roussillon	Gard	30	Costières de Nîmes
Roujan	ROU	Languedoc-Roussillon	Hérault	34	Vin de Pays - Cassan
Sauteyrargues	SAU	Languedoc-Roussillon	Hérault	34	Côteaux du Languedoc
St. Victor la Coste	VIC	Languedoc-Roussillon	Gard	30	Côtes du Rhône
Vidauban	VID	Provence-Alpes-Côte d'Azur	Var	83	Côtes de Provence

ANNEXE 5

Tableau 24. Coordonnées géographiques, altitude et déclivité des parcelles du Réseau Syrah.

Sigle	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Declivité (%)
ALA	43° 06' 46"	02° 06' 07"	280	8
AMP	45° 30' 21"	04° 49' 43"	270	35
AUB	44° 34' 43"	04° 29' 43"	250	2
CAU	43° 18' 30"	02° 30' 52"	195	0
CAZ	43° 25' 34"	03° 00' 18"	245	0
CHA	43° 56' 01"	04° 55' 33"	110	0
FRO	43° 47' 56"	01° 27' 59"	160	3
GRU	43° 08' 32"	03° 07' 41"	45	5
JON	43° 40' 35"	03° 28' 52"	110	1
LUC	43° 22' 35"	06° 23' 26"	80	0
MER	45° 03' 36"	04° 53' 09"	145	0
MOU	43° 11' 23"	02° 38' 26"	80	8
PRA	43° 26' 53"	02° 56' 48"	240	8
ROD	43° 49' 38"	04° 27' 06"	50	0
ROU	43° 29' 15"	03° 19' 12"	90	5
SAU	43° 49' 31"	03° 54' 11"	135	7
VIC	44° 03' 52"	04° 39' 41"	115	0
VID	43° 25' 23"	06° 24' 31"	60	9

ANNEXE 6

Tableau 25. Caractéristiques d'établissement des vignobles des parcelles du Réseau Syrah et sa géologie.

Parcelle	Année de plantation	Porte-greffe	Clone de Syrah	Conduite du Vignoble			Géologie
				Écartement entre rangs (m)	Distance entre plants sur le rang (m)	Densité de plantation (ceps/ha)	
ALA	1968	110 R	Sélection massale	1,10	2,50	3636	Argilo-calcaire
AMP	1986	3309 C	174	0,80	1,50	8333	Micashiste
AUB	1987	110 R	174	1,10	2,50	3636	Argilo-calcaire
CAU	1988	110 R	Inconnu	1,10	2,50	3636	Alluvion schisteuse
CAZ	1983	110 R	100	1,20	2,50	3333	Calcaire dur
CHA	1989	110 R	100	1,10	2,25	4040	Alluvion siliceuse
FRO	1987	3309 C	174	1,00	2,30	4348	Alluvion limoneuse
GRU	1977	110 R	Sélection massale	1,50	2,25	2963	Calcaire dur
JON	1989	110 R	174	1,20	2,00	4167	Alluvion calcaire
LUC	1990	110 R	174	1,00	2,50	4000	Grès feldspathique
MER	1990	3309 C	174	1,00	2,00	5000	Alluvion siliceuse
MOU	1981	110 R	Inconnu	1,10	2,25	4040	Argilo-calcaire
PRA	1983	110 R	100	1,20	2,50	3333	Micashiste
ROD	1983	110 R	100	1,25	2,50	3200	Alluvion siliceuse
ROU	1987	SO 4	100	1,20	2,50	3333	Argilo-calcaire
SAU	1987	140 Ru	174	1,00	2,35	4255	Calcaire dur
VIC	1990	110 R	100	1,00	2,50	4000	Alluvion siliceuse
VID	1973	SO 4	Sélection massale	1,00	2,50	4000	Colluvion calcaire

ANNEXE 7

Tableau 26. Réseau et coordonnées géographiques des postes météorologiques utilisés pour récupérer les données des 7 variables climatiques de base pour la base de données météorologiques des 18 parcelles du Réseau Syrah 1994-1996.

Parcelle	Poste (s)	Latitude	Longitude	Variables climatiques
	Météorologique (s)	(N)	(E)	
ALA ¹	Alaigne - Cazes	43° 07'	02° 06'	Tn, Tx, T, P, Rg, HR, V
AMP	Tupins et Semons	45° 28'	04° 47'	Tn, Tx, T, P
	St. Ramber d'Albon	45° 18'	04° 51'	HR, V, Rg
AUB ¹	Mirabel/Le Pradel	44° 35'	04° 30'	Tn, Tx, T e P
	Aubenas - Aérodr. Lanas	44° 32'	04° 22'	HR, V, Rg ²
CAU	Laure Minervois	43° 16'	02° 31'	Tn, Tx, T, P
	Lézignan	43° 10'	02° 44'	V, Rg
	Carcassone	43° 13'	02° 19'	HR
CAZ	Berlou	43° 30'	02° 58'	Tn, Tx
	Saint Chinian	43° 26'	02° 57'	P
	Roujan	43° 30'	03° 19'	HR, Rg, V
CHA ¹	Châteauneuf-de-Gadagne	43° 56'	04° 56'	Tn, Tx, T, P, HR, V
	Avignon - St.Paul	43° 55'	04° 52'	Rg
FRO ¹	Fonton	43° 48'	01° 28'	Tn, Tx, T, P, HR
	Ondes	43° 37'	01° 19'	Rg, V
GRU ¹	Gruissan - Pech Rouge	43° 06'	03° 06'	Tn, Tx, T, P, Rg, HR, V
JON	Gignac	43° 40'	03° 34'	Tn, Tx, T, P, HR, V
	Roujan	43° 30'	03° 19'	Rg
LUC ¹	Luc le Cannet	43° 23'	06° 23'	Tn, Tx, T, P, Rg ² , HR, V
MER ¹	Mercuriol	45° 04'	04° 53'	Tn, Tx, T, P, Rg, HR, V
MOU	Moux	43° 12'	02° 40'	Tn, Tx, T, P, HR
	Lézignan	43° 10'	02° 44'	Rg, V
PRA	Berlou	43° 30'	02° 58'	Tn, Tx
	Saint Chinian	43° 26'	02° 57'	P
	Roujan	43° 30'	03° 19'	HR, Rg, V
ROD	L'Amarine	43° 47'	04° 26'	Tn, Tx, T, P, Rg, HR, V
ROU ¹	Roujan	43° 30'	03° 19'	Tn, Tx, T, P, Rg, HR, V
SAU ¹	Sauteyrargues ³	43° 50'	03° 54'	Tn, Tx, T, P, Rg, HR, V
	Valfalunés ⁴	43° 48'	03° 50'	Tn, Tx, T, P
	Montpellier -Lavalette ⁴	43° 38'	03° 53'	Rg, HR, V
VIC	Chusclan	44° 08'	04° 43'	Tn, Tx, T, P, HR, V
	Pujaut	44° 00'	04° 45'	Rg
VID	Luc le Cannet	43° 23'	06° 23'	Tn, Tx, T, P, Rg ² , HR, V

¹ Poste météorologique situé sur la parcelle du Réseau Syrah

² Rg estimé par la durée d'insolation

³ Période 01.04 au 30.09

⁴ Période 01.10 au 31.03

ANNEXE 8

Tableau 27. Valeurs des indices climatiques viticoles - *IS*, *IH* et *IF*, calculés sur les années 1994, 1995 et 1996 pour l'ensemble des parcelles du Réseau Syrah.

Parcelle	<i>IS</i> ¹ (mm)				<i>IH</i> ²				<i>IF</i> ³ (°C)			
	1994	1995	1996	Moyenne 94-96	1994	1995	1996	Moyenne 94-96	1994	1995	1996	Moyenne 94-96
ALA	23	6	5	11	2095	2016	1942	2018	13,1	12,3	12,0	12,5
AMP	200	175	80	152	2175	2022	1933	2043	13,3	10,7	9,5	11,2
AUB	200	62	47	103	2255	2128	1955	2113	12,6	11,3	9,9	11,3
CAU	-66	-168	-36	-90	2283	2272	2147	2234	14,4	13,3	12,1	13,3
CAZ	123	-64	111	57	2332	2310	2174	2272	14,6	13,9	12,5	13,7
CHA	109	-7	-50	18	2452	2341	2203	2332	14,1	12,7	11,9	12,9
FRO	65	84	105	85	2101	2078	1961	2047	11,9	10,5	9,1	10,5
GRU	118	-65	68	40	2279	2307	2177	2254	15,0	14,3	12,7	14,0
JON	57	-3	48	34	2492	2452	2349	2431	14,3	12,1	10,2	12,2
LUC	-46	-62	90	-6	2613	2409	2353	2458	14,8	12,7	11,5	13,0
MER	200	149	58	136	2255	2129	2001	2129	12,4	10,6	9,4	10,8
MOU	-21	-127	-68	-72	2293	2216	2116	2208	13,8	12,9	10,8	12,5
PRA	123	-64	111	57	2332	2310	2174	2272	14,6	13,9	12,5	13,7
ROD	160	135	106	134	2424	2382	2253	2353	14,2	12,8	11,6	12,9
ROU	133	2	112	82	2375	2332	2187	2298	13,9	11,7	11,1	12,2
SAU	164	90	86	113	2455	2374	2209	2346	13,1	11,6	9,5	11,4
VIC	-38	-62	-69	-56	2481	2375	2244	2367	14,5	13,0	12,8	13,4
VID	-46	-62	90	-6	2613	2409	2353	2458	14,8	12,7	11,5	13,0
Moyenne	81	1	50	44	2350	2270	2152	2257	13,9	12,4	11,1	12,5
Médiane	114	-5	74	49	2332	2310	2175	2272	14,1	12,7	11,5	12,7

¹Coefficient de corrélation pour l'*IS* : r=0,76 entre 1994 et 95; r=0,43 entre 1995 et 96; r=0,47 entre 1994 et 96.²Coefficient de corrélation pour l'*IH* : r=0,90 entre 1994 et 95; r=0,97 entre 1995 et 96; r=0,93 entre 1994 et 96.³Coefficient de corrélation pour l'*IF* : r=0,85 entre 1994 et 95; r=0,91 entre 1995 et 96; r=0,80 entre 1994 et 96.

ANNEXE 9

Tableau 28. Positionnement des indices climatiques *IS*, *IH* et *IF* pour les années 1994, 1995 et 1996, selon les quartiles de la série d'années 1969-96, pour les postes météorologiques d'Avignon et de Montpellier.

Quartile ³	Avignon ¹					Montpellier ²				
	Valeur du quartile sur la période 1969-96	Années				Valeur du quartile sur la période 1969-96	Années			
		1994	1995	1996	Moyenne 1994-96		1994	1995	1996	Moyenne 1994-96
Valeur d'<i>IS</i>										
Q0	-143					-120				
Q1	-13					-38		-29		
Q2	21		21			-5				
Q3	64	160		56	79	77			80	83
Q4	164					199	199			
Valeur d'<i>IH</i>										
Q0	1915					1964				
Q1	2172			2235		2173				
Q2	2268					2279				
Q3	2365		2353		2353	2338	2474	2457	2356	2429
Q4	2470	2470				2476				
Valeur d'<i>IF</i>										
Q0	11,6					12,1				
Q1	12,8		12,6	11,9	12,8	14,1		14,1	12,9	14,0
Q2	13,8					14,6				
Q3	14,3	14,0				15,3	15,0			
Q4	16,1					17,4				

¹ Poste météorologique d'Avignon - St. Paul, latitude - 43° 55' N, longitude - 04° 52' E.

² Poste Montpellier - CRAM, latitude 43° 36' N, longitude 03° 35' E.

³ Q0 = la valeur minimale; Q1 = le premier quartile (25^e percentile); Q2 = la médiane (50^e percentile); Q3 = le troisième quartile (75^e percentile); Q4 = la valeur maximale; 50% des observations sont comprises entre les valeurs de Q3 et Q1.

ANNEXE 10

Tableau 29. Matrice des corrélations avec des indices climatiques, variables agronomiques et d'analyse sensorielle des vins des parcelles du Réseau Syrah - millésimes 1994, 1995 et 1996, (sur 39 observations).

	ICO	VEG	FRU	FLO	EPI	BAL	EMP	ACI	GRA	AST	CHA	CON	PER	IS	IH	IF	MS	SFEp/Prec
ICO	<i>1,00</i>																	
VEG	-0,38	<i>1,00</i>																
FRU	0,29	-0,05	<i>1,00</i>															
FLO	0,29	-0,27	0,57	<i>1,00</i>														
EPI	0,27	0,05	0,46	0,49	<i>1,00</i>													
BAL	0,37	-0,41	-0,14	-0,03	0,05	<i>1,00</i>												
EMP	0,45	-0,24	0,15	0,06	0,08	0,26	<i>1,00</i>											
ACI	0,12	0,04	-0,19	-0,17	-0,25	0,03	0,18	<i>1,00</i>										
GRA	0,73	-0,43	0,39	0,34	0,32	0,36	0,32	-0,28	<i>1,00</i>									
AST	0,59	-0,29	-0,12	0,17	0,02	0,26	0,21	0,28	0,21	<i>1,00</i>								
CHA	0,73	-0,38	0,13	0,20	0,18	0,41	0,38	-0,09	0,83	0,43	<i>1,00</i>							
CON	0,92	-0,49	0,35	0,40	0,27	0,38	0,48	0,00	0,86	0,59	0,83	<i>1,00</i>						
PER	0,80	-0,47	0,43	0,47	0,27	0,28	0,32	-0,26	0,85	0,46	0,80	0,89	<i>1,00</i>					
IS	-0,32	-0,04	0,03	-0,10	0,17	0,02	-0,13	-0,44	-0,05	-0,53	-0,27	-0,34	-0,22	<i>1,00</i>				
IH	0,20	-0,28	-0,13	0,25	-0,02	0,13	-0,04	-0,16	0,22	0,62	0,42	0,36	0,36	-0,21	<i>1,00</i>			
IF	0,03	-0,12	-0,16	0,12	-0,05	-0,02	-0,30	-0,22	-0,06	0,42	0,13	0,09	0,12	-0,16	0,73	<i>1,00</i>		
MS	-0,66	0,40	-0,05	-0,14	-0,06	-0,45	-0,23	-0,05	-0,35	-0,68	-0,52	-0,59	-0,55	0,34	-0,40	-0,41	<i>1,00</i>	
SFEp/Prec	0,45	-0,30	0,39	0,23	0,03	0,15	0,41	-0,13	0,36	0,15	0,31	0,44	0,45	-0,01	0,04	0,02	-0,52	<i>1,00</i>

Les valeurs soulignées indiquent une liaison significative au seuil de .05

RESUMO

Os macroclimas vitícolas mundiais e a influência do mesoclima sobre a tipicidade da 'Syrah' e da 'Moscatto de Hamburgo' no sul da França - metodologia de caracterização -

Jorge Tonietto¹

A pesquisa é centrada no desenvolvimento de uma metodologia de caracterização do clima das regiões vitícolas. Ela foi desenvolvida em 3 diferentes níveis de escala :

1) na escala do macroclima vitícola mundial, é apresentada uma caracterização da diversidade macroclimática de uma centena de regiões vitícolas de 30 países. A caracterização utiliza 3 índices climáticos vitícolas sintéticos e complementares (índice de seca - disponibilidade hídrica do solo, índice heliotérmico e índice de frio noturno - nictotérmico). Os conceitos de *clima vitícola*, de *grupo climático* e de *clima vitícola à variabilidade intra-anual* são propostos. Os grupos climáticos das regiões vitícolas a nível mundial são descritos. Uma classificação climática multicritério para a viticultura mundial é proposta com base em classes estabelecidas para cada um dos 3 índices climáticos. O estudo metodológico desenvolvido nesta escala foi aplicado nos outros 2 níveis de escala desta pesquisa;

2) na escala do mesoclima de uma rede de 18 vinhedos experimentais da cultivar Syrah situados em diversas denominações de origem do sul da França: a análise é feita sobre os grupos climáticos e sobre a variabilidade interanual do clima vitícola das safras 1994, 1995 e 1996. Uma modelização da qualidade da uva é apresentada. Os elementos maiores da tipicidade dos vinhos são analisados em relação aos grupos climáticos por intermédio de um conjunto de variáveis climáticas e agrônômicas;

3) na escala da denominação de origem (A.O.C.) *Muscat de Ventoux*, no departamento de Vaucluse, no sul da França, os grupos climáticos são identificados. Os fatores climáticos responsáveis pela tipicidade da uva de mesa Moscatto de Hamburgo, relativamente à cor e aroma são identificados. Uma classificação das zonas e o estabelecimento de critérios climáticos para a delimitação das áreas a serem demarcadas para integrar a denominação de origem são propostos.

O trabalho apresenta uma validação metodológica e uma contribuição à caracterização climática das regiões vitícolas, abrindo uma perspectiva concreta para a explicação dos elementos da tipicidade da uva e dos vinhos em função da zona climática, do *terroir* e do sistema de produção.

Palavras-chave: videira, macroclima, mesoclima, índices climáticos, classificação climática, qualidade, tipicidade, vinho, denominação de origem, zoneamento, *terroir*, Syrah, Moscatto de Hamburgo

Unité de Formation et Recherche de Viticulture

École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - E.N.S.A.-M
2, place Pierre Viala - 34 060 - Montpellier - Cedex 1, France

¹ EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho-CNPUV
Rua Livramento, 515 - 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil
e-mail: tonietto@cnpuv.embrapa.br

RESUMEN

Los macroclimas vitícolas mundiales y la influencia del mesoclima sobre la tipicidad de la Syrah y del Moscatel de Hamburgo en el sur de Francia

- metodología de caracterización -

Jorge Tonietto¹

La investigación se centra principalmente en la metodología de caracterización de los climas vitícolas y se desarrolló a 3 niveles de escala:

1) a escala mundial, se presenta una caracterización de la diversidad macroclimática de un centenar de regiones vitícolas en 30 países. Utiliza 3 índices climáticos vitícolas de síntesis y complementarios (índice de sequía - disponibilidad hídrica del suelo, índice heliotérmico e índice de frío nocturno - nictotérmico). Se proponen los conceptos de *clima vitícola*, de *grupo climático* y de *clima vitícola de variabilidad intra-anual*. Se describen los grupos climáticos de las regiones vitícolas a nivel mundial. Se propone una clasificación climática multicriterios para la viticultura mundial, sobre la base de clases establecidas para cada uno de los índices climáticos. En esta investigación, la metodología desarrollada a esta escala mundial se retomó en otros 2 niveles;

2) a escala del mesoclima de una red de 18 parcelas del cepaje Syrah de varias denominaciones de origen en el sur de Francia. El análisis se hace sobre los grupos climáticos y sobre la variabilidad interanual del clima vitícola de las cosechas 1994, 1995 y 1996. Se presentan modelos de calidad de uva. Se relacionan los principales elementos de la tipicidad de los vinos con los grupos climáticos a través de un conjunto de variables climáticas y agronómicas;

3) a escala de la denominación de origen (A.O.C.) Muscat du Ventoux, departamento de Vaucluse, en el sur de Francia, se evidencian los grupos climáticos. Se identifican, a nivel de color y de aroma, los factores mesoclimáticos responsables de la tipicidad de la uva de mesa Moscatel de Hamburgo. Se proponen una clasificación zonal y la puesta a punto de los criterios climáticos para la delimitación parcelaria.

Este trabajo aporta una validación metodológica y una contribución a la caracterización climática de los viñedos, abriendo una perspectiva concreta para la explicación de los elementos de la tipicidad de los vinos en función de la zona climática, del terroir y del sistema de cultivo.

Palabras claves: vid, macroclima, mesoclima, índices climáticos, clasificación climática, calidad, tipicidad, vino, denominación de origen, zonificación, terroir, Syrah, Moscatel de Hamburgo.

Unité de Formation et Recherche de Viticulture
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - E.N.S.A.-M
2, place Pierre Viala - 34 060 - Montpellier - Cedex 1, France

¹ EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho-CNPUV
Rua Livramento, 515 - 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil
e-mail : tonietto@cnpuv.embrapa.br

S U M M A R Y

The vineyard macroclimates in the world and the influence of the mesoclimate on the "typicity" of Syrah and Muscat of Hamburg in the South of France - methodology of characterization -

Jorge TONIETTO ¹

This research firstly concerns the methodology of characterization of the vineyard climates. It was developed at 3 scale levels :

1) at a scale of the vineyard macroclimates in the world, a characterization of the diversity of the macroclimates of a hundred of vinegrowing regions from 30 countries is presented. The characterization uses 3 synthetic climatic index (Dryness index - potential water balance of the soil, Heliothermic index, and Cool night index). The concepts of *vineyard climate*, *climatic group* and *vineyard climate with intra-annual variability* are proposed. The climatic groups of the vinegrowing regions of the world are described. A multicriterion climatic classification for the world grapegrowing regions is proposed using classes of each of all 3 climatic indexes. The methodological aspects developed at this scale level are also used at the 2 other scales ;

2) at the scale of the mesoclimate, a network of 18 experimental vineyards of Syrah variety and belonging to several Appellations (A.O.C.) in South of France is managed. The analysis discriminates the climatic groups and the interannual variability of the vineyard climates for 1994, 1995 and 1996 vintages. Some elements of grape quality are modeled. The main elements of the "typicity" of the vines are analyzed in relation to climatic groups using some climatic and agronomic variables;

3) at the scale of the *A.O.C. Muscat de Ventoux*, Vaucluse department, in south of France, the climatic groups are described. The mesoclimatic factors responsible for the "typicity" of the table grape Muscat of Hamburg - colour and flavour, are identified. A classification of the zones and a climatic criterion for vineyard zoning in the Appellation are proposed;

This research offers a methodological validation and a contribution to the climatic characterization of the grapegrowing regions with a perspective for the explication analysis of the elements of the "typicity" of the grapes and wines in respect of the climatic zone, terroir and cultural management.

Key-words : vine, macroclimate, mesoclimate, climatic index, climatic classification, quality, "typicity", wine, Appellation, zoning, terroir, Syrah, Muscat of Hamburg

Unité de Formation et Recherche de Viticulture
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - E.N.S.A.-M
2, place Pierre Viala - 34 060 - Montpellier - Cedex 1, France

¹ EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho-CNPV
Rua Livramento, 515 - 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brazil
e-mail : tonietto@cnpv.embrapa.br

**Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat
sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France**
- méthodologie de caractérisation -

Jorge TONIETTO ¹

R É S U M É - La recherche concerne en premier la méthodologie de caractérisation du climat des vignobles ; elle a été développée à 3 niveaux d'échelle :

1) à l'échelle du macroclimat viticole mondial, une caractérisation de la diversité du macroclimat d'une centaine de régions viticoles dans 30 pays est présentée. Elle utilise 3 indices climatiques viticoles synthétiques (indice de sécheresse, indice héliothermique et indice de fraîcheur des nuits - nycthermique). Les concepts de climat viticole, de groupe climatique et de climat viticole à variabilité intra-annuelles sont proposés. Les groupes climatiques des régions viticoles au plan mondial sont décrits. Une classification climatique multicritères pour la viticulture mondiale est proposée sur la base de classes pour chacun des 3 indices climatiques. L'approche méthodologique développée à cette échelle a été reprise aux 2 autres niveaux d'échelle de cette recherche ;

2) à l'échelle du mésoclimat d'un réseau de 18 parcelles du cépage Syrah sur plusieurs A.O.C. dans le sud de la France. L'analyse porte sur les groupes climatiques et sur la variabilité interannuelle du climat viticole des millésimes 1994, 1995 et 1996. Des modèles de qualité du raisin sont présentés. Les éléments majeurs de la typicité des vins sont mis en relation avec les groupes climatiques au travers d'un ensemble de variables climatiques et agronomiques ;

3) à l'échelle de l'A.O.C. Muscat du Ventoux, département de Vaucluse, dans le sud de la France, les groupes climatiques sont mis en évidence. Les facteurs mésoclimatiques responsables de la typicité du raisin de table Muscat de Hambourg, au niveau de la couleur et de l'arôme sont identifiés. Un classement des zones et la mise au point des critères climatiques pour la délimitation parcellaire de l'A.O.C. sont proposés.

Ce travail apporte une validation méthodologique et une contribution à la caractérisation climatique des vignobles en ouvrant une perspective concrète sur l'explication des éléments de la typicité des vins en fonction de la zone climatique, du terroir et du système de culture.

Mots-Clés : vigne, macroclimat, mésoclimat, indices climatiques, classification climatique, qualité, typicité, vin, A.O.C., zonage, terroir, Syrah, Muscat de Hambourg.

Unité de Formation et Recherche de Viticulture
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - E.N.S.A.-M
2, place Pierre Viala - 34 060 - Montpellier - Cedex 1 - France

¹ EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho - CNPUV
Rua Livramento, 515 - 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brésil
e-mail : tonietto@cnpuv.embrapa.br