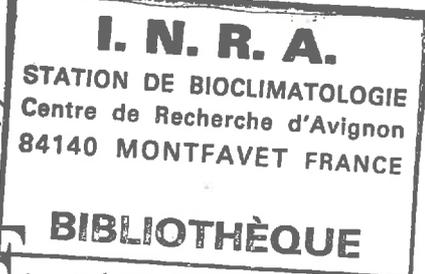


3<sup>ème</sup> CYCLE

d'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

N° d'ORDRE : 6



**THÈSE**

BiTH 14

18 AVR. 1980

PRESENTEE

**A L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX II**

POUR OBTENIR LE DIPLÔME DE

**DOCTEUR-INGÉNIEUR**

EN

OENOLOGIE - AMPELOGIE

par

**Alain CARBONNEAU**

STATION DE RECHERCHES DE VITICULTURE

I.N.R.A. PONT DE LA MAYE

RECHERCHE SUR LES SYSTEMES DE CONDUITE DE LA VIGNE :  
ESSAI DE MAÎTRISE DU MICROCLIMAT ET DE LA PLANTE ENTIÈRE  
POUR PRODUIRE ECONOMIQUEMENT DU RAISIN DE QUALITE

Soutenue le 2 octobre 1980, devant la Commission d'Examen :

MM. P. RIBEREAU-GAYON, Professeur à l'Université de Bordeaux II,  
Correspondant de l'Institut.....

R. BESSIS, Professeur à l'Université de Dijon .....

J. BOUARD, Professeur à l'Université de Bordeaux I.....

J. FALLOT, Professeur à l'E.N.S.A.T. Toulouse .....

R. POUGET, Directeur de Recherches à l'I.N.R.A. ....

G. SEGUIN, Professeur à l'Université de Bordeaux II....

A ma famille,

A mes Collègues de travail, notamment les membres du  
Groupe d'Etude des Systèmes de Conduite,

A mon ami Dick SMART,

Je dédie cette tentative de compréhension de la complexité  
biologique.

" Il n'est désir plus naturel que le désir de connoissance.  
Nous essayons tous les moyens qui nous y peuvent mener.  
Quand la raison nous faut, nous y employons l'expérience,  
qui est un moyen plus foible et moins digne ; mais la vé-  
rité est chose si grande, que nous ne devons desdaigner  
aucune entremise qui nous y conduise. La raison a tant de  
formes, que nous ne sçavons à laquelle nous prendre; l'ex-  
périence n'en a pas moins. La conséquence que nous voulons  
tirer de la ressemblance des évènements est mal seure, d'  
autant qu'ils sont toujours dissemblables : il n'est aucune  
qualité si universelle en cette image des choses que la di-  
versité et la variété "

MONTAIGNE - Essais - Livre III  
Chapitre XIII

## REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement le Jury d'examen de cette thèse qui nous fait l'honneur de la critiquer :

- . M. RIBEREAU-GAYON P., Directeur de l'Institut d'Oenologie de l'Université de Bordeaux II, Correspondant de l'Institut, Président de ce Jury
- . M. BESSIS R., Professeur à l'Université de Dijon
- . M. BOUARD J., Professeur à l'Université de Bordeaux I
- . M. FALLOT J., Professeur à l'E.N.S.A.T. Toulouse
- . M. POUGET R., Directeur de la Station de Viticulture I.N.R.A. de la Grande Ferrade
- . M. SEGUIN G., Professeur à l'Institut d'Oenologie de l'Université de Bordeaux II

Nous tenons aussi à remercier spécialement les personnes qui nous ont aidé dans l'élaboration de ce travail :

Pour leurs initiatives et leurs conseils dans l'orientation de l'étude :

- . M. RIVES M., Chef du Département Génétique et Amélioration des Plantes I.N.R.A.
- . M. POUGET R., Directeur de la Station de Viticulture I.N.R.A. de la Grande Ferrade

Pour leur collaboration compétente et permanente :

- . M. CASTERAN P., Ingénieur I.N.R.A. responsable du domaine du Grand Parc à Latresne
- . M. LECLAIR Ph., Ingénieur I.N.R.A.

Pour l'enseignement précieux de leur expérience :

- . M. SMART R.E., Chercheur et Professeur de Viticulture à Roseworthy (Australie)
- . M. SHAULIS N.J., Chercheur et Professeur de Viticulture à Geneva (U.S.A.)
- . M. CHARTIER Ph., Chef du Département de Bioclimatologie - I.N.R.A.

Pour leur autorisation d'accès à leurs données ou à leur matériel :

- . M. SEGUIN G., Professeur à l'Institut d'Oenologie de Bordeaux II
- . M. DELAS J., Directeur de la Station d'Agronomie I.N.R.A. de la Grande Ferrade
- . M. DECOMBE Ph., Professeur à l'E.N.I.T.A. Bordeaux
- . M. BUSSET, Observatoire de l'Université de Bordeaux I à Floirac
- . M. GINOUVES, C.E.T.E.G.R.E.F. de Gazinet
- . M. PRUDHOMME, Château Mouton-Rotschild

Pour leurs commentaires détaillés lors des dégustations de vins :

- . Les personnes du collège de dégustateurs citées dans ce travail

Pour leur participation efficace et consciencieuse :

- . Les techniciens de la Station de Viticulture de la Grande Ferrade et du Domaine du Grand Parc à Latresne
- . Les étudiants stagiaires intéressés par les systèmes de conduite

Pour leur travail soigné dans la mise en forme de ce travail :

- . Mme BRUNET Ch., secrétaire, Station de Viticulture I.N.R.A. de la Grande Ferrade
  - . Mme KARRASCH N., secrétaire, Station de Viticulture I.N.R.A. de la Grande Ferrade
  - . M. HEVIN M., technicien, Station de Viticulture I.N.R.A. de la Grande Ferrade.
-

# T A B L E   D E S   M A T I E R E S

	<u>Pages</u>
AVANT PROPOS . . . . .	1
INTRODUCTION . . . . .	2
HISTORIQUE . . . . .	4
. BIOCLIMATOLOGIE . . . . .	4
. PHYTOTECHEMIE . . . . .	7
ORIENTATION GLOBALE DE LA METHODOLOGIE . . . . .	14

PREMIERE PARTIE

ANALYSE DES PARAMETRES MICROCLIMATIQUES DANS  
DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE

CHAPITRE I - ETUDE THEORIQUE DE L'EFFET DE LA POSITION DES CAPTEURS DE LUMIERE

1.1. JUSTIFICATION DE L'ETUDE . . . . .	22
1.2. BASE DE CALCUL . . . . .	23
1.3. RESULTATS CONCERNANT LE RAYONNEMENT DIRECT . . . . .	25
1.3.1. Etude des courbes d'éclairement en fonction des heures de la journée . . . . .	25
1.3.2. Etude de l'éclairement total journalier . . . . .	34
1.4. APPLICATIONS . . . . .	37

CHAPITRE II - SUPPORT EXPERIMENTAL CREE PAR LES SYSTEMES DE CONDUITE

2.1. CHOIX DES SYSTEMES DE CONDUITE . . . . .	39
2.2. DESCRIPTION DES FORMES DE COUVERTS . . . . .	40
2.3. TYPES DE TAILLE ET NIVEAUX DE CHARGE . . . . .	49
2.4. ALIMENTATION EN EAU . . . . .	49
2.5. SCHEMA GENERAL DE L'ESSAI . . . . .	50

CHAPITRE III - METHODES et TECHNIQUES D'ANALYSE du  
MICROCLIMAT

3.1. DETERMINATION DU MICROCLIMAT LUMINEUX . . . . .	51
3.1.1. Choix des techniques de base . . . . .	51
3.1.2. Cellule photoelectrique P.A.R. . . . .	53
3.1.3. Photographies hémisphériques . . . . .	56
3.2. DETERMINATION DU MICROCLIMAT THERMIQUE . . . . .	60
3.2.1. Le matériel . . . . .	60
3.2.2. Les mesures . . . . .	61
3.3. DETERMINATION DU MICROCLIMAT HYDRIQUE DU SOL . . . . .	63
3.3.1. Le principe . . . . .	63
3.3.2. Les profils hydriques . . . . .	66

CHAPITRE IV - (RESULTATS) - VARIATION DE L'ENERGIE LUMINEUSE EN  
FONCTION DU COUVERT

4.1. AU NIVEAU DES FEUILLES . . . . .	67
4.1.1. Microclimat lumineux moyen des diverses formes de couverts . . . . .	67
4.1.2. Extinction du rayonnement perçu dans le feuillage	69
4.1.3. Répartition de l'éclairement à différents ni- veaux du couvert . . . . .	71
4.2. AU NIVEAU DES GRAPPES . . . . .	74
4.3. EFFETS DES DIVERS CLIMATS JOURNALIERS . . . . .	76
4.4. EVOLUTION DU MICROCLIMAT LUMINEUX AU COURS DE LA CROISSANCE . . . . .	78
4.5. INFLUENCE DE LA TAILLE ET DE LA CHARGE . . . . .	80

CHAPITRE V - (RESULTATS) - ESTIMATION DE L'ENERGIE SOLAIRE RECUE  
DANS LE COUVERT AU MOYEN D'UN INDEX FOLIAIRE "E"

5.1. DEFINITION DE L'INDEX FOLIAIRE . . . . .	82
5.1.1. Le premier élément est le simple schéma de la section transversale du couvert . . . . .	83
5.1.2. Le second paramètre est le nombre de bourgeons (ou de sarments) par mètre de rang "N" . . . . .	83
5.1.3. Le troisième élément est la distance de planta- tion sur le rang . . . . .	83
5.1.4. Le quatrième paramètre représentatif de la vi- gueur est la surface foliaire "F" par unité de longueur de tige "L", donc $\frac{F}{L}$ . . . . .	84

5.2. PORTEE DE L'UTILISATION DE L'INDEX FOLIAIRE "E" . . .	86
5.3. SURFACE FOLIAIRE ECLAIREE PAR UNITE DE SURFACE AU SOL . . . . .	87
5.4. CONSEQUENCES PRATIQUES . . . . .	89
5.4.1. La forme du couvert . . . . .	89
5.4.2. L'espacement sur le rang . . . . .	90
5.4.3. La charge par mètre de rang "N" . . . . .	90
5.4.4. L'entassement foliaire " $\frac{F}{L}$ " . . . . .	91

CHAPITRE VI - (RESULTATS) - VARIATION DE LA TEMPERATURE EFFECTIVE DES FEUILLES ET DES BAIES EN FONCTION DU COUVERT

6.1. AU NIVEAU DES FEUILLES . . . . .	92
6.1.1. Microclimat thermique moyen des diverses formes de couvert . . . . .	92
6.1.2. Données extrêmes et fluctuations du microclimat thermique . . . . .	96
6.2. AU NIVEAU DES RAISINS . . . . .	97
6.2.1. Microclimat thermique moyen des diverses formes de couvert . . . . .	97
6.2.2. Données extrêmes et fluctuations du microclimat thermique . . . . .	99

CHAPITRE VII - (RESULTATS) - VARIATION DE LA CONSOMMATION REELLE EN EAU AU NIVEAU DU SOL EN FONCTION DU COUVERT

7.1. EVOLUTION SAISONNIERE DES PROFILS HYDRIQUES DANS LA PARCELLE . . . . .	102
7.2. EVAPOTRANSPIRATION REELLE SAISONNIERE DES DIVERS SYSTEMES . . . . .	106

CONCLUSIONS DE LA PARTIE MICROCLIMATIQUE . . . . . 110

<p>DEUXIEME PARTIE BIOLOGIE CLASSIQUE DE LA PLANTE ENTIERE DANS DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE</p>
---

CHAPITRE I - METHODES D'ANALYSES STATISTIQUES DES CONSEQUENCES AGRONOMIQUES INDUITES PAR LES SYSTEMES DE CONDUITE

1.1. MODELES STATISTIQUES FONDAMENTAUX . . . . .	115
--	-----

1.1.1.	Elaboration du modèle d'analyse des effets des traitements . . . . .	115
1.1.2.	Critique des conséquences . . . . .	117
1.1.3.	Précautions à prendre . . . . .	118
1.1.4.	Elaboration du modèle de calcul des régressions et corrélations . . . . .	121
1.2.	METHODES DE CALCUL BIOMETRIQUE . . . . .	123
1.2.1.	Problèmes généraux . . . . .	123
1.2.2.	Structures des populations de données . . . . .	124
1.2.3.	Schéma de comparaisons orthogonales . . . . .	125
1.2.4.	Analyses complexes . . . . .	127
1.3.	CAS PARTICULIER DES DEGUSTATIONS DE VINS . . . . .	129
1.3.1.	La vue . . . . .	129
1.3.2.	L'odorat . . . . .	130
1.3.3.	Le goût . . . . .	131
1.3.4.	Synthèse générale . . . . .	132

CHAPITRE II - (RESULTATS) - EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LA PARTIE VEGETATIVE

	RESULTATS CONCERNANT LE POIDS DES BOIS DE TAILLE /M <sup>2</sup>	135
2.1.	Les systèmes de conduite principaux . . . . .	135
2.2.	L'irrigation . . . . .	139
2.3.	La longueur du bois de taille . . . . .	139
2.4.	Le niveau de charge en bourgeons . . . . .	139

CHAPITRE III - (RESULTATS) - EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LA PARTIE PRODUCTRICE

3.1.	RESULTATS CONCERNANT LE NOMBRE DE GRAPPES A LA VENDANGE / m <sup>2</sup> . . . . .	141
3.1.1.	Les systèmes de conduite principaux . . . . .	141
3.1.2.	L'irrigation . . . . .	145
3.1.3.	La longueur du bois de taille . . . . .	145
3.1.4.	Le niveau de charge en bourgeons . . . . .	145
3.2.	RESULTATS CONCERNANT LE POIDS DE RECOLTE (kg/m <sup>2</sup> ) . . . . .	146
3.2.1.	Les systèmes de conduite principaux . . . . .	146
3.2.2.	L'irrigation . . . . .	149
3.2.3.	La longueur du bois de taille . . . . .	149
3.2.4.	Le niveau de charge en bourgeons . . . . .	149

3.3. LA GROSSEUR MOYENNE DE LA GRAPPE . . . . .	149
---	-----

CHAPITRE IV - ( RESULTATS ) EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LA  
MATURATION DU RAISIN

4.1. RESULTATS CONCERNANT L'INDICE REFRACTOMETRIQUE DU MOÛT A LA VENDANGE . . . . .	151
4.1.1. Les systèmes de conduite principaux . . . . .	151
4.1.2. L'irrigation . . . . .	157
4.1.3. La longueur du bois de taille . . . . .	158
4.1.4. Le niveau de charge en bourgeons . . . . .	158
4.2. RESULTATS CONCERNANT L'ACIDITE TOTALE DU MOÛT A LA VEN- DANGE . . . . .	158
4.2.1. Les systèmes de conduite principaux . . . . .	162
4.2.2. L'irrigation . . . . .	163
4.2.3. La longueur du bois de taille . . . . .	164
4.2.4. Le niveau de charge en bourgeons . . . . .	164

CHAPITRE V -(RESULTATS ) - EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LES  
LIAISONS ENTRE PARAMETRES . . . . .

5.1. Le poids des bois de taille par cep . . . . .	171
5.2. Le nombre de grappes par cep . . . . .	171
5.3. Le poids de récolte par cep . . . . .	177
5.4. L'indice réfractométrique du moût à la vendange . . . . .	183
5.5. L'acidité totale du moût à la vendange . . . . .	189

CHAPITRE VI - ( RESULTATS ) - EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LA  
QUALITE DU VIN

6.1. RESULTATS FOURNIS PAR LA FICHE STANDARD DE DEGUSTATION .	195
6.1.1. La couleur . . . . .	195
6.1.2. Le bouquet . . . . .	198
6.1.3. Le goût simple d'attaque . . . . .	199
6.1.4. Le goût complexe de fin . . . . .	199
6.1.5. La note globale . . . . .	201
6.2. RELATION ENTRE LA QUALITE DU VIN ET LA COMPOSITION DU RAISIN . . . . .	202
6.2.1. Les sucres . . . . .	202
6.2.2. Les acides . . . . .	203
6.2.3. Les polyphénols et les arômes . . . . .	203

CHAPITRE VII - CONCLUSION DE LA PARTIE "BIOLOGIE CLASSIQUE  
DE LA PLANTE ENTIERE" . . . . . 206

TROISIEME PARTIE  
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS et APPLICATIONS TECHNICO-ECONOMIQUES : LES  
SYSTEMES EN "LYRE"

I - IDEES PRINCIPALES . . . . . 210

II - CRITIQUE ET PORTEE DES RESULTATS . . . . . 213

III - APPLICATIONS SOCIO-ECONOMIQUES . . . . . 215

    1. La lyre ouverte . . . . . 217

    2. La lyre tronquée . . . . . 217

    3. La lyre fermée . . . . . 222

    4. Les lyres érigées . . . . . 222

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . . . . . 226

---

AVANT PROPOS
--------------

Trois réflexions principales ont éclairé ce travail :

- La vigne, en tant que liane, constitue un modèle d'étude très souple afin d'induire des formes diverses génératrices de variations microclimatiques.
  - La viticulture, en raison de l'importance qu'elle donne à l'analyse des interactions et des compétitions, crée un support intéressant pour le développement de la Biologie de la plante entière.
  - Le vin, au niveau des conditions écologiques françaises, doit présenter une certaine qualité d'ordre aromatique et polyphénolique notamment, dont la garantie repose sur l'obtention de systèmes de conduite économiques et réguliers dans cette optique.
-

## INTRODUCTION

Ce travail représente l'analyse de résultats microclimatiques et agronomiques obtenus dans le cadre du programme de recherches sur les systèmes de conduite de la Vigne qui nous a été fixé en Décembre 1973 par RIVES et POUGET.

L'évènement déclencheur de cette activité a été l'extension des "vignes larges à plan unique de palissage", notamment en Bordelais, qui présentent des avantages culturels mais aussi des inconvénients sur le plan de la qualité œnologique.

L'orientation générale des essais établis pour étudier ce problème tient compte à la fois de la nécessité de mettre au point une méthodologie expérimentale, voire même une attitude scientifique, et aussi de trouver rapidement quelques solutions phytotechniques aux difficultés actuelles de la Viticulture en France.

Le terme de "système de conduite" de la Vigne mérite d'être précisé avant toute chose. Il représente une synthèse de deux expressions viticoles : le "mode de conduite" c'est à dire le palissage ou la structure de la végétation, et le "système cultural" comprenant l'ensemble des opérations d'établissement et d'entretien du vignoble.

Le système de conduite englobe : la densité de plantation, l'orientation du rang, la hauteur du tronc, le type de taille, le niveau de charge en bourgeons, la forme du couvert végétal ou le palissage des sarments, le dégagement de la zone des grappes, l'équilibre entre la partie végétative et la partie productrice (tailles en vert dont le rognage, effeuillage, éclaircissage des grappes).

Nous développerons l'importance des effets filtrants majeurs que le système de conduite ou le couvert végétal exercent sur le mésoclimat local; puis nous analyserons les multiples conséquences agronomiques des effets microclimatiques induits au niveau des divers organes de la plante par les systèmes de conduite étudiés; enfin, nous étudierons les idées de nouveaux systèmes de conduite de la Vigne en y incluant des éléments économiques ainsi que l'extension possible aux plantes ligneuses pérennes.

Une approche de l'étude physiologique du comportement de la plante entière sera présentée ultérieurement et comprendra des éléments enregistrés dans les essais décrits ici, complétés par d'autres expériences visant à mieux connaître le fonctionnement de la biologie de la vigne. Toutefois, le travail présenté ici vise une première approche de ce que l'on pourrait appeler l'Ecologie quantitative.

Avant de traiter les problèmes annoncés, il convient de décrire la situation historique qui nous a conduit à entreprendre ces expériences, ainsi que de définir l'attitude scientifique globale adoptée au cours de ce travail.

---

## HISTORIQUE

Afin de justifier notre double analyse, microclimatique et agronomique, des systèmes de conduite, il est intéressant de suivre le progrès des connaissances d'abord en bioclimatologie, puis en phytotechnie chez la Vigne.

### - BIOCLIMATOLOGIE -

Les études concernant l'influence sur cette plante des paramètres climatiques principaux, ont déjà abouti à des résultats nombreux.

L'empirisme séculaire a progressivement élaboré certaines notions qui ont été cristallisées en quelques premières synthèses par FOEX (1895), RAVAZ (1909), VIALA et VERMOREL (1910).

En particulier, la définition des limites Nord et Sud de culture de la Vigne et la nécessité pour obtenir un raisin mûr et un vin de qualité, d'un minimum d'énergie lumineuse, de chaleur et de sécheresse, ont été mises en exergue.

Cette définition du seuil minimum est généralement accompagnée de celle d'une limite maximum pour ces mêmes paramètres, au-delà de laquelle il est impossible d'obtenir finesse aromatique et équilibre des constituants du vin.

Les auteurs insistent également sur l'importance du mésoclimat (appelé alors microclimat) qui peut modifier notablement le climat général ou régional, notamment dans des situations limites. Il s'agit du rôle de l'altitude, de la pente des terrains, de l'exposition des parcelles, de la proximité de rochers, plans d'eau et forêts, de la couleur et de l'aspect caillouteux du sol.

Par la suite, la principale tendance a été de tenter de quantifier ces idées générales, d'une part en chiffrant les limites extrêmes ou moyennes des paramètres fondamentaux (ensoleillement, température, pluviométrie, vent etc...) et d'autre part en proposant des indices synthétiques ou des climogrammes de ces diverses composantes.

Dans la première optique, il convient de citer, concernant la production et la maturation des raisins : BRANAS, BERNON et LEVADOUX (1946), WINKLER *et al* (1974), notamment pour les "degrés-jours", KONDO (1963), RIBEREAU-GAYON J. *et al* (1975), SPIEGEL-ROY et BRAVDO (1964) surtout pour la sécheresse, ZULUAGA *et al* (1968), GALET (1970), SEGUIN (1971), KARANTONIS (1971), HUGLIN (1972), BRANAS (1974), WAGNER (1974), WINKLER *et al* (1974), NIGOND (1977), BOUBALS (1978), BUDAN *et al* (1978 a et b), VERES *et al* (1978), OSLOBEAUNU *et al* (1978) ; concernant la température et le cycle végétatif : POUGET (1963), ANDERSON *et al* (1978).

Dans la seconde optique, les points les plus marquants sont à mettre à l'actif de BRANAS *et al* (1946) et BRANAS (1974) pour les indices hélio et hydrothermiques, GALET (1970) présentant les indices de MARTONNE, de EMBERGER, de GAUSSEN et BAGNOULS; PEYNAUD (1971) utilisant les climogrammes de GADILLE, CONSTANTINESCU (1945) pour l'indice hélioclimatique, NIGOND (1977) pour des climogrammes fondés sur quelques aspects agronomiques, BUDAN et POPA (1978) pour des indices édaphoclimatique et hydrohéliothermique, HUGLIN (1978) pour un indice héliothermique donnant plus de poids aux températures maximales de façon à mieux représenter les températures diurnes.

Ces travaux, qui ont connu un regain d'intérêt avec le développement de l'Ecologie, concernent le climat général en liaison avec la délimitation des grandes zones et régions viticoles pour laquelle les méthodes précitées fournissent des résultats valables sur des écarts climatiques importants.

Au niveau de l'étude de l'influence du mésoclimat local ou parcellaire sur le développement de la vigne, les succès ont été moins nets et fréquents, en raison d'une confusion souvent trop grande d'effets divers pouvant avoir des influences comparables à celles de la gamme climatique étudiée.

La difficulté tient d'une part au fait qu'il faut absolument enregistrer toutes les données mésoclimatiques sur place et ne pas assimiler certaines d'entre-elles aux moyennes régionales qui peuvent en être éloignées à cause des effets de situation; et d'autre part, à la nécessité de raisonner sur des variétés et des systèmes cultureux identiques, et aussi sur des plantes qui retiennent toutes une fraction comparable du mésoclimat. Cette dernière condition est indispensable afin de pouvoir assimiler, à une constante près, le mésoclimat au microclimat de la plante elle-même.

En fait, ceci est pratiquement impossible à obtenir, dans la mesure où existent des interactions multiples entre les divers paramètres climatiques et la plante. Par exemple, pour une même variété, un même système culturel, un même niveau d'énergie solaire ambiante, les plantes seront plus ou moins vigoureuses en fonction du régime hydrique. De ce fait, elles capteront plus ou moins d'énergie solaire, alors que, ce dernier paramètre est considéré comme égal au niveau mésoclimatique. Le problème est donc de connaître l'étendue de ce biais.

Une troisième tendance a donc correspondu à cette nécessité de mesurer le climat réel, *in situ*, au niveau de la plante elle-même, en essayant d'analyser le microclimat des organes et des tissus.

Le premier effort dans ce domaine concerne l'étude du microclimat du sol, sous l'angle de l'alimentation en eau. Il a été réalisé par SEGUIN (1965, 1970, 1971) dans les vignobles du Haut-Médoc, et poursuivi par DUTEAU (1976) dans les Côtes de Bourg et par PUCHEU-PLANTÉ (1977) dans le Sauternais.

L'emploi de l'humidimètre à neutrons a permis à ces auteurs d'établir, malgré les difficultés dues à l'hétérogénéité et à la profondeur des sols ainsi qu'à la présence de nappes phréatiques, quelques relations entre l'évapotranspiration réelle et la physiologie de la Vigne. A ce sujet, il a été vérifié qu'une haute qualité des vins est obtenue dans le cas où le sol induit une faible vigueur des sarments et où la vigne semble "souffrir" quelque peu.

Toutefois, SEGUIN (1965, 1970, 1971) a suggéré une autre notion qui est certainement la première idée originale avancée en la matière depuis FOEX (1895), RAVAZ (1909), VIALA et VERMOREL (1910) : il s'agit de la nécessité pour obtenir un vin de qualité, d'une certaine régularité de l'alimentation hydrique (ou de l'absence de "chocs hydriques" importants) tout en maintenant un niveau faible à la limite d'une sécheresse importante.

Il est significatif de noter que cet aspect microclimatique a été abordé pour la première fois en France, mais dans une orientation mésoclimatique liée aux diverses situations traditionnelles des vignobles et aux privilèges bien connus de certaines parcelles. Cette empreinte de la vieille viticulture européenne, liée en particulier aux Appellations, a certainement freiné momentanément l'étude des variations microclimatiques que l'homme lui-même peut provoquer, au-delà des situations figées, au moyen des techniques culturales et notamment grâce aux systèmes de conduite.

C'est en fait dans un pays de jeune Viticulture, aux Etats-Unis, en liaison avec les travaux de SHAULIS *et al* (1965) et avec la mise au point du "Geneva Double Curtain", qu'un chercheur australien, SMART (1973, 1974<sub>b</sub>, 1976) a pour la première fois prouvé que le système de conduite peut modifier notablement le microclimat lumineux du feuillage et influencer fortement sur la production de raisins.

En plus de leur aspect méthodologique (utilisation de modèles et de photographies hémisphériques), ces travaux redonnent de l'importance au rôle de l'énergie solaire reçue par le couvert végétal. Des orientations similaires, liées aux pressions des changements de techniques, peuvent être mises à l'actif de MILLAR (1972), AMIRDZHANOV (1973), DRAGANOV *et al* (1975, 1976 a et b).

Cette voie ouverte au développement de l'innovation technique a été poursuivie dans notre travail en portant l'effort sur deux points essentiels : l'approfondissement de la méthodologie microclimatique, agronomique et biométrique, et l'accent mis sur la qualité du raisin et du vin.

- PHYTOTECHNIE -

Cette continuité dans l'étude de l'influence des paramètres climatiques sur la Vigne, a rejoint, dans notre travail, un autre courant déjà amorcé et lié au développement en France depuis une vingtaine d'années de nouveaux systèmes de conduite. Ce décalage qui existe dans nos conditions entre les études microclimatiques et l'innovation technique, peut être mis sur le compte du poids des traditions précédemment évoqué. Les travaux de BRANAS et CAILLAUD (1970) et de BRANAS (1974) ont surtout eu le mérite de constater cet état de fait plus que de le résoudre.

La mise au point des systèmes de conduite traditionnels a été réalisée de façon progressive et dans un contexte de culture manuelle de la Vigne. L'aboutissement final a été la création de systèmes de conduite adaptés assez strictement à des conditions locales ou régionales particulières et souvent difficiles (climat, sol, parasites), et présentant un faible degré de régularité de structure.

En fait, au cours de cette première phase, l'homme a commencé à domestiquer cette liane qu'est la Vigne, en cherchant souvent par des techniques très personnalisées, à en tirer le meilleur parti agronomique. A ce stade, l'homme s'est souvent adapté lui-même sans ménager sa peine, à la structure complexe que les contraintes du milieu lui imposaient. Ce foisonnement des formes de couvert végétal, de palissages, de types de taille, de niveaux de charge, de formes de tronc, de densités de plantation est évident et présenté notamment par BRANAS *et al* (1946), WINKLER *et al*, (1974), GALET, (1970), WINKLER *et al* (1974), BRANAS (1974).

Depuis une trentaine d'années, l'accélération du progrès dans la maîtrise des multiples parasites de la vigne, de la fertilité des sols et des techniques œnologiques, a résolu bon nombre de problèmes agronomiques en assurant des niveaux de production et aussi de qualité largement suffisants et plus réguliers en dépit de l'influence toujours marquée des variations annuelles.

Cet accroissement de sécurité dans la récolte a favorisé, en diminuant le nombre de contraintes, le développement de structures plus simples en même temps qu'une certaine homogénéisation, visible aussi sur le plan variétal, et aidée par le progrès dans la circulation de l'information. Par exemple, l'abandon, au profit de la taille en Guyot, de la taille longue Médoquine, est lié à la lutte efficace contre les parasites et à l'absence de nécessité de retenir à tout prix les sarments les plus fertiles en bout d'"aste".

Le résultat final a été en France la domination de deux systèmes de conduite traditionnels (CASTERAN, 1971) : le gobelet classique dans la zone méditerranéenne avec un tronc très court, une taille à coursons, sans palissage, à rangs assez étroits pour des densités de plantation de l'ordre de 4000 cep/ha; et ailleurs, la vigne traditionnelle basse, à rangs étroits pour des densités de plantation supérieure à 5000 cep/ha, rognée, palissée sur un plan et taillée en Guyot ou en cordons.

En même temps que les viticulteurs se libéraient de certains problèmes, d'autres contraintes sont apparues dans la mesure où le progrès phytotechnique précédent nécessitait, pour être possible et rentable, une meilleure mécanisation des travaux (entretien du sol, traitements phytosanitaires, vendange, équipements de cave etc...)

La première tendance a consisté à concevoir une mécanisation adaptée à la structure existante du vignoble (tracteurs-vignerons et enjambeurs par exemple). Toutefois, le développement de cette mécanisation, même intégrée aux habitudes culturales, a nécessité un investissement important ainsi qu'une augmentation de la consommation d'énergie. Il a donc fallu trouver le moyen de dégager les ressources nécessaires à cette évolution.

Pour les vignobles produisant un vin de haute qualité et bien rémunéré, ces possibilités financières étaient souvent disponibles, ce qui a permis d'établir un certain équilibre entre la culture classique du vignoble, l'investissement la mécanisation, la production et la qualité des raisins. Il se peut d'ailleurs que ce ne soit là qu'un équilibre provisoire si le contexte économique évolue fortement dans l'avenir.

Pour beaucoup de vignobles où les facilités financières sont moins grandes, les ressources ont dû être dégagées surtout par l'augmentation de la productivité en modifiant la structure elle-même des vignobles, c'est-à-dire en accentuant la dialectique précédente entre l'apparition du progrès et l'adaptation à ce dernier.

Une des toutes premières réactions a consisté à changer le minimum des structures existantes en augmentant les rendements notamment par la charge et la fumure. Toutefois, cette orientation se heurte rapidement, dans nos conditions, aux problèmes de surproduction et de baisse de qualité oenologique, quand elle n'est pas tout simplement illégale. Actuellement dans la plupart des cas, une certaine limite est atteinte dans ces domaines, ce qui rend nécessaire la recherche dans d'autres voies.

Une autre solution a consisté, sous la pression du contexte économique et aussi social, lié à la raréfaction de la main d'oeuvre rurale, à modifier les structures plus avant et notamment le système de conduite. C'est à ce stade que le décrochement est perceptible entre l'évolution technico-économique parfois rapide et le progrès scientifique toujours difficile à promouvoir.

En effet, avant d'en connaître les conséquences sur le microclimat et la physiologie de la Vigne, certains viticulteurs ont bouleversé les systèmes de conduite traditionnels. Ceci a conduit (CASTERAN, 1971; CHAUVET et REYNIER, 1979) notamment, à l'extension des vignes larges à tronc très haut et à port retombant libre : type Sylvoz et Lenz Moser vers 1956 en Europe centrale; systèmes analogues en particulier en Amérique (Hudson River Umbrella) signalés par SHAULIS *et al* (1948, 1950, 1953, 1955, 1964, 1969), en Australie, en Europe de l'Est, et un peu en Europe de l'Ouest et en France.

Une autre évolution parallèle notamment en France et dans le Bordelais (CASTERAN, 1971), a été le développement des vignes larges, hautes, souvent non rognées, à plan unique de palissage et taillées en Guyot double arqué ou en cordons. En fait, la seule idée de base ne reposait sur aucun calcul agronomique, mais consistait à transposer (ou plus simplement encore à modifier, par arrachage de rangs) le système traditionnel des vignes étroites, basses, rognées, taillées en Guyot ou cordons (parfois aussi des types en gobelet), dans des faibles densités de plantation et des rangs larges tout en allongeant le tronc.

Le seul effort réel d'adaptation du système de conduite aux rangs larges a été la pratique de l'arcure des bois de taille (arcure classique ou arcure Faget), afin d'éviter les chevauchements des longs bois de taille sur le rang.

L'effet des rangs larges est certes très avantageux à la fois au niveau de l'établissement du vignoble (où il est possible d'économiser la moitié des plants et de diminuer les trajets au cours de travaux), à celui de l'entretien des parcelles (où le nombre de trajets pour l'entretien du sol, les traitements, et surtout pour la taille et la vendange manuelle ou mécanique est abaissé notablement), enfin à celui de l'adaptation à la mécanisation (où il est fortement intéressant de choisir un matériel standard moins cher ou travaillant plus vite et circulant moins). Au total, la plupart des études économiques effectuées sur ce sujet s'accordent à reconnaître au bénéfice des vignes larges, une économie d'environ 30 % des coûts de production, comprenant une diminution de la consommation d'énergie et des frais de main-d'oeuvre à l'hectare (BRANDT, 1976; REYNIER, 1980; BACHOC, 1977; BOIDRON, 1978). En outre, la pénibilité du travail est diminuée par l'abaissement du nombre de trajets et aussi par l'allongement du tronc.

Mais à ce stade, la dialectique entre l'apparition du progrès et l'adaptation au progrès s'accentue. En effet, les conséquences agronomiques de cette évolution vers les vignes larges, qu'elles soient à port libre ou à plan unique de palissage, n'ont en général pas abouti à tirer le meilleur parti de la physiologie de la plante malgré une surface foliaire plus élevée que chez les vignes traditionnelles. En particulier, elles n'ont pas été favorables à la qualité oenologique traditionnelle pour un rendement à l'hectare donné (ce vin étant moins riche en alcool, moins coloré, moins charpenté, plus acide et plus herbacé que le vin témoin), ni à l'état sanitaire du raisin. C'est notamment ce qui a été montré de façon rigoureuse sur plusieurs années (1963 à 1973) et variétés (*Cabernet-Sauvignon*, *Cabernet Franc*, *Merlot* et *Sauvignon*), au domaine INRA à Latresne par RIVES, CASTERAN et LECLAIR (1973) ;

également sur des vignes larges à plan unique de palissage en comparaison du témoin local, en Alsace par HUGLIN (1977), et dans la zone méditerranéenne par BOUBALS (1962). D'autres expérimentations ont abouti à des conclusions analogues incluant toutefois des différences de rendement : BREJOUX (1962), MATHIEU (1962), ROY (1962), VALAT (1962), LAFON, COUILLAUD, GAY-BELLILE, (1962, 1963, 1965), COUILLAUD et GAY-BELLILE (1964), CORDEAU et DUMARTIN (1973), BOIDRON (1978, BISSON (1980), REMOUE et LEMAÎTRE (1980).

Une des premières réactions, commune à plusieurs auteurs, face à cette baisse de qualité du vin, a été une fois de plus de changer le minimum de structures en atténuant les défauts du système, et de concéder une baisse d'environ 30 % des rendements afin de retrouver un niveau acceptable de qualité œnologique. Cette idée n'a eu aucun vaste succès apparent, car il est évident que cette amputation de rentrées financières annule l'intérêt économique même des vignes larges au niveau des coûts de production. Le seul avantage subsistant alors est la productivité de la main d'oeuvre.

Un autre remède a été proposé par BOUBALS et PISTRE (1964) et a consisté à reculer d'au moins une semaine la date de la vendange. Toutefois, la marge de manoeuvre dans la décision de la date de récolte est souvent très étroite en raison des caprices climatiques, des risques de pourriture et d'égrenage, et de l'étalement des travaux. En outre, il n'est jamais certain que la maturation progresse toujours après la date normale des vendanges. Enfin, l'apparition éventuelle de la surmaturation n'est pas toujours désirable si elle aboutit à une concentration des acides, ce qui ne ferait qu'accentuer le caractère herbacé des vins de vignes larges.

Une dernière réaction de même nature a été de présenter un compromis entre vignes étroites et vignes larges, sous la forme de vignes demi-larges et demi-hautes (BOUBALS *et al.*, 1965; BACHOC, 1977), et aussi d'accroître l'espacement sur le rang. Mais à priori, l'amélioration du microclimat devrait être minime, de même que l'atténuation des défauts des vignes larges. Par contre, il est certain que ces vignes demi-larges doivent être moins rentables que les vignes à grand écartement entre les rangs, en général plus de 3 m.

Une autre attitude a consisté à poursuivre plus avant le changement des structures et à essayer de trouver de nouveaux systèmes de conduite rentables en vignes larges, mais présentant également des avantages agronomiques, quitte à modifier notablement les habitudes dans le domaine du palissage ou de la forme du couvert végétal.

Le chercheur qui a essayé le premier de tirer le meilleur parti de la plante, en trouvant des systèmes de conduite en vignes larges doués également de performances agronomiques intéressantes, a été SHAULIS. La mise au point d'un système retombant avec ouverture de la végétation, le Geneva Double Curtain, et du "shoot positioning" ou "peignage" vers le bas du feuillage (SHAULIS *et al.* 1965, 1966 a,b,c), dans l'état de New York sur *Concord*, a permis de concilier l'augmentation des rendements avec de nombreux avantages culturels. Des performances similaires ont été obtenues sur *Vitis vinifera* L.

(*Sultanine* notamment) en Australie (SHAULIS et MAY, 1971) et en Italie BALDINI et INTRIERI, 1978). En outre, l'Université Cornell (Ithaca, New York) a étudié, pour le rendre accessible aux viticulteurs, les problèmes de mécanisation de travaux ("shoot positioning", prétaille, vendange) liés à ce système.

SMART a, par la suite, analysé le microclimat lumineux du G.D.C. et établi des corrélations avec le rendement (SHAULIS et SMART, 1975; SMART, 1976). Il s'agit ici d'un des premiers points de contact établis entre la bioclimatologie et la phytotechnie chez la Vigne. D'autres auteurs (MILLAR, 1972; AMIRDZHANOV 1973; DRAGANOV *et al*, 1975, 1976 a et b) ont suivi une démarche comparable mais sur des systèmes de conduite moins nouveaux et performants que le G.D.C., et surtout recevant moins d'énergie solaire que ce système.

Ailleurs, ce point de jonction entre bioclimatologie et phytotechnie ne s'est point effectué à ce stade et notamment en France pour les raisons précédemment évoquées. Toutefois, divers auteurs ont suivi des raisonnements analogues à ceux de SHAULIS en tentant d'améliorer dans les vignes larges la réception de l'énergie solaire sans toutefois pousser plus avant l'analyse de la bioclimatologie et de la physiologie comme SHAULIS et SMART. A ce titre, il convient de citer : le système Duplex proposé par OLMO (1980) qui est voisin du G.D.C. mais taillé à long bois au lieu de cordons à coursons et surtout sans "shoot positioning"; toujours en Californie, des systèmes semi-ouverts en forme de "V" plus ou moins hauts et ouverts étudiés par KASIMATIS, LIDER et KLIEWER (1975); des expérimentations comparables en Australie mises en place par HANDRECK (1972), MAY, SAUER et SCHOLEFIELD (1973) et SMART; également des types en forme de "V" en Suisse (LEYVRAZ et SIMON, 1964), en Charente (type "porte-manteaux" de la Station Viticole de Cognac), LAFON *et al*, (1963) et dans la zone de production du Chasselas de Moissac.

Enfin, une proposition plus originale faite par HUGLIN (1977) d'une vigne large à palissage totalement ouvert grâce à des potences ou des cadres métalliques, sur deux plans de feuillage verticaux et parallèles, à port ascendant est intéressante pour la production et la qualité du vin d'Alsace. Il est à noter que de tels types de systèmes ouverts peuvent d'ailleurs encore être rencontrés dans certaines localités (vieux systèmes de l'Entre-deux-mers possédant alternativement un rang très étroit et un rang très large, le Cassone Padovano en Italie) où ils y avaient été estompés par le courant d'homogénéisation précité, peut-être provisoirement d'ailleurs si l'évolution des idées se poursuit.

Notre travail, débuté en 1973, s'inscrit donc dans la simultanéité et la continuité des activités précédentes en réalisant les jonctions entre bioclimatologie et phytotechnie, tout en accentuant les recherches dans trois directions :

- développer l'étude systématique de diverses formes fondamentales de couvert répondant à diverses options économiques
- approfondir la méthodologie et la technologie d'analyse du microclimat et de la physiologie de la Vigne
- insister sur les effets au niveau de la qualité oenologique, en particulier pour les vins rouges.

A ce stade de la description des évènements historiques qui a mis en lumière un mécanisme constant de dialectique entre l'apparition du progrès et l'adaptation à ce dernier, il convient non seulement de justifier notre activité présente, mais également d'essayer de prévoir les tendances futures dans nos conditions, en poussant plus loin le fonctionnement des mécanismes mis en évidence.

A l'heure actuelle, il semble à peu près certain que les pressions socio-économiques gagneront en intensité, notamment en ce qui concerne le problème de l'énergie. Il sera donc sans doute de plus en plus intéressant de recourir à des systèmes de conduite plus économiques, notamment aux vignes larges.

D'autre part, les problèmes de qualité oenologique seront vraisemblablement de plus en plus aigus, d'une part en raison des exigences croissantes des consommateurs, d'autre part, à cause de l'extension de la concurrence internationale, et ce pour les vins d'appellation comme pour les vins de table. Il faudra donc que les systèmes de conduite fournissent une qualité de vin au moins égale à la qualité traditionnelle.

Il se peut aussi que la raréfaction de la main-d'oeuvre rurale pose des problèmes plus aigus encore. Il apparaîtra donc nécessaire que les nouveaux systèmes de conduite puissent être mécanisables à un degré aussi poussé que possible (taille, palissage, vendange), ce qui implique un minimum de régularité de structure, donc de palissage. Dans cette optique le gobelet classique est inadapté. De toutes façons, si la tendance à la mécanisation ne se poursuit pas voire régresse dans l'éventualité d'une pénurie énergétique, ces systèmes seraient aussi parfaitement adaptés à un travail manuel.

L'inconnue qui subsiste concerne surtout l'évolution de l'encépagement. Tout le raisonnement précédent a été bâti sur les performances connues des variétés actuelles. Il est certain que si, dans un avenir à long terme, est obtenu un cépage ne nécessitant pas ou très peu de traitements phytosanitaires, et (ou même seulement) possédant un port bien érigé ainsi que de faibles exigences en énergie solaire pour produire beaucoup de raisins de qualité dans nos conditions (ce qui n'existe évidemment pas à l'heure actuelle), le problème des systèmes de conduite se résumerait alors vraisemblablement à des vignes larges sans forme précise de couvert, donc sans palissage ou avec un minimum de soutien pour permettre la mécanisation des travaux.

Cette vision assez utopique dans l'état actuel des connaissances, peut être jumelée à une autre qui pourrait l'être moins et qui, au contraire, renforcerait l'intérêt des systèmes de conduite en vignes larges, à forme de couvert bien précise, voire à palissage bien structuré. En effet, le coût des traitements phytosanitaires et l'accentuation de la sensibilisation aux problèmes de pollution rend probable pour un avenir à moyen terme, un regain d'intérêt pour les variétés résistantes aux maladies. L'obtention de ces dernières paraît actuellement difficilement conciliable avec un bon niveau de

qualité sur l'ensemble des composés requis pour faire un vin de haute tenue. Dans ces conditions, le système de conduite pourrait, en partie du moins, pallier ces défauts, et voir ainsi son intérêt éventuel amplifié.

L'orientation de notre travail peut donc apparaître justifiée par cette étude historique ainsi que par cette nécessaire tentative de prospective notamment sous l'angle de l'adaptation à l'évolution de l'encépagement des vignobles français. Mais avant de traiter les problèmes micro-climatiques et agronomiques annoncés, il convient de développer la démarche scientifique globale élaborée afin d'essayer de répondre de façon rigoureuse à la demande de nouveaux systèmes de conduite de la vigne.

## ORIENTATION GLOBALE DE LA METHODOLOGIE

L'impression générale retirée au démarrage du programme de recherches sur les systèmes de conduite de la vigne a été que la solution de ce problème était difficilement réductible à une discipline relativement étroite, par exemple l'étude de l'activité photosynthétique.

En effet, le passage des vignes basses, étroites, rognées traditionnelles aux vignes hautes, larges, non rognées à plan unique de palissage, entraîne le plus souvent une baisse sensible de qualité œnologique à rendement par hectare similaire. Quelles en sont les causes et les remèdes éventuels ?

Les perturbations sur la plante créées par ce changement de système de conduite touchent plusieurs niveaux, sans qu'il soit possible d'en privilégier un seul : modification de la longueur des tiges liée à l'absence de rognage; de l'entassement du feuillage et des grappes lié à la forte charge par cep (affectant sans doute le microclimat, la transpiration, la photosynthèse et d'autres activités métaboliques au niveau des acides et des polyphénols); du rang des bourgeons laissés à la taille en raison de l'augmentation de la charge influant sur la fertilité; de la hauteur du tronc changeant le microclimat et peut-être les translocations; de la vigueur individuelle des ceps et de la répartition du système racinaire en fonction de la densité de plantation, pouvant influencer sur le comportement des plantes.

Face à cette complexité, deux attitudes sont possibles :

- limiter le champ d'études, par exemple à la photosynthèse et concentrer tous les moyens techniques et expérimentaux dans cette direction; ceci peut éventuellement mettre en lumière certaines substances, certains sites privilégiés, certains mécanismes de base, mais ne peut évidemment interpréter ni le comportement global de la plante, ni l'ensemble des principaux résultats phytotechniques. Cette remarque est encore étayée par le fait que la plupart de ces techniques d'analyse sont destructrices de la cohérence du système.
- ou bien, élargir le spectre des observations, sans approfondir un secteur particulier jusqu'à l'étude très fine des phénomènes, mais en insistant sur les relations entre tous les secteurs d'activité et en diversifiant les contextes d'étude; la précision et la richesse des mesures dans un secteur précis seront moins grandes que dans le cas précédent, mais il sera éventuellement possible de décrire quelques grandes lignes du comportement de la plante entière et de trouver des applications phytotechniques. Cette approche tend à respecter l'intégrité du système.

Nous avons choisi la seconde attitude non seulement dans le souci de tenter de comprendre, donc de résoudre, le problème technique posé par les systèmes de conduite, mais aussi parce que cette démarche scientifique mérite d'être éprouvée. C'est en tout cas ainsi que l'on pourrait définir la Biologie de la plante entière.

En fait, l'idée centrale de cette discipline est de regrouper des mécanismes biologiques, connus et inconnus, dans un sous-ensemble du système biologique total, dont la taille est fonction du but recherché et de l'état des connaissances fondamentales, et dont ne seront mesurées globalement que les résistances (de la limite et de l'intérieur) au courant des multiples facteurs inducteurs du milieu, ainsi que le lien global avec d'autres sous-ensembles analogues.

Afin d'explicitier cette idée, il convient de replacer la plante dans son milieu naturel, en mentionnant certaines dynamiques filtrantes (DEMARLY, 1975). La figure 1 illustre ces phénomènes.

Pour un génotype considéré et des conditions d'environnement données, en l'absence de tout effet pathologique important, les courants des divers paramètres du mésoclimat sont filtrés dans une plus ou moins grande proportion par les diverses formes géométriques des plantes, créant ainsi une gamme de microclimat de couverts; un deuxième effet filtrant est assuré par la compétition entre ceps liée à l'hétérogénéité au niveau des racines et de la partie aérienne, créant ainsi le microclimat des ceps; un troisième filtre peut être assimilé à l'effet des génotypes qui seront plus ou moins réceptifs à un signal environnemental en fonction de la valeur de l'interaction "génotype x milieu" correspondante .

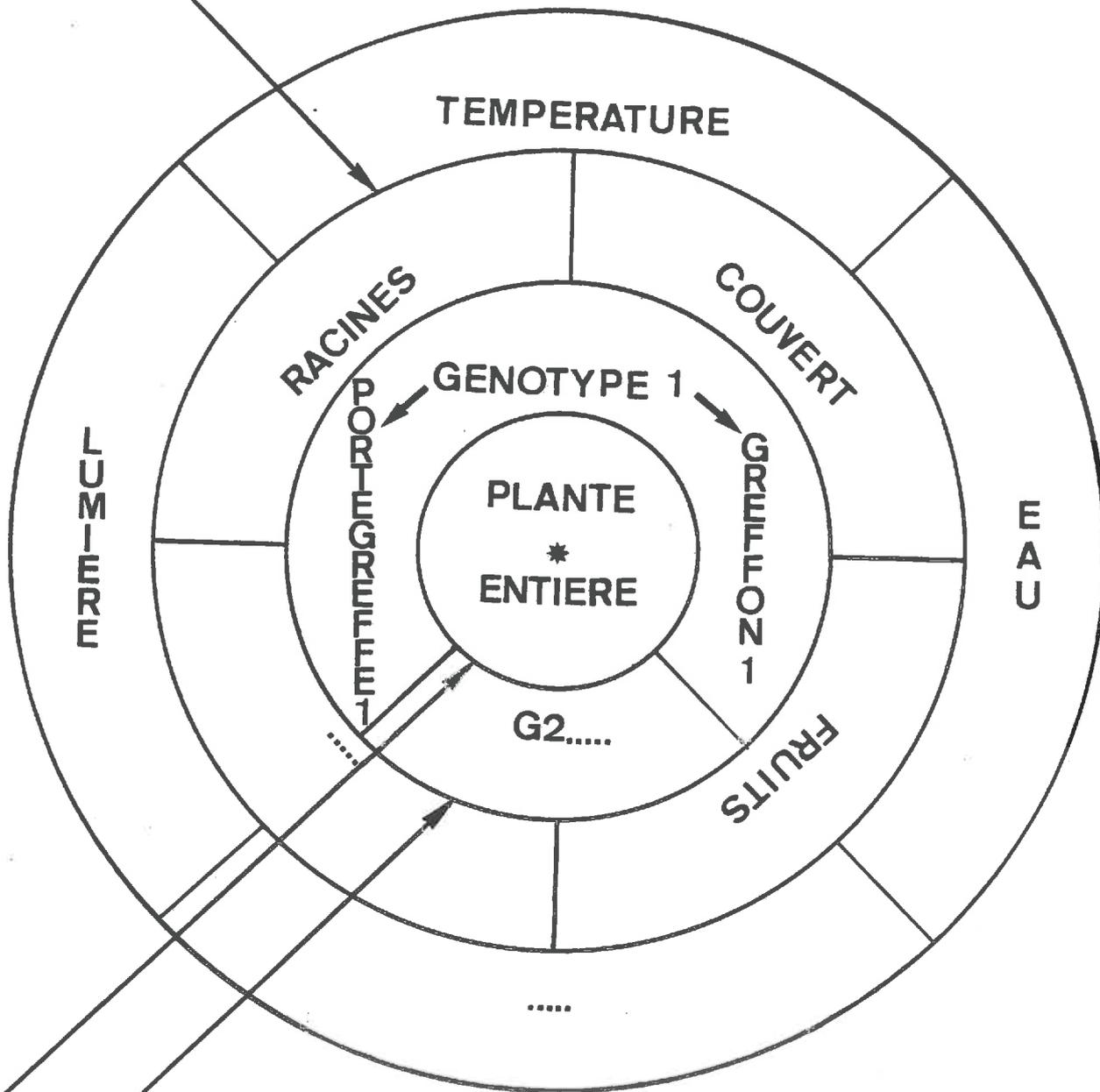
Il est à noter qu'un effet filtrant est la résultante d'un effet d'interception primaire (exemple : pourcentage d'éclairement reçu), d'un effet d'adaptation (exemple : sensibilité à la chaleur qui diminue la croissance et donc l'éclairement total reçu), et d'un effet de retour (exemple : le couvert végétal peut modifier le milieu en induisant plus ou moins d'ombre). Dans cette étude, les facteurs inducteurs importants seront les principaux paramètres du microclimat. Dans d'autres essais il peut s'agir des phénomènes de compétition ou des génotypes; pour ce dernier cas, tous les éléments du système biologique seront alors touchés.

Les signaux mésoclimatiques ainsi filtrés vont agir sur le fonctionnement du système biologique de la plante. Une première approche de l'analyse de ce dernier réside dans l'étude, en conditions naturelles, de l'influence du microclimat sur les paramètres agronomiques classiques qui subdivisent l'ensemble de la plante en trois parties : la vigueur des ceps, la production de raisins, la composition du moût. L'étude des régressions et corrélations entre les paramètres microclimatiques et les éléments précédents fourniront une indication sur les résistances aux facteurs microclimatiques exercées par la plante entière au niveau de la vigueur des ceps, de la production et

FIGURE 1

SCHEMA DES DIVERSES FILTRATIONS EXERCEES SUR LE MILIEU

FILTRATION 1 PAR L'ESPACE VEGETAL SUR LE MILIEU



FILTRATION 2 PAR LES COMPETITIONS ENTRE CEPS

FILTRATION 3 PAR LES INTERACTIONS

'GENOTYPE 1 X MILIEU 1'

de la qualité des raisins; le calcul des régressions et corrélations entre ces derniers éléments estimeront l'importance de certains échanges dans la plante.

Dans cette optique qui tend à privilégier l'étude des liaisons, il est intéressant de multiplier les facteurs inducteurs dans le cadre d'un même essai, en les combinant factoriellement. Dans ces conditions, il est possible de mesurer un phénomène dans tout un ensemble de contextes contrôlés, et d'y noter éventuellement des effets généraux additifs ou des interactions. Cette analyse factorielle procure une information plus riche que la réunion de plusieurs expériences dans des essais différents qui est inapte à l'étude des interactions donc des liaisons entre phénomènes. D'autre part, la multiplicité des observations permet de diminuer fortement le risque d'établir des liaisons trop hâtives entre des phénomènes à évolution parallèle mais non liée en fait, donc de grouper et de dissocier plus précisément les divers éléments.

C'est ce type d'analyse qui sera développé ici. Toutefois, cette approche au niveau des paramètres agronomiques précités, est incomplète afin de bien appréhender le fonctionnement de la plante. Il s'agit en effet, d'une part d'accroître la maîtrise des facteurs du milieu (utilisation de vases de végétation, de phytotrons), et d'autre part, de modéliser la mécanique biologique en fonction de tous les paramètres connus jusqu'à ce jour en créant des sous-ensembles logiques du système avec toutes leurs connexions. A ce niveau les mesures portent sur les résistances limites et internes prises dans leur totalité.

Par exemple, l'activité photosynthétique des feuilles peut être définie par la résistance au  $\text{CO}_2$  de la limite des feuilles  $r_l$  (somme de la résistance de la couche limite  $r_a$ , de la cuticule  $r_c$ , des stomates  $r_s$ , que l'on peut mesurer à l'aide d'un poromètre à diffusion), la résistance interne au  $\text{CO}_2$   $r_i$  (somme de la résistance du mésophylle  $r_m$ , de la résistance à l'excitation  $r_e$ , de la résistance à la carboxylation  $r_x$ ;  $r_i + r_l$  étant mesurable avec une chambre d'assimilation à  $\text{CO}_2$ ), et les migrations "G" de sucres vers les différents organes (mesurables en effectuant des bilans glucidiques, par exemple). Dans un premier temps, l'étude de  $r_l$ ,  $r_i$ , et G est suffisante et déjà très complexe pour établir un modèle de fonctionnement de la plante entière.

En fonction du progrès des connaissances des mécanismes biologiques et des techniques de mesure, il sera possible de scinder ce sous-ensemble "photosynthèse" en éléments de plus en plus fins, ou d'en juxtaposer un autre, le but final et utopique étant de tout maîtriser.

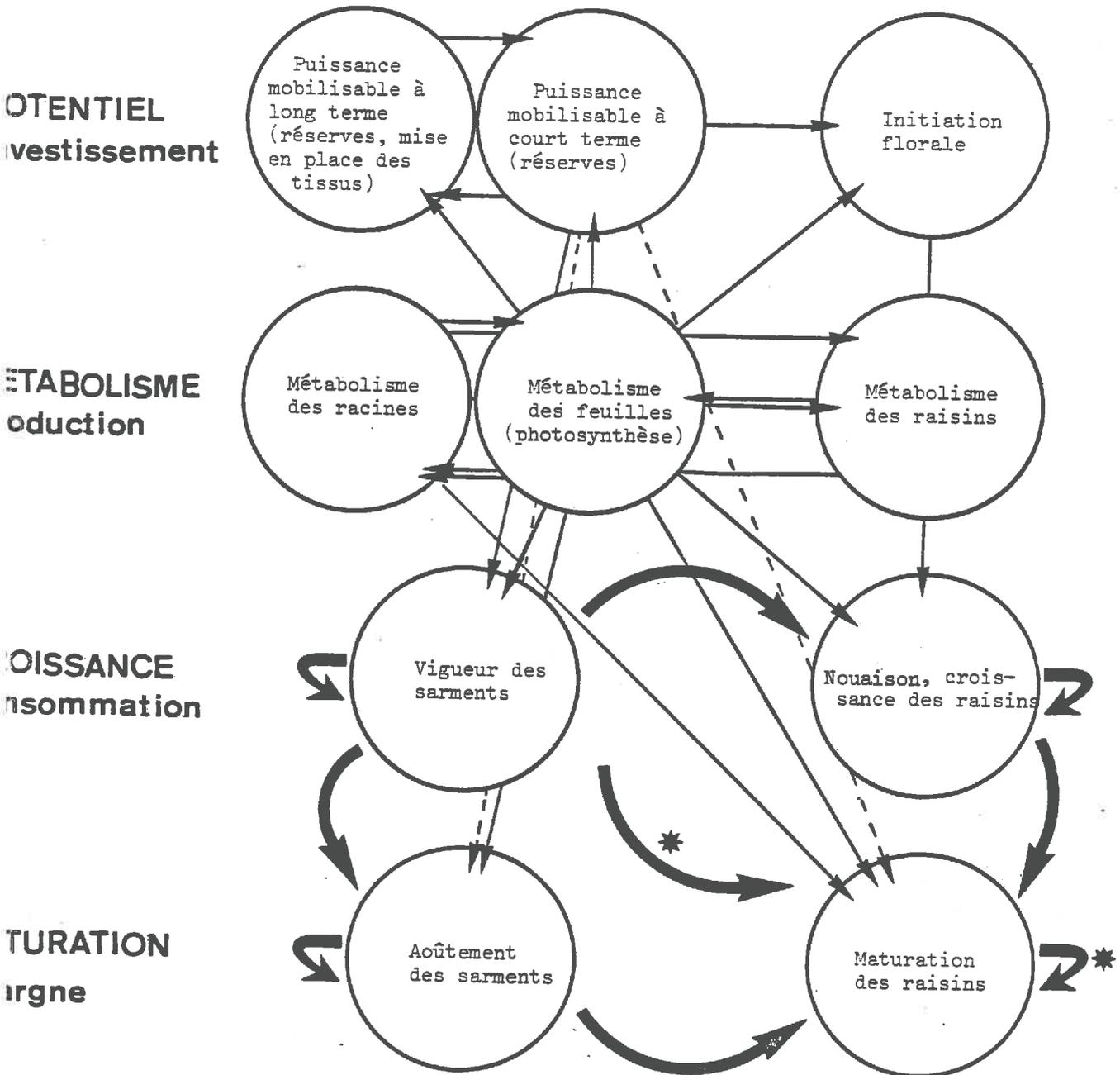
La figure 2 illustre un modèle de fonctionnement de la vigne, notamment au niveau de l'activité des feuilles et des phénomènes de concurrence entre organes. Il présente différents regroupements des secteurs d'activité importants et connus de la plante, divers liens établis entre ces

FIGURE 2

MODELE DE FONCTIONNEMENT DE LA VIGNE

PARTIE VEGETATIVE

PARTIE PRODUCTRICE



secteurs (RIBEREAU-GAYON G., 1966), ainsi que les principaux phénomènes de concurrence entre organes.

L'intérêt de modéliser ainsi le système biologique de la vigne est non seulement de résumer les connaissances essentielles de la biologie de la plante entière, mais encore de pouvoir interpréter certains résultats physiologiques en évitant des généralisations hâtives.

Un exemple significatif concerne la relation entre vigueur des sarments et teneur en sucres des baies. Si la croissance des tiges et des feuilles, expression de la vigueur (CARBONNEAU *et al*, 1978), est fortement stimulée (eau et azote en abondance, porte-greffe puissant), la concurrence pour les sucres entre croissance des sarments et maturation des baies est évidemment exacerbée; à l'inverse, la surface foliaire augmente ainsi que la photosynthèse globale du cep, donc aussi l'apport potentiel direct de sucres des feuilles aux raisins. Le bilan global bien connu est que l'effet de concurrence entre sarments et baies surpasse l'effet positif des migrations de sucres vers les raisins, et que la maturation de ces dernières est freinée.

D'un autre côté, si la photosynthèse se situe à un optimum en jouant sur le microclimat lumineux et thermique (CARBONNEAU *et al*, 1978), la vigueur des tiges et donc la concurrence entre croissance des sarments et maturation des baies, s'en trouvent favorisées; mais dans ce cas, le bilan global est en faveur de l'alimentation directe en sucres des fruits, au détriment de l'effet de concurrence ici secondaire.

Donc, en aucun cas, il n'est possible de conclure que la vigueur des sarments est toujours néfaste à une bonne teneur en sucres des baies. Tout dépend de l'origine de cette vigueur.

Un autre exemple concerne les polyphénols. Si la charge en raisins par cep est excessive du fait d'une sortie abondante, la couleur des raisins rouges est diminuée en général, et peut être améliorée par éclaircissage de grappes (CARBONNEAU *et al*, 1977). Dans ce cas, le seul paramètre qui soit modifié de façon importante est la concurrence entre baies au moment de leur maturation.

Par ailleurs, certains couverts végétaux très éclairés sont à la fois très fertiles et aptes à favoriser l'accumulation de polyphénols dans les pellicules (CARBONNEAU *et al*, 1978). Donc dans ce cas, le phénomène de concurrence précédent est dépassé par l'influence directe du microclimat des feuilles sur l'accumulation de polyphénols dans les raisins.

Ici aussi, il est impossible d'établir une relation générale entre le nombre de baies et leur couleur, indépendamment du contexte d'étude; tout dépend des facteurs qui influent sur l'un et l'autre de ces éléments. L'utilisation de ce modèle en Biologie de la plante entière ne peut pas, à elle seule, résoudre les problèmes biologiques, mais en tout cas permet de poser les bonnes

questions et d'éviter de négliger certains aspects lors d'une généralisation trop rapide .

En résumé, l'orientation d'un travail scientifique peut se faire suivant deux politiques :

- la première concentre les efforts dans un secteur restreint en essayant de découvrir les mécanismes physiologiques de base de plus en plus finement, en choisissant les conditions idéales les plus simples possibles de travail, et en restreignant l'étendue des contextes d'étude; ceci revient au niveau énergétique à privilégier la masse par rapport à la vitesse et à démonter le système en éléments disjoints.
- la seconde simplifie certains secteurs d'activité métabolique sous la forme de sous-ensembles doués de résistances (limite et interne) au courant des facteurs inducteurs et de liens avec des sous-ensembles analogues, en insistant sur les connexions entre certains phénomènes fondamentaux (pas obligatoirement très nombreux) et en multipliant les observations simultanées; ceci revient, au niveau énergétique, à privilégier la vitesse par rapport à la masse (ou le quantitatif par rapport au qualitatif) en respectant au maximum la cohérence du système.

Ces deux attitudes scientifiques fondamentales, si elles s'opposent dans leur démarche, doivent se compléter dans le cadre du progrès des connaissances. Une dialectique féconde entre ces deux tendances peut permettre (CARBONNEAU, 1977), dans un sens, d'étudier les réponses d'un mécanisme de base connu dans différents contextes, et notamment sur plante entière, avec ses connexions avec d'autres mécanismes (par exemple la photosynthèse); et dans l'autre sens, de laisser entrevoir certains mécanismes possibles, d'échafauder des théories à partir d'analyses de biologie de la plante entière, mettant en lumière certaines corrélations intéressantes (par exemple, effets de "chocs" et synthèses de polyphénols : CARBONNEAU *et al.*, 1978) . Dans le premier cas, le physiologiste-biochimiste procure un outil de connaissance qui sera testé dans différents milieux par le biologiste de la plante entière; dans le second cas, ce dernier détecte la présence d'un outil que le premier pourra mettre en exergue plus précisément.

Ce terme de plante entière ne suppose pas que l'on prétend expliquer toute la complexité du fonctionnement de la plante, bien que ce soit là le but recherché, mais bien que l'on étudie un ou plusieurs phénomènes parfois simples dans le contexte de la plante entière en analysant les relations avec d'autres phénomènes mesurables en combinaison factorielle.

Ceci revient à mettre en avant certaines relations entre organes, entre activités diverses et entre différents cycles, et à insister sur les effets des dynamiques filtrantes par rapport aux mécanismes eux-mêmes, en cherchant en toile de fond des applications agronomiques utiles à l'homme.

PREMIERE PARTIE

ANALYSE DES PARAMETRES MICROCLIMATIQUES DANS  
DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE

# C H A P I T R E I

## ETUDE THEORIQUE DE L'EFFET DE LA POSITION DES CAPTEURS DE LUMIERE

### 1.1. - JUSTIFICATION DE L'ETUDE

Le limbe foliaire, qui peut être assimilé à un capteur de surface plane, est caractérisable par les paramètres suivants :

- la densité du feuillage environnant qui filtre le rayonnement solaire incident jusqu'au niveau de la feuille considérée
- l'ombre portée des plans de feuillage voisins caractérisés par leur hauteur et leur écartement
- l'inclinaison du feuillage par rapport au plan horizontal
- l'orientation du feuillage par rapport à l'axe Nord-Sud.

Dans un premier stade, il est intéressant de chercher s'il est possible de connaître par le calcul théorique l'éclairement que reçoit une feuille dans un couvert végétal discontinu, pour les différents moments de la journée, pour l'ensemble de la journée, pour les principales étapes de la saison végétative, et pour quelques latitudes.

Le paramètre "densité du feuillage" a été modélisé en particulier par ALLEN (1974) pour le maïs. Cet auteur a assimilé le rang de culture à un parallélépipède rectangle et établi des équations paraboliques de la distribution de la lumière dans toutes les directions. Ce modèle de pénétration de la lumière dans un couvert végétal a de plus été testé pour des orientations de rangs variées. Toutefois, la structure de départ en parallélépipède rectangle ne convient pas à toutes les formes que peut présenter une vigne. Il faut donc, dans ce dernier cas, soit étudier des structures plus complexes ce qui nécessite l'élaboration d'un modèle plus compliqué, soit procéder à des mesures *in situ* permettant d'établir expérimentalement des répartitions de densité de lumière.

C'est cette dernière approche qui a été choisie. Elle présente des avantages de simplicité et aussi de précision dans la mesure où il est

très difficile de calculer tous les phénomènes de réflexion et de diffusion dans un couvert végétal.

Par contre, les paramètres hauteur, écartement, inclinaison et orientation du feuillage, peuvent se prêter plus facilement à des calculs théoriques. De nombreux auteurs ont utilisé cette méthode : SPENCER (1965), ROBINSON (1966), SMART (1973), ALLEN (1974), VARLET GRANCHER (1975), DELTOUR (1976), SMART (1976).

En particulier, SMART (1973) a mis au point un modèle décrivant la répartition de l'éclairement pour chaque heure de la journée, en faisant varier écartement, hauteur, orientation, inclinaison des plans de feuillage. Il a montré notamment la prépondérance du rayonnement direct sur le rayonnement diffus, l'intérêt des orientations Nord-Sud pour favoriser un bon éclairement des feuilles sur l'ensemble de la journée, l'effet très net de l'ouverture du couvert végétal (utilisation du Geneva Double Curtain), l'avantage de disposer d'une végétation haute et à rangs rapprochés (pour les latitudes australiennes). Il a pris en considération le rayonnement direct et diffus aux différents endroits du feuillage.

Toutefois, aucun auteur semble-t-il, n'a analysé simultanément les effets de diverses orientations et inclinaisons des plans de feuillage. Il apparaît donc nécessaire de procéder à cette approche théorique afin d'essayer de mettre en évidence des interactions entre ces paramètres, ainsi qu'avec l'époque et le lieu.

De plus, en fonction des résultats du modèle de SMART (1973), il est possible, d'une part de négliger l'apport du rayonnement diffus, et d'autre part de raisonner sur un plan de feuillage isolé, car il a été montré que les phénomènes d'ombre portée influent peu sur le classement relatif des diverses orientations et inclinaisons. Ces calculs théoriques qui ont pour unique but d'indiquer de grandes tendances, doivent obligatoirement être complétés par la mesure elle-même de l'énergie lumineuse dans le couvert végétal qui intègre les paramètres de densité, d'ombre portée, d'inclinaison, d'orientation pour les rayonnements direct et diffus.

## 1. 2. - BASES DE CALCUL

Le rayonnement solaire direct possède une puissance hors atmosphère (ou éclairement énergétique, EJ) de  $1,4 \text{ KW m}^{-2}$ . L'atmosphère induit une extinction du rayonnement direct par les phénomènes de diffusion sur diverses molécules; 3 composantes sont prises en considération :

- A : l'extinction du rayonnement en air pur et sec pour une masse d'air unitaire ;
- M : la masse d'air traversée, liée à la longueur du trajet du rayonnement ;
- T : la turbidité de l'air rendant compte de l'affaiblissement du rayonnement dû à la présence de vapeur d'eau et d'impuretés.

L'éclairement ES reçu par une surface plane située sur terre, et dont la normale fait un angle "n" avec le rayonnement direct, est donné par la formule suivante :

$$E S = E J e^{-A.M.T.} \times \cos n$$

La puissance au sol " $E J e^{-A.M.T.}$ " est donnée en moyenne pour  $1 \text{ KW m}^{-2}$  environ. C'est cette valeur qui sera adoptée pour des raisons de simplicité.

La valeur de  $\cos n$  est fonction, d'une part des caractéristiques de la surface plane (orientation ou direction par rapport à l'axe Nord-Sud "d", d'Est en Ouest avec :  $-180^\circ \leq d \leq +180^\circ$  ; inclinaison par rapport au plan horizontal "i", de bas en haut, avec  $0^\circ \leq i \leq 90^\circ$ ), et d'autre part des coordonnées du soleil au moment étudié (l'azimut par rapport à l'axe Nord-Sud "a" d'Est en Ouest avec :  $-180^\circ \leq a \leq +180^\circ$  ; la hauteur par rapport au plan horizontal "h", de bas en haut, avec  $0^\circ \leq h \leq 90^\circ$ ).  $\cos n$  est donné par la formule :

$$\cos n = \sin i \times \sin /a - d/ \times \cos h \pm \cos i \times \sin h$$

$\cos n$  est nul si le rayonnement est rasant par rapport à la surface, que ce soit en raison de l'azimut ou de la hauteur du soleil.

Si le plan est incliné vers le Nord, le signe négatif est utilisé pour le début de la journée, et le signe positif dès que le soleil éclaire l'autre face du plan ; si le plan est incliné vers le Sud le choix du signe est inversé par rapport au cas précédent.

Le choix des valeurs de "d" et de "i" est le suivant :

- 1) - plan horizontal ( $\forall d, i = 0^\circ$ )

- 2) - plan Nord-Sud vertical ( $d = 0^\circ$ ,  $i = 90^\circ$ )
- 3) - " " " demi-incliné vers l'Est ( $d = 0^\circ$ ,  $i = 67^\circ 5'$ )
- 4) - " " " incliné vers l'Est ( $d = 0^\circ$ ,  $i = 45^\circ$ )
- 5) - plan Nord-Ouest - Sud-Est vertical ( $d = -45^\circ$ ,  $i = 90^\circ$ )
- 6) - " " " " " demi incliné vers le Nord-Est ( $d = -45^\circ$ ,
- 7) - " " " " " incliné vers le Nord-Est ( $d = -45^\circ$ ,  $i = 45^\circ$ )  
 $i = 67^\circ 5'$ )
- 8) - plan Est-Ouest vertical ( $d = 90^\circ$ ,  $i = 90^\circ$ )
- 9) - " " " demi-incliné vers le Nord ( $d = 90^\circ$ ,  $i = 67^\circ 5'$ )
- 10) - " " " incliné vers le Nord ( $d = 90^\circ$ ,  $i = 45^\circ$ )

Les valeurs de " a " et de " h " sont connues heure par heure pour :

- 3 dates : 22 juin (solstice d'été)
- 15 août
- 23 septembre (équinoxe d'automne)

remarque :

l'équinoxe de mars présente peu d'intérêt en raison de la symétrie des positions du soleil autour du solstice de juin.

- 4 lieux : MONTPELLIER (latitude =  $43^\circ 37'$ , longitude =  $-03^\circ 53'$ )
- BORDEAUX ( " =  $44^\circ 50'$ , " =  $00^\circ 31'$ )
- TOURS ( " =  $47^\circ 24'$ , " =  $-00^\circ 42'$ )
- COLMAR ( " =  $48^\circ 05'$ , " =  $-07^\circ 22'$ )

Il est donc possible de tracer, pour chaque plan, chaque date et chaque lieu, les courbes d'éclairement direct, ES, ( $W m^{-2}$ ) en fonction des heures de la journée, puis d'intégrer ces valeurs afin de connaître l'énergie lumineuse totale reçue au cours de la journée EST ( $KWh m^{-2}$ ).

Cette dernière opération a été réalisée en traçant les courbes précédentes, puis en calculant la surface délimitée par cette courbe et les axes de coordonnées au moyen d'un lecteur de coordonnées électronique. Des répétitions de calculs de tracés de courbe et de mesures de surface ont montré une variation totale d'environ 0,5 p. 100 autour de la valeur moyenne.

### 1. 3. - RESULTATS CONCERNANT LE RAYONNEMENT DIRECT

#### 1.3.1. - ETUDE DES COURBES D'ECLAIREMENT EN FONCTION DES HEURES DE LA JOURNÉE

Les tableaux 1, 2, 3 et 4 présentent les valeurs de l'éclairement

TABLEAU 1 - Eclaircement reçu au cours de la journée toutes les 2 heures (lm<sup>-2</sup>)  
 et en totalité (Kwhm<sup>-2</sup>) pour les 3 dates et les 10 plans considérés à MONTPELLIER

	MONTPELLIER 22 JUIN										MONTPELLIER 15 AOUT										MONTPELLIER 23 SEPTEMBRE									
	6 H	8 H	10 H	12 H Méridien	14 H	16 H	18 H	Coucher soleil 19h29	Total jour	6 H	8 H	10 H	12 H Méridien	14 H	16 H	18 H	Coucher soleil 18h18	Total jour	Lever soleil 5h32	6 H	8 H	10 H	12 H Méridien	14 H	16 H	Coucher soleil 17h41	Total jour			
	314	640	868	939	829	572	235	0	8,61	202	548	792	870	758	489	133	0	7,36	0	73	423	660	724	507	296	0	5,37			
Plan horizontal V <sub>d</sub> = 0°, i = 0°	827	766	410	0	505	821	916	827	9,87	936	815	444	0	525	863	969	936	9,14	1000	995	812	411	0	585	912	1000	7,64			
M.S., Vertical d = 0°, i = 90°	726	463	47	360	785	978	936	764	9,69	865	543	107	333	775	985	947	865	8,81	924	891	588	127	277	765	956	924	7,32			
M.S., 1/2 Incliné d = 0°, i = 67°5	585	89	904	664	944	984	813	585	10,73	662	189	874	615	907	956	779	662	9,36	707	651	275	177	512	828	854	707	6,85			
M.S., Incliné d = 0°, i = 45°	982	498	94	244	528	577	417	187	7,22	910	446	18	349	645	703	538	418	7,04	717	655	289	155	488	810	846	700	6,65			
MO-SE, Vertical d = 45°, i = 90°	641	215	245	585	806	752	475	173	8,03	841	202	286	655	886	837	548	386	7,97	663	577	105	396	728	973	895	647	7,41			
MO-SE, 1/2 Incliné d = 45°, i = 67°5	361	100	680	837	959	812	461	132	9,10	643	413	573	862	992	843	474	296	8,34	507	411	95	577	857	980	807	495	7,51			
MO-SE, Incliné d = 45°, i = 45°	563	250	61	345	240	5	386	563	3,82	351	145	418	493	387	131	207	351	3,81	15	69	402	629	690	561	285	15	5,15			
E - 0, Vertical d = 90°, i = 90°	520	301	589	679	540	214	211	520	5,64	324	57	689	789	648	308	140	324	5,77	14	92	533	834	915	743	376	14	6,85			
E - 0, 1/2 Incliné d = 90°, i = 67°5	398	45	811	908	756	399	65	398	6,74	240	40	856	964	810	439	52	248	7,04	11	101	583	912	1000	812	410	11	7,46			
E - 0, Incliné d = 90°, i = 45°																														

TABLEAU 2 - Eclairement reçu au cours de la journée toutes les 2 heures ( $\text{KWh}^{-2}$ ) et en totalité ( $\text{KWhm}^{-2}$ ) pour les 3 dates et les 10 plans considérés à BORDEAUX

	BORDEAUX 22 JUIN										BORDEAUX 15 AOÛT										BORDEAUX 23 SEPTEMBRE									
	6 H	8 H	10 H	12 H Méridien	14 H	16 H	18 H	Coucher soleil 19h42'	Total Jour	6 H	8 H	10 H	12 H Méridien	14 H	16 H	18 H	Coucher soleil 19h08'	Total Jour	6 H	8 H	10 H	12 H Méridien	14 H	16 H	18 H	Coucher soleil 17h56'	Total Jour			
	Levet. soleil 4 h 16'							0	8, 62	Levet. soleil 5h03'								0	7, 29	Levet. soleil 2h20'								0	7, 23	
Plan horizontal $\gamma = 0^\circ, i = 0^\circ$	269	596	838	931	849	615	292	0	8, 62	152	499	757	859	777	532	190	0	7, 29	17	369	622	709	605	338	0	0	5, 23			
N-S., Vertical $d = 0^\circ, i = 90^\circ$	918	802	472	0	445	787	917	818	9, 88	970	854	509	0	461	826	970	933	9, 31	1000	817	460	0	499	841	1000	0	7, 45			
N-S., 1/2 Incliné $d = 0^\circ, i = 67^\circ 5'$	745	513	115	357	736	962	960	756	9, 62	838	590	180	329	724	967	969	862	8, 90	924	648	205	272	713	940	924	0	7, 32			
N-S., Incliné $d = 0^\circ, i = 45^\circ$	459	146	927	658	915	991	855	578	10, 68	578	251	895	607	875	960	820	660	9, 40	707	343	101	501	796	860	707	0	6, 59			
NO-SE, Vertical $d = 45^\circ, i = 90^\circ$	856	545	141	258	515	592	457	172	7, 34	822	497	71	362	629	717	578	410	7, 23	696	345	99	499	794	860	700	0	6, 50			
NO-SE, 1/2 incliné $d = 45^\circ, i = 67^\circ 5'$	688	276	197	595	801	783	535	159	8, 14	702	268	225	663	880	866	649	379	8, 21	643	177	329	733	966	924	647	0	7, 41			
NO-SE, Incliné $d = 45^\circ, i = 45^\circ$	415	36	692	810	965	854	530	122	9, 36	474	2	585	862	994	882	572	290	8, 61	492	17	510	854	990	847	495	0	7, 47			
E-O, Vertical $d = 0^\circ, i = 90^\circ$	293	32	272	365	284	51	271	575	4, 02	193	152	409	511	430	187	152	359	4, 10	16	366	619	706	603	339	15	0	5, 25			
E-O, 1/2 incliné $d = 0^\circ, i = 67^\circ 5'$	148	54	577	694	587	482	148	541	5, 65	331	311	648	801	695	377	67	111	5, 30	15	479	110	924	709	442	14	0	6, 05			
E-O, Incliné $d = 0^\circ, i = 45^\circ$	17	444	784	916	801	471	14	406	6, 55	29	460	824	968	853	508	27	254	7, 07	11	520	878	1000	854	479	11	0	7, 45			

TABLEAU 3 - Eclaircement reçu au cours de la journée toutes les 2 heures  
 ( $\text{lm}^{-2}$ ) et en totalité ( $\text{Kwhm}^{-2}$ ) pour les 3 dates et les 10 pig ns considérés à TOUNS

	TOURS 22 J U I N										TOURS 15 A O U T										TOURS 23 S E P T E M B R E									
	Lever soleil h <sub>0</sub>	6 H	8 H	10 H	12 H Mérïdien	14 H	16 H	18 H	Coucher soleil h <sub>15</sub>	Total jour	Lever soleil h <sub>0</sub>	6 H	8 H	10 H	12 H Mérïdien	14 H	16 H	18 H	Coucher soleil h <sub>15</sub>	Total jour	Lever soleil h <sub>0</sub>	6 H	8 H	10 H	12 H Mérïdien	14 H	16 H	Coucher soleil h <sub>15</sub>	Total jour	
	Plan horizontal $d = 0^\circ, i = 0^\circ$	0	295	606	832	914	829	601	290	0	8, 58	0	175	504	745	836	750	511	183	0	7, 20	0	31	365	601	616	569	310	0	5, 05
N-S, Vertical $d = 0^\circ, i = 90^\circ$	798	917	793	456	0	462	797	918	798	10, 24	926	969	843	491	0	479	836	970	926	9, 38	1000	999	843	461	0	538	888	7000	7, 78	
N-S, 1/2 Incliné $d = 0^\circ, i = 67^\circ 5'$	737	734	501	102	350	745	966	959	737	9, 98	829	586	169	320	730	969	966	856	856	9, 07	924	911	639	195	259	715	940	924	7, 35	
N-S, Incliné $d = 0^\circ, i = 45^\circ$	564	439	133	910	646	913	988	854	564	10, 87	562	240	875	591	869	953	815	655	655	9, 19	707	684	338	100	478	784	847	707	6, 57	
NO-SE, Vertical $d = 45^\circ, i = 90^\circ$	990	837	510	98	287	549	610	456	138	7, 66	807	464	29	388	662	732	574	393	393	7, 39	719	684	316	137	521	820	868	699	6, 68	
NO-SE, 1/2 incliné $d = 45^\circ, i = 67^\circ 5'$	915	660	239	228	615	825	794	532	128	8, 46	679	236	258	679	899	872	600	363	363	8, 36	664	620	152	357	740	976	921	646	7, 54	
NO-SE, Incliné $d = 45^\circ, i = 45^\circ$	700	303	67	657	819	974	856	527	98	9, 41	447	28	548	865	998	879	535	278	278	8, 46	508	462	35	522	846	903	833	494	7, 48	
E-O, Vertical $d = 90^\circ, i = 90^\circ$	603	266	71	317	406	314	66	272	603	4, 45	171	187	451	549	457	198	158	377	377	4, 32	17	32	396	653	737	621	340	17	5, 43	
E-O, 1/2 incliné $d = 90^\circ, i = 67^\circ 5'$	557	133	298	612	725	608	291	140	557	6, 12	91	366	702	827	709	379	76	348	348	6, 12	16	42	506	833	940	792	433	16	6, 95	
E-O, Incliné $d = 90^\circ, i = 45^\circ$	426	21	478	812	933	808	472	13	426	6, 95	3	408	846	979	85, 3	501	17	267	267	7, 04	12	45	538	887	999	842	459	12	7, 42	



(en  $Wm^{-2}$ ) pour diverses heures de la journée ainsi que pour les villes, dates et plans considérés. De l'analyse de ces données il ressort tout d'abord que l'allure de ces courbes est similaire pour les différentes villes et dates étudiées. Seul sera retenu à titre d'exemple, le cas de Bordeaux au 15 août.

La figure 3 montre, pour cette dernière situation, l'évolution de l'éclairement en fonction des heures de la journée, relativement au plan horizontal, et aux plans orientés Nord-Sud et inclinés vers l'Est de  $90^\circ$  (vertical),  $67^\circ 5'$ ,  $45^\circ$ ; la figure 4 concerne les plans orientés Nord-Ouest - Sud-Est et inclinés vers le Nord-Est de  $90^\circ$ ,  $67^\circ 5'$ ,  $45^\circ$ ; la figure 5, les plans orientés Est-Ouest et inclinés vers le Nord de  $90^\circ$ ,  $67^\circ 5'$ ,  $45^\circ$ .

### FIGURE 3 -

Le plan horizontal possède une courbe symétrique par rapport à midi solaire qui correspond au maximum d'éclairement.

Le plan Nord-Sud incliné de  $90^\circ$  (vertical) reçoit le minimum d'éclairement à midi solaire et le maximum en début (face Est) et fin de journée (face Ouest). Toutefois, ce maximum ne coïncide avec le lever et le coucher du soleil qu'aux alentours de l'équinoxe lorsque le soleil se lève et se couche exactement dans l'axe Est-Ouest. La face Ouest n'est éclairée que dès que le soleil franchit l'axe Nord-Sud.

Le plan Nord-Sud incliné de  $67^\circ 5'$  vers l'Est possède une courbe assez voisine de la précédente mais décalée vers le matin, notamment en ce qui concerne le minimum d'éclairement qui est atteint avant midi solaire. La raison tient au fait que la face Ouest est éclairée avant que le soleil ait franchi l'axe Nord-Sud, dès qu'il est suffisamment haut par rapport à l'inclinaison du plan.

Le plan Nord-Sud incliné de  $45^\circ$  vers l'Est présente une courbe similaire à la précédente, mais aux tendances plus accentuées. En particulier, lorsque la face Ouest est éclairée, le soleil est encore assez bas et loin de l'axe Nord-Sud, ce qui explique la décroissance rapide de l'éclairement jusqu'à midi solaire sur la face Ouest, avant l'augmentation de celui-ci en début après-midi.

Il est à noter que les courbes correspondant aux plans Nord-Sud inclinés vers l'Ouest sont symétriques des précédentes par rapport à midi solaire.

### FIGURE 4 -

Le plan Nord-Ouest - Sud-Est incliné de  $90^\circ$  (vertical) reçoit un éclairement maximum en début de matinée sur la face Nord-Est, et dans une moindre mesure en milieu d'après-midi sur la face Sud-Ouest. Le minimum

FIGURE 3  
 RELATION ENTRE L'ECLAIREMENT  
 DIRECT MAXIMAL THEORIQUE ET LES  
 HEURES DE LA JOURNEE POUR  
 BORDEAUX AU 15 AOUT :

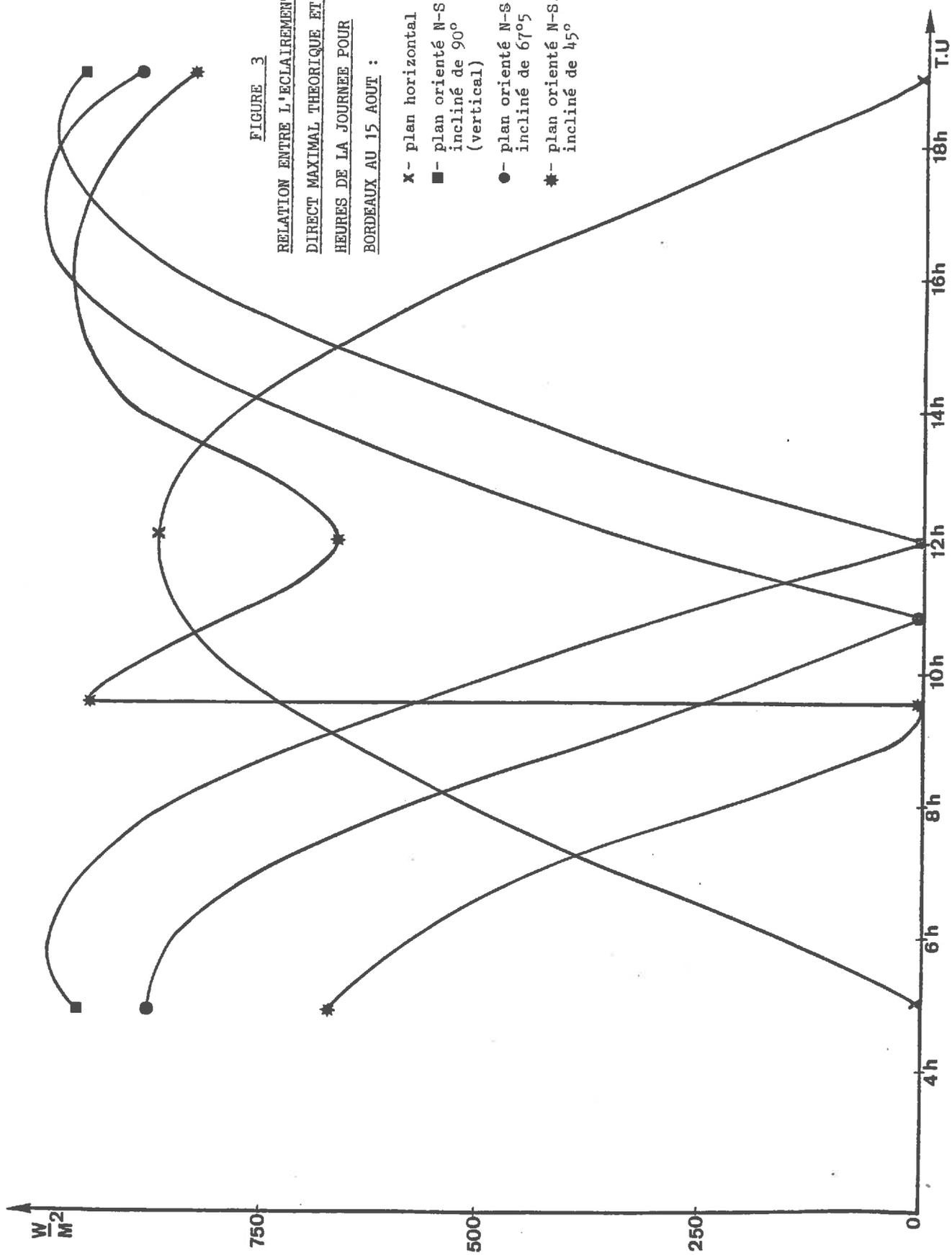


FIGURE 4  
RELATION ENTRE L'ECLAIREMENT DIRECT  
MAXIMAL THEORIQUE ET LES HEURES DE LA  
JOURNEE POUR BORDEAUX AU 15 AOUT :

- - Plan orienté NO-SE, incliné de 90° (vertical)
- - Plan orienté NO-SE, incliné de 67°5
- \* - Plan orienté NO-SE, incliné de 45°

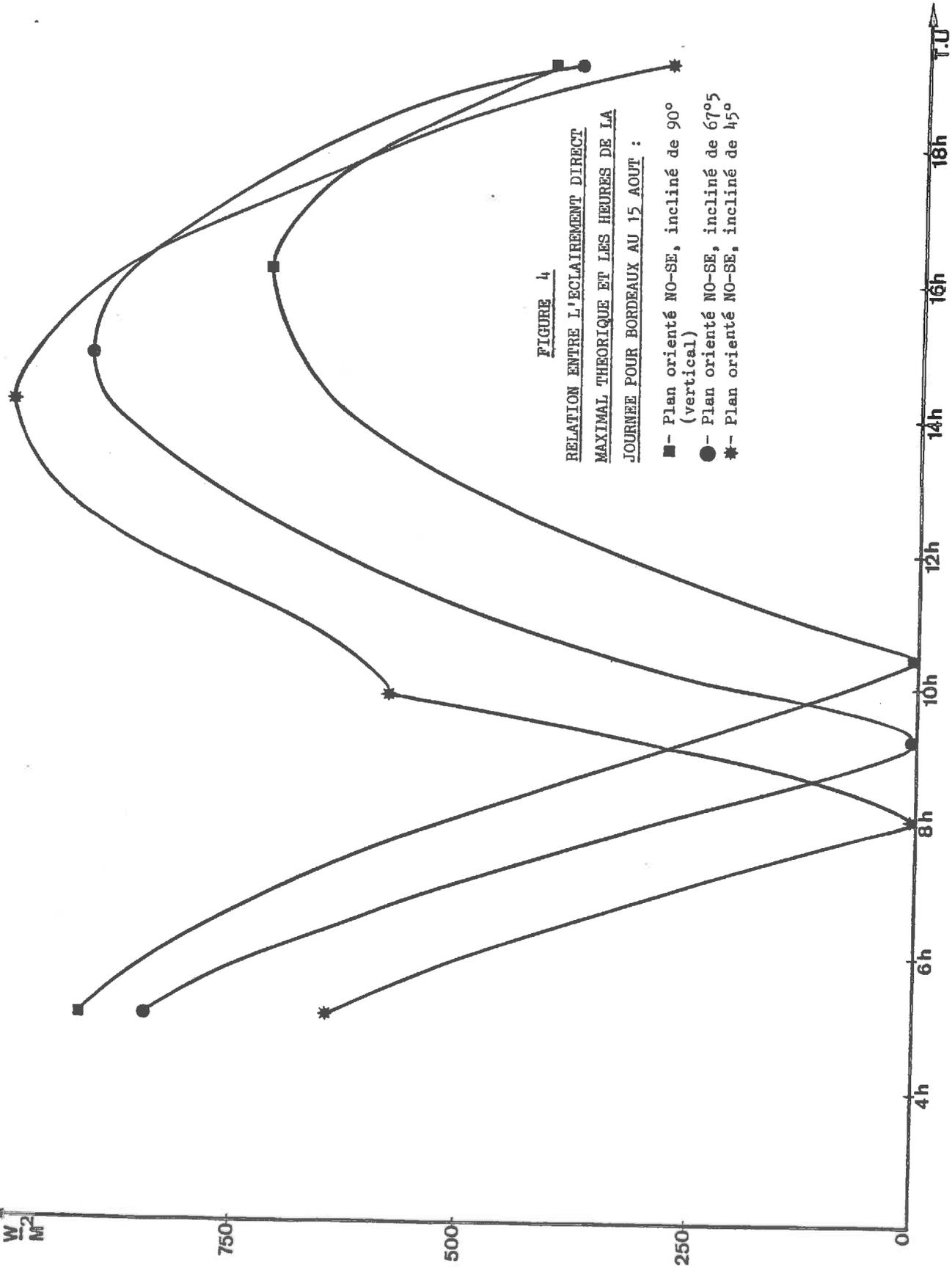
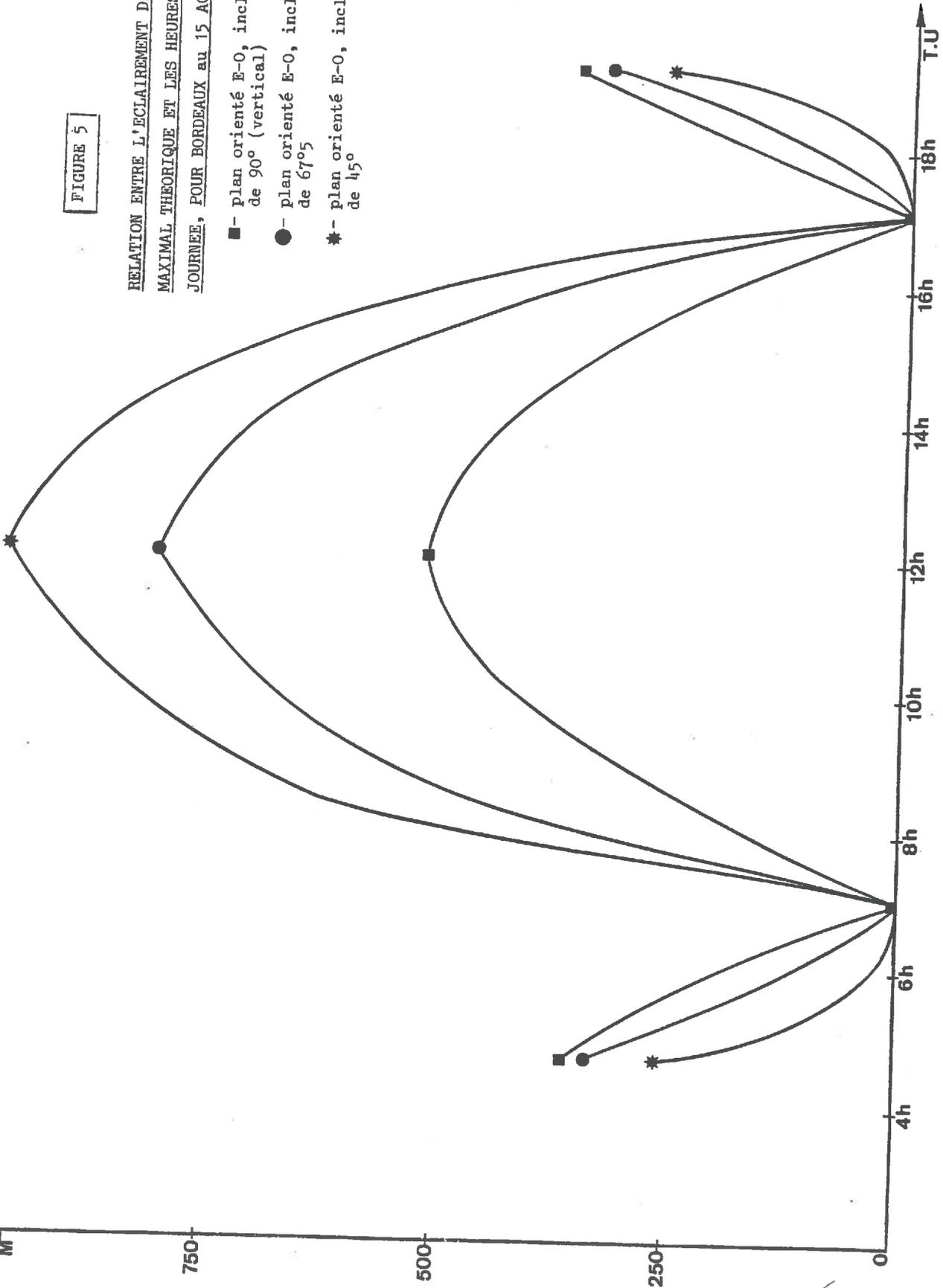


FIGURE 5

RELATION ENTRE L'ECLAIREMENT DIRECT  
MAXIMAL THEORIQUE ET LES HEURES DE LA  
JOURNEE, POUR BORDEAUX au 15 AOUT :

- - plan orienté E-O, incliné de 90° (vertical)
- - plan orienté E-O, incliné de 67°5
- \* - plan orienté E-O, incliné de 45°



d'éclairement est atteint en fin de matinée dès que le soleil franchit l'axe Nord-Ouest - Sud-Est.

Le plan Nord-Ouest - Sud-Est incliné de  $67^{\circ} 5$  vers le Nord-Est est éclairé de façon importante en début de matinée (face Nord-Est), et de façon un peu supérieure en début ou en milieu d'après-midi (face Sud-Ouest). Le minimum d'éclairement se produit lorsque le soleil franchit l'axe Nord-Ouest - Sud-Est.

Le plan Nord-Ouest - Sud-Est, incliné de  $45^{\circ}$  vers le Nord-Est, est bien éclairé en début de matinée (face Nord-Est), mais surtout fortement en début d'après-midi (face Sud-Ouest), ce qui coïncide avec le maximum de chaleur de l'atmosphère. Le minimum d'éclairement est atteint avant que le soleil franchisse l'axe Nord-Ouest - Sud-Est, dès que ce dernier est suffisamment haut.

Il faut remarquer que les courbes correspondant aux plans Nord-Ouest - Sud-Est inclinés vers le Sud-Ouest ont une allure opposée à celles des courbes précédentes, autour du minimum atteint par le plan Nord-Ouest - Sud-Est vertical. L'orientation Nord-Est - Sud-Ouest présente des réponses symétriques à l'orientation Nord-Ouest - Sud-Est par rapport au midi solaire.

#### FIGURE 5 -

Le plan Est-Ouest incliné de  $90^{\circ}$  (vertical) présente un maximum d'éclairement sur la face Sud à midi solaire et deux minimums lorsque le soleil franchit l'axe Est-Ouest le matin et le soir. La face Nord est éclairée en tout début et fin de journée, sauf aux alentours ou après l'équinoxe de septembre où le soleil se lève et se couche pratiquement dans l'axe Est-Ouest.

Les plans Est-Ouest inclinés de  $67^{\circ} 5$  et de  $45^{\circ}$  vers le Nord possèdent des courbes similaires mais indiquant par rapport au cas précédent un moindre éclairement sur la face Nord, et surtout un maximum bien plus élevé à midi solaire (notamment le plan incliné de  $45^{\circ}$ ).

Il est à noter que les courbes correspondant aux plans Est-Ouest inclinés vers le Sud ont une allure opposée à celle des courbes précédents, autour des deux minimums.

#### 1.3.2. - ETUDE DE L'ECLAIREMENT TOTAL JOURNALIER

L'intégration des courbes étudiées, par planimétrie électronique, permet le calcul de l'éclairement total journalier (E.S.T.). Le tableau 5 indique les valeurs de ce paramètre pour les divers plans, villes et dates choisies.

TABLEAU 5 - Valeur de l'éclairement total journalier ( $\text{Kwhm}^{-2}$ ) pour les différentes situations étudiées.

	Horizontal	N - S				NO - SE				E - O	E - O	E - O	Moyenne sur les di- vers plans	Moyenne sur les di- vers plans et dates
		90°	67° 5	45°	90°	67° 5	45°	90°	67° 5					
MONTPELLIER 22 Juin	8, 80	10,37	9,97	11,05	7,36	8,27	9,61	3,84	5,77	6,97	8,20			
BORDEAUX 22 juin	8, 82	10,11	9,91	10,94	7,51	8,35	9,53	4,10	5,73	6,68	8,17			
TOURS 22 Juin	8, 77	10, 51	10,25	11,12	7,84	8,72	9,58	4,49	6,24	7,08	8,46		MONTPELLIER : 7,60	
COLMAR 22 Juin	8, 74	10,53	10,15	10,92	7,88	8,85	9,71	4,59	6,14	7,93	8,54		BORDEAUX : 7,62	
Moyenne 22 juin	8, 78	10,38	10,07	11,01	7,65	8,55	9,61	4,26	5,97	7,17	8,34			
MONTPELLIER 15 Août	7, 55	9,36	8,98	9,54	7,17	8,13	8,58	3,84	5,90	7,19	7,62		TOURS : 7,75	
BORDEAUX 15 Août	7, 45	9,42	9,06	9,70	7,36	8,35	8,75	4,15	6,13	7,24	7,76		COLMAR : 7,79	
TOURS 15 août	7, 33	9,53	9,23	9,42	7,57	8,48	8,69	4,40	6,27	7,24	7,82			
COLMAR 15 août	7, 28	9,59	9,31	9,32	7,67	8,69	8,95	4,41	6,38	7,87	7,95			
Moyenne 15 août	7, 40	9,48	9,15	9,50	7,44	8,41	8,74	4,20	6,17	7,39	7,79			
MONTPELLIER 23 Septembre	5,52	7,74	7,48	6,97	6,76	7,54	7,68	5,29	7,01	7,67	6,97			
BORDEAUX 23 Septembre	5, 39	7,55	7,48	6,75	6,72	7,61	7,65	5,39	7,02	7,64	6,92			
TOURS 23 Septembre	5, 17	7,86	7,51	6,72	6,83	7,70	7,65	5,60	7,14	7,64	6,98			
COLMAR 23 Septembre	5,09	7,63	7,31	6,48	6,74	7,52	7,50	5,66	7,16	7,66	6,88			
Moyenne 23 Sept.	5, 29	7,70	7,45	6,73	6,76	7,59	7,62	5,49	7,08	7,65	6,94			
Moyenne des 3 dates	7, 16	9,19	8,89	9,08	7,28	8,18	8,66	4,65	6,41	7,40	7,40			

Il apparaît, sur la moyenne des différents plans étudiés, que l'éclairement journalier diminue logiquement du solstice de juin à l'équinoxe de septembre. Ce phénomène est lié au raccourcissement des jours et à l'abaissement de la hauteur du soleil au zénith.

D'autre part, sur l'ensemble des plans et des dates retenus, il existe peu de différences entre Montpellier, Bordeaux, Tours et Colmar, qui couvrent tout de même une gamme de latitude d'environ  $5^{\circ}$ . Les régions méridionales sont avantagées par une plus grande hauteur du soleil au zénith ; les zones septentrionales par une plus grande durée du jour dans la période considérée. Ces deux phénomènes se compensent donc pratiquement.

De ce fait, il est incorrect de ne retenir que le critère "durée du jour" comme mesure de l'éclairement, ce qui avantage à tort les zones septentrionales, d'autant que l'énergie reçue par le plan horizontal (ce qui peut en moyenne représenter le sol) est assez nettement inférieure dans ces régions.

L'étude au niveau des différents plans (tableau 5) est beaucoup plus intéressante en faisant apparaître des écarts très importants. Cette analyse montre déjà que le microclimat peut être fortement modifié par la géométrie du feuillage, cette influence étant ici plus grande que celles induites par les latitudes et les dates étudiées.

Dans une première analyse, les comparaisons entre plans sont effectuées pour chaque date, mais sur la moyenne des quatre villes dont les données présentent peu d'interactions avec celles provenant des autres facteurs de variation.

Au 22 juin, il ressort que ce sont les plans orientés Nord-Sud qui reçoivent le plus d'énergie lumineuse directe sur l'ensemble de la journée. Sur cette orientation, l'inclinaison de  $45^{\circ}$  vers l'Est est meilleure que les inclinaisons  $90^{\circ}$  et  $67^{\circ} 5$  respectivement. Dans le milieu du classement se situent les orientations Nord-Ouest - Sud-Est avec un avantage respectif pour les plans inclinés vers le Nord-Est de  $45^{\circ}$ ,  $67^{\circ} 5$  et  $90^{\circ}$ . Le plan horizontal se situe également à ce niveau moyen. Enfin, les orientations Est-Ouest présentent un net décrochement qui est d'autant plus grand que le plan se rapproche de la position verticale.

Au 15 août, les conclusions générales sont assez semblables. Toutefois, il convient de noter une baisse générale des valeurs par rapport au 22 juin qui est surtout sensible pour le plan "Nord-Sud  $45^{\circ}$ ", et surtout, à l'opposé, une remontée des plans "Est-Ouest  $67^{\circ} 5$  et  $45^{\circ}$ ". La hauteur du soleil au zénith baissant, ces derniers plans inclinés vers le Nord sont alors davantage perpendiculaires aux rayons lumineux à midi solaire qu'au moment du solstice de juin.

Au 23 septembre, les tendances précédentes se confirment et le classement est beaucoup plus resserré. Les premières places sont occupées respectivement par les plans "Nord-Sud 90°", "Est-Ouest 45°", "Nord-Ouest - Sud-Est 45°" ; la fin du classement, qui est assez détachée regroupe le plan "Est-Ouest 90°" ainsi que le plan horizontal.

Globalement, sur l'ensemble de la saison et des latitudes retenues, c'est le capteur "Nord-Sud vertical" qui reçoit le plus d'énergie lumineuse directe. Ce résultat confirme les conclusions de SMART (1973). Toutefois, cette étude porte sur un ensemble plus large de situations géométriques, et précise outre l'intérêt de l'orientation Nord-Sud, celui de la position verticale qui doit être liée au choix de cette orientation. En particulier, la notion d'interception de l'énergie solaire sur la dimension verticale est plus importante que celle de couverture du sol par la végétation au moyen d'une répartition horizontale (type "pergola").

Une autre conclusion, plus originale, concerne le comportement du plan "Est-Ouest 45°" dont l'éclairement total journalier, à l'inverse du plan précédent en particulier, augmente du solstice de juin à l'équinoxe de septembre, pour atteindre un des tout premiers niveaux à cette dernière date. Ce type de capteur, malgré les difficultés d'installation, présenterait donc un intérêt dans le cas où la maturation se poursuit bien au-delà de l'équinoxe de septembre, et où, une réduction de l'éclairement est recherchée pendant la phase de croissance. D'autre part, ces caractéristiques augmentent avec la latitude.

En ce qui concerne la pente des terrains, les situations captant le plus d'énergie lumineuse sur l'ensemble de la saison sont, soit le plan horizontal, soit les expositions au Sud et à forte pente, ces dernières présentant un net avantage en fin de saison végétative.

Enfin, il est à noter la particularité du capteur "Nord-Ouest - Sud-Est 45°" qui est de recevoir le maximum de lumière aux alentours du maximum de chaleur de l'atmosphère, créant ainsi la situation idéale d'obtention des chocs thermiques sur le feuillage.

#### 1. 4. - APPLICATIONS

Il est certain qu'une telle analyse théorique ne reflète pas exactement l'énergie lumineuse reçue, par exemple, par un plan de feuillage vertical orienté Nord-Sud en conditions naturelles. Il faut intégrer, outre les paramètres d'orientation et d'inclinaison, ceux d'ombre portée, de densité de feuillage, que l'on peut estimer avec la méthode du "point quadrat" (SMART, 1976), ainsi que tous les phénomènes de réflexion et de diffusion

dans le feuillage et sur le sol. A ce niveau d'analyse, il est sans doute préférable, pour des raisons de précision et de simplicité, de procéder à des mesures de l'énergie lumineuse *in situ*: c'est ce qui est développé dans la suite de cette étude.

L'analyse théorique de tous ces phénomènes est rendue d'autant plus difficile du fait de l'existence d'une réaction biologique à la géométrie initiale imposée au feuillage. En effet, l'orientation et l'inclinaison des feuilles peuvent varier en fonction du climat lui-même, notamment de la sécheresse (SMART, 1974 a) et du manque d'éclairement (SMART, 1974 b).

En conditions naturelles et sur Cabernet-Sauvignon, l'observation suivante a été faite : un sarment initialement vertical et placé dans un plan Est-Ouest, est palissé au début d'une journée d'été très ensoleillée, de façon à rendre le plan des feuilles horizontal, la face supérieure visant le ciel. Au bout de trois heures, l'inclinaison des limbes par rapport au plan horizontal a augmenté de  $15^\circ$ . Ceci traduit donc une possibilité d'auto-adaptation non négligeable des feuilles. Il convient de remarquer que cette modification de position s'est faite dans le sens d'une recherche d'un meilleur éclairement, en l'absence de tout effet important de sécheresse, d'excès de chaleur ou d'ombrage.

Un autre fait concerne l'inclinaison des feuilles et celle du sarment. En conditions naturelles, sur Cabernet-Sauvignon et pour un sarment vertical, l'inclinaison moyenne des feuilles par rapport au plan horizontal est de  $67^\circ$ . Afin d'avoir des plans de feuillages verticaux, il faut donc incliner les sarments de  $67^\circ$  par rapport au plan horizontal, dans le sens opposé à celui des feuilles.

Toutefois, il ressort que malgré toutes ces critiques, et en fonction des différences assez considérables enregistrées (du simple au double pour les extrêmes), le capteur "Nord-Sud vertical", évidemment dans la mesure où il est réalisable sur le terrain, est à retenir afin de bénéficier du maximum d'énergie lumineuse sur l'ensemble de la saison végétative et pour une large gamme de latitudes.

## C H A P I T R E   I I

### SUPPORT EXPERIMENTAL CREE PAR LES SYSTEMES DE CONDUITE

#### 2. 1. - CHOIX DES SYSTEMES DE CONDUITE

A la suite de cette analyse théorique il est donc apparu nécessaire de procéder à des mesures directes du microclimat *in situ*. Le support expérimental a été constitué de plusieurs systèmes de conduite pour les raisons technico-économiques déjà développées. Toutefois, dans cette première phase de travail sur les systèmes de conduite, le principal souci a été de créer la gamme la plus large possible de microclimats (lumière et température de la partie aérienne), sans imposer des limites strictes de commodité pour la culture des différents systèmes. La seule contrainte dans ce domaine a été que ces derniers soient compatibles avec un entretien classique des vignes.

Les systèmes de conduite ont été choisis en fonction de trois critères :

- la nécessité d'une présence de témoins de référence aux effets bien connus ;
- la création d'un éventail le plus large possible de formes de couverts végétaux ;
- la simplicité la meilleure de ces formes.

De ce fait, la plupart des systèmes de conduite importants cultivés actuellement ont été étudiés dans cet essai. La seule exception concerne surtout le gobelet qui n'était pas réalisable dans nos conditions et sur *Cabernet-Sauvignon*. Toutefois, des systèmes à port de sarments libre peuvent s'en rapprocher.

La parcelle expérimentale est une vigne de *Cabernet-Sauvignon* (classe "élite") greffé sur *SO4*, cultivée de façon classique et uniforme, implantée sur un plateau de graves sablimoneuses, dans les "Premières Côtes de Bordeaux" (domaine INRA du Grand Parc à Latresne). Au moment de

de l'introduction des nouveaux systèmes de conduite (hiver 1973-1974), les vignes étaient âgées de 9 ans et plantées en orientation Est-Ouest sous deux densités = 5050 (1,8 m x 1,1m) et 2525 (3,6m x 1,1m) ceps par hectare.

## 2. 2. - DESCRIPTION DES FORMES DE COUVERTS

Les formes de couverts sont réalisées essentiellement au moyen de types de palissage très variés mais aussi de différentes densités de plantation et hauteurs de tronc.

Les figures 6, 7 et 8 et le tableau 6 illustrent les caractéristiques techniques des dix systèmes de conduite étudiés, au moment de la taille, en pleine végétation et au cours des divers travaux viticoles.

De façon générale, les facteurs de variation sont :

- l'entassement du feuillage ;
- l'inclinaison du feuillage ;
- la hauteur du feuillage ;
- le port ascendant ou retombant des sarments ;
- l'entassement de la zone des grappes (le dégagement étant obtenu par arcure des bois de taille vers le Sud et par écartement des sarments).

Les dix formes de couverts végétaux peuvent être classées par une simple observation visuelle en :

- systèmes non ouverts à couvert peu entassé (Ro, Re, Bo, Be, ou vignes traditionnelles)
  - . à grappes non dégagées (Ro, Bo) ;
  - . à grappes dégagées (Re, Be) ;
- systèmes non ouverts à couvert entassé (Ho, He, ou vignes larges classiques)
  - . à grappes non dégagées (Ho) ;
  - . à grappes dégagées (He) ;
- systèmes semi-ouverts à grappes naturellement peu dégagées (V, S ; le S, proche du type Sylvoz, étant approximativement en V renversé) ;
- systèmes ouverts à grappes naturellement assez dégagées (U, D ; le D étant approximativement un U renversé).

Il est à noter que les types Ro et Re sont rognés 3 fois en saison à partir de la nouaison, et que les types Bo et Be le sont une fois afin d'éviter un ombrage excessif en fin de croissance. Les autres types ne sont pas rognés.

FIGURE 6

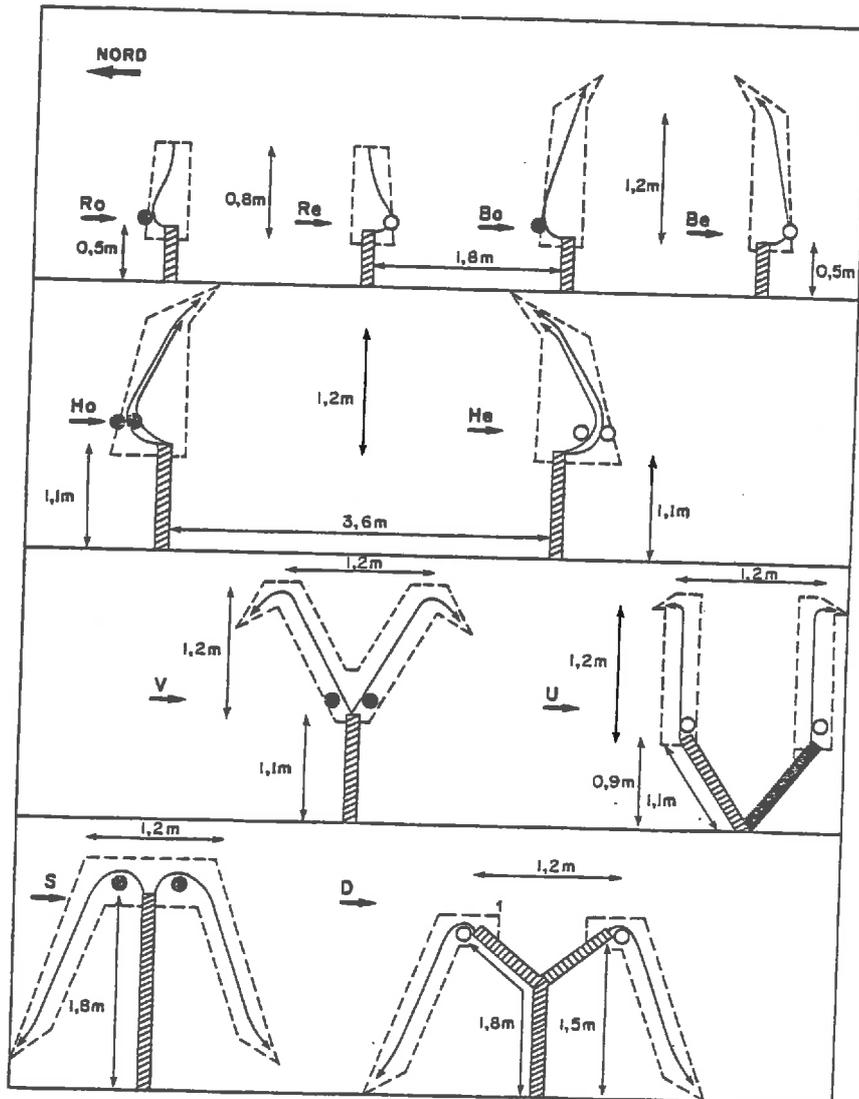
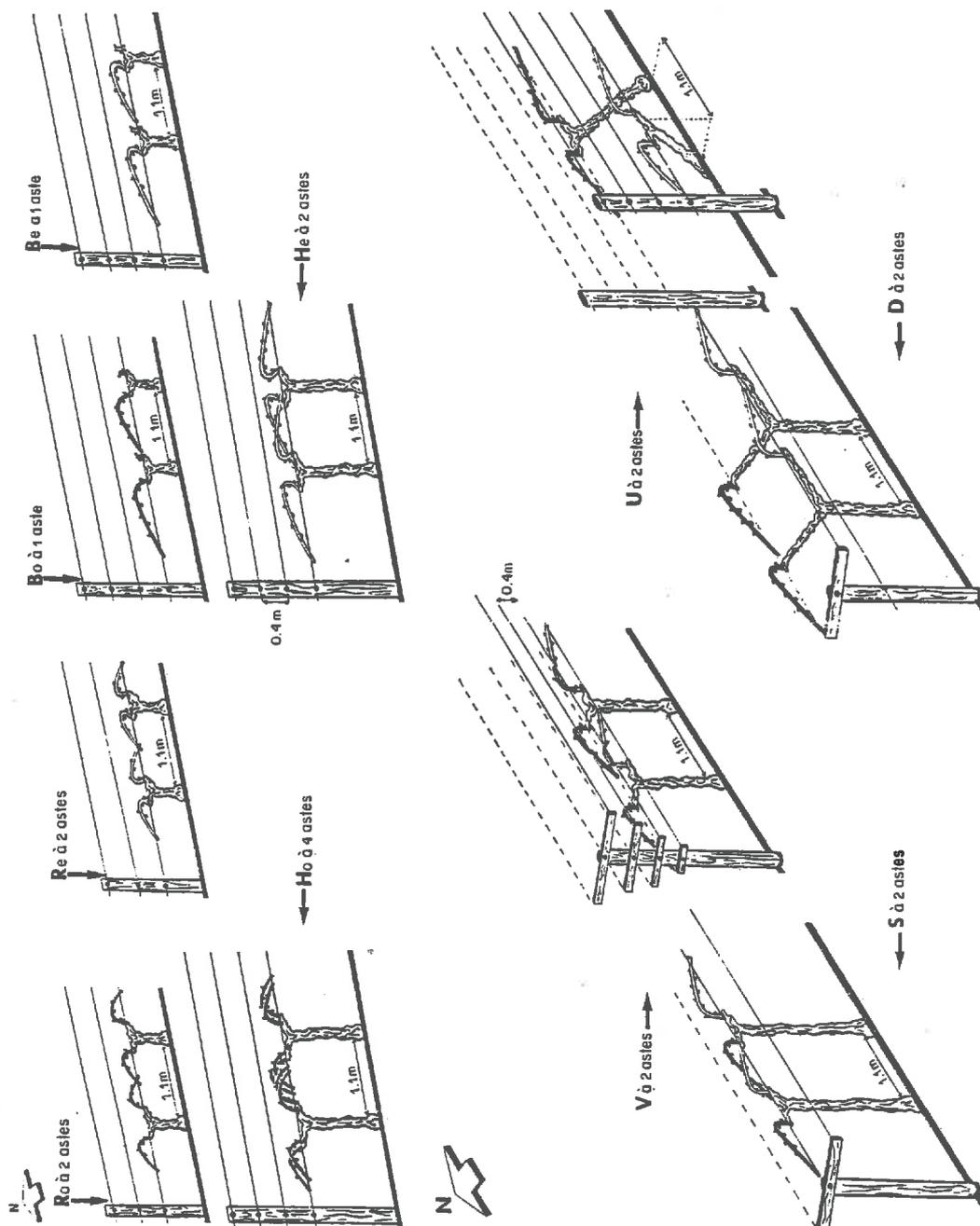


Schéma de la coupe transversale des systèmes de conduction.

- Partie hachurée : troncs.
- Trait plein : sarments.
- Trait pointillé : volume de feuillage.
- Rond noir : grappes à l'ombre.
- Rond blanc : grappes exposées.

FIGURE 7



*Croquis des types de taille et du matériel de palissage des systèmes de conduite.*

- En strié : troncs et piquets en bois.
- Astes en noir : au Nord du plan de palissage.
- Astes en blanc : au Sud du plan de palissage.

## FIGURE 8

PHOTOGRAPHIES DES 10 SYSTEMES DE CONDUITE  
EN PLEINE VÉGÉTATION  
(Domaine I.N.R.A. du Grand-Parc LATRESNE)

- Ro -



- Re -



FIGURE 8 (suite)

- Bo -



- Be -



FIGURE 8 (suite)

- Ho -



- He -



FIGURE 8

(suite)

- S -



- D -



FIGURE 8 (suite)

- V -



- U -



	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
Nombre de ceps/ha.....	5 050	5 050	5 050	5 050	2 525	2 525	2 525	2 525	2 525	2 525
Ecartement des rangs (m) .....	1, 8	1, 8	1, 8	1, 8	3, 6	3, 6	3, 6	3, 6	3, 6	3, 6
Espacement le long du rang (m) ..	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1
Longueur du tronc (m) .....	0, 5	0, 5	0, 5	0, 5	1, 1	1, 1	1, 8	1, 8	1, 1	1, 1
Nbre de plans de palissage et écartement max. des plans doubles (m)	1	1	1	1	1	1	2 (1, 2)	2 (1, 2)	2 (1, 2)	2 (1, 2)
Inclinaison du plan de palissage	vertical	vertical	vertical	vertical	vertical	vertical	incliné de 65 % horizontal	incliné de 65 % horizontal	incliné de 65 % horizontal	vertical
Nbre moyen de bourgeons/m de palissage plan bien individualisé	9	9	9	9	18	18	18	9	18	9
Entassement global du feuillage	moyen	moyen	moyen	moyen	élevé	élevé	moyen	faible	moyen	très faible
Hauteur du feuillage palissé (m)	0, 8	0, 8	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 8/sol non palissé	1, 5/sol non palissé	1, 2	1, 2
Présence de rognage .....	rognage	rognage	faible rognage	faible rognage	non rognage	non rognage	non rognage	non rognage	non rognage	non rognage
Port des sarments .....	ascendant	ascendant	ascendant	ascendant	ascendant	ascendant	retombant	retombant	ascendant	ascendant
Entassement de la zone des grappes	moyen	faible (avec dégagement)	moyen	faible (avec dégagement)	fort	moyen (avec dégagement)	fort	faible (avec dégagement)	fort	faible
Frais estimés d'établissement/ha	élevés	élevés	élevés	élevés	faibles	faibles	faibles	moyens	moyens	moyens
Emploi de matériel de culture "standard" .....	impossible	impossible	impossible	impossible	possible	possible	possible	possible	possible	possible
Rapidité estimée de la taille/ha	moyenne	moyenne	faible	faible	bonne	bonne	très bonne	très bonne	moyenne	bonne
Rapidité estimée de vendange/ha	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	bonne	bonne	moyenne	moyenne	moyenne	bonne
Systemes de conduite voisins	vigne étroite traditionnelle	/	/	/	vigne large classique	/	Sylvoz, Hudson River Umbrella	Geneva. Double Curtain de SHAULIS (1965) nouveaux systèmes californiens	" V " des Charentes (LAFON et al 1963) et du Padovano Chasselas, ancien système californien (KASIMATIS et al, 1975)	système d'HUGLIH (1977) Cassone

### 2. 3. - TYPES DE TAILLE ET NIVEAUX DE CHARGE

Ces paramètres induisent certainement moins de variations de microclimat que les palissages. Toutefois, ils entrent dans la constitution globale du système de conduite et à ce titre méritent d'être précisés.

a) Les types de taille sont du genre "Guyot" (bois de taille attachés). Les tailles à coursons ont été écartées dans cet essai en raison de la faible fertilité et de la sensibilité à l'excoriose (*Phomopsis viticola*) du cépage *Cabernet-Sauvignon*.

Deux traitements ont été introduits à ce niveau en combinaison factorielle avec les 10 formes de couverts :

- des longs bois (ou "astes") en faible nombre (1 en "Vigne étroite" et 2 en "Vigne large"); comportant par bois un nombre assez grand de bourgeons, donc de rang élevé et fertiles ;

- des bois demi-longs en nombre double du type précédent (2 en "Vigne étroite" et 4 en "Vigne large"), afin d'éviter de retenir des bourgeons de rang élevé et de diminuer éventuellement les corrélations d'inhibition entre bourgeons.

Le but est de comparer les systèmes de conduite à charge en bourgeons/ha identique. Le nombre double de bois des vignes larges par rapport à celui des vignes étroites est la conséquence de la charge moyenne double supportée par les premières par rapport aux secondes, charge qu'il faut donc répartir sur deux fois plus de longs bois pour mettre en présence au cours des comparaisons des bois de même dimension. Afin de ne pas biaiser la charge, les "cots" de retour n'ont pas été utilisés.

b) Les niveaux de charge en bourgeons comprennent 2 variantes en combinaison factorielle avec les formes de couvert et les types de taille:

- un niveau correspondant au rendement de l'Appellation "Premières Côtes de Bordeaux" (environ 45 hl/ha pour les vignes traditionnelles) ;
- un niveau de charge de 50 p 100 supérieur, afin d'analyser des réactions sensibles des ceps.

### 2. 4. - ALIMENTATION EN EAU

Un dernier traitement a été introduit en combinaison factorielle avec les précédents : il s'agit de deux régimes d'alimentation en eau.

Le premier est constitué par les pluies naturelles.

Le second est représenté par ces mêmes conditions, complétées par un dispositif d'irrigation.

L'introduction de cette technique n'a pas une finalité pratique, mais est destinée à induire artificiellement des conditions de vigueur plus élevées que dans la situation normale du vignoble, et aussi à permettre la dissociation entre les effets de l'éclairement des feuilles liés en général à une bonne transpiration, et les effets du régime hydrique proprement dit.

Le calcul de la dose d'irrigation est fondé sur la satisfaction d'en moyenne les 3/4 des besoins en E.T.P. (formule de THORNTHWAITE) moins les pluies, du débourrement jusqu'au début d'août.

Le matériel d'irrigation est constitué d'un réseau de tuyaux percés (type "Nobel") assurant une petite pluie fine sur l'ensemble du sol sans mouiller la végétation, de façon à simuler un sol plus riche en eau. Il est à noter que le circuit d'eau est fermé, de façon à homogénéiser les pertes de charge; les doses d'arrosage sont surveillées à partir d'un compteur, et l'emplacement des tuyaux se situe tous les 1,8 m d'interligne (1 au milieu d'un rang étroit de 1,8 m, et 2 espacés de 1,8 m au centre d'un rang large de 3,6 m).

De ce fait, le microclimat des racines est fortement modifié par cette technique, à priori de façon plus sûre que pourrait l'être le régime hydrique par la forme du couvert aérien.

L'humidité réelle du sol a été contrôlée avec une sonde à neutrons pour 1975, première année d'irrigation. La capacité au champ en fin de période d'irrigation était de 86 p 100 pour 170 mm d'apport par arrosage. Pour 1976, l'apport a été de 70 mm avec 72 p 100 de capacité au champ en fin de période d'arrosage. En 1977, l'apport a été de 25 mm avec saturation finale grâce aux pluies.

## 2. 5. - SCHEMA GENERAL DE L'ESSAI

Il peut être représenté par la formule suivante :

10 (formes de couvert) X 2 (types de taille) X 2 (niveaux de charge) X 2 (régimes hydriques) = 80 parcelles élémentaires de 7 ceps chacune. Soit au total, bordures exclues, 560 ceps.

## C H A P I T R E . . . . . I I I . . . . .

### METHODES ET TECHNIQUES D' ANALYSE DU MICROCLIMAT

Trois paramètres fondamentaux du microclimat ont été retenus : la lumière, la température et l'eau. D'autres éléments, comme l'influence du système de conduite sur les teneurs en CO<sub>2</sub> et en vapeur d'eau ou sur l'agitation de l'air, peuvent raisonnablement dans une première approche, être négligés par rapport aux précédents paramètres.

Trois critères généraux ont conditionné le choix des techniques de mesure des microclimats lumineux, thermique et hydrique :

- l'adaptation aux conditions naturelles du vignoble ;
- la précision et la fiabilité des mesures ;
- la possibilité de décrire les 10 formes de couvert à la fois.

La présentation de cette méthodologie constitue le choix initial qui a été fait au départ de l'essai. La critique complète des techniques ne sera possible qu'après l'examen des résultats fournis par ces techniques mêmes.

### 3. 1. - DETERMINATION DU MICROCLIMAT LUMINEUX

#### 3.1.1. - CHOIX DES TECHNIQUES DE BASE

La lumière qui est un champ électromagnétique véhiculé par des corpuscules ou photons sous plusieurs longueurs d'onde, est caractérisable par divers paramètres :

- l'intensité ou l'énergie lumineuse de la source émettrice (Candela, Joules, Watts) ;
- le flux lumineux (lumen) qui est l'énergie lumineuse (1 Candela) émise dans un angle solide (1 stéradian) par une source ponctuelle uniforme placée au sommet de l'angle solide ;
- l'éclairement (lux) qui est le flux lumineux (1 lumen) reçu normalement et uniformément par une surface (1 m<sup>2</sup>).

D'autres unités sont utilisées : le  $\text{Wm}^{-2}$  qui vaut 100 lux et le micro-Einstein  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  qui vaut 10 lux.

Le paramètre le plus intéressant pour cette étude est certainement l'éclairement ( $\text{Wm}^{-2}$ ), en particulier pour les radiations du visible actives sur la photosynthèse ou P.A.R. (400-700 nm) et pour le rayonnement infra-rouge ( $> 700 \text{ nm}$ ) intéressant sur le plan thermique et au niveau du phytochrome.

Divers types d'appareils permettent de mesurer l'éclairement dans un couvert végétal en utilisant les diverses propriétés de la lumière.

- certains récepteurs utilisent les effets photochimiques. C'est le cas des actinomètres chimiques à base d'oxalate d'uranyle ou de ferrioxalate de potassium. La commodité de ces appareils utilisables sous formes d'intégrateurs s'efface devant le fait qu'ils ne sont sensibles qu'à certaines longueurs d'onde du visible les moins actives sur la photosynthèse.

- d'autres récepteurs sont fondés sur les effets thermiques du rayonnement. Il s'agit des bolomètres lorsque la température résultante est mesurée à l'aide d'une résistance ou des thermopiles lorsque cette opération est effectuée avec des couples thermo-électriques (pour le rayonnement global : pyréliomètres, pyranomètres ponctuels ou linéaires pouvant être munis d'intégrateurs coulométriques; pour le rayonnement net qui est le bilan des rayonnements descendants et ascendants : les pyrradiomètres).

- d'autres récepteurs mettent en oeuvre l'absorption quantique des photons. Ce sont les photopiles utilisant les phénomènes d'électrolyse et les cellules photoélectriques mesurant le courant électrique résultant. Ces dernières peuvent être munies de filtres pour certaines longueurs d'onde (visible, infrarouge), et d'intégrateurs (SMART, 1976).

- en outre, certains instruments permettent l'étude de l'éclairement pour chaque longueur d'onde : il s'agit du spectrophotomètre et du spectroradiomètre.

- enfin, d'autres techniques sont capables d'apprécier la surface relative des taches de soleil dans la végétation. Il est possible de caractériser la pénétration du rayonnement solaire direct dans un couvert par la mesure à différents niveaux sur un plan horizontal des surfaces de taches de soleil par unité de surface de sol. La première méthode consiste à placer de nombreux repères et à compter (directement, ou à distance par l'emploi de fibres optiques : BONHOMME, 1969) la proportion de repères ensoleillés. L'utilisation de photographies hémisphériques prises à travers le feuillage, grâce à un objectif "fish eye", permet également une estimation de la fréquence des taches (BONHOMME, 1970 et 1976 ; CHARTIER *et al.*, 1973).

Le choix s'est porté sur deux techniques qui apprécient les phénomènes majeurs du rayonnement global et de celui utile à la photosynthèse :

- l'utilisation d'une cellule photoélectrique sensible aux radiations du visible (400 - 700 nm) qui est certainement le moyen à la fois le moins

coûteux, le plus commode (par sa petite taille et sa mobilité) et le plus précis, d'analyser la répartition de ces radiations actives sur la photosynthèse dans un couvert végétal. L'instrument lui-même construit par Lambda Instruments Corporation, comprend un "senseur quantique" (modèle LI 185) qui est la cellule photoélectrique connectée à un "quantum/radiomètre/photomètre". Dans cette optique, l'idéal serait de posséder une cellule sensible aux longueurs d'onde les plus actives sur la photosynthèse (680 - 700 nm).

- la détermination de l'éclairement pour l'ensemble des longueurs d'onde au moyen de la prise de photographies hémisphériques avec un objectif "fish eye". L'avantage de cette méthode par rapport aux pyranomètres notamment réside essentiellement dans sa commodité d'emploi vis à vis des variations climatiques ainsi que dans sa rapidité d'utilisation. Toutefois, comme pour la technique précédente, un travail d'adaptation aux conditions naturelles du vignoble a été nécessaire.

Il est certain qu'il serait intéressant dans un stade ultérieur, d'affiner les observations en considérant d'autres longueurs d'onde (infrarouges en particulier).

### 3.1.2. - CELLULE PHOTOELECTRIQUE P.A.R.

Le but est ici de mesurer, pour les radiations actives sur la photosynthèse, l'éclairement (direct et diffus) reçu en divers points du couvert végétal ou par l'ensemble de ce dernier. Les résultats sont exprimés en pourcentage de l'éclairement incident mesuré entre les rangs, au-dessus du couvert qui sert de référence. La raison tient au fait que les valeurs absolues de l'éclairement ne sont valables que pour le lieu et l'instant de mesure, alors que les données exprimées en pourcentage sont davantage généralisables.

Une contrainte importante concerne la stabilité du climat pendant les mesures (ciel clair ou couvert constamment). Il est possible, par temps variable, d'obtenir un climat couvert continu en ombrant artificiellement la végétation.

Deux méthodes permettent de décrire l'éclairement dans un couvert :

La première (LAKSO, 1976; LAKSO et MUSSELMAN, 1976) consiste à utiliser la cellule horizontalement et à effectuer des mesures ponctuelles en pénétrant régulièrement dans la végétation sur plusieurs niveaux horizontaux et perpendiculairement au rang. Il est ainsi possible d'établir des profils d'éclairement dans le couvert et également d'obtenir la valeur moyenne de ce paramètre pour un traitement considéré. Les dix systèmes de conduite

ont été analysés de la sorte, au moyen d'un petit échafaudage pliable comprenant trois tiges métalliques plates et horizontales, graduées tous les 10 cm, articulées sur une tige verticale fixée dans le sol, et espacées de 50 cm chacune, la première étant placée au niveau moyen des grappes. Dans ce cas, la référence est notée dans le plan horizontal.

La seconde (figure 9), qui permet d'aboutir aux mêmes résultats, consiste en la mesure de l'éclairement réel reçu par un échantillon de feuilles décrivant l'ensemble du couvert végétal en hauteur et épaisseur, en plaçant la cellule au niveau du point pétiolaire bien perpendiculairement au limbe sur sa face supérieure. Il s'agit d'une méthode couramment utilisée, en particulier lors des mesures de photosynthèse pour lesquelles il est indispensable de noter l'éclairement de la feuille considérée. Elle a donc été adaptée à l'étude des systèmes de conduite et comparée à la première méthode. La référence est ici notée face au soleil de façon à apprécier la radiation incidente maximale. Les résultats concernant le pourcentage moyen de l'éclairement incident reçu par le feuillage ont été similaires à un demi-point près sur vigne traditionnelle pour 200 notations ponctuelles. Il convient de remarquer que ce résultat concerne la période de 2 heures autour de midi solaire. Il pourrait en être autrement en fonction de la hauteur du soleil et de l'orientation du rang.

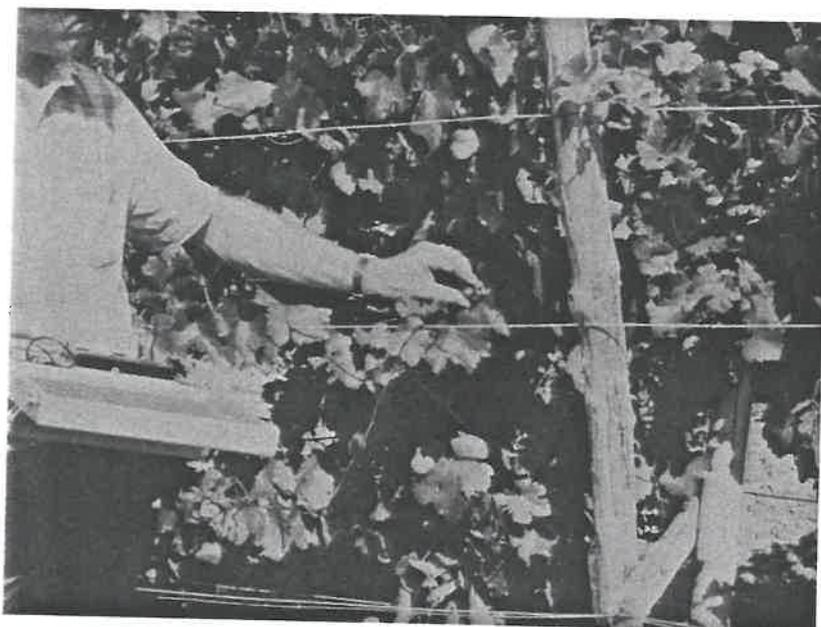
Les mesures ont été effectuées avec la première méthode qui a l'avantage de ne pas tenir compte de l'inclinaison et de l'orientation des feuilles par rapport au rayonnement à un instant donné, et de pouvoir bien positionner les points mesurés dans l'espace du couvert grâce à l'échafaudage articulé. Par système de conduite, quatre ceps situés dans la moyenne de vigueur (poids des bois de taille) du traitement et bien caractéristiques de ce dernier ont été retenus. Le nombre de répétitions a été d'une cinquantaine par cep afin de bien décrire l'ensemble de la végétation. Au total, environ 200 observations ont été rassemblées par système de conduite, pour des ciels clairs et couverts, en proportion de leurs fréquences pour l'année moyenne, et pour la période de la journée correspondant à une bonne stabilité de l'éclairement (12 h - 14 h solaire) et permettant l'étude des 10 formes de couvert. Cette dernière condition liée à la constance du rayonnement (ciel clair ou couvert) est certainement le seul inconvénient de la méthode.

Les moyennes estimées sur 3 séries de 50 mesures dans les conditions précédemment décrites ont différé de 2 p 100 en moyenne par rapport à celles estimées sur 4 séries de 50 mesures. Quelques essais avec 5 séries de ce type effectuées sur vigne traditionnelle, vigne large classique et vigne large en " U " ont indiqué des moyennes très voisines de celles enregistrées avec 4 séries analogues, (1 p. 100 d'écart en moyenne).

Il est à noter que la mesure commence au ras de la première feuille rencontrée sur un niveau donné et s'arrête au ras de la dernière.

**FIGURE 9**

MESURE AVEC LA CELLULE PHOTOELECTRIQUE DANS LE COUVERT



En outre, l'étude des profils de lumière permet de noter les dimensions moyennes du système de conduite. C'est au sein de ce contour moyen qu'il convient donc de retenir les valeurs notées qui serviront à décrire la répartition d'éclairement ainsi que l'éclairement moyen dans le couvert.

### 3.1.3. - PHOTOGRAPHIES HEMISPHERIQUES

Cette méthode permet la détermination, pour l'ensemble des radiations et pour un stade végétatif donné, de l'éclairement direct moyen reçu par la végétation. Cet éclairement est proportionnel au pourcentage des taches de ciel vu sur la photographie. BONHOMME (1970), ainsi que CHARTIER *et al* (1973), poussent plus loin leur analyse des possibilités offertes par l'emploi d'un objectif "fish-eye". Dans ce cas, les prises de vues sont effectuées dans le plan horizontal et vers le haut, positionnées par rapport à l'axe Nord-Sud, contrastées au maximum. Il est alors possible, en plus du pourcentage de ciel global, d'évaluer les heures d'éclairement si l'on trace sur la photographie la course apparente du soleil, l'indice foliaire ainsi que l'inclinaison moyenne des feuilles. Les conditions nécessaires à cette analyse portent sur une bonne homogénéité de la culture (bonne couverture de la végétation, absence de rangs matérialisés), et également sur l'absence d'orientation privilégiée, au niveau des feuilles ou la connaissance de cette orientation pour chaque azimut. ce qui est difficile à réaliser (DUCREY, 1975; BONHOMME, 1976).

Il est clair que la vigne ne satisfait à aucune de ces exigences, surtout dans le cas de systèmes de conduite à palissages bien définis. Il convient donc de rechercher un autre moyen d'utilisation des photographies hémisphériques, dont la commodité d'emploi est un atout certain.

SMART (1976) a adopté la méthode de prises de vues en fonction de la position de la feuille dans l'espace (inclinaison et orientation) sur un échantillon, puisqu'il n'est pas possible dans un vignoble d'utiliser des clichés horizontaux vers le haut pour décrire l'ensemble du couvert. Ces derniers sont pris perpendiculairement au limbe, juste sous ce dernier, après avoir écarté la feuille et s'être soustrait du champ de l'objectif. De cette façon, il est possible de mesurer le pourcentage de ciel qui est perçu par la feuille repérée.

La principale condition inhérente à cette méthode est que l'inclinaison de la feuille par rapport à l'horizontale ne soit pas trop élevée. La raison tient au fait qu'en prenant des clichés de plus en plus éloignés du plan horizontal, l'horizon s'écarte de plus en plus des contours externes de la photographie. De ce fait, l'image reflète de plus en plus le sol et les rangs voisins qui ne contribuent que très faiblement à l'éclairement de la feuille, par rapport à l'importance de la voûte céleste. Ce biais est d'autant plus grand, qu'une prise de vue à 180° d'ouverture

de champ, projette une surface donnée sur une surface d'autant plus grande que la première se situe d'autant plus près de l'horizon en partant du zénith (ceci est le fait de la projection hémisphérique).

Toutefois, malgré ces inconvénients, et pour des inclinaisons moyennes de feuille de  $43^\circ$ , SMART (1976) a obtenu de très bonnes corrélations entre le pourcentage de ciel mesuré par la technique du "fish eye" et l'éclairement réel (pour les P.A.R.) des mêmes feuilles, exprimé en pourcentage de l'éclairement incident sur le plan horizontal (5 p. 100 d'écart en moyenne). Pour ces raisons, cet auteur s'est limité en particulier à l'étude de l'éclairement des feuilles de rang 2 à partir de la base des sarments à port retombant, donc pour des limbes peu inclinés et situés dans la partie supérieure du couvert. Il ressort en tout cas de cette étude que le pourcentage de ciel reflète non seulement l'éclairement direct qu'il mesure en fait, mais aussi assez bien l'éclairement global pour les P.A.R. qui est noté avec la cellule photoélectrique. Il s'agit donc d'une bonne mesure de l'importance générale de l'éclairement.

A partir de ces données, il est intéressant de voir s'il est possible, en utilisant la méthodologie de SMART (1976) qui est valable dans une culture de vigne, de décrire l'éclairement moyen reçu à tous les niveaux d'un système de conduite, ce qui inclut toutes les positions spatiales de feuilles. Une première série de mesures du pourcentage de ciel vu sur la totalité de la photographie effectuée par les techniques décrite ci-après, a été comparée à une autre qui ne faisait intervenir que le pourcentage de ciel vu sur la portion de voûte céleste estimée sur chaque cliché (figure 10).

La première série des données fournit, sur l'ensemble de 10 formes de couvert étudiées, un coefficient de corrélation de + 0,74 avec les valeurs issues de la technique de la cellule P.A.R. L'écart moyen entre les deux méthodes est d'environ 45 p. 100, ce qui est assez important et du même ordre que sur pommier (LAKSO, 1976). La deuxième série de données, qui ne fait intervenir que la voûte céleste et non pas l'ensemble du cliché, (figure 10), procure un coefficient de corrélation de + 0,96 avec la technique de la cellule P.A.R., sur les mêmes photographies. L'écart est de 8 p. 100 en moyenne, ce qui se rapproche des résultats de SMART (1976) obtenus uniquement sur feuilles peu ou moyennement inclinées. Si "y" est le pourcentage de ciel et "x" le pourcentage d'éclairement reçu pour les P.A.R., la régression linéaire de "y" sur "x" est  $y = 0,88x + 10,63$ . Les valeurs du "fish-eye" sont donc supérieures à celles fournies par la cellule, ce qui peut traduire un appauvrissement plus rapide des radiations du visible dans le couvert par rapport à l'ensemble des longueurs d'onde (CHARTIER *et al*, 1973).

La technique elle-même de la prise de vues avec un objectif "fish-eye" mérite d'être détaillée.

L'objectif est un SIGMA 16 mm F/2-8 à angle de champ de  $180^\circ$ , mise au point depuis 12 cm et couvrant totalement le format 24 x 36. La

La comparaison de 20 clichés pris sur vigne traditionnelle au niveau des grappes dans le plan horizontal et vers le haut, avec 20 autres clichés pris dans les mêmes conditions avec l'objectif utilisé par BONHOMME et CHARTIER (7,5 mm; 1 : 5,6 à angle de champ de 180°), a fourni des résultats concordants = 18, 2 p. 100 de ciel pour la première série, 18, 6 p. 100 pour la seconde.

Le film utilisé est du Hilford HP4 400 A.S.A.; le réglage est effectué sur l'infini ; le maximum de contraste est recherché ; les prises de vues ont lieu de préférence par ciel couvert ou bien en début ou fin de journée.

Le calcul du pourcentage de ciel est réalisé visuellement, ce qui est rendu nécessaire du fait que dans de nombreux cas il faut éliminer du cliché la portion en-dessous de l'horizon. En effet, les méthodes de dépouillement automatique (densitomètre : SMART, 1976 ; lecteurs photo-électriques : BONHOMME, 1970), ne peuvent bien se prêter à ce type de correction. Le dépouillement a lieu directement sur négatif " 24 x 36 " en y superposant un calque quadrillé et en estimant dans chaque carré de 6 mm de côté le pourcentage de ciel à partir des références indiquées sur la figure 10.

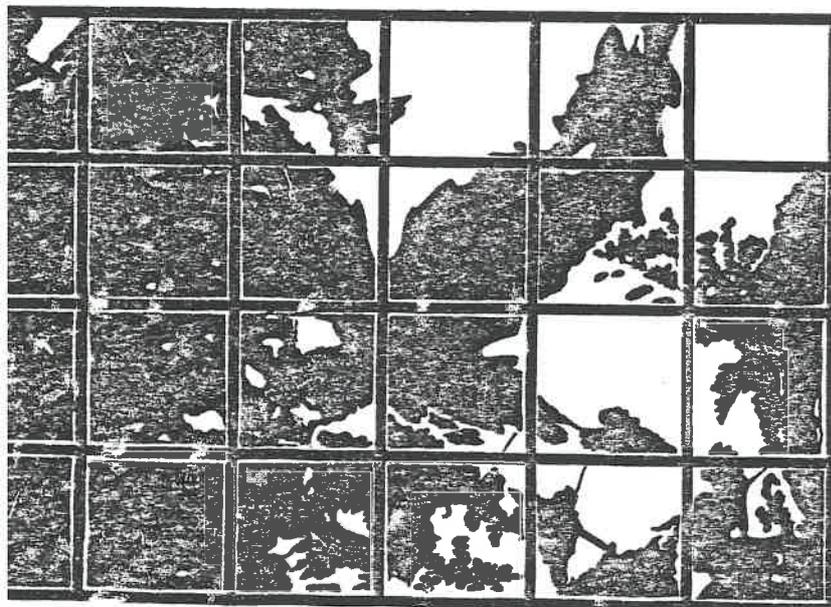
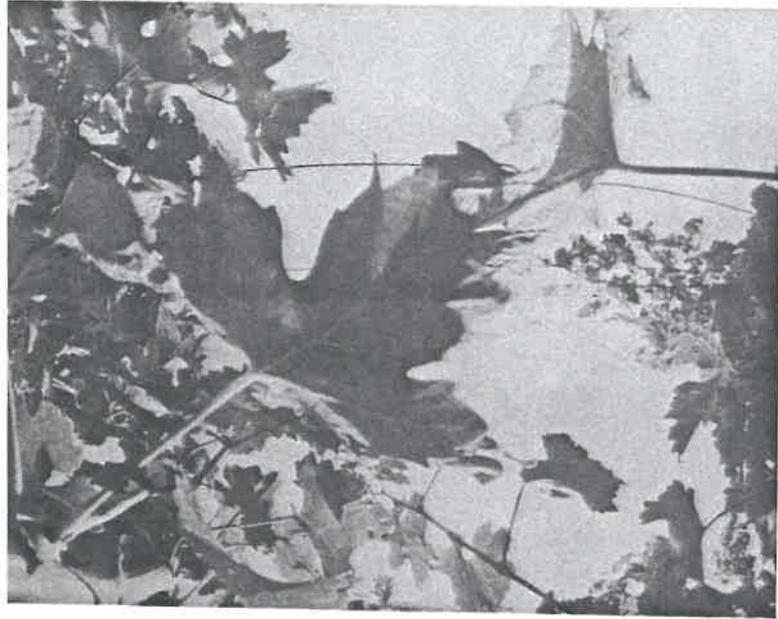
Cette technique a été comparée au découpage à la lame de rasoir et à la pesée à partir de tirages " 8 x 12cm " sur papier dur. Sur 20 photographies très variées sur le plan du pourcentage de ciel, l'écart entre les deux techniques a été de 2 p. 100, le dépouillement visuel paraissant très légèrement surestimer le pourcentage de ciel. Cette technique est donc précise et peu coûteuse. L'inconvénient réside dans sa relative longueur; mais l'avantage de la rapidité au moment de la prise des données compense largement ce défaut. En outre, un dépouillement visuel permet une analyse approfondie du phénomène et de corriger certains défauts acquis au moment de la prise de vue (gouttes d'eau, diffraction des rayons etc...).

Il est apparu que la technologie " fish-eye" précédemment décrite nécessite au moins 20 répétitions pour estimer avec environ 5 p. 100 de fluctuation le pourcentage de ciel moyen lié à un système de conduite et à un stade végétatif donné.

L'échantillon porte sur plusieurs feuilles de position variable se trouvant dans l'ensemble du couvert (hauteur et épaisseur) pour le cas de la mesure de l'éclairement moyen du feuillage; la position de l'appareil est alors celle de la feuille choisie. Dans le cas de la mesure de l'éclairement moyen reçu au niveau des grappes, les clichés sont pris juste au-dessus des grappes, dans le plan horizontal dans l'axe Nord - Sud et vers le haut ; les grappes ont en effet approximativement une position verticale.

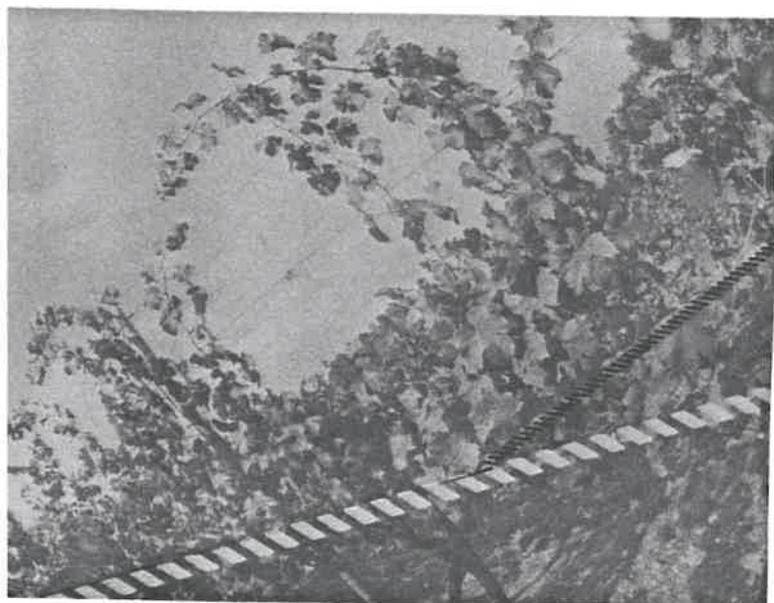
FIGURE 10

METHODE DE CALCUL DU  
POURCENTAGE DE CIEL SUR LES  
PHOTOGRAPHIES HEMISPHERIQUES



10<<25		25<<50		25<<50	
15	10	30	95	30	100
					25<<50
0	5	25	25	50	30
		25<<50		75<<90	25<<50
5	10	30	25	85	30
				50<<75	
0	5	25	50	60	25

moyenne : 31,9% ciel



détermination de la



voute céleste

### 3. 2. - DETERMINATION DU MICROCLIMAT THERMIQUE

Parmi les méthodes de mesure de la température au niveau d'organes tels que des feuilles et des fruits, il convient de citer deux groupes :

- les mesures à distance : certains appareils utilisent la sensibilité thermique des émissions dans le visible de minces couches lumineuses; d'autres sont fondés sur l'analyse du rayonnement infra-rouge émis par les corps et dont l'intensité est fonction de la température de surface de ce corps. Ces appareils (surtout le radiomètre infra-rouge) permettent une bonne précision dans la mesure à distance (par visée) de la température de surface des corps. Par contre, il ne s'agit là que de mesures ponctuelles et aussi onéreuses.

- les mesures par contact : elles incluent l'utilisation de thermistances qui reposent sur la variation de résistance des semi-conducteurs en fonction de la température mais dont l'étalonnage est délicat ; et surtout celle des couples thermoélectriques qui permet des mesures précises (à 0, 1° C près), fines, relativement simples et continues. C'est cette dernière méthode qui a été retenue.

#### 3. 2. 1. - LE MATERIEL

Les conducteurs choisis sont le cuivre et le constantan. Pour le cuivre, le type est " Filotex E 09170 e - d 2 - 2 " ; pour le constantan, " Filotex E 17626 e - d 1 - 4 ".

L'électrode dont la dimension doit être très uniforme, est formée de l'entortillement d'un fil très mince de cuivre (sur les 4 présents dans la gaine) et d'un fil très mince de constantan (sur les 4 présents dans la gaine). La jonction est renforcée par un dépôt d'un point de soudure (à 60 p. 100 d'étain) au moyen d'un fer à souder, puis isolée par un vernis (type "Kontaflon 85").

Les forces électromotrices qui apparaissent entre les électrodes reliées sont proportionnelles aux écarts thermiques entre ces mêmes électrodes. Le courant électrique ainsi formé est véhiculé de la série des couples thermoélectriques vers un potentiomètre enregistreur ( type " M.E.C.I. Speedomax GS 13, 12 voies d'enregistrement, 3 vitesses d'avancement et 3 cartes de sensibilité ") par des cables (type "Filotex FM2" à 2 brins et blindé).

Avant toute série de mesures, le potentiomètre enregistreur est calibré. En particulier, lorsque toutes les lignes sont branchées et les électrodes à la même température, l'impression doit se situer juste au-dessus

du zéro. Le potentiomètre lui-même est situé dans un abri, type "abri météo", muni d'un petit chauffage électrique évitant toute condensation notamment sur les bornes de branchement.

### 3. 2. 2. - LES MESURES

La figure 11 illustre le schéma de la ligne de couples thermoélectriques. 28 couples sont placés en série et couvrent le volume de 14 ceps. Ils permettent de ce fait de mesurer la somme des écarts de température entre les organes choisis et l'air sous abri dans le couvert ; ceci est réalisé pour chacun des 10 systèmes de conduite majeurs. Les 2 dernières lignes du potentiomètre sont réservées à l'analyse de la température de l'air sous abri à différents niveaux du couvert, par rapport à la glace fondante (glace pilée placée dans une bouteille calorifugée).

Les enregistrements ont porté lorsque le couvert était bien établi, sur 6 semaines caractéristiques des années 1975 et 1976, de jour et de nuit, pour des ciels clairs et des ciels couverts, en proportion de leur fréquence pour l'année moyenne. Des changements de position d'électrodes pour un même système de conduite et un climat constant ont fourni des résultats moyens compris dans l'étendue de  $0,1^{\circ}\text{C}$  environ.

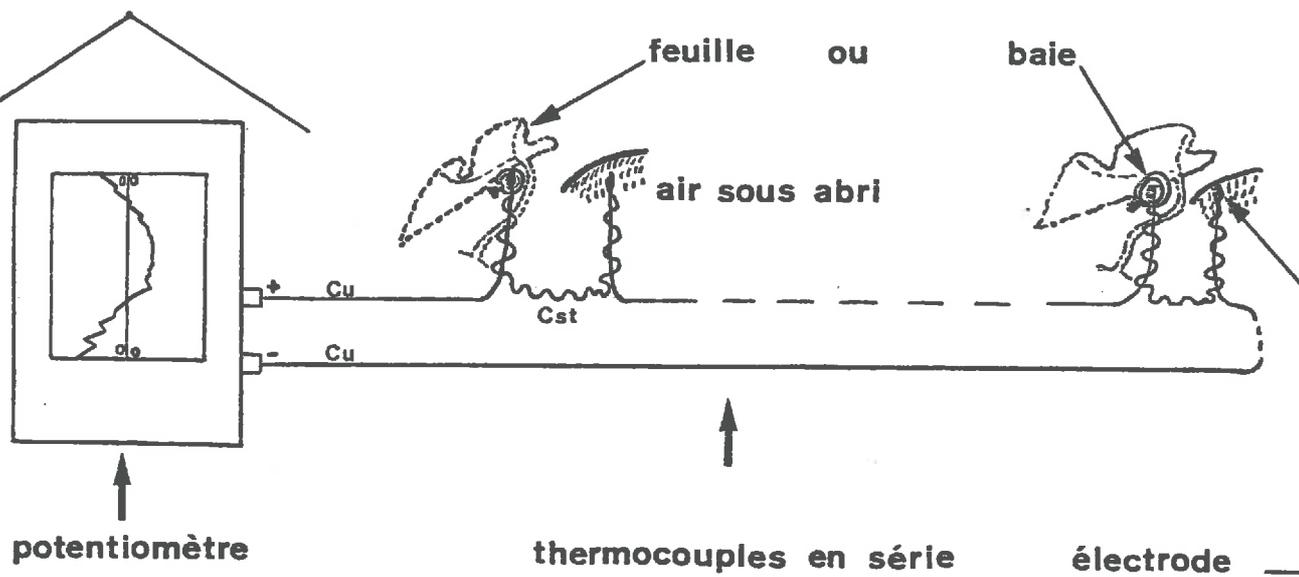
En ce qui concerne la mesure de la température des baies, les électrodes sont longues de 1 cm et piquées au travers du grain de raisin dans le plan diamétral jusqu'à ce que leur extrémité atteigne le bord opposé. De cette façon, c'est la température moyenne de la baie qui est notée. Les électrodes tiennent sur place une semaine sans se détacher malgré l'agitation de l'air, le thermocouple étant entortillé autour du sarment porteur ou de la rafle. Il serait également possible, avec une électrode très fine, de mesurer la température de la pellicule, de la pulpe ou des pépins.

Pour les feuilles, le problème est plus délicat. L'idéal serait de pouvoir appliquer une électrode ponctuelle sur le limbe par simple élasticité, de façon à noter la température de surface. Toutefois, en conditions naturelles, le vent interdit la continuité du contact entre la feuille et l'électrode, continuité facile à obtenir en chambre climatisée. Afin d'assurer un bon contact, l'électrode (2 mm de long) a été insérée dans la nervure principale, à la face inférieure, à 1 cm du point pétiolaire environ. L'électrode est piquée de façon oblique jusqu'à atteindre la face supérieure puis pliée en équerre par rapport au thermocouple qui est entortillé autour du pétiole. De ce fait, les électrodes restent bien fichées pendant une semaine en moyenne.

La température mesurée est celle de la nervure principale. Elle diffère en valeur inférieure de quelques dixièmes de degrés de la température de surface. En tout cas, cette technique permet une bonne estimation de la

FIGURE 11

## SCHEMA DE MONTAGE DES COUPLES THERMOELECTRIQUES



Installation au champ



température foliaire et constitue une des premières tentatives dans ce domaine pour des enregistrements continus en conditions naturelles.

### 3. 3. - DETERMINATION DU MICROCLIMAT HYDRIQUE DU SOL

Le tableau 7 illustre les caractéristiques du sol étudié, du type grave sablo-limoneuse semi-profonde, dans lequel ont été notés les assèchements de divers horizons. Les analyses ont été effectuées en 1974 par le laboratoire de SEGUIN.

Le problème est de trouver une méthode de mesure au vignoble, de la consommation en eau de chacune des 10 formes de couvert. La méthode la plus couramment employée dans cette optique est celle de l'humidimètre à neutrons, par rapport à la gammamétrie, les propagations d'ultra-sons, les mesures de conductibilité thermique et de conductivité électrique.

#### 3. 3. 1. - LE PRINCIPE

La méthode utilise la propriété qu'a l'hydrogène de thermaliser facilement (ralentir jusqu'au niveau thermique) les neutrons rapides. La source de neutrons rapides est alimentée par la réaction de noyaux d'hélium émis par de l'américium sur du béryllium. L'hydrogène freine ces neutrons rapides jusqu'au niveau thermique, dont une partie revient vers le détecteur de l'appareil qui permet d'enregistrer des impulsions, une fois amplifiées.

Le rapport du nombre d'impulsions par seconde dans le milieu, au nombre d'impulsions par seconde dans l'eau, est proportionnel à l'humidité volumique du sol qui est le pourcentage de volume d'eau dans un volume de sol. Au niveau du sol, les variations de la teneur en hydrogène au cours de la saison sont celles de l'eau, mais il existe d'autres constituants pourvus d'hydrogène ou d'atomes à action similaire. Il est donc nécessaire d'étalonner l'appareil, ou d'établir cette relation, pour chaque sol mesuré. Une régression linéaire obtenue par SEGUIN dans un sol de graves a été utilisée pour cet essai :  $y = 0,2 i - 3,5$  où "y" est l'humidité volumique et "i" le nombre d'impulsions en 100 s, sa valeur dans l'eau pure étant de 100. Les valeurs absolues des humidités volumiques sont donc entachées d'une légère erreur. Toutefois, cette critique disparaît lorsqu'il s'agit d'étudier, comme dans cet essai, les écarts d'humidité volumique tout au long de la saison sur un même profil.

Il est à noter que les mesures portent sur une sphère explorée de 15 à 25 cm de rayon autour du détecteur, et que les mesures à moins de 20 cm de la surface du sol sont peu précises en raison de la perte dans l'atmosphère de neutrons, erreur qui n'est que partiellement corrigée par l'emploi de réflecteurs neutroniques en polyéthylène.

## TABLEAU 7

## Caractéristiques du sol (SEGUIN 1979)

---

**TEXTURE :** Les sables constituent la fraction dominante de la terre fine avec des teneurs en argile peu élevées (3 à 8 %) excepté dans la couche la plus profonde.  
La fraction grossière est importante notamment dans les couches originelles (60 cm - 120 cm) ; elle est constituée presque exclusivement de graviers (< 2 cm).  
L'argile et le fer libre ne fournissent pas d'indication sur les phénomènes de lessivage. Il s'agit d'un sol de colluvion homogénéisé par les défoncements.

Remarques :

- légère discontinuité texturale à - 100 cm.
- le rapport limon/argile est légèrement supérieur à 2 dans les zones de surface.
- il n'y a pas assez d'argile pour obtenir des structures construites stables. La structure particulière est meuble, ce qui est caractéristique des sols sableux ou gravelo-sableux (avec une légère tendance polyédrique en surface).

---

**MATIÈRE ORGANIQUE :**

Les teneurs en matière organique et en azote total sont faibles. La première ne présente pas d'inconvénient grave sur la structure en raison du faible taux d'argile.  
La porosité est assez bonne en raison de la texture grossière

Remarques :

- . Le rapport C/N est assez élevé pour un sol cultivé
- . la nutrition azotée doit être réduite

---

**COMPLEXE ABSORBANT :**

La capacité d'échange en cations (C.E.C.) est très faible en raison des faibles teneurs en humus et en argile

Equilibres ioniques :

- le rapport 100 K/Ca est faible (en principe > 4)
- le rapport K /Mg est < 1 (pas d'antagonisme)

Le Ca<sup>++</sup> sature le complexe absorbant. Le pH vaut en moyenne 7,8 bien qu'il s'agisse d'un sol siliceux.  
Il n'y a pas de toxicité en Cu à ce pH. Quelques micro-éléments sont légèrement insolubilisés.  
Le sol est assez bien pourvu en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en surface (0-60 cm).

---

**RESERVES EN EAU :**

L'humidité volumique moyenne à la capacité au champ mesurée avec la sonde à neutrons est de 17,0 %.  
La zone d'enracinement maximum est 30cm - 120cm.

---

TABLEAU 7 (suite)

Profondeur (cm)		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
Terre fine .....	%	69	71	66	25	31	42
Fraction grossière....	%	31	29	34	75	69	58
Sable grossier.....	%	43,4	44,3	44,8	77,7	86,3	47,6
Sable fin .....	%	23,3	23,9	22,9	5,8	4,0	9,4
Limon grossier .....	%	9,9	10,1	11,0	4,0	2,3	9,1
Limon fin .....	%	8,9	9,0	9,1	5,8	3,2	11,9
Argile .....	%	7,6	7,6	8,2	5,3	3,4	19,1
Humidité actuelle ....	%	0,61	0,67	0,67	0,42	0,30	0,99
Matière organique.....	%						
Carbone .....	%	0,74	0,66	0,60	0,17	0,11	0,15
Azote .....	%	0,05	0,05	0,035	0,012	0,007	0,014
C / N .....	%	14,8	13,2	17,1	14,1	15,7	10,7
Humidité équivalente..	%	14,2	15,0	15,7	7,7	4,3	14,4
Complexe absorbant	K <sup>+</sup> m.é./100 g...	0,18	0,10	0,06	0,04	0,03	0,11
	Na <sup>+</sup> m.é./100 g..	0,06	0,09	0,09	0,08	0,06	0,11
	Mg <sup>++</sup> m.é./100 g..	0,19	0,16	0,09	0,13	0,16	0,25
	Ca <sup>++</sup> m.é./100 g..						
	Cu <sup>++</sup> m.é./100 g..						
	S m.é./100 g..	3,75	7,25	6,5	3,0	1,5	4,75
	C.E.C. m.é./100 g..	6,2	6,1	5,35	2,7	1,4	4,35
V .....	%						
pH dans eau .....		7,4	7,8	7,9	7,9	7,95	7,8
Calcaire total .....	%						
Calcaire actif .....	%						
Fer libre .....	%	0,34	0,35	0,37	0,44	0,35	1,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	o/oo	0,32	0,28	0,18	0,13	0,08	0,21

### 3. 3. 2. - LES PROFILS HYDRIQUES

Un tube en acier inoxydable est installé à demeure sur le rang entre deux ceps situés dans la moyenne de vigueur du traitement. Un trou de 2 m de profondeur est effectué à la tarière et au marteau piqueur. Le tube est enfoncé en force. Au bout de quelques semaines pluvieuses les parois du tube épousent bien le sol, et les espaces entre les cailloux sont comblés : il est alors possible 3 jours après de fortes précipitations d'effectuer la mesure de la capacité au champ. Ces profils sont établis en glissant la sonde dans le tube et en notant le nombre d'impulsions, tous les 10 cm, régulièrement au cours de la saison. La différence des valeurs de profils fait apparaître, addition faite des pluies reçues par la parcelle en l'absence de lessivage, la mesure de l'Evapo-Transpiration Réelle (E.T.R. notée en mm). C'est en particulier SEGUIN (1965, 1970, 1971) qui a adapté cette méthode aux conditions du vignoble.

L'appareil utilisé en 1975 était " l'humidimètre densimètre système C.E.A. avec échelle de comptage EC 310 " très précis mais peu maniable, prêté par SEGUIN. En 1976 et 1977, la Station INRA d'Agronomie de la Grande Ferrade (MM. DELAS, MENET) a procuré la sonde "SOLO" du C.E.A. très maniable et précise.

Le problème de l'utilisation de l'humidimètre ne se situe pas au niveau de la précision dans l'étude d'un profil particulier, mais plutôt dans les variations d'un profil à l'autre donc dans la détermination du nombre de profils à étudier par système de conduite. Pour des raisons de coût, seulement 2 répétitions pour chacune des 10 formes de couvert ont été suivies. Les données sont complètes pour 1976 et 1977 uniquement. D'autre part, l'installation du tube sur le rang nécessaire pour des raisons culturales n'est pas, à priori, de nature à bien représenter l'assèchement moyen de toute la surface du sol. Les résultats montrent que certaines différences significatives et quelques tendances peuvent apparaître avec ce dispositif, mais que la précision est moyenne.

## C H A P I T R E . . . I V

( RESULTATS )

### VARIATION DE L' ENERGIE LUMINEUSE EN FONCTION DU COUVERT

Deux niveaux principaux ont été pris en compte :

- l'ensemble du couvert
- la zone des grappes.

#### 4. 1. - AU NIVEAU DES FEUILLES

Les méthodes de mesure de l'éclairement précédemment décrites permettent d'apprécier le microclimat lumineux moyen des divers couverts, l'extinction du rayonnement dans le feuillage, la répartition de l'éclairement à différents niveaux de la partie aérienne et pour différents climats journaliers, la variation du microclimat lumineux au cours de la croissance ainsi qu'en fonction de certaines techniques comme l'irrigation, la taille et la charge.

##### 4. 1. 1. - MICROCLIMAT LUMINEUX MOYEN DES DIVERSES FORMES DE COUVERTS

Le tableau 8 indique de façon évidente pour les deux techniques utilisées, fish-eye (y) et cellule photoélectrique (z), que l'énergie lumineuse moyenne reçue dans le couvert est d'autant plus élevée que le feuillage est moins entassé, soit du fait d'une vigueur réduite par cep (vignes étroites) soit du fait de l'ouverture du palissage (vignes larges "U" et "D" notamment). Les écarts significatifs portent sur des différences de l'ordre de 3 points.

Il est à noter que l'écart entre les extrêmes "H" et "U" est très important. L'énergie lumineuse moyenne passe environ du simple au double lorsque le couvert évolue d'une forme plane très entassée à une forme en "U" très ouverte. Cet effet du palissage ou de la forme de la partie aérienne que le viticulteur peut modifier, sur le microclimat lumineux, est supérieur à l'écart relatif d'énergie lumineuse annuelle moyenne qui existe entre Bordeaux et Perpignan, et voisin de celui séparant Bordeaux d'Alger par exemple.

TABLEAU 8

MICROCLIMAT LUMINEUX MOYEN DES DIVERS COUVERTS MESURE A LA FIN  
de la POUSSE VEGETATIVE (1975 et 1976) à l'AIDE des TECHNIQUES SUIVANTES :

- . x = p. 100 de ciel vu sur toute la photographie hémisphérique
- . y = p. 100 de ciel vu sur la voûte céleste de la photographie hémisphérique
- . z = p. 100 de radiation incidente (P.A.R.) déterminé par la cellule photo électrique.

Système de Conduite	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
x (1)	25,0 <sub>b</sub>	24,5 <sub>b</sub>	21,0 <sub>c</sub>	21,3 <sub>c</sub>	20,1 <sub>c</sub>	25,8 <sub>b</sub>	23,3 <sub>b</sub>	33,3 <sub>a</sub>	23,6 <sub>b</sub>	34,4 <sub>a</sub>
y (2)	36,1 <sub>b</sub>	37,9	28,5 <sub>c</sub>	31,6 <sub>c</sub>	24,5 <sub>d</sub>	30,1 <sub>c</sub>	28,0 <sub>c</sub>	40,3 <sub>a</sub>	27,5 <sub>c</sub>	40,6 <sub>a</sub>
z	27,8 <sub>c</sub>	31,7 <sub>b</sub>	23,4 <sub>d</sub>	24,2 <sub>d</sub>	15,7 <sub>f</sub>	19,1 <sub>e</sub>	19,0 <sub>e</sub>	31,6 <sub>b</sub>	21,8 <sub>e</sub>	34,5 <sub>a</sub>
Régressions et corrélations : (1) $x = 0,57z + 11,02$ $rx/z = + 0,74$ (2) $y = 0,88z + 10,63$ $ry/z = + 0,96$										
- Les lettres attenantes aux chiffres représentent un regroupement ordonné des systèmes de conduite issu des comparaisons multiples du test de KRUSKAL-WALLIS effectué au seuil de 5 p 100. Les coefficients de régression et de corrélation sont significatifs à ce même seuil.										

Le classement s'établit comme suit :

Tout d'abord la vigne large plane entassée ("Ho") ; ensuite les vignes larges à couvert végétal dégagé en partie ("He", "S", "V") ; puis les vignes étroites avec avantage pour celles où la zone des grappes est dégagée ("Bo", "Be", "Ro", "Re") ; enfin les vignes larges à couvert complètement divisé ("D", "U"). Les différences entre les types "S" et "D" rejoignent les données fournies par SMART (1976).

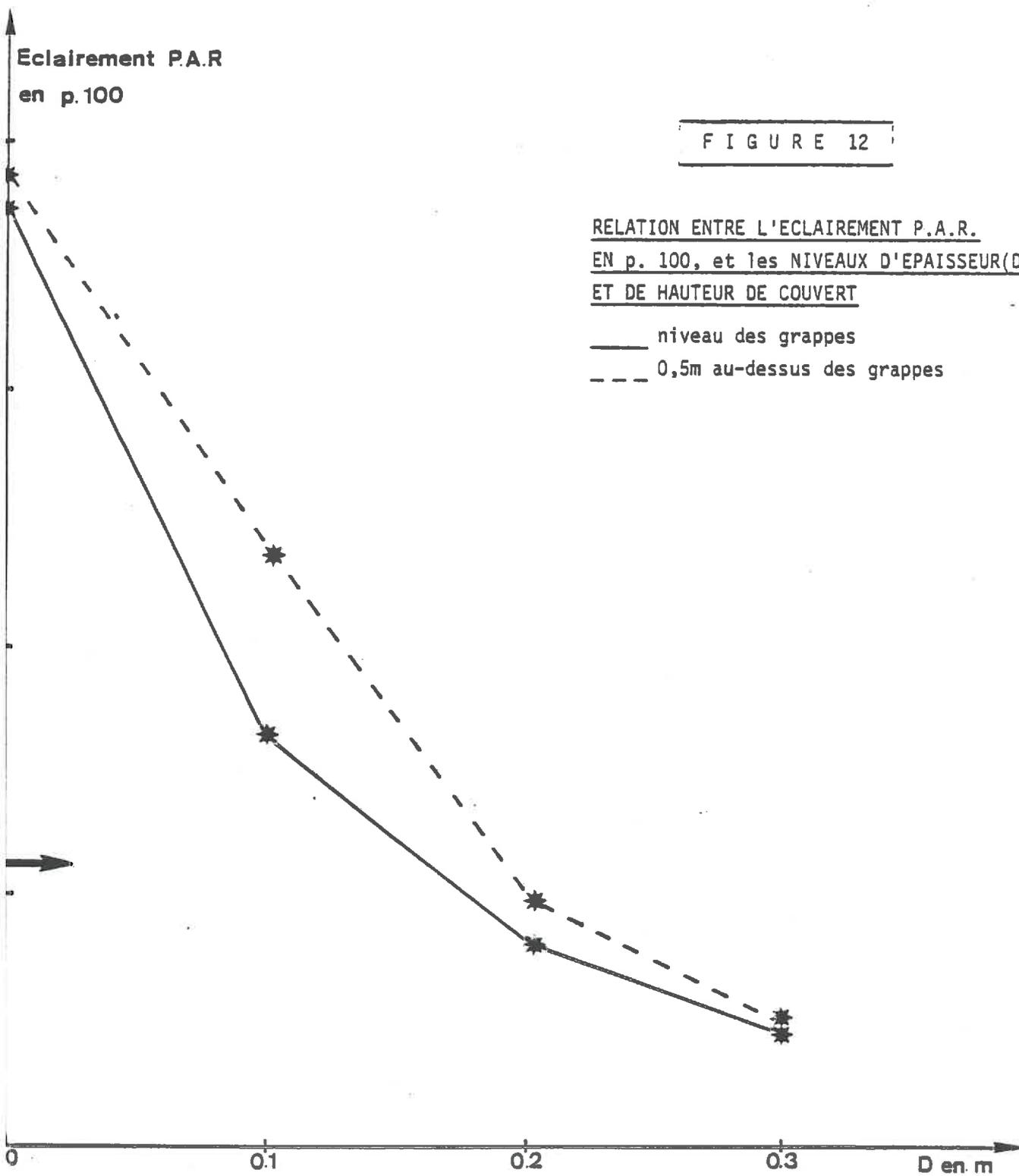
Il convient de remarquer que le meilleur microclimat lumineux du feuillage est obtenu par le système "U", avant même le témoin traditionnel "Ro". A priori, il est possible de penser que le "U" qui peut s'assimiler en fait à 2 plans de vigne étroite sur le même rang, possède un microclimat voisin de celui du témoin. Or, il en est supérieur de 12,5 p. 100 pour la radiation globale ("fish-eye") et de 20,5 p. 100 pour les P.A.R. (cellule photo électrique). Cette supériorité du "U" sur le témoin peut être reliée à deux observations : le rognage en rangs étroits qui augmente la croissance des entre-coeurs, et la présence en rangs étroits d'un certain nombre de superpositions de bois de taille. Ce dernier phénomène semble expliqué par le fait que le tronc occupe une certaine place sur le palissage, place qui fait défaut au feuillage. De ce fait, pour une même charge à répartir par mètre de palissage plan, il y a davantage de place réelle réservée aux bourgeons dans le cas où les troncs sont espacés (dans le système "U" cet espacement est de 2,2m) que dans le cas où ils sont resserrés (dans le système "Ro" cette distance est de 1,1m).

Une dernière observation concerne le coefficient de variation du pourcentage de ciel moyen vu au niveau d'un cep, calculé le long d'un rang (28 ceps). Il est de l'ordre de 35 p. 100, tout comme le coefficient de variation correspondant à la vigueur des ceps .

#### 4. 1. 2. - EXTINCTION DU RAYONNEMENT PERÇU DANS LE FEUILLAGE

La figure 12 illustre l'extinction du rayonnement correspondant aux P.A.R., en fonction de la pénétration dans le couvert et pour deux plans horizontaux : le niveau du bas du couvert et le niveau 0,5 m au dessus. Les valeurs correspondent aux moyennes des différents systèmes de conduite de l'essai.

Il ressort de cette analyse d'une part l'allure parabolique de l'extinction du rayonnement et d'autre part la rapidité de cette extinction. En effet, à 30 cm à l'intérieur du couvert pour les deux niveaux étudiés, la valeur de l'éclairement n'est que 10 p. 100 environ de celle enregistrée à l'extérieur du couvert dans un plan horizontal en visant le ciel. Il convient également de noter l'extinction la plus forte au bas du couvert



en raison d'un trajet maximal du rayonnement dans le feuillage.

Il est donc vraisemblable que la partie végétative de l'intérieur du couvert possède un rôle physiologique pratiquement négligeable par rapport à celui assuré par la zone externe du couvert. Cet effet doit être encore plus marqué pour des situations induisant des vigueurs plus élevées et pour des cépages à larges feuilles entières, en raison d'une extinction encore plus rapide du rayonnement que pour du *Cabernet-Sauvignon* planté dans un sol de graves.

#### 4. 1. 3. - REPARTITION DE L'ECLAIREMENT A DIFFERENTS NIVEAUX DU COUVERT

La figure 13 présente un schéma des différents systèmes de conduite qui sont découpés chacun en quatre zones : basale Nord, sommitale Nord, basale Sud, sommitale Sud. Pour chacune, figurent les valeurs moyennes de l'éclairement pour les P.A.R. Le phénomène d'extinction du rayonnement explique les différents résultats présentés dans la figure 13. Cette dernière permet d'apprécier le microclimat des différentes parties du couvert et notamment celui des feuilles entourant la zone des grappes indiquée par une flèche. A ce niveau, les systèmes "V" et "H<sub>o</sub>" présentent des valeurs faibles.

Cette étude de la répartition du microclimat lumineux fait ressortir la notion d'homogénéité du microclimat. En effet, pour une plante, il n'est peut être pas équivalent de posséder un niveau microclimatique moyen donné en ayant des valeurs groupées autour de cette moyenne ou au contraire dispersées. Il est donc intéressant de calculer l'écart-type de la population de données élémentaires ainsi que le coefficient de variation (rapport de l'écart-type à la moyenne exprimé en p. 100), pour chacun des systèmes de conduite. Il est à noter qu'en raison de la présence de faces éclairées et de faces à l'ombre dans le couvert, toutes les populations présentent un aspect bimodal. Néanmoins, uniquement la moyenne et l'écart-type général sont fournis car la bimodalité affecte chaque population.

Le tableau 9 indique ces valeurs, correspondant aux P.A.R. à la fois pour le niveau moyen des grappes et pour l'ensemble du feuillage.

Au niveau global du couvert, l'hétérogénéité microclimatique a tendance à augmenter avec l'entassement moyen du feuillage. En effet, les systèmes à feuilles bien éclairées ("U", "D") présentent la meilleure homogénéité (coefficients de variation les plus faibles) puisque la surface externe de palissage est suffisante pour permettre l'étalement de la grande majorité du feuillage. A l'opposé, le système "H", très entassé possède à la fois des feuilles très éclairées à la périphérie du couvert et d'autres très ombragées au centre de ce dernier : l'hétérogénéité y est donc maximale et la bimodalité très tranchée. Contrairement aux observations ultérieures concernant la zone des grappes, il est impossible de créer par les systèmes de conduite, un couvert sombre et relativement homogène.

SCHEMA DES 10 SYSTEMES DE CONDUITE ET MENSURATIONS RAMENEES A 1 m DE HAUTEUR NECESSAIRES AU CALCUL DE L'INDEX FOLIAIRE. 4 ZONES SONT DETERMINEES : BASALE NORD, SOMMITALE NORD, BASALE SUD, SOMMITALE SUD, DANS LESQUELLES FIGURE LE POURCENTAGE D'ECLAIREMENT MOYEN CAPTE POUR LES P.A.R.

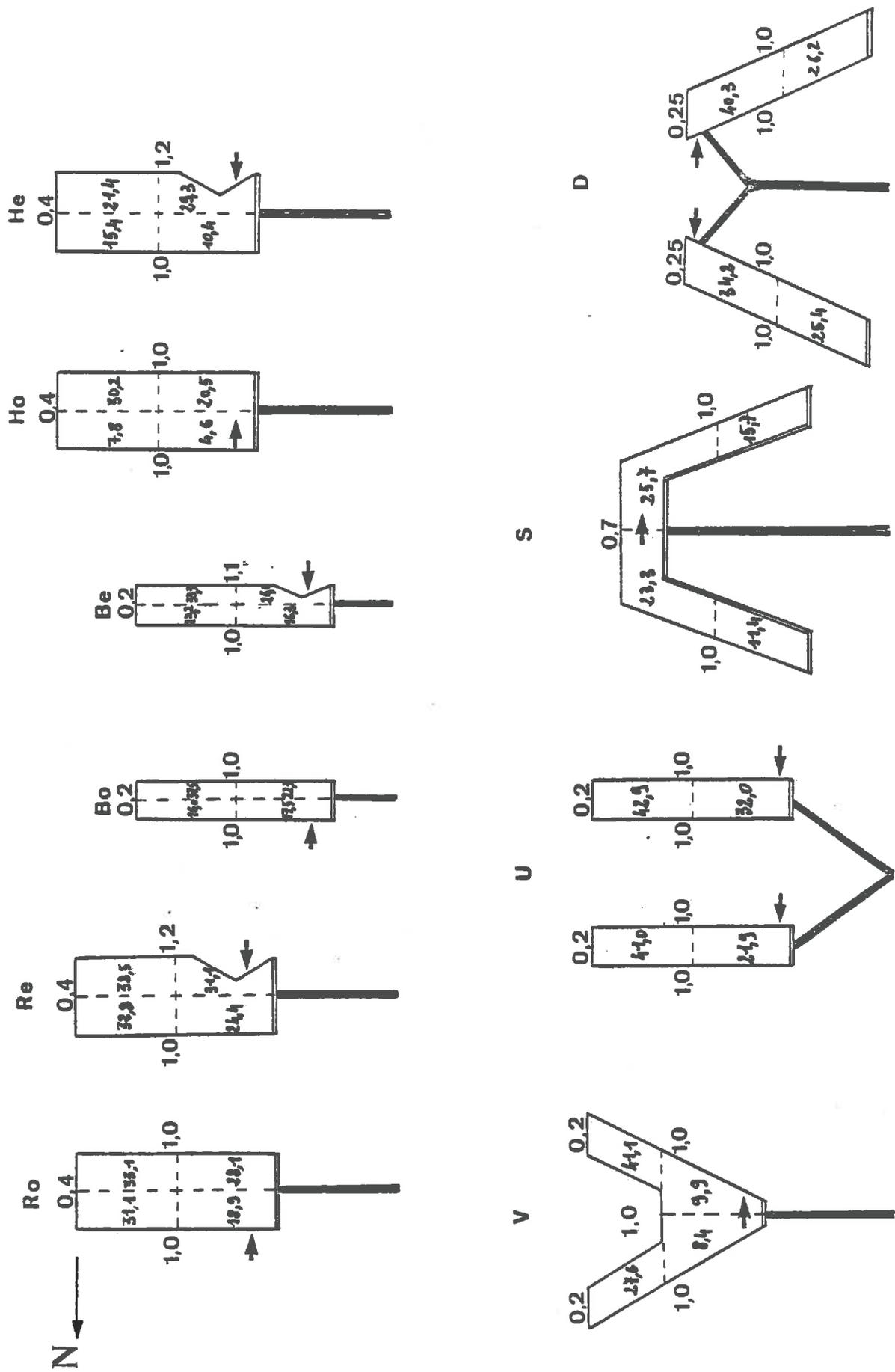


TABLEAU 9

MOYENNES (X), ECARTS-TYPES (T) et COEFFICIENTS DE VARIATION (C.V.)  
 DES DONNEES PONCTUELLES CONCERNANT LE MICROCLIMAT LUMINEUX  
 (P.A.R.) DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE (1975 et 1976)

Systèmes de conduite		R <sub>0</sub>	R <sub>e</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>e</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>e</sub>	S	D	V	U
Niveau global du couvert	Z	27,8	31,7	23,4	24,9	15,7	19,1	19,0	31,6	21,8	34,5
	T	27,0	31,8	25,4	24,6	23,1	22,7	24,4	23,0	23,2	22,7
	CV	97,0	100,4	108,5	98,6	147,3	118,6	128,2	72,8	106,4	65,8
Zone des grappes	Z	12,8	22,2	9,7	18,3	2,9	12,6	4,0	24,8	5,6	21,3
	T	10,0	30,4	9,5	28,1	2,4	18,9	2,4	8,1	4,5	12,9
	CV	78,2	136,7	98,2	153,4	83,9	150,0	61,1	32,7	80,4	60,6

#### 4. 2. - AU NIVEAU DES GRAPPES

Les données du tableau 10 permettent de comparer les systèmes de conduite quant au microclimat lumineux qu'ils reçoivent dans la zone fructifère. Ce dernier est en bonne relation avec le dégagement du feuillage autour des raisins, dégagement induit par le palissage ou par arcure des bois de taille vers l'extérieur avec exposition manuelle des raisins au Sud.

Les écarts sont très importants puisque couvrant un rapport de 1 à 8 (cellule photoélectrique) et de 1 à 4 (fish-eye) entre les deux extrêmes "H<sub>0</sub>" et "D". Ce dernier possède les grappes au sommet du couvert donc très exposées au rayonnement direct. Le système "R<sub>e</sub>" se situe au niveau du "D" avec un peu moins d'exposition que ce dernier au rayonnement direct et davantage d'utilisation du rayonnement réfléchi par le sol. Le "U" possède également une bonne exposition des baies mais pas maximale.

L'analyse statistique des résultats montre des différences significatives pour des écarts de 3 à 4 points. D'autre part, le tableau 10 montre la bonne corrélation entre la technique du "fish-eye" et celle de la cellule photoélectrique. Toutefois, cette dernière souligne davantage l'extinction importante du rayonnement pour les P.A.R. au bas du couvert, surtout pour le "H<sub>0</sub>". Pour les raisins, les P.A.R. présentent sans doute moins d'importance que pour les feuilles. De ce fait, les données fournies par le "fish-eye" semblent plus appropriées dans ce cas.

Un paramètre peut être intéressant à envisager : il s'agit de l'équilibre du microclimat lumineux entre feuilles et grappes, en prenant comme référence la technique du "fish-eye". Les systèmes "H<sub>0</sub>", "V", "S", font apparaître les déséquilibres microclimatiques les plus importants entre l'ensemble du couvert et la zone particulière des grappes.

Ensuite (tableau 9), les systèmes de conduite qui présentent la meilleure homogénéité microclimatique des raisins (coefficients de variation les plus faibles) sont : le "D" où les grappes situées au dessus du couvert sont bien dégagées par le palissage, et ce, uniformément ; puis, le "U" où le microclimat lumineux est assez élevé et homogène en raison de l'ouverture du palissage ; et le "S" où le microclimat est à un faible niveau et uniforme puisque les grappes sont bien recouvertes par le feuillage retombant. Ceux qui possèdent le microclimat le plus hétérogène sont le "R<sub>e</sub>", le "B<sub>e</sub>", et le "H<sub>e</sub>". Le dégagement spécifique de la zone des grappes, dans un palissage plan, en ne permettant pas d'atteindre l'ensemble des grappes comme peut le faire l'ouverture totale du palissage, accroît donc l'hétérogénéité microclimatique.

Enfin, un résultat très net concernant le microclimat lumineux de la zone des grappes est relatif à l'effet stimulant de l'irrigation sur la croissance. Cet effet n'est pas perceptible au niveau global du couvert, car le palissage haut offre des possibilités suffisantes de conduite des tiges : la moyenne du pourcentage de ciel sur la voûte céleste est de 32,6 p. 100 dans le bloc non irrigué et de 33,4 p. 100 dans le bloc irrigué. Par contre, au niveau des grappes, la moyenne dans le bloc non irrigué est de 19,3 p. 100, contre 14,0 p. 100 dans le bloc irrigué. L'irrigation diminue l'éclairement des grappes de l'ordre de 38 p. 100, ce qui est très appréciable.

TABLEAU 10

MICROCLIMAT LUMINEUX MOYEN DE LA ZONE DES GRAPPES DES DIVERS COUVERTS  
MESURE A LA FIN DE LA POUSSE VEGETATIVE (1975 et 1976) à l'AIDE DES  
TECHNIQUES SUIVANTES :

- . y : p.100 de ciel vu sur la voûte céleste de la photographie hémisphérique
- . z : p.100 de radiation incidente (P.A.R.) déterminé par la cellule photoélectrique
- . e : rapport du microclimat lumineux des feuilles à celui des grappes (résultats de la technique du "fish-eye")

Systemes de conduite	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
y (1)	18,2 <sub>c</sub>	25,4 <sub>a</sub>	12,6 <sub>d</sub>	23,8 <sub>a</sub>	6,3 <sub>e</sub>	16,8 <sub>c</sub>	8,0 <sub>e</sub>	25,2 <sub>a</sub>	7,6 <sub>e</sub>	21,8 <sub>b</sub>
z (2)	12,8 <sub>c</sub>	22,2 <sub>a</sub>	10,9 <sub>c</sub>	19,4 <sub>b</sub>	2,9 <sub>d</sub>	12,6 <sub>c</sub>	4,0 <sub>d</sub>	24,8 <sub>a</sub>	5,6 <sub>d</sub>	21,3
e	2,0	1,5	2,3	1,3	3,9	1,8	3,5	1,6	3,6	1,9

Régressions et corrélations :

$$(1) - z = 1,035y - 3,504$$

$$(2) - rz/y = 0,978$$

- Les lettres attenantes aux chiffres représentent un regroupement ordonné des systèmes de conduite issu des comparaisons multiples du test de KRUSKAL-WALLIS effectué au seuil de 5 p.100. Les régressions et corrélations sont significatives à ce même seuil.

#### 4. 3. - EFFETS DES DIVERS CLIMATS JOURNALIERS

Le tableau 11 compare pour chaque système de conduite l'effet de la proportion du rayonnement direct, sur le pourcentage d'éclairement capté par le feuillage. Le rayonnement diffus est noté à la cellule photoélectrique sous un cache opaque au rayonnements direct. Deux situations proches dans le temps sont comparées :

- un climat journalier ensoleillé (éclairage =  $180 \text{ Wm}^{-2}$  pour les P.A.R. vers midi solaire ; 20 p 100 de rayonnement diffus)
- un climat journalier couvert (éclairage =  $80 \text{ Wm}^{-2}$  pour les P.A.R. vers midi solaire, 90 p 100 de rayonnement diffus).

Si la valeur 100 est attribuée à la première situation pour le pourcentage d'éclairement reçu dans le couvert, le niveau moyen correspondant à la seconde est de 143,5. Le rayonnement diffus est donc relativement plus pénétrant dans le couvert que le rayonnement direct qui est plus facilement intercepté, par la première couche de feuillage. Cette observation confirme les résultats de LAKSO et MUSSELMAN (1976) sur pommier. Il est donc logique de constater que la pénétration du rayonnement diffus est relativement meilleure pour les systèmes entassés ("Ho", "He", "V").

Une autre remarque concerne les systèmes à port retombant "D" et "S" qui accusent le moins de variation entre les deux situations. En effet, l'extrémité de leur feuillage touche très fréquemment le sol. De ce fait, une part non négligeable de l'éclairement qu'ils reçoivent, même par temps clair, est du rayonnement diffus réémis par le sol à l'extérieur et sous le couvert lui-même. L'augmentation de la proportion du rayonnement diffus modifie donc relativement moins le pourcentage d'éclairement reçu par le feuillage.

Un autre paramètre du climat journalier autre que le niveau d'éclairement et la proportion de rayonnement diffus, peut modifier le micro-climat lumineux du couvert : il s'agit du vent. KRIEDEMANN, TÖRÖKFALVY et SMART (1973) ont montré l'importance des éclaircissements intermittents provoqués par l'agitation des feuilles externes, dans l'amélioration de la photosynthèse des feuilles du milieu du couvert.

Au niveau des systèmes de conduite, si l'on donne la valeur 100 à l'éclairement reçu en bas de la végétation à 30 cm de profondeur dans le feuillage par air calme, les valeurs suivantes sont notées pour cette zone dans le cas d'une légère agitation continue des feuilles et pendant des périodes de quelques secondes :

- 140 pour une proportion de 90 p 100 de rayonnement diffus
- 600 pour une proportion de 20 p 100 de rayonnement diffus.

T A B L E A U 11

MICROCLIMAT LUMINEUX POUR LES P.A.R. des DIVERS SYSTEMES DE CONDUITE,  
CORRESPONDANT A UN CLIMAT JOURNALIER COUVERT (éclairage =  $80 \text{ Wm}^{-2}$   
pour les P.A.R. vers midi solaire : 90 p 100 de rayonnement diffus)  
EXPRIME EN POUR CENT DES DONNEES NOTEES POUR UN CLIMAT JOURNALIER  
ENSOLEILLE (éclairage :  $180 \text{ Wm}^{-2}$  pour les P.A.R. vers midi solaire;  
20 p 100 de rayonnement diffus)

Systèmes de conduite Moyenne	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
143,5	133,7	154,3	134,9	158,8	173,7	180,0	105,1	107,9	171,1	115,6

Le vent peut donc modifier fortement le microclimat lumineux des feuilles internes.

#### 4. 4. - EVOLUTION DU MICROCLIMAT LUMINEUX AU COURS DE LA CROISSANCE

Aux premiers stades de la croissance, le feuillage bénéficie d'un excellent ensoleillement relatif et les différences entre les systèmes de conduite sont minimales. Au stade 30 cm de pousse des sarments, le pourcentage de ciel moyen vu sur l'ensemble du couvert est de 70 p. 100 environ.

Par la suite, l'entassement global du feuillage augmente avec la croissance des tiges et des feuilles, et l'ombre portée des rangs voisins s'accroît. Lorsque les sarments dépassent la hauteur du palissage dans le cas d'un port ascendant, ou atteignent le niveau du sol dans le cas d'un port retombant, le couvert tend à s'évaser. De ce fait, à partir de ce stade l'augmentation de l'entassement global avec la croissance est moins sensible voire nulle.

Le tableau 12 présente des résultats acquis grâce à la technique du "fish-eye" et concernant la zone des grappes ainsi que l'ensemble du couvert à deux stades végétatifs : début de juillet ou 2/3 de croissance, et fin d'août ou fin de croissance.

Au niveau de la zone des grappes, le résultat le plus marquant concerne les systèmes "Ho", "V", "S", qui possèdent le microclimat des baies le plus sombre. L'entassement du feuillage et l'ombre autour des raisins augmentent fortement au cours de la croissance. Les causes tiennent à la croissance elle-même et à l'augmentation de l'atténuation du rayonnement avec la hauteur de feuillage. Les autres systèmes, du fait de l'ouverture du palissage ("U", "D"), ou de la faible vigueur par cep (vignes étroites) peuvent mieux répartir le feuillage au fur et à mesure de la croissance, au niveau de la zone des grappes. Les résultats concernant l'effet de l'irrigation vont dans le même sens, cette technique stimulant fortement la vigueur.

En ce qui concerne le couvert tout entier, il apparaît essentiellement un effet des plans de feuillage voisins. Plus ces derniers sont rapprochés, plus l'assombrissement du couvert est rapide au cours de la croissance. Ce phénomène est très net pour les vignes étroites surtout dans le cas d'absence de rognage, et peu perceptible à l'autre extrême pour les vignes larges planes.

Il est à noter que le système "He" en raison du phénomène précédent de l'évasement au sommet du couvert, et du dégagement répété de la zone des grappes normalement très entassée, présente une légère tendance à l'amélioration du microclimat lumineux.

T A B L E A U 12

MICROCLIMAT LUMINEUX MESURE EN 1975 et 1976 AVEC LA TECHNIQUE DU "FISH-EYE" CONCERNANT LA ZONE DES GRAPPES AINSI QUE L'ENSEMBLE DU COUVERT A DEUX STADES VEGETATIFS : DEBUT DE JUILLET OU 2/3 DE CROISSANCE et FIN d'AOÛT ou FIN DE CROISSANCE. DONNEES IDENTIQUES DE FIN DE CROISSANCE PORTANT SUR LE BLOC NON IRRIGUE ET SUR LE BLOC IRRIGUE.

Systèmes de conduite		Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U	Bloc non irrigué	Bloc irrigué
zone des grappes	2/3 de croissance	18,2c	25,4a	12,6d	23,8a	6,3e	16,8c	8,0e	25,2a	7,6e	21,8b		
	fin de croissance	21,2c	30,7a	14,5d	28,3a	9,7	20,6c	13,3d	31,0a	11,7d	24,9b	19,3a	14,0b
	évolution p 100 entre les 2 stades	-15%	-17%	-13%	-16%	-35%	-18%	-40%	-19%	-35%	-12%		
ensemble du couvert	2/3 de croissance	42,1a	44,7a	36,5a	39,1b	25,1d	28,0c	30,8c	43,9a	30,2c	44,2a		
	fin de croissance	36,1b	37,9	28,5c	31,6c	24,5d	30,1c	28,0c	40,3a	27,5c	40,6a	32,6	32,2
	évolution p 100 entre les 2 stades	-16%	-15%	-22%	-19%	-2%	+8%	-9%	-8%	-9%	-8%		

- Les lettres attenantes aux chiffres représentent un regroupement ordonné des systèmes de conduite issu des comparaisons multiples du test de KRUSKAL-WALLIS effectué au seuil de 5 p 100.

L'évasement de la végétation au sommet du couvert explique également, avec l'atténuation du rayonnement en fonction de la hauteur dans la partie aérienne, que l'assombrissement soit moins net sur l'ensemble du feuillage qu'au niveau particulier des grappes. Les résultats concernant l'influence de l'irrigation corroborent cette idée.

Ce phénomène d'évasement est très net en année de forte vigueur. Dans ce cas, en fin de saison les systèmes plans entassés bénéficient d'un bon ensoleillement, d'autant que les feuilles actives se situent au tiers supérieur du sarment donc dans cette zone étalée (KOBLET, 1969).

#### 4. 5. - INFLUENCE DE LA TAILLE ET DE LA CHARGE

Le tableau 13 permet de comparer, pour un même niveau de charge en bourgeons, une taille à bois demi-longs disposés dans un plan vertical (4 pour le système "U" et 2 pour le système "Ro"), à une taille à longs bois disposés aussi dans un plan vertical (2 pour le "U" et 1 pour le "Ro"). Cette dernière permet un étalement plus régulier du feuillage le long du palissage avec moins de superpositions de bois de taille, surtout vis à vis du type à 4 bois (cf. figure 7). De ce fait, il est logique d'observer que le pourcentage de ciel au niveau de la zone des grappes est plus élevé d'environ 15 p. 100 dans les tailles à longs bois que dans les tailles à bois demi-longs, pour une même charge par cep.

Le tableau 13 présente également, pour ces deux systèmes de conduite, les résultats concernant les deux niveaux de charge (normale et 50 p. 100 au-dessus). La surcharge induit une augmentation du pourcentage de ciel d'environ 57 p. 100 pour le "U" et de 5 p. 100 pour le "Ro", par rapport à la charge normale.

Ce fait peut sembler surprenant puisqu'une surcharge entraîne normalement une augmentation du volume de la partie aérienne par cep, donc de l'entassement du feuillage. En réalité, pour cet essai, des données ultérieures montreront que l'effet inverse se produit. La surcharge semble ici accentuer les phénomènes de compétition entre raisins (plus nombreux et plus lourds de 30 p 100) et sarments (plus nombreux mais nettement moins lourds). Cette explication est confirmée par le fait que la baisse de vigueur individuelle des sarments est très nette pour le "U" système très fertile. Cette baisse de vigueur est donc liée au meilleur éclaircissement à la base du couvert.

Donc, pour les différents niveaux de la plante et conditions envisagées, le système de conduite modifie fortement le microclimat lumineux. Les valeurs les plus élevées et les plus homogènes dans le couvert sont fournies par la vigne large en "U".

T A B L E A U 13

INFLUENCE DU MICROCLIMAT LUMINEUX MESURE EN 1975  
et 1976 par la technique du "FISH-EYE" et influencé  
par le type de taille et le niveau de charge en  
bourgeons (bloc non irrigué).

Type de taille				Niveau de charge			
Bois demi-longs		Longs bois		Normal		Normal + 50 %	
Ro 2 astes	U 4 astes	Ro 1 aste	U 2 astes	Ro -	U -	Ro +	U +
27,0 b	24,9 b	30,5 a	29,5 a	27,5 a	20,5 b	28,8 a	32,2 a
<p>- Les lettres attenantes aux chiffres représentent un regroupement ordonné des types de taille et des niveaux de charge pour chacun des systèmes de conduite, issu des comparaisons multiples du test de KRUSKAL-WALLIS effectué au seuil de 5 p 100.</p>							

## C H A P I T R E V

( RESULTATS )

### ESTIMATION DE L' ENERGIE SOLAIRE REÇUE DANS LE COUVERT AU MOYEN D'UN INDEX FOLIAIRE " E "

A ce stade de l'analyse, il peut paraître intéressant d'essayer de modéliser simplement la captation de l'énergie solaire dans le couvert. D'une part, dans un but théorique afin de mieux déterminer les paramètres essentiels qui régissent un bon éclairage du végétal, et d'autre part, dans un but pratique afin de pouvoir calculer cet éclairage avec le minimum d'appareillage.

#### 5. 1. - DEFINITION DE L' INDEX FOLIAIRE

En fonction des résultats précédents, il apparaît indispensable de faire intervenir la géométrie du couvert puisque le palissage influe fortement sur le microclimat lumineux.

Un autre paramètre qui explique les différences microclimatiques entre les systèmes "U" et "Ro" en particulier doit être considéré : il s'agit de l'espacement sur le rang ou du chevauchement des bois de taille ou de celui de la végétation.

La charge en bourgeons par cep est un élément très important puisqu'elle conditionne pour une bonne part les écarts entre vignes étroites et vignes larges pour un même palissage plan.

Un autre facteur important et explicatif du microclimat est la vigueur de la partie végétative. Cette dernière est influencée par le système de conduite lui-même, (microclimat, rognage), au niveau du cep individuel et de la population des ceps voisins, également par le sol, le mésoclimat, le greffon et le porte-greffe, l'ensemble des autres techniques de culture.

Enfin, dans le but de faciliter la confrontation des divers systèmes de conduite, il convient de ramener les valeurs de ces divers paramètres à un terme de comparaison commun. Dans ces conditions, il sera possible d'apprécier une densité microclimatique.

Etant guidé par ces premières observations, il est intéressant de tenter d'élaborer un nouvel index foliaire qui permettrait de décrire comment le couvert reçoit l'énergie solaire, et ce, pour différents systèmes de conduite.

L'index foliaire " E " suivant paraît répondre à cette définition.

5. 1. 1. - LE PREMIER ELEMENT EST LE SIMPLE SCHEMA DE LA SECTION TRANSVERSALE DU COUVERT dans lequel toutes les dimensions moyennes des rideaux de feuillage sont ramenées à 1 m de hauteur. Pour ce faire, il suffit de dessiner l'allure générale du couvert et d'y placer les différents pans de feuillage. Ensuite, il convient de mesurer les dimensions moyennes de ces pans, longueur et largeur. Enfin, il faut diviser ces valeurs par la hauteur moyenne du feuillage de façon à établir le schéma pour une hauteur standard de 1 m. Cette description des systèmes de conduite est assez courante, hormis peut-être le fait que toutes les dimensions sont uniformisées à 1 m de haut.

La figure 13 illustre le résultat de cette démarche pour les 10 systèmes de conduite étudiés. Concernant les types " Re ", " Be ", " He ", pour lesquels de nombreuses grappes sont disposées hors du feuillage, il y a une augmentation du périmètre externe du couvert en raison de ce dégageement. C'est ce qui est schématisé par une ligne brisée.

Il est alors possible de calculer le périmètre externe et complètement exposé de la section du couvert par unité de hauteur de feuillage : "S".

5. 1. 2. - LE SECOND PARAMETRE qui a été suggéré par SHAULIS (1975), est LE NOMBRE DE BOURGEONS (ou de SARMENTS) PAR METRE DE RANG (ou par mètre de palissage ou de couvert végétal) : " N ".

5. 1. 3. - LE TROISIEME ELEMENT EST LA DISTANCE DE PLANTATION SUR LE RANG projetée sur un ou sur chacun des pans de feuillage bien distincts, "D", en combinaison avec la distance horizontale moyenne occupée par un tronc et non par le feuillage " T " (égal à environ 0,2 m dans nos conditions) - " T " illustre l'importance des trous dans le couvert au-dessus du tronc et des bras d'un cep, ou les superpositions de feuillage qui en résultent à un autre endroit du couvert à cause du décalage provoqué par la place prise par le tronc et les bras. "  $\frac{1}{D}$  " mesure le nombre de ceps par mètre de rang.

"  $1 - \frac{T}{D}$  " représente donc la distance réelle qui est réservée au feuillage par mètre de pan de feuillage, déduction faite de la place perdue (trous ou chevauchements) liée à la présence de troncs. Plus l'espacement sur le rang sera petit, plus nombreuses seront les superpositions de feuilles, pour le même nombre de bourgeons par mètre de rang.

5. 1. 4. - LE QUATRIEME PARAMETRE REPRESENTATIF DE LA VIGUEUR EST LA SURFACE FOLIAIRE "F" PAR UNITE DE LONGUEUR DE TIGE " L ", DONC : "  $\frac{F}{L}$  "

Ce dernier exprime l'entassement du feuillage pour une unité de croissance en longueur.

Si l'on reprend l'ensemble de ces éléments, deux regroupements peuvent être faits.

- d'une part, le produit " $(1 - \frac{T}{D}) \times S$ ". Il représente la surface externe du couvert très bien exposée, donc la possibilité maximale théorique d'ensoleillement offerte au feuillage. Tout ceci par unité de longueur et de hauteur de couvert.

- d'autre part, le produit  $N \times \frac{F}{L}$ . Il mesure la surface foliaire totale de la partie aérienne par unité de croissance en hauteur et de longueur de couvert.

La notion d'éclairement moyen du couvert ou de densité micro-climatique précédemment évoquée, peut être formulée comme la proportion de la surface foliaire totale " $N \times \frac{F}{L}$ " qui profite de la surface externe du couvert " $(1 - \frac{T}{D}) \times S$ ".

L'index foliaire " E ", peut donc être représenté simplement par le rapport :

$$E = \frac{(1 - \frac{T}{D}) \times S}{N \times \frac{F}{L}}$$

Son calcul est détaillé dans le tableau 14.

L'équation aux dimensions est :

$$\frac{\frac{m}{m} \times \frac{m}{m}}{\frac{1}{m} \times \frac{m^2}{m}} = 1$$

**TABLEAU 14 : Calcul de l'Index foliaire " E " pour les différents systèmes de conduite.**

Systèmes de conduites	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
Section externe "S" par unité de hauteur de feuillage ( $\frac{m}{m}$ )	2.4	2.6	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	4.5	3.4	4.4
Nombre de bourgeons par unité de longueur de rang ( $\frac{1}{m}$ )	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20
Distance sur un ou sur chacun des pans de couvert distincts (m)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	1.1	2.2
Distance réelle "1 - $\frac{1}{D}$ " par unité de longueur ( $\frac{m}{m}$ )	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.91	0.82	0.91
Surface foliaire du sarment ( $m^2$ ) "F"	0.190	0.187	0.339	0.389	0.375	0.401	0.408	0.371	0.460	0.340
Longueur du sarment (m) "L"	0.98	0.99	1.81	1.90	1.84	2.30	2.21	2.08	2.34	2.00
" F / L " (m)	0.194	0.189	0.187	0.205	0.204	0.174	0.185	0.179	0.196	0.170
$E = \frac{(1 - \frac{T}{D}) \times S}{N \times \frac{F}{L}}$	1.02	1.13	0.96	0.92	0.48	0.61	0.60	1.14	0.71	1.18
Pourcentage moyen de l'intensité de l'énergie lumineuse PAR mesurée dans l'ensemble du couvert	27,8 %	31,7 %	23,4 %	24,9 %	15,7 %	19,1 %	19,0 %	31,6 %	21,8 %	34,5 %

L'index foliaire " E " est sans dimension, ce qui lui confère une aptitude à la généralisation dans les comparaisons entre systèmes de conduite. Si sa valeur est inférieure à 1, cela traduit un entassement du feuillage, donc le fait que les feuilles ne sont pas toutes bien exposées. Cette tendance s'accroît au fur et à mesure que " E " tend vers zéro. Il convient de noter que " E " ne peut être nul, car même pour un couvert très épais, il existe toujours des feuilles externes. Si " E " est égal ou supérieur à 1, cela veut dire que les feuilles sont très bien exposées et que la surface offerte par le couvert est suffisante ou supérieure à la surface foliaire de la partie aérienne.

## 5. 2. - PORTEE DE L'UTILISATION DE L'INDEX FOLIAIRE "E"

Il convient de remarquer que l'index foliaire "E" ne fait entrer en ligne de compte ni les effets de l'inclinaison et de l'orientation des feuilles, ni l'ombre portée due aux rangs voisins. Il est certain que ces facteurs influent sur le microclimat lumineux du couvert. Mais leur prise en considération dans une formule ôterait à cette dernière son avantage de simplicité. De toutes façons, le paramètre " $\frac{F}{L}$ " intègre dans une certaine mesure la réponse de la vigne aux facteurs précédents. Les autres éléments (T, D, S, N) sont plus indépendants de la physiologie de la plante et reflètent plutôt l'effet de la technique de conduite.

Il faut toutefois observer que cette distinction est assez arbitraire dans la mesure où la surface offerte au développement du couvert " $(1 - \frac{T}{D}) \times S$ " influe elle-même dès le départ sur le microclimat et la physiologie de la plante. C'est ainsi qu'il existe entre " $(1 - \frac{T}{D}) \times S$ " et " $\frac{F}{L}$ " qui représente la surface foliaire par unité de D croissance, un coefficient de corrélation significatif de "0,60". Les palissages très exposés ("U", "D") tendent ici à restreindre la croissance en général, et la surface foliaire plus que l'allongement de la tige. Un palissage assurant une bonne exposition du couvert tend donc à accentuer cet éclaircissement même, par un effet de retour sur la physiologie de la plante.

L'index foliaire "E" est donc assez facile à mesurer et ne nécessite pour son élaboration, qu'une simple règle graduée, dans la mesure où il est possible d'estimer la surface foliaire avec cet instrument (CARBONNEAU, 1976 a et b).

Pour le *Cabernet-Sauvignon* dans cet essai, le produit " 28,19 x E " reflète avec environ 1 p. 100 d'erreur, le pourcentage moyen de la radiation ambiante totale (P.A.R.) reçue dans l'ensemble du couvert et mesurée précisément avec la cellule photoélectrique. L'index foliaire "E" ainsi calculé, apparaît en fait comme une bonne méthode pour apprécier les caractéristiques et les qualités microclimatiques d'un système de conduite.

Il est également possible de calculer cet index pour différentes zones du couvert notamment pour le niveau des grappes, il suffit pour cela d'effectuer la coupe standardisée de la zone considérée, d'y noter s'il y a des chevauchements de bois de taille et d'y mesurer la vigueur.

Enfin, un index foliaire simplifié peut être envisagé si l'on ne tient pas compte de la surface foliaire et de la longueur des tiges pour avoir rapidement une idée (avec peut être 10 ou 20 p. 100 d'erreur) des écarts relatifs existant entre des systèmes assez différents :

$$E' = \frac{(1 - \frac{T}{D}) \times S}{N} \quad \text{ou } \frac{F}{L} \text{ vaut ici } 1 \text{ m}$$

Cette dernière formule pourrait servir de base à une codification mixte du microclimat et de la charge.

### 5. 3. - SURFACE FOLIAIRE ECLAIREE PAR UNITE DE SURFACE AU SOL

L'index E peut également se prêter à l'estimation de la surface foliaire éclairée par unité de surface au sol ou par hectare.

Si " e " est l'écartement entre rangs en mètres, " $\frac{100}{e}$ " représente le nombre de rangs par hectare. D'autre part, la surface foliaire totale par mètre de rang est " N x F ", et la surface foliaire le long du rang est " 100 x N x F ". La surface foliaire totale sur un hectare est donc (avec une légère surestimation car seuls les sarments principaux bien développés sont pris en compte pour le calcul de F) :

$$F_{ha} = \frac{10.000 \times N \times F}{e}$$

Il s'agit ici de l'indice foliaire couramment utilisé.

L'estimation de la surface foliaire éclairée et totale sur un hectare est donc (à une constante près) :

$$\frac{10.000 \times N \times F \times E}{e}, \text{ soit : } \frac{10.000 \times (1 - \frac{T}{D}) \times S \times L}{e} = E_{ha}$$

L'équation aux dimensions est :

$$\frac{\frac{m}{m} \times \frac{m^2}{m} \times m}{m} = m^2$$

Le tableau 15 présente les résultats concernant  $F_{ha}$  et  $E_{ha}$  pour

T A B L E A U 1 5

VALEUR DE LA SURFACE FOLIAIRE par hectare  
 $(F_{ha} = \underline{10.000 \times N \times F})$  et de la SURFACE FOLIAIRE  
 ECLAIREE PAR HECTARE ( $E_{ha} = \underline{10.000 (1 - \frac{T}{D}) \times S \times L}$ )  
 en m<sup>2</sup> pour les différents systèmes de conduite

Système de conduite	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
$F_{ha}$	10.556	10.389	18.883	21.611	20.833	22.278	22.667	20.611	25.556	18.889
$E_{ha}$	10.767	11.739	18.080	19.882	10.000	13.589	13.600	23.497	18.144	22.289

les 10 systèmes de conduite étudiés. Les systèmes fournissant la surface foliaire la plus élevée à l'hectare sont les types "V", "S", et "He". Ce paramètre est donc influencé plus par la vigueur intrinsèque du cep, que par l'aspect couvrant de la culture : les fortes densités de plantation, surtout les vignes rognées, n'arrivent pas en tête d'après ce critère.

Concernant la mesure de la surface foliaire éclairée par hectare, c'est surtout l'éclairage moyen du feuillage qui intervient (premières places occupées par "D" et "U"), avant les phénomènes de vigueur intrinsèque ou d'aspect couvrant de la culture. A ce niveau également, la forme ou le palissage des ceps possède une influence primordiale.

Globalement, la colonisation verticale de l'espace par la végétation assure, même pour la surface foliaire éclairée/ha, des valeurs en général très supérieures à 10.000 m<sup>2</sup> qui correspondrait à un plan continu de feuilles bien exposées, et horizontal. C'est une conclusion très importante pour les systèmes de conduite où la recherche de la verticalité est plus efficace que celle de l'horizontalité afin de capter le maximum d'énergie solaire.

Une autre considération est en rapport avec le rognage. Ce dernier diminue fortement la surface foliaire éclairée à l'hectare, les types "Ro" et "Re" étant seulement légèrement supérieurs au type le plus entassé "Ho". Toutefois, le rognage augmente l'activité transpiratoire et photosynthétique des feuilles restantes (STOEY, 1966 ; CARBONNEAU, CASTERAN, LECLAIR, 1978). Il faudrait donc, afin de mieux représenter l'efficacité d'un couvert, multiplier la surface foliaire éclairée par hectare par un coefficient tenant compte de cet effet favorable du rognage en fonction de l'intensité de ce dernier et de la variété.

#### 5. 4. - CONSEQUENCES PRATIQUES

Tout d'abord, la simplicité et la précision inhérentes à l'index foliaire "E", doivent permettre son utilisation par les techniciens viticoles soucieux de choisir des systèmes de conduite assurant un bon microclimat lumineux du couvert.

Ensuite, à partir de cette formule, il apparaît possible de raisonner sur les effets de certaines techniques.

##### 5. 4. 1. - LA FORME DU COUVERT :

Toutes autres choses égales par ailleurs, si le viticulteur, par le palissage notamment, étale ou ouvre bien la végétation, le paramètre "S" va augmenter fortement et par voie de conséquence "E". Ceci a été montré et chiffré précédemment. Ceci veut dire aussi que même si la vigueur est liée à l'éclairage résultant de "S", l'effet propre de "S" sur "E" est largement prépondérant.

#### 5. 4. 2. - L'ESPACEMENT SUR LE RANG :

Supposons que l'on double "D" (de 1 m à 2 m), les autres paramètres restant inchangés. Les valeurs de "E" sont les suivantes :

$$- E_1 = \frac{\left(1 - \frac{0,2}{1}\right) \times S}{N \times \frac{F}{L}}$$

$$- E_2 = \frac{\left(1 - \frac{0,2}{2}\right) \times S}{N \times \frac{F}{L}}$$

$\frac{E_2}{E_1}$  vaut donc  $\frac{0,9}{0,8}$  soit 1,13. Le gain d'éclairement est donc seulement de 13 p 100 dans le cas d'une forte augmentation de l'espacement. Ce paramètre a donc un faible effet sur le microclimat lumineux. Le viticulteur ne peut jouer sur ce seul élément pour désentasser un couvert trop sombre.

#### 5. 4. 3. - LA CHARGE PAR METRE DE RANG "N"

La charge "N" influe théoriquement fortement sur "E". Toutefois, pour des raisons économiques, le viticulteur a rarement tendance à diminuer la charge pendant la taille, donc la production à l'hectare pour améliorer le microclimat du feuillage. En outre, il a été précédemment observé une liaison entre N et  $\frac{F}{L}$ . En d'autres termes, la diminution de N peut s'accompagner d'une  $\frac{F}{L}$  augmentation de  $\frac{F}{L}$  et réciproquement. C'est ce que traduisent les résultats de la technique du "fish-eye" où les deux niveaux de charge de l'essai donnent des microclimats comparables ou même meilleurs pour la surcharge qui paraît dépasser les capacités de vigueur des ceps. (Tableau 13).

Un autre moyen de faire varier la charge par mètre de rang est de jouer sur l'écartement entre rangs en gardant une charge /m<sup>2</sup> constante.

La comparaison de vignes étroites planes (écartement : e<sub>1</sub> = 1,5 m) de vignes demi-larges planes (écartement e<sub>2</sub> = 2,5m) et de vignes larges planes (écartement : e<sub>3</sub> = 3,5 m) pour une même charge /m<sup>2</sup> "C", un même espacement "D" et une même section de couvert "S" donne les valeurs respectives de "N".

$$N_1 = 1,5 \times D \times C \quad ; \quad N_2 = 2,5 \times D \times C \quad ; \quad N_3 = 3,5 \times D \times C$$

Les valeurs de "E" correspondantes sont donc :

$$E_1 = \frac{\left(1 - \frac{T}{D}\right) \times S}{1,5 \times D \times C \times \frac{F}{L}} \quad ; \quad E_2 = \frac{\left(1 - \frac{T}{D}\right) \times S}{2,5 \times D \times C \times \frac{F}{L}}$$

$$E_3 = \frac{(1 - \frac{T}{D}) \times S}{3,5 \times D \times C \times \frac{F}{L}}$$

$$\text{Donc, } \frac{E_1}{E_2} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67 ; \frac{E_2}{E_3} = \frac{3,5}{2,5} = 1,40 ; \frac{E_1}{E_3} = \frac{3,5}{1,5} = 2,3$$

Les vignes étroites planes possèdent de loin le meilleur microclimat (67 p 100 de mieux que les vignes demi-larges planes et 133 p 100 de mieux que les vignes larges planes). L'écart entre les vignes demi-larges planes et les vignes larges planes est sensible (40 p 100) en faveur des premières qui se trouvent néanmoins assez inférieures aux vignes étroites planes. La solution des vignes demi-larges présente les défauts habituels des compromis : ici l'impossibilité de garantir un microclimat analogue à celui des vignes traditionnelles et la perte d'une part importante des avantages économiques des vignes larges.

#### 5. 4. 4. - L'ENTASSEMENT FOLIAIRE " $\frac{F}{L}$ "

L'entassement foliaire "  $\frac{F}{L}$  ", à charge fixe, possède une forte influence sur "E". Certaines composantes explicatives de cette vigueur ne peuvent être changées par le viticulteur : il s'agit du sol, du mésoclimat et du greffon. Par contre, il peut jouer sur la vigueur conférée par le porte-greffe, ainsi que sur certaines techniques de culture (fumure, irrigation) pour obtenir un bon microclimat. Toutefois, ceci entraîne généralement une perte de production.

Le seul élément sur lequel le viticulteur puisse jouer de façon efficace pour obtenir une valeur élevée de "E", sans toucher au rendement, est donc "S", c'est-à-dire la forme du couvert ou du palissage. C'est une conséquence semble-t-il intéressante puisque le viticulteur possède là, un outil efficace dont il peut théoriquement user à sa guise afin d'améliorer un microclimat déficient lié en particulier à la situation de son vignoble sur laquelle il n'a presque pas de prise. L'effet inverse est évidemment vrai, puisque la dégradation d'un bon mésoclimat est facile à obtenir en entassant trop le feuillage.

La forme du couvert peut donc permettre, d'une situation viticole à une autre, d'obtenir des microclimats de la partie aérienne voisins. Les effets indirects du sol sur la plante par l'intermédiaire de la vigueur du feuillage, ainsi que certains écarts mésoclimatiques, peuvent être estompés par l'adoption de systèmes de conduite appropriés. Il est donc concevable par exemple, de comparer des situations viticoles différentes à microclimat du couvert similaire (puisque la gamme de captation de l'énergie solaire en fonction du système de conduite est très large), pour des mêmes génotypes et une culture identique. La seule variation importante, dans ce cas, sera l'effet direct du sol, en particulier du régime hydrique, sur la plante. C'est une conséquence qui peut ouvrir la voie d'un progrès dans la connaissance de l'effet direct des sols sur la physiologie, ainsi que sur le plan pratique d'un rapprochement entre différentes situations viticoles.

# C H A P I T R E V I

## ( R E S U L T A T S )

### VARIATION DE LA TEMPERATURE EFFECTIVE DES FEUILLES ET DES BAIES EN FONCTION DU COUVERT

La méthode des couples thermoélectriques permet de noter en continu pour plusieurs époques caractéristiques de la saison, la température effective des feuilles et des baies.

#### 6. 1. - AU NIVEAU DES FEUILLES

##### 6. 1. 1. - MICROCLIMAT THERMIQUE MOYEN DES DIVERSES FORMES DE COUVERT

La température foliaire moyenne est la résultante de la température ambiante, du pourcentage d'énergie thermique retenu par le couvert, et de la transpiration du feuillage qui assure la régulation thermique.

Ces paramètres expliquent les écarts thermiques moyens par rapport à l'air ambiant notés pour chaque heure de la journée (Tableau 16). En moyenne, les feuilles sont plus froides que l'air ce qui traduit la prépondérance de la transpiration, sauf pour le système " U " pour lequel le microclimat foliaire est globalement situé à un niveau plus élevé.

Le tableau 16 présente ces données pour la phase diurne et la phase nocturne. La Figure 14 illustre l'évolution de ces écarts thermiques pour la phase diurne. Les valeurs précédentes résultent d'une moyenne saisonnière (du 25 juin au 25 septembre des années 1975 et 1976) calculée pour divers types de climats journaliers : ciel clair, ciel couvert, ciel variable.

Au niveau de la phase diurne (tableau 16), l'éclairement global moyen capté par le feuillage est en bonne relation avec la température moyenne de ce dernier, pour les systèmes qui ne subissent jamais de rognage. Le coefficient de corrélation paramétrique est de + 0,86 entre l'écart thermique par rapport à l'air (  $t$  ) et le pourcentage de ciel vu sur la voûte céleste mesuré avec la technique du "fish-eye" (  $y$  ). L'équation de régression est :

$$t = 0,081 y - 2,837$$

L'énergie lumineuse reçue par la feuille sert à chauffer cette dernière et également à assurer en partie l'ouverture des stomates, les évolutions de ces deux phénomènes avec l'énergie lumineuse devant être assez voisines en raison du bon niveau de la corrélation précédente.

TEMPERATURE DES FEUILLES PAR RAPPORT A L'AIR POUR LES DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE  
(25.6. - 25.9.)

SC	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	1h	2h	3h	4h	5h	Phase diurne
U	-0,50	-0,17	+0,06	+0,24	+0,74	+0,78	+0,73	+0,58	+0,61	+0,77	+0,37	+0,10	-0,14	-1,43	-1,39	-1,22	-1,22	-0,75	-0,70	-0,80	-0,88	-0,89	-0,68	-0,64	+0,39 <sub>a</sub>
V	-0,35	-0,25	-0,16	+0,05	+0,01	+0,07	-0,14	-0,13	-0,47	-0,48	-0,50	-0,79	-0,80	-1,31	-1,17	-1,00	-0,78	-0,63	-0,63	-0,59	-0,61	-0,48	-0,36	-0,35	-0,32 <sub>c</sub>
D	-0,33	-0,29	+0,01	+0,57	+0,79	+0,97	+0,17	+0,10	+0,09	+0,28	-0,13	-0,41	-0,47	-1,35	-1,17	-1,01	-0,87	-0,59	-0,51	-0,60	-0,87	-0,65	-0,52	-0,40	-0,13 <sub>b</sub>
S	-0,36	-0,16	-0,15	+0,19	+0,20	+0,09	-0,24	-0,08	-0,25	-0,30	-0,37	-0,58	-0,81	-1,43	-1,37	-1,07	-0,94	-0,74	-0,65	-0,75	-1,13	-0,59	-0,44	-0,38	-0,24 <sub>c</sub>
He	-0,41	-1,04	-0,85	-0,04	+0,48	+0,63	+0,18	+0,08	-0,20	0,00	-0,55	-0,60	-0,82	-1,45	-1,40	-1,18	-1,05	-0,79	-0,64	-0,80	-0,70	-0,67	-0,63	-0,44	-0,62 <sub>d</sub>
Ho	-0,26	-1,04	-0,90	-0,73	-0,66	-0,63	-0,77	-1,16	-0,94	-1,15	-0,97	-0,99	-0,93	-1,30	-1,24	-0,97	-0,88	-0,67	-0,59	-0,72	-0,70	-0,62	-0,55	-0,45	-1,22 <sub>e</sub>
Be	-0,54	-1,21	-1,05	-0,60	-0,54	-0,72	-1,12	-0,99	-0,95	-1,18	-1,23	-0,99	-1,10	-1,42	-1,38	-1,06	-1,02	-0,71	-0,62	-0,78	-0,93	-0,72	-0,70	-0,66	-1,02 <sub>f</sub>
Bo	-0,56	-1,22	-1,06	-0,62	-0,56	-0,78	-1,18	-1,09	-1,03	-1,21	-0,98	-1,26	-1,11	-1,55	-1,47	-1,17	-1,12	-0,80	-0,71	-0,67	-1,03	-0,82	-0,73	-0,67	-1,38 <sub>g</sub>
Re	-0,60	-1,15	-0,96	-0,49	+0,02	-0,05	-0,21	-0,23	-0,81	+0,05	-0,56	-0,65	-1,03	-1,71	-1,51	-1,23	-0,81	-0,79	-0,73	-0,96	-0,74	-0,72	-0,71	-0,66	-0,86 <sub>e</sub>
Ro	-0,64	-1,20	-1,01	-0,62	0,34	-0,44	-0,72	-0,39	-0,37	-0,06	-0,78	-0,92	-1,15	-1,88	-1,67	-1,35	-1,22	-0,92	-0,90	-1,18	-1,19	-0,82	-0,77	-0,67	-1,00 <sub>f</sub>

- Les lettres attenantes aux chiffres représentent un regroupement ordonné des systèmes de conduite issu des comparaisons multiples du test de KRUSKAL-WALLIS, effectué au seuil de 5 p. 100.

Pour les systèmes qui subissent des tailles en vert (minimum de 3 rognages depuis la fin de juin au début d'août pour "Ro" et "Re" ; maximum de 1 rognage en fin de croissance pour "Bo" et "Be"), les phénomènes transpiratoires semblent très importants et se superposent à l'effet calorifique de l'énergie lumineuse. Pour ces systèmes, la température foliaire est inférieure à celle que laisserait présager la seule densité du feuillage (tableau 16). Le rognage semble donc stimuler la transpiration des feuilles restantes, ce qui rejoint les observations de STOEY (1966). En ce qui concerne les types "Ro", "Re", "Bo" et "Be", la corrélation entre l'écart thermique moyen (t) et l'éclairement global (y) est de + 0,90. L'équation de régression est :

$$t = 0,047 y - 2,634.$$

La pente plus faible de cette régression par rapport à celle de la première, traduit l'effet du rognage sur la transpiration et la température foliaire, effet d'autant plus net que le rognage est répété plus souvent ("Ro", "Re"). Cet effet du rognage a été vu de façon très nette surtout sur les enregistrements portant sur la semaine suivant la date du rognage.

De façon générale, les systèmes de conduite induisent, surtout après "mi-croissance", du "Bo" et du "Ho" au "U", une gamme thermique assez large, en moyenne de 1,8° C. Cet écart correspond à la différence climatique sur l'ensemble de la saison végétative qui existe entre Bordeaux et Montpellier par exemple.

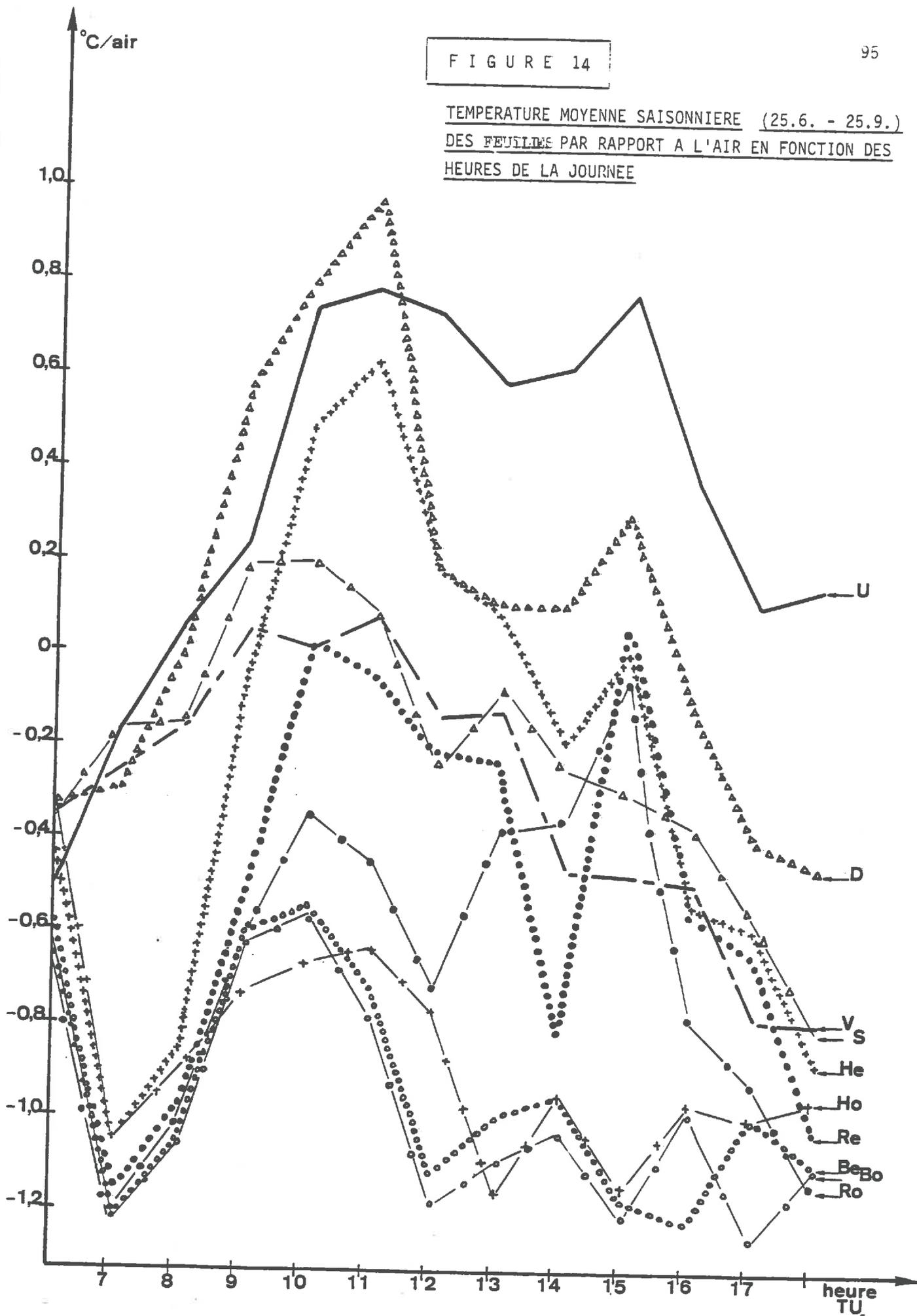
La figure 14 permet de mieux visualiser les variations de la température foliaire par rapport à l'air au cours de la phase diurne. L'allure générale des courbes des températures moyennes saisonnières de l'ensemble du couvert fait ressortir deux maxima : le premier entre 10 h et 11 h T.U. et le deuxième entre 14 h et 15 h T.U. Du lever du soleil au premier maximum et du deuxième maximum au coucher du soleil, l'effet de réchauffement l'emporte sur le phénomène transpiratoire. Pendant ces périodes, l'ouverture stomatique n'est pas optimale et la transpiration y est très certainement réduite. Entre les deux maxima (10 h - 15 h T.U.), l'ouverture stomatique est plus prononcée, et la transpiration explique que la feuille se réchauffe moins vite que l'air. Sur l'ensemble de la saison et pour les divers niveaux du couvert, le phénomène de la "dépression de midi" (STOEY, 1966) lié à un déséquilibre entre la demande climatique et la réponse de la plante et qui se traduit par une fermeture stomatique donc un réchauffement de la feuille égal ou plus rapide que celui de l'air, n'apparaît pas. Ce phénomène ne concerne que les journées chaudes et les feuilles de la périphérie. Cette conclusion rejoint les résultats de POGOCIAN et MELKONIAN (1973) au niveau de la photosynthèse.

La figure 14 indique par ailleurs la bonne stabilité du classement des systèmes de conduite sur l'ensemble de la phase diurne.

Concernant la phase nocturne (tableau 16), peu d'écarts importants sont à noter dans les conditions de cet essai sur l'ensemble de la saison. Une remarque concerne le système "U" qui accuse la baisse de température la plus rapide en début de phase nocturne, puisque l'aération dans ce couvert est la meilleure. Un autre point, commun à l'ensemble des systèmes, est la légère inversion de température au milieu de la nuit.

FIGURE 14

TEMPERATURE MOYENNE SAISONNIERE (25.6. - 25.9.)  
DES FEUILLES PAR RAPPORT A L'AIR EN FONCTION DES  
HEURES DE LA JOURNEE



### 6. 1. 2. - DONNEES EXTRÊMES ET FLUCTUATIONS DU MICRO-CLIMAT THERMIQUE

Les valeurs thermiques précédentes sont fortement comprimées par le fait qu'elles sont la moyenne des variations journalières et des fluctuations saisonnières. Les écarts minima entre les systèmes ont lieu par ciel couvert où aucune différence significative n'est notée. Les écarts maxima se produisent au milieu d'une journée d'été ensoleillée, pour des températures ambiantes moyennes comprises entre 25° C et 30° C. (les journées chaudes où la température moyenne est comprise entre 30° C et 35° C induisent moins d'écarts entre les systèmes).

Dans ces conditions, le système " U " possède une température foliaire de 6° C supérieure à celle du système "Ho", et de 5° C supérieure à celle de la vigne rognée "Ro". Les écarts sont donc importants.

Au niveau des fluctuations saisonnières seules, deux remarques méritent d'être développées.

La première concerne les systèmes retombants "S " et " D ". Avant les deux tiers de la croissance aucun de ces deux types ne possède des sarments qui touchent le sol et la température foliaire du " D " est supérieure à celle du "S ", car l'éclairement y est meilleur. Ces deux systèmes ayant des longueurs de tronc identiques (1, 8 m) et le type " D " possédant un tronc divisé en " Y ", ce dernier est situé plus près du sol que le " S ". De ce fait, les sarments du " D " touchent le sol avant ceux du " S ". A cette époque, l'ombre portée sur le sol est donc plus importante chez le " D ", ce qui crée un microclimat plus frais (1° C de moins en moyenne) au niveau du feuillage par rapport à celui du " S ". Lorsque les sarments de ce dernier système atteignent à leur tour le sol, le classement s'inverse à nouveau au bénéfice du " D " mieux éclairé.

La seconde a trait aux systèmes "He " et " Ho ". Le dégagement des grappes dans le premier type permet ainsi d'accroître l'éclairement et la température foliaire dans le bas du couvert, par rapport au " Ho ". Ce phénomène est le plus marqué en fin de saison, lorsque le rayonnement direct est assez bas sur l'horizon vers l'équinoxe, ce qui lui permet de mieux pénétrer dans le dégagement réalisé à la base du couvert. La différence entre " He " et " Ho " s'accroît alors ainsi de 1° C environ.

La variation du microclimat thermique peut enfin s'envisager au niveau même du couvert. En raison de la bonne corrélation (le rognage mis à part) entre la valeur du microclimat lumineux et celle du microclimat thermique, il est possible d'établir des conclusions similaires pour ces deux types de paramètres en ce qui concerne les divers points du couvert. Une précision mérite d'être apportée concernant la température foliaire vers 16 h T.U. entre la partie Est du feuillage d'un cep et sa partie Ouest, pour une orientation Est-Ouest.

Des mesures effectuées dans ces deux zones montrent un écart thermique d'environ 1,5 °C à ce moment et au bénéfice de la partie Ouest. Ce gradient thermique en fin de journée peut être intéressant à considérer puisqu'il induit un déséquilibre microclimatique sur un cep et peut être accentuée l'hétérogénéité physiologique (bourgeons notamment) entre les diverses zones du couvert.

## 6. 2. - AU NIVEAU DES RAISINS

### 6. 2. 1. - MICROCLIMAT THERMIQUE MOYEN DES DIVERSES FORMES DE COUVERT

La température moyenne des raisins est la résultante de la température ambiante et du pourcentage d'énergie thermique retenu par le couvert alentour. Contrairement aux feuilles, les baies ne possèdent aucune régulation thermique notoire par le biais de la transpiration. En ce qui concerne la température ambiante, il est intéressant de noter l'effet de la proximité du sol. Les grappes près du niveau du terrain, bénéficient au maximum du rayonnement réfléchi par le sol.

Le tableau 17 indique les écarts de température des baies par rapport à l'air pour les systèmes de conduite étudiés et pour la période allant du 25 août au 25 septembre. Ces données portent donc sur des baies colorées pendant la phase de maturation. Les valeurs de ce tableau comprennent des enregistrements effectués pour divers climats journaliers, et portent sur les diverses heures de la journée, avec le total concernant la phase diurne.

Au niveau de cette phase, l'éclairement global moyen capté par les raisins est en excellente corrélation avec la température moyenne de ces derniers. Les systèmes à couvert aéré ou à zone des grappes dégagée se trouvent en tête. Toutefois, il convient, afin d'étudier cette relation, de regrouper les systèmes possédant des hauteurs de tronc analogues. C'est ainsi que les vignes basses ("Ro", "Re", "Bo", "Be") possèdent, par rapport aux vignes demi-hautes ("Ho", "He", "V", "U") et hautes ("S", "D") une température de baies supérieure de 0,5° C en moyenne sur l'ensemble de la phase de maturation. Le gradient thermique en fonction de la distance au sol est donc assez sensible entre 0,5 m et 1,1 m de haut, et négligeable entre 1,1 m et 1,6 m ou 1,8 m : son allure globale n'est de ce fait pas linéaire. Ces observations rejoignent celles de BOUCHET (1962).

Si l'on considère les vignes basses, le coefficient de corrélation paramétrique est de + 0,94 entre l'écart thermique par rapport à l'air (t) et le pourcentage de ciel vu sur la voûte céleste mesuré avec la technique du "fish-eye" (y). L'équation de régression est :

$$t = 0,069 y - 0,223.$$

La liaison entre la valeur du microclimat thermique des baies et celle du microclimat lumineux est très bonne. Les considérations théoriques précédemment énoncées se trouvent donc vérifiées.

T A B L E A U 1 7

TEMPERATURE DES RAISINS PAR RAPPORT A L'AIR POUR LES DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE

(25. 8. - 25. 9.)

température sol.	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	1h	2h	3h	4h	5h	phase diurne
SC																									
U	-0,07	-0,07	+0,12	+0,38	+0,63	+0,91	+1,20	+1,08	+1,00	+0,91	+0,60	+0,42	+0,27	+0,08	+0,04	-0,03	-0,05	-0,09	-0,15	-0,01	-0,07	-0,10	-0,10	-0,10	+0,52
V	0,00	-0,05	-0,04	-0,01	+0,18	+0,32	+0,56	+0,45	+0,43	+0,42	+0,34	+0,29	+0,26	+0,15	+0,13	+0,12	+0,07	-0,06	-0,10	+0,10	+0,15	0,00	0,00	0,00	+0,27
D	-0,07	0,00	+0,24	+0,38	+1,10	+1,25	+1,75	+1,45	+1,20	+1,16	+0,90	+0,51	+0,29	+0,09	+0,05	-0,02	-0,05	-0,09	-0,15	-0,01	-0,07	-0,10	-0,10	-0,10	+0,88
S	0,00	-0,04	-0,03	-0,01	+0,18	+0,28	+0,57	+0,50	+0,40	+0,35	+0,27	+0,21	+0,19	+0,13	+0,12	+0,12	+0,08	-0,04	-0,08	+0,05	+0,10	+0,05	0,00	0,00	+0,23
He	-0,07	-0,06	+0,19	+0,31	+0,85	+0,98	+1,04	+0,94	+0,90	+0,84	+0,61	+0,32	+0,18	+0,06	+0,03	-0,02	-0,04	-0,09	-0,15	-0,01	-0,07	-0,10	-0,10	-0,10	+0,58
Ho	0,00	-0,05	-0,06	-0,20	-0,15	+0,05	+0,29	+0,21	+0,18	+0,14	+0,12	+0,11	+0,09	+0,05	+0,04	+0,02	+0,01	+0,06	-0,10	+0,10	+0,15	0,00	0,00	0,00	+0,06
Be	+0,06	+0,37	+0,75	+1,28	+2,33	+2,42	+2,64	+2,21	+1,89	+1,72	+1,21	+0,86	+0,59	+0,47	+0,27	+0,07	-0,03	-0,05	-0,12	-0,09	-0,08	-0,10	-0,10	-0,10	+1,50
Bo	-0,09	+0,36	+0,30	+0,38	+0,58	+0,91	+1,37	+1,23	+1,13	+1,07	+0,82	+0,81	+0,79	+0,78	+0,50	+0,21	+0,11	+0,02	-0,06	+0,03	+0,05	-0,05	-0,05	-0,05	+0,76
Re	+0,10	+0,50	+0,97	+1,32	+2,24	+2,45	+2,70	+2,24	+2,03	+1,68	+1,19	+0,89	+0,71	+0,58	+0,32	+0,07	-0,03	-0,05	-0,12	-0,09	-0,08	-0,10	-0,10	-0,10	+1,56
Ro	-0,02	+0,38	+0,39	+0,41	+0,67	+0,98	+1,55	+1,29	+1,20	+1,11	+0,93	+0,89	+0,87	+0,86	+0,53	+0,21	+0,11	+0,02	-0,06	+0,03	+0,05	-0,05	-0,05	-0,05	+0,82

- Les lettres attenantes aux chiffres représentent un regroupement ordonné des systèmes de conduite issu des comparaisons multiples du test de KRUSKAL-WALLIS effectué au seuil de 5 p. 100

Pour les vignes demi-hautes et hautes, cette conclusion est également valable, mais l'augmentation de l'éclairement des grappes provoque une hausse moins sensible de la température. Le coefficient de corrélation paramétrique est de + 0,97 entre l'écart thermique par rapport à l'air (t) et le pourcentage de ciel vu sur la voûte céleste mesuré avec la technique du "fish-eye" (y). L'équation de régression est :

$$t = 0,036 y - 0,079$$

En effet, le gain en rayonnement réfléchi par le sol ne se surajoute ici que très peu au gain en rayonnement incident, alors que cet effet est très net en vigne basse. L'allure non linéaire du gradient thermique en fonction de la distance au sol explique les différences de pente entre les deux droites de régression qui ne sont absolument pas parallèles.

La figure 15 permet de suivre l'évolution de l'écart thermique des baies par rapport à l'air pour chaque heure de la phase diurne. Les courbes de la figure 15 présentent toutes un aspect sinusoïdal très semblable à l'évolution de la température de l'air ambiant. Le maximum est atteint à 12 h T.U. et les valeurs de l'après-midi sont supérieures à celles de la matinée. D'autre part, le classement des systèmes de conduite est stable tout au long de la journée.

Au niveau général de la phase diurne, l'écart maximum entre les systèmes est de 1,5° C, donc très légèrement inférieur à la gamme de température foliaire où la transpiration superpose sa variation. La confrontation avec des données climatiques générales, aboutit donc aux mêmes conclusions que pour les feuilles. Les vignes basses à grappes dégagées ("Re", "Be"), ainsi que, à un degré moindre, les systèmes "D", "Ro", "Bo", "U" et "He", possèdent donc un microclimat thermique au niveau des baies assez différent de celui enregistré chez les types présentant un fort entassement au niveau des grappes ("S", "V", "Ho"). Chez ces derniers systèmes, les raisins se situent sensiblement à la température de l'air ambiant. C'est une observation analogue qui est notée par temps absolument couvert pour tous les types étudiés.

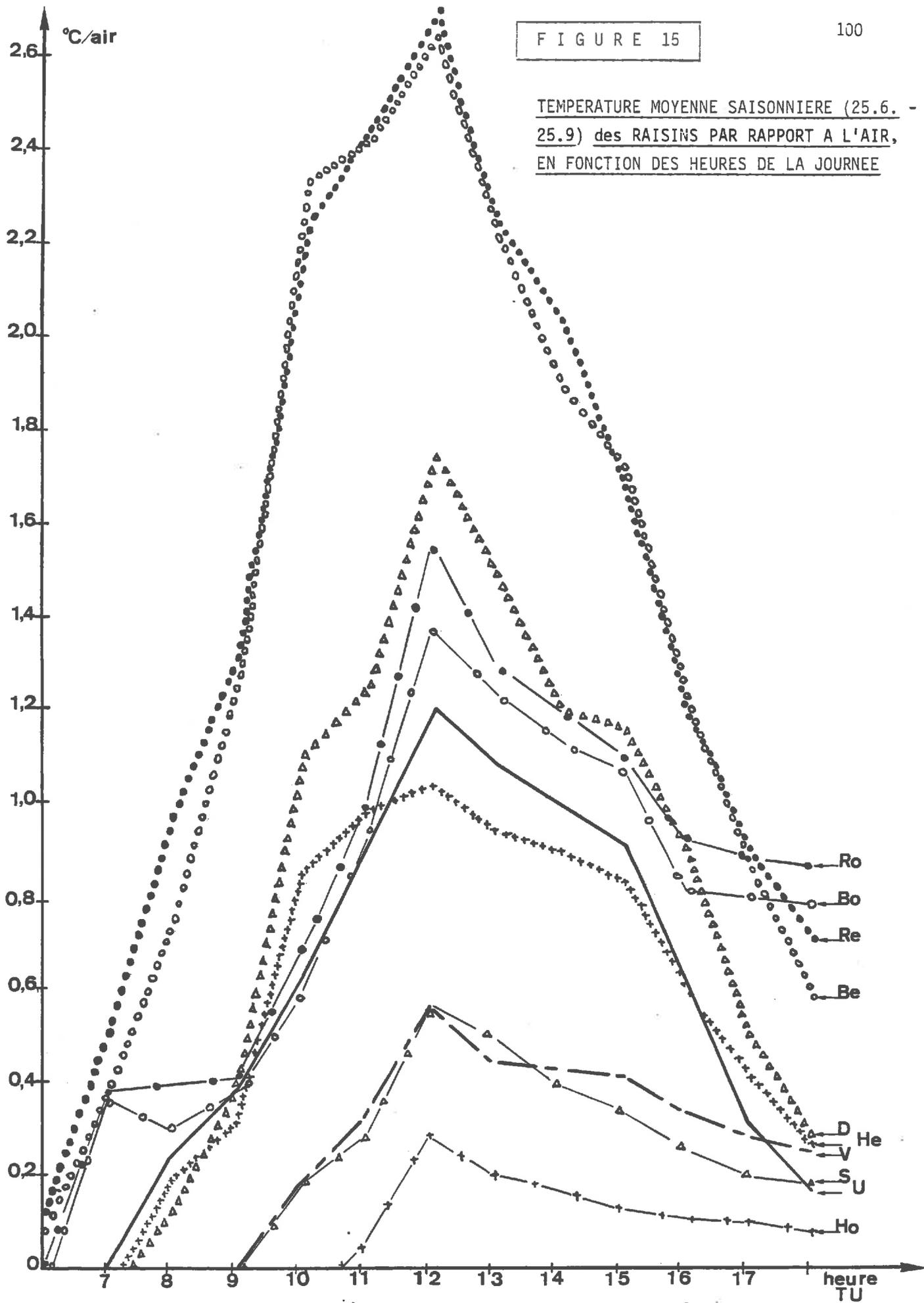
Pendant la phase nocturne, les écarts entre les systèmes sont peu importants. Le seul fait notoire concerne les vignes basses dont les raisins conservent le mieux la chaleur aux premières heures de la nuit. Pour tous les types, une légère inversion de température en milieu de nuit est à remarquer.

#### 6. 2. 2. - DONNEES EXTREMES ET FLUCTUATIONS DU MICRO-CLIMAT THERMIQUE

Comme pour l'étude de la température foliaire, les écarts maxima entre les systèmes s'observent à midi solaire d'une journée à ciel clair pour des températures comprises entre 25 et 30°C. Dans ces conditions,

FIGURE 15

TEMPERATURE MOYENNE SAISONNIERE (25.6. - 25.9) des RAISINS PAR RAPPORT A L'AIR, EN FONCTION DES HEURES DE LA JOURNEE



l'écart entre les types "Re" et "Ho" peut atteindre 8° C. Cette différence est importante et plus grande que dans le cas des feuilles en l'absence de tout effet de régulation thermique, d'autant que même dans le système "Re" il existe une certaine proportion de raisins à l'ombre. Ces résultats sont en accord avec ceux de SMART (1976).

En ce qui concerne les fluctuations saisonnières du microclimat thermique pendant la phase de maturation peu de faits significatifs paraissent devoir être soulignés, puisque les mesures ont été effectuées sur raisin coloré une fois le couvert définitivement établi. Toutefois, en vigne étroite à feuillage haut ("Bo", "Be"), et après l'équinoxe, la température des grappes décroît plus vite que chez les autres systèmes en raison de l'importance plus grande de l'ombre portée du rang voisin sur les raisins en début et en fin de journée.

# CHAPITRE VII

( RESULTATS )

## VARIATION DE LA CONSOMMATION REELLE EN EAU AU NIVEAU DU SOL EN FONCTION DU COUVERT

La méthode de l'humidimètre à neutrons permet de suivre l'assèchement du sol sur l'ensemble de la saison végétative. La mesure de la pluviométrie, combinée à celle des différences de profils hydriques de sol, permet d'estimer l'évapotranspiration réelle (ETR en mm) pour chaque système de conduite. Il s'agit donc d'une évaluation d'un paramètre micro-climatique prépondérant en ce qui concerne le système racinaire. Toutefois, pour des raisons pratiques, cette mesure n'a pu être effectuée que sur le rang de plantation.

### 7. 1. - EVOLUTION SAISONNIERE DES PROFILS HYDRIQUES DANS LA PARCELLE

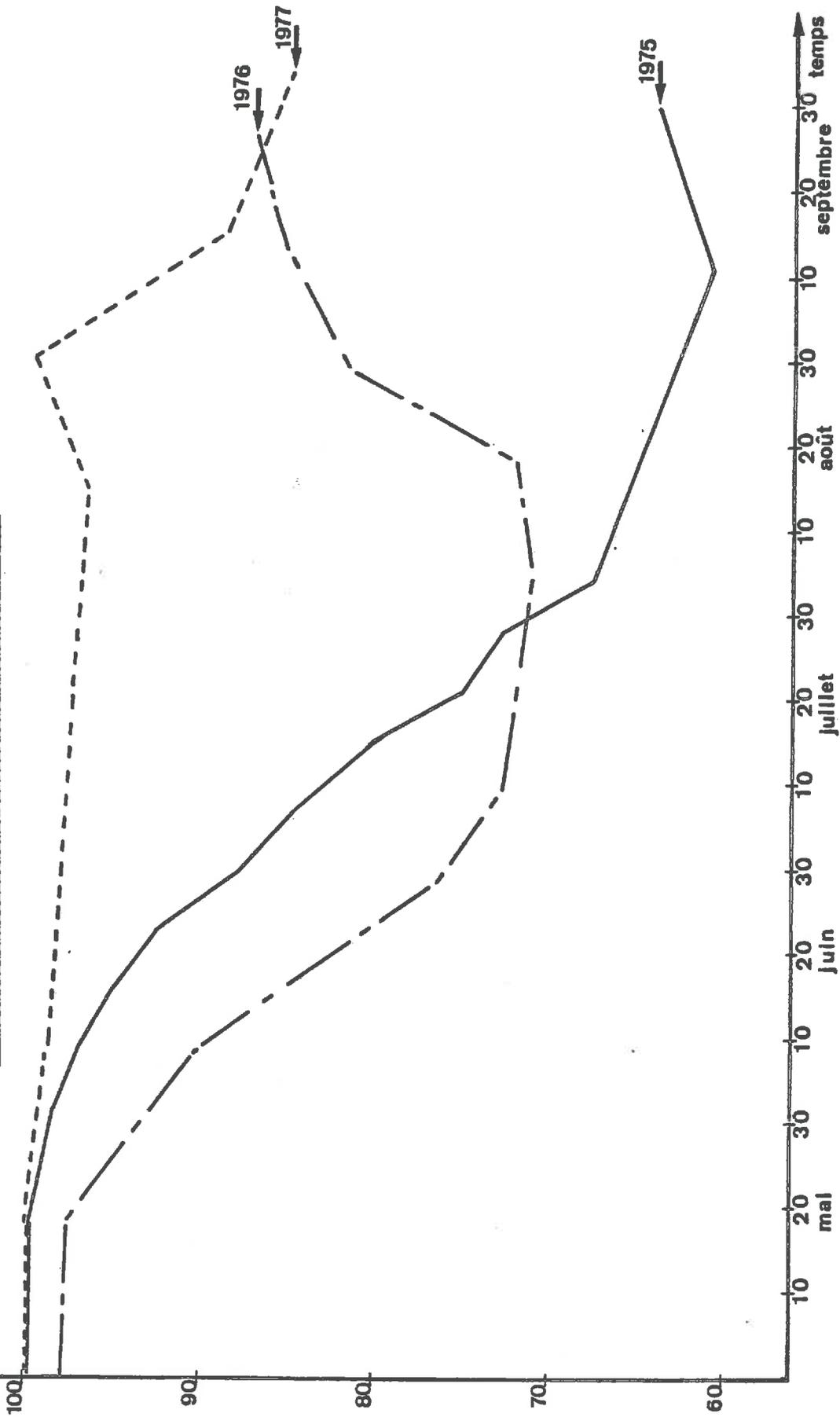
La figure 16 représente l'évolution, sur l'ensemble de la saison, de l'humidité du sol exprimée en pourcentage de la capacité au champ et mesurée à partir des données des 20 profils sur la totalité de ces derniers.

Il apparaît une forte influence des diverses années sur l'évolution de l'humidité du sol. Si l'on subdivise la saison végétative en deux parties ( période de croissance et période de maturation) et si l'on établit 3 classes d'humidité (faible, moyenne, forte), il est possible de former 9 combinaisons théoriques :

HUMIDITE DU SOL		
Période de croissance	Période de maturation	
forte . . . . .	forte . . .	Impossible climatiquement 1977
forte . . . . .	moyenne . . .	
forte . . . . .	faible . . .	
Moyenne . . . . .	forte	1975
moyenne . . . . .	moyenne	
moyenne . . . . .	faible . . .	
faible . . . . .	forte	1976
faible . . . . .	moyenne . . .	
faible . . . . .	faible . . .	

FIGURE 16

ASSECHÈMENT MOYEN DU SOL PENDANT LA SAISON, EN P. 100 DE LA CAPACITÉ AU CHAMP, POUR LE BLOC NON IRRIGUÉ ET POUR LES 3 ANNÉES ETUDIÉES



p.100 de la capacité au champ

10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30 temps  
 mal juillet août septembre

Les trois années étudiées (1975, 1976, 1977) couvrent cette gamme de combinaisons climatiques dans tout son ensemble. La comparaison des systèmes de conduite est donc bien validée par l'étendue de ces conditions de milieu.

La figure 17 illustre les profils hydriques moyens pour chaque système de conduite, notés lors de l'assèchement maximum du sol (30 août 1976 et 4 octobre 1977), afin de repérer les zones du sol où l'activité des racines est la plus intense. Les moyennes correspondent aux deux tubes suivis pour chaque système et aux deux dates précitées où tous les systèmes ont pu être comparés. Les résultats sont exprimés en pourcentage de la capacité au champ tous les 10 cm de profondeur jusqu'à - 1,9 m.

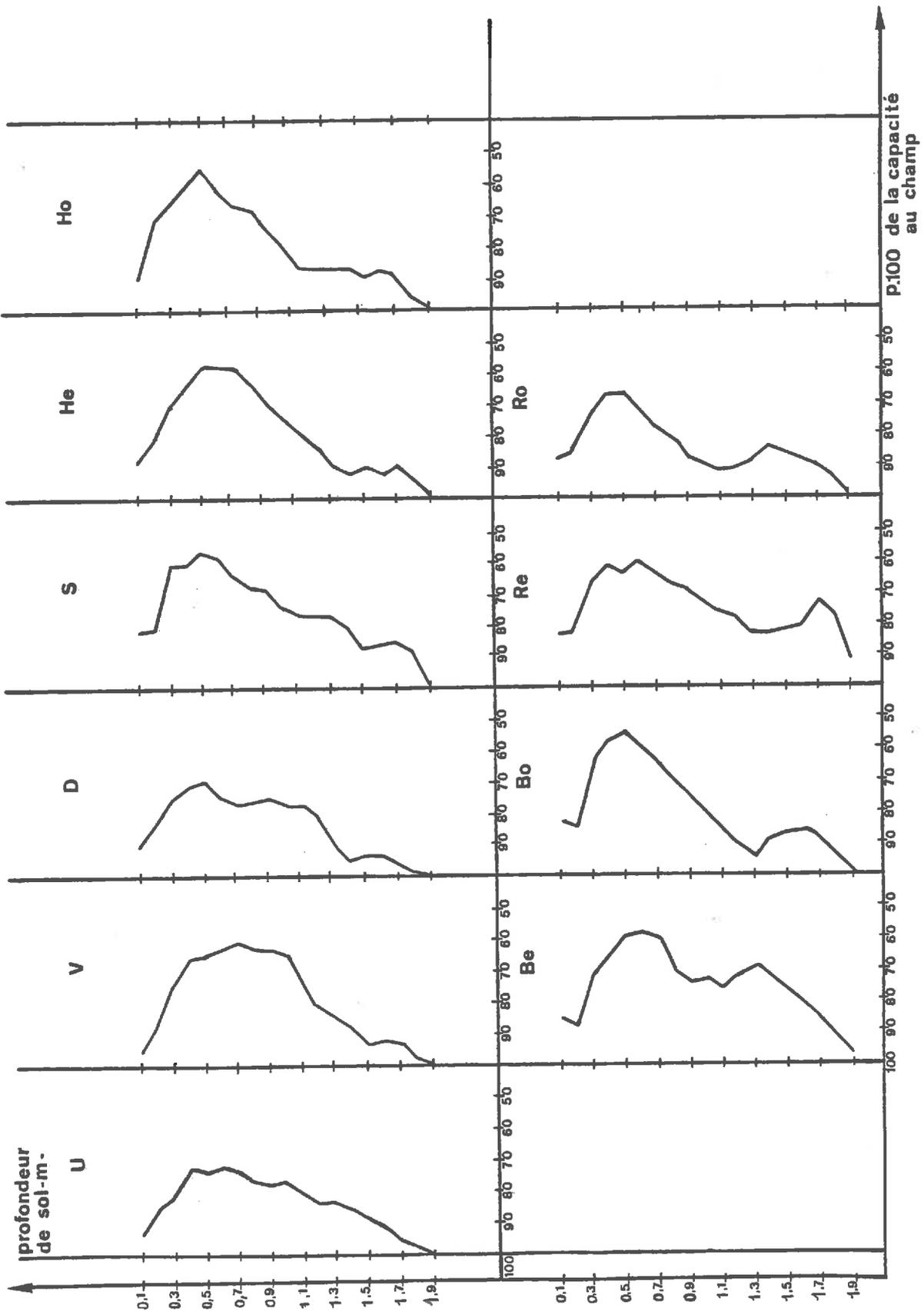
Sur l'ensemble de ces profils, il apparaît deux ruptures aux environs de - 0,6 m et de - 1,2 m. Ces phénomènes sont à relier à la texture du sol. Le maximum d'assèchement du sol, vers - 0,6 m, correspond à la zone la plus riche en terre fine (cf. tableau 7), la surface restant relativement humide notamment en raison de l'occurrence de petites pluies sous le climat régional et des labours qui gênent le développement des racines. La seconde variation dans la régularité du profil à - 1,2 m environ correspond à la présence d'un horizon dur traversé toutefois par quelques racines. La zone de colonisation racinaire (de - 0,3 m à - 1,2 m) correspond à la zone d'assèchement intense, et le maximum d'assèchement est atteint à la limite de l'horizon supérieur le plus riche en éléments fins et de l'horizon inférieur plus grossier.

Sur cette influence générale du sol se superpose l'effet spécifique des systèmes de conduite qui a été notée pour chacun des 4 profils correspondant à chaque traitement.

Une première distinction s'établit entre les fortes densités de plantation et les faibles. Les premières présentent une reprise de l'assèchement du sol en profondeur (vers - 1,5 m en moyenne), après le gradient existant entre - 0,6 m et - 1,2 m que l'on retrouve chez les vignes larges. Ces dernières possèdent un gradient assez régulier à partir du maximum d'assèchement vers - 0,6 m, jusqu'à la zone à humidité constante située vers - 1,9 m. Il est à noter que pour le type "Re", ce point ne correspond pas tout à fait à la zone d'humidité constante au plus fort de l'assèchement.

Une autre distinction ne se rapporte pas à la forme du profil, mais plutôt à son éloignement de la ligne de base qui traduit la valeur moyenne de l'assèchement.

PROFILS D'ASSECHÈMENT MAXIMUM (30.8.1976 et 4.10.1977) EXPRIMÉ EN p. 100 DE LA CAPACITÉ AU CHAMP, POUR LES 10 SYSTÈMES DE CONDUITE



Au niveau des vignes étroites, les types peu rognés "Be" et "Bo" assèchent le sol plus que le témoin "Ro". Le cas de "Re" ne peut être analysé précisément du fait qu'un tube a été installé dans un endroit particulier où il a été impossible de "boucler" le bilan hydrique. Toutefois, il est possible de dire que les types à zone des grappes dégagée "Be" et "Re" paraissent assécher le sol plus que leurs homologues "Bo" et "Ro".

En ce qui concerne les vignes larges, les systèmes semi-ouverts "S" et "V" sont ceux qui induisent l'assèchement du sol maximum sur l'ensemble des systèmes. Les vignes larges planes "He" et "Ho" se classent ensuite (avec le plus faible assèchement en profondeur) en se situant environ au niveau des types "Bo" et "Be". Enfin, les vignes larges ouvertes "U" et "D" sont celles qui assèchent le moins le sol en se comportant approximativement comme le témoin rogné "Ro" avec toutefois un profil plus régulier.

Ces résultats concernent l'assèchement maximum du sol. A côté de ces données extrêmes, il est intéressant de raisonner sur les valeurs moyennes saisonnières.

## 7. 2. - EVAPOTRANSPIRATION REELLE SAISONNIERE DES DIVERS SYSTEMES

Le tableau 18 indique, pour 1976 et 1977, où ont été obtenus des résultats complets à partir de l'évolution des profils hydriques, les valeurs de l'E.T.R. saisonnière pour chaque système de conduite.

Sur la moyenne de ces deux années, l'E.T.R. la plus élevée est enregistrée chez les systèmes larges semi-ouverts "S", "V" et le type plan "He". Les valeurs les plus faibles correspondent aux vignes rognées "Re" et "Ro" ainsi qu'aux vignes larges ouvertes "U" et "D". L'écart moyen maximum observé est de 80 mm. Les valeurs du rapport "E.T.R./E.T.P." font surtout ressortir le déficit de régime hydrique en 1976 et la bonne alimentation en eau en 1977 en fonction de la demande climatique.

La gamme microclimatique au niveau de l'humidité du sol influencée par les racines de chaque système de conduite est donc d'étendue assez moyenne. Les chiffres du tableau 18 ne font ressortir que deux groupes de traitements significativement distincts à 5 p 100 et ce, très proche du seuil. Cette conclusion est analogue pour chacune des deux années prise isolément.

Le tableau 19 permet de constater que les valeurs de la gamme microclimatique concernant l'E.T.R. sont inférieures aux variations de pluviosité annuelle. A l'opposé, le microclimat thermique moyen induit

T A B L E A U 18

E. T. R. SAISONNIERE EN mm POUR LES  
DIVERS SYSTEMES DE CONDUITE

	Pluie (mm) du début de juin à la fin de septembre sur la parcelle en l'absence de lessivage	S y s t è m e s d e C o n d u i t e									
		Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
1976	226	306	300	323	295	297	351	350	305	355	314
1977	273	361	380	381	429	410	409	462	346	420	358
Moyenne		333 <sub>b</sub>	340 <sub>b</sub>	352	362	353	380 <sub>a</sub>	406 <sub>a</sub>	326 <sub>b</sub>	388 <sub>a</sub>	336 <sub>b</sub>

Les lettres attenantes aux chiffres représentent un regroupement ordonné des systèmes de conduite issu des comparaisons multiples du test de KRUSKAL-WALLIS effectué au seuil de 5 p.100. Le calcul a été effectué en éliminant la pluviométrie annuelle, de façon à soustraire l'effet commun de l'année à tous les traitements.

Il est à noter que dans le cas du " Re ", le bilan hydrique n'a pu être bouclé en totalité.

Les données de 1975 ne figurent pas en raison de l'absence de certains traitements. Toutefois, les tendances observées confirment ces résultats généraux.

RAPPORT "E.T.R./E.T.P." SAISONNIER  
POUR LES DIVERS SYSTEMES DE CONDUITE

Systemes de conduite Années	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
1976	0,579	0,568	0,611	0,558	0,562	0,664	0,662	0,577	0,672	0,594
1977	0,768	0,809	0,811	0,913	0,873	0,870	0,983	0,736	0,894	0,762
Moyenne	0,674	0,689	0,711	0,736	0,718	0,767	0,823	0,657	0,783	0,678

L' E.T.P. a été calculée avec la formule de Penman sur les données climatiques de la Grande Ferrade, pour la période de juin à septembre inclus correspondant à l'époque d'assèchement du sol.

T A B L E A U 1 9

FLUCTUATION DES DONNEES CLIMATIQUES ANNUELLES  
(Période : AVRIL - SEPTEMBRE. Lieu : GRANDE FERRADE)

	1975	1976	1977	Moyenne 1975, 1976, 1977	Moyenne de 1924 à 1953
Rayonnement global (MJ/M <sup>2</sup> ) moyen journalier	18,4	20,1	17,1		
Température moyenne sous abri (°C)	17° 7	18° 5	16° 6	17° 6	17° 3
Pluie totale (mm)	362	278	407	349	359

Remarque : La moyenne des trois années étudiées au niveau des températures moyennes et de la pluviométrie est très proche du climat moyen régional.

des écarts comparables aux variations thermiques annuelles, et le microclimat lumineux des variations supérieures aux écarts annuels. Le système de conduite modifie donc nettement le climat ambiant, mais cet effet de filtration est plus faible concernant le microclimat hydrique autour des racines, sans pour autant être négligeable.

Il faut toutefois rappeler à ce stade, que la mesure de l'humidité du sol n'a pu être effectuée que sur le rang au moyen de 2 profils par système. Des études complémentaires s'avèrent donc nécessaires pour mieux préciser l'influence du système de conduite sur ce paramètre; mais alors, les conditions naturelles et la culture normale des vignes doivent être éliminées au profit de cultures en conditions plus contrôlées (vases de végétation notamment ou culture manuelle des parcelles).

La confrontation du microclimat hydrique avec le niveau d'énergie solaire retenu par le couvert (tableau 14), ne fait apparaître qu'une médiocre relation. Les systèmes à couverts les plus éclairés ("U", "D") en particulier assèchent peu le sol; les microclimats lumineux faibles se situent en position intermédiaire; les vignes rognées apparaissent en fin de classement avec un microclimat lumineux assez bon.

La relation entre le microclimat hydrique et la surface foliaire ou la vigueur de la plante apparaît meilleure (tableau 15), meilleure même que celle entre le microclimat hydrique et la surface foliaire éclairée à l'hectare (tableau 15). Les systèmes créant le plus de feuilles ("V", "S", et "He") sont ceux qui assèchent le plus le sol. Toutefois, les vignes rognées le font relativement mieux que les autres compte-tenu de leur faible surface foliaire. Il semble donc que l'on soit, comme pour le microclimat thermique, dans le cas d'une stimulation de la transpiration après rognage ce qui permet à la plante, dans les conditions étudiées, pratiquement de rattraper en moyenne l'E.T.R. des vignes peu rognées. Le coefficient de corrélation de SPEARMAN entre la surface foliaire à l'hectare et l'E.T.R. saisonnière est de + 0,81 (significatif à 5 p. 100).

Ce résultat, malgré les critiques précédemment formulées, est logique. Il indique en tout cas ici, que le système de conduite modifie le microclimat hydrique des racines, assez peu directement en particulier par une disposition différente des racines liée à la densité de plantation, mais plutôt indirectement par la physiologie de la plante résultant des filtrations différentes exercées par le couvert sur l'énergie solaire incidente. Il existe donc au niveau de l'assèchement du sol un effet de retour du système sur le milieu beaucoup plus net que dans le cas de la captation de l'énergie solaire. Les interprétations biométriques ultérieures sur les caractères agronomiques permettront d'aller plus loin dans l'étude de l'influence de l'alimentation en eau sur le comportement de la vigne, mais surtout avec l'analyse des effets de l'irrigation.

## CONCLUSIONS DE LA PARTIE MICROCLIMATIQUE

Les méthodes et les techniques mises en oeuvre pour mesurer le microclimat de chaque système de conduite, ont permis de noter que ce dernier facteur peut modifier le mésoclimat ambiant, et ce assez nettement par la filtration de l'énergie solaire dans le couvert dont les conséquences sont au moins aussi grandes que les fluctuations climatiques annuelles et certains écarts régionaux.

A ce stade, il est intéressant de comparer cet effet à celui lié aux particularités des situations viticoles qui créent le mésoclimat dans une région de production donnée.

Quelques sites privilégiés ont été retenus dans le Bordelais. Les paramètres qui y ont été enregistrés font ressortir que le viticulteur, au moyen des systèmes de conduite, peut modifier le mésoclimat à un endroit précis, au moins autant que ce mésoclimat peut varier d'un endroit à l'autre. Il apparaît donc à priori possible, pour la production d'un type de vin bien déterminé, d'obtenir grâce à la phytotechnie, des variations de quantité et de qualité d'ordre même supérieur à celui résultant de la situation climatique de la parcelle. En particulier, la classification des crus devrait logiquement inclure des caractéristiques méso et microclimatiques et le système de conduite permettre à la fois une meilleure homogénéisation et une meilleure valorisation des situations mésoclimatiques et édaphiques.

A l'appui de cette thèse, le tableau 20 permet de confronter la variation du microclimat à celle du mésoclimat dans quelques situations très diverses du Bordelais.

Il apparaît que, dans cette zone géographique, le microclimat lié essentiellement aux caractéristiques du système de conduite induit des variations assez nettement supérieures à celles ayant pour origine le mésoclimat.

L'effet de filtration qu'exerce la structure du couvert sur le mésoclimat ambiant est donc un élément climatique prépondérant pour expliquer le milieu dans lequel la plante va se développer et croître.

TABLEAU 20

CONFRONTATION DES VARIATIONS MESOCLIMATIQUES ET  
MICROCLIMATIQUES DANS LE BORDELAIS.

LIEUX	MESOCLIMAT			MICROCLIMAT									
	Abri-météo Grande-Ferrade (Pont de La Maye)	Abri-météo Grand-Parc (Latreune)	Abri-Météo Mouton-Rotschild (Pauillac)	Grand-Parc Ro 1,8m x 1,1m Cabernet-Sauvignon	Grand-Parc Ho 3,6m x 1,1m Cabernet-Sauvignon	Grand-Parc V 3,6m x 1,1m Cabernet-Sauvignon	Grand-Parc U 3,6m x 1,1m Cabernet-Sauvignon	Grande-Ferrade Ro 1,5m x 1,5m Cabernet-Sauvignon et Merlot	Ste Croix du Mont effeuillé Ro 1,6m x 1m Sémillon	Ste Croix du Mont rogné et effeuillé Ro 3,2m x 1m Sémillon	Château Yquem effeuillé Ro 1,5m x 1m Sémillon	Crus classés de St Emilion-Pomerol Ro 1,5m x 1m Merlot	Mouton-Rotschild Ro 1m x 1m Cabernet-Sauvignon
PARAMETRES													
Eclairement global ("fish-eye")				36,1 %	24,5 %	27,5 %	40,6 %	35,2 %	39,4 %	29,6 %	43,8 %	42,3 %	48,1 %
Température ambiante moyenne d'avril à octobre (1972 à 1978) : T <sub>x</sub>	15° 98	16° 61	16° 50										
Température ambiante minimale d'avril à octobre (1972 à 1978) : T <sub>n</sub>	10° 73	11° 40	11° 15										
Température ambiante maximale d'avril à octobre (1972 à 1978) : T <sub>M</sub>	21° 22	21° 75	22° 14										
$\frac{T_M + T_n}{2}$ (phase diurne)	18° 6	19° 18	19° 32										
Écart thermique diurne moyen saisonnier par rapport à l'air mesuré par la régression en fonction de l'éclairement				- 1° 00	- 1° 22	- 0° 32	+ 0° 39	+ 0° 37	- 0° 78	- 1° 24	- 0° 58	- 0° 65	- 0° 37
Pluviométrie (mm d'avril à octobre)	55,77	63,18	69,02										
E.T.R. saisonnière (mm)				333	353	388	336						

L'effet relativement faible du mésoclimat a été également noté dans cette région pour les Côtes de Bourg par DUTTEAU (1977 ). Pour cet auteur, un des facteurs primordiaux serait plutôt l'ensemble des caractéristiques édaphiques.

Le sol, en effet, constitue comme le couvert en relation avec l'énergie solaire, un filtre au niveau de l'alimentation hydrique en particulier. Il serait intéressant, par exemple pour le Bordelais, de confronter ces deux types de filtration en établissant des essais de systèmes de conduite variés dans de nombreux types de sol, et d'y mesurer par les méthodes présentées ici les variations du microclimat des feuilles, des baies et des racines. Il y serait également possible de dissocier l'effet direct du sol sur la plante de son effet indirect par l'intermédiaire de la modification du couvert liée à la vigueur des sarments.

Pour ce qui est des résultats inhérents aux systèmes de conduite seuls, l'idée principale est que le viticulteur peut créer par ce moyen, une large gamme microclimatique. Il est intéressant à ce stade d'analyser comment la plante entière réagit à ces effets de filtration que la structure végétale exerce sur le milieu, pour des critères agronomiques classiques.

... D E U X I E M E ... P A R T I E ...

BIOLOGIE CLASSIQUE DE LA PLANTE ENTIERE DANS  
DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE

L'analyse, en conditions naturelles, des réponses de la plante entière aux variations microclimatiques précédemment étudiées portera uniquement sur des paramètres classiques viticoles : la charge en bourgeons du cep, le nombre de ses sarments, le poids de ses bois de taille de l'année, le nombre de ses grappes, le poids de sa récolte de raisins, l'indice réfractométrique et l'acidité totale du moût qu'il donne à la vendange (après foulage de toutes les grappes du cep) ; enfin, les caractéristiques analytiques et organoleptiques du vin au niveau d'un système de conduite tout entier.

Dans un travail ultérieur, nous pousserons l'étude de la plante entière plus avant, en dépassant le stade des paramètres viticoles qui se situent au bout de la chaîne biologique, pour analyser certains éléments physiologiques responsables des résultats agronomiques précédents.

Au cours de ces diverses études, il est nécessaire, afin de bien estimer l'erreur expérimentale, d'utiliser des méthodes de calculs statistiques adaptées à la structure des populations de données. Cette démarche constituera le début de cette partie "Biologie classique de la plante entière". Les conclusions auxquelles elle aboutira permettront à la fois de valoriser les résultats agronomiques de ce travail, et aussi de servir à d'autres expérimentations sur la Vigne.

---

# CHAPITRE I

## METHODES D' ANALYSES STATISTIQUES DES CONSEQUENCES AGRONOMIQUES INDUITES PAR LES SYSTEMES DE CONDUITE.

### 1.1. - MODELES STATISTIQUES FONDAMENTAUX

#### 1.1.1. - ELABORATION DU MODELE D'ANALYSE DES EFFETS DES TRAITEMENTS :

Le but fondamental de l'analyse statistique est de mesurer la probabilité que possède un modèle de représentation des phénomènes choisis a priori, de fournir les mêmes résultats que ceux enregistrés réellement.

La démarche de la modélisation ou de la représentation théorique de l'univers est du reste à la base de toute recherche intellectuelle. Pour PLATON, en effet, : "tout ce qui se trouve ici bas n'est qu'un reflet imparfait ou une image dégradée d'un «modèle» existant dans un autre monde plus parfait".

L'intérêt spécifique de la modélisation statistique est de conférer au modèle un caractère objectif, par la mesure de l'erreur expérimentale ou de la probabilité de véracité de la théorie testée. La valeur d'un modèle n'a en effet de sens qu'en fonction du degré de son ajustement à la réalité. Des résultats ne comportant aucune interprétation statistique ne peuvent donc être crédibles par l'ensemble des chercheurs.

En contre-partie, le résultat de l'analyse statistique ne possède pas un caractère absolu, mais se trouve totalement rattaché au modèle d'étude choisi a priori. Par exemple, si une analyse statistique ne décèle aucune différence significative au seuil de risque fixé, cela n'implique pas qu'il n'en existe pas dans l'absolu, mais bien que le modèle choisi a priori ne permet pas d'en mettre en évidence. Cette conclusion est en outre indépendante du risque choisi.

La notion de modélisation et surtout celle de relativité des résultats par rapport à une représentation théorique fixée a priori, font ressortir la nécessité d'une critique préalable du modèle d'étude. Ce dernier doit s'appuyer sur tout un contexte d'observations préliminaires qui justifie ce choix de départ pour diminuer au maximum son caractère arbitraire.

En ce qui concerne l'étude des systèmes de conduite de la Vigne, le choix de ce modèle est dicté par les buts agronomiques, voire la définition même du système de conduite. En effet, le système de conduite est un ensemble de techniques imbriquées les unes dans les autres pour former un tout. Il est donc impératif de tester les effets de la forme des ceps ou du palissage pour diverses densités de plantation, en combinaison avec d'autres facteurs comme la taille, la charge et le rognage. Tous ces éléments sont indispensables à considérer afin d'étudier non seulement leurs effets séparés, mais surtout toutes leurs interactions possibles dans le but de définir une ou plusieurs combinaisons optimales, et donc, un ou des systèmes de conduite adaptés au milieu d'étude.

Le modèle statistique classique général permettant le mieux d'étudier le problème posé est le modèle croisé ou de type factoriel. Il convient de remarquer que dans ce cas il s'agit d'un modèle à effets fixes, les traitements étant étudiés pour eux-mêmes et n'étant pas sensés représenter une population totale de départ, (RIVES, 1972 et 1973 ; SNEDECOR et COCHRAN 1957).

Compte-tenu des traitements et du schéma expérimental choisis, ce modèle peut s'écrire :

$$\begin{aligned}
 x_{ijkln} & \text{ (matrice des données élémentaires) } = m \text{ (moyenne générale)} \\
 & + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) + s_j + t_k + c_l \text{ (matrice des comparaisons des 12 traitements principaux)} \\
 & + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) \cdot s_j + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) \cdot t_k + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) \cdot c_l + s_j \cdot t_k + s_j \cdot c_l + t_k \cdot c_l \\
 & \text{ (matrice des 30 interactions simples)} \\
 & + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) \cdot s_j \cdot t_k + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) \cdot s_j \cdot c_l + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) \cdot t_k \cdot c_l \\
 & \text{ (matrice des 28 interactions doubles)} \\
 & + \lambda_{i-1} \cdot (f_i) \cdot s_j \cdot t_k \cdot c_l \text{ (matrice des 9 interactions triples)} \\
 & + e_{ijkln} \text{ (matrice des erreurs expérimentales ou des résidus)}
 \end{aligned}$$

- où :
- $f_i$  représente la matrice des données d'une des 10 formes de couvert (association "densité de plantation - type de palissage - hauteur de tronc") :  $1 \leq i \leq 10$
  - $\lambda_{i-1}(f_i)$ , la matrice des données d'une des 9 comparaisons orthogonales possibles (ou regroupements d'effets traitements  $f_i$ ) parmi les 10 formes de couvert.
  - $s_j$ , la matrice des données des 2 types de sol, irrigué ou non :  
 $1 \leq j \leq 2$
  - $t_k$ , la matrice des données des 2 modes de taille, en bois demi-longs ou longs:  $1 \leq k \leq 2$
  - $c_l$ , la matrice des données des 2 niveaux de charge, faible ou fort  
 $1 \leq l \leq 2$ .
  - $n$ , le nombre de répétitions par cellule de base :  $n = 7$ , dans le cas où il n'est disparu aucun cep pendant la durée de l'essai.

Ce contrôle classique repose sur une décomposition additive de tous les traitements élémentaires et en outre, sur une structure multiplicative simple de l'interaction. Il serait intéressant d'étudier d'autres modèles dans le cadre de cette étude, en particulier pour les interactions (modèle de MANDEL, 1971, par exemple). Cette recherche plus complète sera effectuée ultérieurement.

### 1. 1. 2. - CRITIQUE DES CONSEQUENCES

Le modèle factoriel présente toute une série d'intérêts :

- 1) une large généralisation des effets significatifs ou non, des traitements puisque chacun d'eux est testé sur l'ensemble des autres, donc possède une adaptabilité nettement plus grande que s'il avait été analysé dans des essais fractionnés. Il permet de ce fait d'éviter des interprétations abusives.
- 2) Ou bien, une découverte d'interactions entre traitements ce qui conduit à la mise en exergue de combinaisons optimales. Ces interactions peuvent apparaître soit en l'absence d'effet significatif des traitements correspondants auquel cas aucune généralisation n'est possible, soit en présence de tels effets auquel cas une certaine généralisation est possible théoriquement mais n'a guère de sens en fait en raison même de la présence de l'interaction.
- 3) la présence d'un grand nombre de degrés de liberté pour l'erreur expérimentale (ici 481, manquants exclus), qui est donc connue avec grande précision et permet de bien mesurer les effets des traitements.

- 4) la nécessité d'un faible nombre de répétitions par parcelle élémentaire en raison du fait précédent, permet une meilleure concentration des moyens ainsi qu'un meilleur découpage des parcelles en fonction de l'hétérogénéité du terrain, par rapport à la juxtaposition d'essais plus simples.
- 5) enfin, dans certains cas où les effets des traitements sont assez importants par rapport à l'erreur et où le nombre d'individus analysables est le même, l'essai factoriel avec beaucoup de traitements et relativement peu de répétitions est plus puissant que des essais comportant moins de traitements avec davantage de répétitions (BADIA et MASSON, 1976).

Le modèle factoriel présente, par contre, un certain nombre d'inconvénients :

- 1) le premier est la lourdeur des calculs qui nécessite le plus souvent l'emploi de moyens électroniques.
- 2) le second consiste en un nombre élevé d'interactions d'ordre complexe donc difficiles à interpréter. Dans cet essai précis, il convient d'ores et déjà de signaler que, sur plusieurs années, seuls des traitements principaux et des interactions simples se sont révélés significatifs au seuil de risque choisi.

### 1. 1. 3. - PRECAUTIONS A PRENDRE :

#### a) Le dispositif expérimental

La première des précautions à prendre concerne le dispositif expérimental. Parmi les modèles à plusieurs facteurs, l'essai factoriel ou le modèle croisé supposent une égale répartition de l'erreur expérimentale entre les divers traitements, à l'opposé du modèle hiérarchisé ou de type "split-plot". Aucun biais particulier ne doit affecter la parcelle élémentaire. Pour vérifier cette hypothèse, il convient de procéder à un essai "à blanc".

C'est ce qui a été réalisé sur le poids des bois de taille de l'hiver 1973-1974 juste avant l'installation des systèmes de conduite. Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les 80 parcelles élémentaires. Il est donc permis de penser qu'aucun biais important lié à la différence préalable de développement entre ceps n'intervient dans cet essai. Du même coup, cette conclusion permet de justifier l'absence de morcellement du terrain en blocs géographiques.

Concernant le dispositif lui-même, les parcelles ont été, dans la mesure du possible, soumises à un découpage maximum et au tirage au hasard, afin de répartir l'hétérogénéité naturelle du sol et des ceps de façon aussi équitable que possible entre les divers traitements, tout en ménageant les bordures nécessaires, selon RIVES (1966b).

La "randomisation" n'est pas absolue pour cet essai, car certains traitements nécessitent d'être regroupés pour des raisons pratiques :

- l'irrigation est effectuée sur une moitié géographique du terrain en raison des phénomènes de lessivage et de lavage latéral dans le sol.
- les densités de plantation sont regroupées en plusieurs rangs contigus afin de diminuer l'importance des bordures et de faciliter l'entretien des vignes.
- les formes de couvert et les types de taille sont réalisés sur une entité d'un demi-rang (14 ceps) afin d'assurer un ensemble microclimatique avec des vis-à-vis à géométrie analogue.
- les niveaux de charge sont eux répartis cep par cep dans le but de couvrir le maximum de terrain et aussi de conférer à la parcelle élémentaire une structure discontinue qui atténue le biais dû au phénomène de compétition entre ceps. Ce problème sera développé dans les chapitres suivants. Il faut noter ici que la répartition des charges a été réalisée sur des sous-populations de vigueur analogue pour chacun des deux niveaux.

#### b) Les échelles de taille

L'essai factoriel vise la comparaison de plusieurs traitements avec leurs multiples combinaisons. Il est donc dans ce cas absolument indispensable d'établir un dénominateur commun pour chacune des parcelles élémentaires afin de diminuer l'importance des biais qui peut être grande pour des parcelles de 7 ceps. Il faut éviter notamment que l'effet de la charge interfère avec celui des traitements.

D'autre part, dans les buts à atteindre, il a été fixé en priorité l'étude de l'influence du système de conduite sur la vigueur du sarment, la fertilité du bourgeon et la maturation du raisin. Il s'en suit logiquement qu'il faut comparer les divers systèmes de conduite à charge en bourgeons par  $m^2$  égale. Lorsque, en particulier, la fertilité moyenne du bourgeon sera connue pour chaque système, il sera possible de raisonner, non plus à charge par  $m^2$  égale, mais à production par  $m^2$  analogue, ceci dans le but de mieux cerner les problèmes de la qualité du fruit.

De façon précise, il a été établi une échelle de taille pour chacune des 80 parcelles élémentaires. Afin de faciliter le calcul de la charge et aussi de donner à chaque parcelle le même potentiel de bourgeons à exploiter par unité de surface, tout en respectant la règle générale à l'ensemble des échelles de taille de relation croissante entre cette charge et la vigueur des ceps qui la portent, l'élaboration des échelles de taille a été conçue de la manière suivante :

classement de vigueur croissante quelle que soit la valeur paramétrique	Niveau de charge par cep faible		Niveau de charge par cep élevé	
	Vignes étroites	Vignes larges	Vignes étroites	Vignes larges
1 .....	2	10	6	18
2 .....	4	12	8	20
3 .....	6	14	10	22
moyenne: 4 .....	8	16	12	24
5 .....	10	18	14	26
6 .....	12	20	16	28
7 .....	14	22	18	30
Charge totale / m <sup>2</sup> .....	4, 04	4, 04	6,06	6,06

Il est à noter que moyenne et variance de charge par parcelle sont identiques. Cette condition est possible si c'est le classement des vigueurs qui intervient et non leur valeur absolue. Il s'agit en fait d'échelles de taille non paramétriques, qui permettent à la fois d'établir simplement un dénominateur commun rigoureux pour les comparaisons, et aussi dans une certaine latitude, de satisfaire une relation croissante entre la charge et la vigueur des ceps afin d'éviter des accidents de sous-charge ou de sur-charge. De façon générale, l'effet d'uniformisation lié à l'utilisation des échelles de taille a été montré par CASTERAN (1971).

### c) Le seuil de signification

Le choix du seuil de signification, au niveau de l'effet global des traitements s'est porté sur la valeur classique de 5 p. 100, qui est la plus utilisée par les expérimentateurs biologistes et qui représente un risque d'erreur de première espèce très acceptable par la pratique viticole.

En ce qui concerne les comparaisons multiples, une précaution doit être prise pour le calcul du seuil de signification de chacune. Dans cet exemple, le nombre des comparaisons multiples possibles dans une décomposition orthogonale de la variation est de 79. Or, la prise d'un risque de 5 p. 100 au niveau de l'effet global des traitements, implique 5 erreurs sur 100 pour la décision de signification des diverses comparaisons multiples, si le même seuil de 5 p. 100 est retenu à leur niveau.

Cette décision peut porter sur les valeurs paramétriques avec utilisation du test " F ", ou sur le classement avec les comparaisons de rangs (SIEGEL, 1956).

Afin d'estomper cette erreur, il convient de choisir le risque pour chaque comparaison multiple en divisant le risque global de 5 p 100 par le nombre de comparaisons à effectuer (BADIA et MASSON, 1976). Dans notre exemple, le seuil est donc très bas : 5/79 p. 100. De cette façon, le risque réellement pris sur l'ensemble des décisions inhérentes à cet essai sera de 5 p. 100. D'autre part, le nombre de comparaisons à effectuer est déterminé par les degrés de liberté des traitements et leur calcul doit tenir compte du nombre de répétitions pour chaque traitement.

C'est à ces conditions que la notion de plus petite différence significative ou "erreur biométrique" est applicable rigoureusement (RIVES, 1959 et 1973). Une fois la p.p.d.s. ainsi déterminée pour une comparaison donnée, deux possibilités peuvent se présenter :

- 1) la p.p.d.S. est supérieure ou égale à l'erreur absolue de mesure ou à l'écart minimum agronomiquement intéressant. Dans ce cas, le choix du seuil de risque (5 p. 100) n'est pas à remettre en cause puisqu'il est considéré globalement comme une limite à ne pas augmenter.
- 2) la p.p.d.s. est inférieure à l'un de ces deux paramètres. Dans ce cas, le seuil de risque doit être abaissé, afin d'augmenter la p.p.d.s., pour que les conclusions de l'essai aient un sens, soit au niveau de la prise de données, soit à celui de la décision agronomique.

Cette démarche est en effet possible puisque le calcul de la p.p.d.s. en statistiques paramétriques et non paramétriques tient compte du seuil de risque global en plus de facteurs comme le nombre de comparaisons possibles à effectuer, l'effectif des termes de la comparaison, le carré moyen de l'erreur ou de la variation totale.

Cette deuxième situation est d'ailleurs peu fréquente, le seuil de 5 p. 100 étant utilisé par l'ensemble des expérimentateurs viticoles. Toutefois, cette précaution théorique peut permettre le choix objectif du seuil de signification, notamment pour donner un sens agronomique à la p.p.d.s.

#### 1. 1. 4. - ELABORATION DU MODELE DE CALCUL DES REGRESSIONS ET CORRELATIONS

Une autre approche de l'étude de la biologie de la plante entière que celle qui se concentre sur les variations d'un seul paramètre biologique en fonction des variations du milieu, est celle qui vise l'analyse

des relations entre les différents paramètres étudiés, globalement ou pour chacune des conditions de milieu.

Dans cette optique, le calcul des régressions simples et multiples, ainsi que celui de coefficients de corrélation, revêt un intérêt primordial. La formulation du modèle linéaire utilisé est la suivante (SNEDECOR et COCHRAN, 1957).

$$x_{ij\dots} = \alpha + \beta_i y_i + \gamma_j z_j + \dots + e_{ij\dots} \quad \text{où :}$$

- $x_{ij\dots}$  = le coefficient constant de la régression multiple
- $y_i$  = la matrice des données de la variable explicative " $y_i$ "
- $\beta_i$  = la matrice des coefficients de la régression sur la variable " $y_i$ ", calculés par la méthode des moindres carrés.
- $z_j$  = la matrice des données de la variable explicative " $z_j$ "
- $\gamma_j$  = la matrice des coefficients de la régression sur la variable " $z_j$ ", calculés par la méthode des moindres carrés
- $e_{ij\dots}$  = la matrice des résidus de la régression.

Pour la régression multiple, le calcul tient compte de la part de variation de  $x$  expliquée par chaque variable explicative en éliminant les recoupements possibles entre ces dernières.

Dans le cas d'une régression simple, le modèle s'écrit :

$$x_{ij} = \alpha + \beta_i y_i + e_{ij}$$

La signification de la régression est décidée en fonction de la valeur du carré du coefficient de corrélation ( $R^2$ ) qui renseigne sur le pourcentage de la variation de la variable à expliquer dû à la régression linéaire :

$$R^2 = \frac{(\text{Covariance}(\hat{x} \text{ estimé}, x))^2}{\text{variance}(\hat{x} \text{ estimé}) \times \text{variance}(x)}$$

La signification du  $R^2$  lui-même est effectuée par le test de FISHER-SNEDECOR :

$$F = \frac{R^2/r}{1-R^2 / n-r-1} \quad \text{où :}$$

- $r$  est le nombre de degrés de liberté de la régression (ou des coefficients).
- $n$ , le nombre de degrés de liberté total (nombre de données - 1).

La comparaison des coefficients de régression calculés dans des conditions différentes, est réalisée en testant l'égalité de ces coefficients à partir de la transformation FISHER :

$$z = \frac{1}{2} \operatorname{Log} \frac{1+R}{1-R}$$

Ce test d'égalité porte ensuite sur les deux valeurs  $z_1$  et  $z_2$  ainsi obtenues, et consiste en le calcul de la valeur du " t " de STUDENT suivante :

$$t = \frac{z_1 - z_2}{\sqrt{1/(n_1-3) + 1/(n_2-3)}}$$

## 1. 2. - METHODES DE CALCUL BIOMETRIQUE

### 1. 2. 1. - PROBLEMES GENERAUX

Les modèles statistiques généraux étant choisis, il convient de déterminer la méthode de calcul de leur probabilité d'ajustement à la réalité. Le déroulement de ces tests doit reposer sur la structure des populations de données.

A ce stade, la première question mathématique qui se pose concerne l'aspect gaussien des populations des résidus (c'est-à-dire des données brutes après soustraction des effets des traitements contrôlés).

- Si ces dernières possèdent un aspect gaussien, la statistique classique peut s'appliquer, avec en outre pour l'analyse de la variance, des contraintes concernant l'indépendance des données, l'additivité des effets, et l'homogénéité des variances (RIVES, 1962; RIVES, 1966a ; RIVES, 1973).

- dans le cas contraire, il est nécessaire :

. soit de transformer les données de départ afin de pouvoir utiliser la statistique gaussienne (SNEDECOR et COCHRAN, 1957).

. soit d'employer d'autres statistiques, en particulier les tests non paramétriques qui se calculent à partir du classement des données, ce qui revient d'ailleurs à effectuer une transformation linéaire (SIEGEL, 1956).

Sur le plan pratique, même si les conditions théoriques ne sont pas réunies, il est intéressant de voir jusqu'où la statistique gaussienne peut être appliquée, et en particulier d'éprouver la robustesse du test "F". Pour ce faire, il apparaît utile de confronter les résultats de plusieurs types d'analyse : gaussienne sur les données brutes, gaussienne sur les données transformées et non paramétriques.

### 1. 2. 2. - STRUCTURES DES POPULATIONS DE DONNEES

L'examen et l'interprétation de la structure des populations de données conduisent à mettre en doute l'utilisation systématique de la loi normale dans les calculs statistiques et justifient la confrontation des divers types d'analyse précédemment présentés.

En effet, les quelques exemples suivants indiquent les problèmes de fond posés au niveau de l'emploi de la biométrie pour étudier le comportement des systèmes de conduite et les réponses de la Vigne en général, en conditions naturelles (RIVES, 1969).

Une population de ceps est soumise à un certain nombre de facteurs de variation non contrôlés :

- la micro-hétérogénéité de type aléatoire du sol à l'intérieur d'un bloc où tout gradient de terrain est évité. Pour ce facteur, il semble impossible d'arriver à un contrôle efficace de la variation si ce n'est la préparation du terrain avant plantation.
- les différences dans le choix des bois de taille d'un cep à l'autre. Ce type de variation peut être atténué en notant le diamètre moyen du bois conservé. La détermination de la charge est elle, contrôlée par l'échelle de taille.
- les phénomènes de compétition d'un cep à l'autre. Des tendances à la concurrence entre ceps existent surtout le long du rang de vigne. Ces phénomènes induisent une certaine hétérogénéité entre plantes, des liaisons entre les observations cep par cep, et aussi des populations bimodales dans le cas de vignes larges vigoureuses où la concurrence semble s'effectuer d'abord sur le rang en affectant une première fraction des ceps, puis entre rangs pour atteindre l'équilibre général (CASTERAN, CARBONNEAU, LECLAIR, 1980). Il est intéressant pour améliorer la précision des essais, de prendre en compte la compétition dans tous les azimuts au niveau du calcul statistique, mais ceci nécessite un approfondissement spécifique.

a) L'importance de la dépendance des données cep par cep liée à la concurrence a été fortement minimisée dans cet essai par la répartition des deux niveaux de la charge cep par cep en deux sous-populations de

vigueur, au départ de l'expérimentation. Le calcul des coefficients de voisinage sur le poids des bois de taille, ainsi que l'emploi du test des runs (SIEGEL, 1956), n'ont montré aucun lien significatif entre ceps voisins sur le rang, ou entre rangs ce qui du reste valide le dispositif pour la répartition des parcelles et des bordures.

b) L'hétérogénéité des variances a été évaluée au moyen du test de HARTLEY (SNEDECOR et COCHRAN, 1957), fondé sur le rapport des deux variances extrêmes intra-parcelles d'un essai. Sur les 3 années et les 7 paramètres étudiés, ce test ne s'est montré que deux fois significatif à 5 p. 100; en général, l'homogénéité de variance des parcelles de 7 ceps s'est avérée acceptable mais toujours proche de la valeur limite. Ce test très rapide, n'est certainement pas suffisant pour apprécier l'hétérogénéité des variances comme le test de BARTLETT qui aurait nécessité un important supplément de calculs; aussi des transformations de variables ont-elles été utilisées. L'emploi des fonctions  $\sqrt{\quad}$  ou log sur les données de 1975, n'a presque rien changé à ce niveau comme d'ailleurs à celui des comparaisons entre traitements. L'utilisation de la covariance sur ces mêmes données avec comme covariable le poids de vendange ou le poids des bois de taille n'a également rien modifié notablement.

c) La normalité des populations de résidus : les tests de normalité (SNEDECOR et COCHRAN, 1957), ont été effectués sur les populations de résidus relatives au poids des bois de 1975, 1976 et 1977, en mesurant la symétrie et l'aplatissement des courbes. A 5 p. 100 de risque, la plupart des populations peuvent être considérées comme gaussiennes. Dans environ 25 p. 100 des cas, la normalité n'est pas acceptable avec des cas extrêmes de bi-modalité pour des vignes larges vigoureuses (figure 18). Dans ce cas comme précédemment, il est intéressant de confronter des inadaptations au modèle gaussien (hétérogénéité des variances, non normalité des populations) pour voir si elles sont acceptables ou non par le test " F ".

### 1. 2. 3. - SCHEMA DE COMPARAISONS ORTHOGONALES

Un schéma de comparaisons orthogonales (RIVES, 1972; RIVES, 1973) a été choisi a priori en fonction des questions agronomiques jugées les plus intéressantes. Les 79 degrés de liberté ont été décomposés en 9 degrés de liberté pour les formes générales, 1 pour les terrains, 1 pour les tailles, 1 pour les charges et 30 pour les interactions simples : soit au total 42 degrés de liberté. Les 37 restants représentant les interactions d'ordre supérieur n'ont pas été pris en considération après quelques analyses sur les données de 1975 prouvant leur intervention dérisoire dans la décomposition de la variation totale.

a) Effets principaux Ces comparaisons sont les suivantes où les moyennes des traitements sont affectées des mêmes coefficients que ceux attachés aux sigles :

- C1) U - V = système de conduite large, ouvert, ascendant, par rapport au système large, semi-ouvert, ascendant.
- C2) D - S = système large, ouvert, retombant, par rapport au système large, semi-ouvert, retombant.
- C3) He - Ho = système large, plan, à zone des grappes dégagées, par rapport au système large, plan.
- C4)  $\frac{(U+V)}{2} - \frac{(He+Ho)}{2}$  = systèmes larges ascendants, ouvert et semi-ouvert, par rapport aux systèmes larges, ascendants, plans.
- C5)  $\frac{(U+V+He+Ho)}{4} - \frac{(D+S)}{2}$  = systèmes larges ascendants, par rapport aux systèmes larges, retombants.
- C6)  $\frac{(U+V+D+S+He+Ho)}{6} - \frac{(Be+Bo+Re+Ro)}{4}$  = systèmes larges, par rapport aux systèmes étroits.
- C7)  $\frac{(Be+Bo)}{2} - \frac{(Re+Ro)}{2}$  = systèmes, étroits, plans, peu rognés, par rapport aux systèmes étroits, plans, rognés.
- C8) Be - Bo = système étroit, plan, peu rogné, à zone des grappes dégagée, par rapport au système étroit, plan, peu rogné.
- C9) Re - Ro = système étroit, plan, rogné, à zone des grappes dégagée, par rapport au système étroit, plan, rogné.
- C10) = terrain irrigué par rapport au terrain non irrigué.
- C11) = taille à longs bois (1 en vigne étroite, 2 en vigne large), par rapport à la taille à bois demi-longs (2 en vigne étroite, 4 en vigne large).
- C12) = charge normale (4,04 bourgeons/m<sup>2</sup>), par rapport à la charge élevée (6,06 bourgeons/m<sup>2</sup>).

b) Interactions simples :

$$(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9) \times C_{10}$$

$$(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9) \times C_{11}$$

$$(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9) \times C_{12}$$

$$C_{10} \times C_{11}$$

$$C_{10} \times C_{12}$$

$$C_{11} \times C_{12}$$

## 1. 2. 4. - ANALYSES COMPLEXES

### a) Régressions multiples linéaires

Les régressions multiples linéaires de chacun des 7 paramètres sur les 6 autres à la fois, ont été établies chaque année, ainsi que sur l'ensemble des années.

Le calcul des régressions a été progressif, depuis les 6 régressions simples, jusqu'à la régression à 6 termes où l'ordre des variables explicatives est fonction croissante du niveau de leur corrélation simple avec la variable à expliquer.

Ce calcul porte sur le coefficient constant, les différentes pentes, le carré du coefficient de corrélation correspondant à la fraction de la variation du paramètre à expliquer due à sa liaison avec le ou les autres paramètres.

La structure des populations s'accommode du modèle gaussien principalement en raison du nombre élevé de répétitions toujours supérieur à la cinquantaine. Quelques graphiques en deux dimensions ont également montré que l'ajustement linéaire ne semblait pas devoir être remis en cause.

### b) Analyses en composantes principales

Une analyse en composantes principales (BENZECRI *et al.*, 1973) a été effectuée, les 80 traitements confondus, sur les 7 données de 1975, afin de trouver les axes expliquant le maximum de la variation totale des 7 paramètres et de fournir une interprétation biologique.

Quatre composantes principales ont été retenues. Le pourcentage de la variation totale expliquée par les valeurs propres des diverses composantes principales sont :

$$CP_1 : 47,7 \% ; CP_2 : 17,9 \% ; CP_3 : 13,3 \% ; CP_4 : 12,3 \%$$

Les autres valeurs sont inférieures à 5 %.

- $CP_1$  = Les données portées par le vecteur 1 corrélent significativement à 5 p. 100 de risque avec les variables suivantes : charge, nombre de sarments, poids de bois et nombre de grappes. Il s'agit pour l'essentiel en fait d'un axe des potentialités octroyées au cep par le tailleur. La charge détermine pour beaucoup le nombre de sarments et le nombre de grappes. En outre, elle est calculée en fonction du poids des bois de l'année précédente, ce dernier corrélant bien ( $r = + 0,85$  dans cet essai) avec le poids des bois de l'année. La première composante principale traduit donc l'action évidente du tailleur sur la variation totale des données.

- CP<sub>2</sub> = Il n'y a aucune corrélation significative entre les paramètres et la composante. Toutefois, deux coefficients sont assez élevés : celui avec le degré (positif) et celui avec l'acidité (négatif). La seconde composante traduit donc la tendance du raisin à posséder des teneurs inverses pour les sucres et les acides jusqu'à maturité, ce qui est un fait établi en général.
- CP<sub>3</sub> = Ici aussi, aucune corrélation significative entre les paramètres et la composante. Toutefois, deux coefficients sont assez élevés : celui avec le degré (positif) et celui avec l'acidité (positif). La troisième composante traduit un effet inverse de la première : les raisins les plus riches en sucres ont aussi tendance à être les plus acides. Certains traitements doivent donc posséder cette particularité.
- CP<sub>4</sub> = Ici encore, aucune corrélation significative entre les paramètres et la composante. Toutefois, deux coefficients sont assez élevés : celui avec le poids de récolte (négatif) et celui avec le degré (positif). La quatrième composante traduit une liaison inverse entre la production et la teneur en sucres des raisins, donnée souvent admise.

Cette analyse en composantes principales n'a pu mettre en lumière que des résultats, soit évidents (CP<sub>1</sub>), soit interprétables avec seulement 2 paramètres sur 7 (CP<sub>2</sub>, CP<sub>3</sub>, CP<sub>4</sub>). De ce fait, en fonction de ce calcul, il semble sur le plan méthodologique, que l'utilisation de l'analyse multivariée ne puisse pas apporter plus d'informations que les analyses univariées ou les études de régressions simples et multiples. De toute façon, sur le plan biologique, l'interprétation des effets d'un axe dans un espace à plusieurs dimensions se ramène très souvent à sa projection sur au maximum 2 axes. Donc, dans la mesure où le but n'est pas de discriminer au maximum des variables (comme cela pourrait être le cas en ampélographie ou pour décrire la complexité d'un vin par exemple), mais plutôt de mesurer les effets de traitements sur des variables isolées et d'interpréter les résultats, l'utilisation de l'analyse multivariée notamment celle de l'analyse en composantes principales, ne paraît pas indispensable.

#### c) Calculs pluri-annuels

Une critique méthodologique de fond peut être apportée aux calculs pluri-annuels.

Sur le plan biologique, il existe un lien, concernant le comportement d'une plante pérenne, entre deux années consécutives (initiation florale, réserves notamment), voire au-delà (RIVES, 1966 a ; RIVES, 1972). De ce fait, il n'y a pas indépendance entre les valeurs d'un paramètre sur plusieurs années consécutives, notamment au niveau du poids des bois. Aucun modèle statistique classique n'est de ce fait, applicable

aux plantes pérennes. Les études ont donc été effectuées année par année.

D'autre part, une analyse sur les 3 années à la fois aurait introduit 3 fois plus d'interactions, ce qui aurait alourdi considérablement les calculs. Néanmoins, dans les conclusions, les tendances stables sur les diverses années considérées seront dégagées.

### 1. 3. - CAS PARTICULIER DES DEGUSTATIONS DE VINS

Toutes les variables évoquées jusqu'à présent sont facilement quantifiables et l'analyse statistique s'y adapte par nature. Cela est possible également pour les analyses chimiques des vins. Toutefois, ces dernières ne seront pas présentées car elles ne procurent pas d'informations supplémentaires par rapport aux analyses des moûts, sauf en ce qui concerne les polyphénols.

Lorsqu'il s'agit, pour un dégustateur, de porter un jugement sur la qualité d'un vin, les appréciations qualitatives relatives à des points précis, ou traduisant une impression générale, sont assez immédiates. A priori, il est donc possible de décrire un vin et d'indiquer des préférences, mais difficile de mesurer l'effet produit sur le dégustateur donc de quantifier la qualité organoleptique.

Néanmoins, il est utile de tenter une telle quantification, ne serait-ce que parce qu'en pratique la qualité d'un vin est toujours en rapport avec un prix. Il est de ce fait possible d'associer une mesure à une qualité organoleptique sans que cela puisse être considéré comme une association contre nature.

Si l'on essaie de décomposer l'action du dégustateur, on constate que celle-ci est la combinaison d'un effet qualitatif sur tel ou tel sens et d'un effet quantitatif sur chacun de ces sens. Il convient donc de distinguer ces sens, puis d'établir une échelle d'intensité pour chacun. En outre, il faut assurer une certaine simplicité afin qu'un minimum de dégustateurs soient capables de s'y conformer.

Les trois classes sensorielles majeures sont : la vue, l'odorat, et le goût.

#### 1. 3. 1. - LA VUE

Pour la vue, interviennent diverses longueurs d'onde avec leur intensité. A ce niveau, il est difficile d'établir une gamme précise, mais il est possible d'effectuer trois subdivisions fondées sur une moyenne d'impressions subjectives :

- couleurs peu attirantes annonçant des défauts ultérieurs : par

exemple couleur trop claire (raisin peu mûr ou pourri), trop évoluée (vin trop vieux ou oxydé), trop violacé (goûts grossiers).

- couleurs acceptables mais peu évoluées, traduisant la présence d'un vin encore trop jeune devant bien évoluer.

- couleurs attirantes traduisant un vin bien évolué, avec pour les rouges, suffisamment de tuilé mais pas trop.

L'échelle de couleur proposée est :

- 0 = couleur très défectueuse prononcée
- 0,5 = couleur très défectueuse
- 1 = couleur de vin jeune (rouges) ou complètement à l'encontre du type voulu (blancs)
- 1,5 = couleur de vin jeune intense (rouges) ou légèrement à l'encontre du type voulu (blancs)
- 2,0 = couleur évoluée (rouges) ou acceptable (blancs)
- 2,5 = couleur évoluée intense (rouges), ou typique (blancs)
- 3 = couleur à son optimum.

### 1. 3. 2. - L'ODORAT

Pour l'odorat, interviennent divers parfums contenus dans le bouquet (arômes du raisin, arômes de fermentation, arômes de vieillissement). Il existe une quantité innombrable de substances odorantes très différentes. Il convient donc d'effectuer des regroupements en fonction des moyennes d'impressions globales subjectives observées. Quatre peuvent être opérés :

- bouquets désagréables traduisant un défaut du vin ou un parfum du cépage rebutant
- bouquets absents ou imperceptibles ou fugaces
- bouquets agréables nets mais peu originaux
- bouquets agréables, originaux (fins ou typés).

L'échelle de bouquet proposée est :

- 0 = bouquet défectueux intense
- 0, 5 = bouquet défectueux
- 1 = bouquet absent
- 1, 5 = bouquet fugace
- 2 = bouquet net, peu original

- 2, 5 = bouquet net, peu original, intense  
 3 = bouquet original, fin ou typé  
 3,5 = bouquet original, fin ou typé, intense  
 4 = bouquet très original, fin ou typé, très intense.

### 1. 3. 3. - LE GÔUT

Comme pour l'odorat, le goût est établi sur une quantité très élevée de substances sapides très diverses. Il convient donc, pour des raisons de simplicité de regrouper ces phénomènes.

Une subdivision très générale, en fonction, de l'expérience des dégustateurs, aboutit à la distinction d'une première impression en bouche où l'on perçoit surtout les saveurs élémentaires, (l'amer, l'acide, le sucré ou le gras), d'une impression finale où l'on perçoit surtout les saveurs complexes avec plus ou moins de persistance et d'harmonie avec les impressions précédentes. Donc deux classes sont retenues : saveur simple d'attaque et saveur complexe de fin.

#### a) Saveur simple d'attaque :

La première perception en bouche est en fait celle d'un équilibre entre alcools ou sucres, acides et polyphénols. La gamme suivante tient compte de l'intensité du déséquilibre.

- 0 = agression intolérable  
 0, 5 = déséquilibre à l'encontre du type (vin rouge sucré, liquoreux amer, blanc sec sans acidité; vin de garde sans corps)  
 1 = déséquilibre important dans le type (trop de tanin grossier, trop d'acide; trop d'alcool)  
 1,5 = déséquilibre dans le type (vin tanique, acide)  
 2 = léger déséquilibre dans le type (pointes de tanin, d'acide)  
 2, 5 = équilibre acceptable (quelques traces de tanin, d'acide)  
 3 = très bon équilibre (fusion parfaite)

#### b) Saveur complexe de fin :

C'est certainement à ce niveau que la quantification des impressions est la plus difficile, les sensations étant complexes et parfois constituant un mélange d'agréments et de désagréments. En outre, les notions

de persistance et d'harmonie se superposent. Aussi la gamme suivante permet d'essayer de tenir compte de tous ces phénomènes :

goût mauvais	( 0	= saveur grossière intolérable, persistante
	( 0, 5	= saveur grossière intolérable
	( 1	= saveur totalement étrangère au raisin (accident, pourriture), persistante.
	( 1, 5	= saveur totalement étrangère au raisin (accident, pourriture).
	( 2	= saveur très mauvaise, par exemple traduisant surtout une très mauvaise maturité (fort goût herbacé, de "cuit"), persistante.
	( 2, 5	= saveur très mauvaise, par exemple traduisant surtout une très mauvaise maturité (fort goût herbacé, de "cuit").
	( 3	= saveur mauvaise, par exemple traduisant surtout une mauvaise maturité, (goût herbacé, de "cuit"), persistante.
	( 3, 5	= saveur mauvaise, par exemple traduisant surtout une mauvaise maturité (goût herbacé, de cuit).
	( 4	= saveur neutre, absente, aqueuse.
	goût médiocre	( 4, 5
( 5		= saveur sans originalité, ni persistance, ni défaut
( 5, 5		= saveur assez originale ou originale avec traces des défauts précédents
( 6		= saveur assez originale ou originale avec traces des défauts précédents, persistante
( 6, 5		= saveur originale sans défaut
goût fin	( 7	= saveur originale sans défaut, en harmonie avec les impressions précédentes
	( 7, 5	= saveur originale sans défaut, persistante
	( 8	= saveur originale sans défaut, persistante, en harmonie avec les impressions précédentes
	( 8, 5	= saveur originale, sans défaut, très persistante
	( 9	= saveur originale sans défaut, très persistante, en harmonie avec les impressions précédentes
	( 9, 5	= saveur très originale, très persistante
( 10	= saveur très originale, très persistante, en harmonie parfaite avec les impressions précédentes.	

#### 1. 3. 4. - SYNTHESE GENERALE

A partir de ces quatre échelles de couleur, de bouquet, de saveur simple d'attaque et de saveur complexe de fin, il est possible de tenter une notation globale de la qualité du vin.

La meilleure démarche consisterait à comparer les vins sur ces quatre critères à la fois, par exemple en analyse multivariante discriminante. Il serait alors possible de noter à la fois l'importance de ces critères et de classer les vins sur cette échelle globale issue de l'analyse.

Dans une première approche, un certain nombre d'expériences ont montré qu'une évaluation de la qualité du vin pouvait être fournie par la somme algébrique des notes découlant des quatre échelles et ne pouvant excéder le total de 20.

Il est évident que cette approche quantitative n'a pas la prétention de décrire toute la qualité du vin. Toutefois, elle n'est pas incompatible avec l'ajout d'informations complémentaires émanant de dégustateurs chevronnés notamment au niveau aromatique, et semble correspondre à ce que peut apprécier un consommateur de vin moyen soucieux de qualité. En outre, il faut reconnaître que la détermination d'arômes particuliers (cassis, fraise, épices, tabac, foin, poussière etc...) est fréquemment sujette à caution, même parmi les spécialistes. D'autre part, les analyses techniques de ces arômes sont rarement exploitables.

#### Conditions de notations -

Dans l'expérimentation considérée, en moyenne une douzaine de dégustateurs ont participé à chaque dégustation. L'exercice consistait à décrire les vins au niveau de la couleur, du bouquet, et du goût, en indiquant les préférences. Le collègue ignorait la correspondance des vins avec les systèmes de conduite. Le jugement s'est effectué en connaissance du cépage, de l'année, de la provenance et de la technique œnologique, c'est-à-dire du type habituel de vin de *Cabernet-Sauvignon* produit au domaine de Latresne en "Premières Côtes de Bordeaux", en l'absence d'assemblage, de chaptalisation et de passage en barrique de bois. De cette façon, c'est plutôt le potentiel qualitatif qui est évalué.

La technique œnologique a, elle aussi, été testée par les dégustateurs. La technique est classique pour les fermentations alcoolique et malolactique, et est réalisée par micro-vinification de 5 kg de vendange bien échantillonnée, en cuve en acier inoxydable placée dans une chambre thermostatée (à 25°C pour la fermentation alcoolique durant 6 jours en moyenne ; à 22°C pour la fermentation malolactique durant 70 jours environ). La mise en bouteille a lieu 18 mois après la fermentation. Les dégustations s'étalent du mois de mars au mois de mai. Dans ces conditions, des comparaisons entre ces micro-vinifications et des vinifications traditionnelles en cuve en acier inoxydable de 100 hl à Latresne, ont abouti à une bonne concordance entre les deux techniques lors des dégustations.

Deux micro-vinifications par système et par an, ont été réalisées, l'une dans le bloc non irrigué, l'autre dans le bloc irrigué. Malgré l'assez bonne concordance de classement des systèmes entre les deux blocs, seules seront prises en considération les informations du bloc non irrigué, l'irrigation ayant entraîné une chute considérable de qualité, chaque année et sur tous

les

paramètres qualitatifs. En outre, chaque vin a été suivi pendant 3 ans consécutifs après la fermentation, sauf pour le millésime 1977, pratiquement ingoûtable en 1980.

Les observations du collège, une fois récoltées, n'ont été prises en considération que les fiches présentant une description assez complète du vin, en moyenne 5 par série, indépendamment de leur contenu. Les observations figurant sur ces fiches, d'une part ont contribué à l'élaboration de l'échelle précédente de notation des vins, et d'autre part, ont été soumises ultérieurement à cette échelle en établissant la correspondance entre l'observation qualitative et la note pour chacun des 4 critères retenus. Sur ces notes, a été utilisé le test de FRIEDMAN (SIEGEL, 1956).

Les personnes ayant participé à ces dégustations et retenues pour leurs appréciations sont :

Mme BARRERE (ITV, Bordeaux), M.M. BLOUIN (Chambre Agriculture de la Gironde) CARBONNEAU (INRA Bordeaux), CASTERAN (INRA Bordeaux), CORDEAU (Chambre Agriculture de la Gironde), DOZAN (INRA Bordeaux), DUCASSE (ITV Bordeaux), GEROMIN (INAO Bordeaux), LECLAIR (INRA Bordeaux), RONCIN (INAO Bordeaux), SAPIS (Institut d'Oenologie Bordeaux).

Des observations ont été faites par une soixantaine d'autres personnes, notamment des producteurs, ainsi que pour d'autres millésimes (1974 première année de l'essai, 1978, 1979, 1980), et il est intéressant de souligner d'emblée que les conclusions de ces divers collèges sont très voisines de celles présentées dans la suite de ce travail. Des comparaisons entre les différents millésimes seront développées.

---

## C H A P I T R E I I

( R E S U L T A T S )

### E F F E T D U S Y S T E M E D E C O N D U I T E S U R L A P A R T I E V E G E T A T I V E

Les méthodes précédemment décrites ont permis de mettre en évidence des effets significatifs du système de conduite sur certains éléments simples de la biologie de la plante entière. Ces résultats seront donc présentés et interprétés en liaison avec les conclusions dans le domaine microclimatique, notamment au niveau de l'énergie solaire qui est plus modifiée que l'E.T.R. par le système de conduite. Les premiers paramètres examinés sont les 3 paramètres décrivant les sarments : charge en bourgeons /m<sup>2</sup>, nombre de sarments/m<sup>2</sup> et poids des bois de taille/m<sup>2</sup>. Les deux premiers n'ont indiqué aucune différence significative entre traitements, surtout le premier puisque les systèmes de conduite ont été volontairement comparés à charge en bourgeons/m<sup>2</sup> égale. Le nombre de sarment/m<sup>2</sup> ou par bourgeons, a été très peu affecté par l'année et le système de conduite. En moyenne, il vaut 5,63/m<sup>2</sup>. L'analyse des résultats portera donc uniquement sur le poids des bois de taille de l'année par m<sup>2</sup>, qui reflète à la fois la vigueur (rapidité et durée de croissance) ainsi que le degré d'aboutement des sarments (CARBONNEAU, CASTERAN, LECLAIR, 1978).

#### R E S U L T A T S C O N C E R N A N T L E P O I D S D E S B O I S D E T A I L L E / M<sup>2</sup>

Le tableau 21 présente les moyennes du poids des bois de taille de l'année (kg/m<sup>2</sup>) pour les systèmes de conduite principaux, les 2 terrains, les 2 types de taille et les 2 niveaux de charge. Les résultats de l'analyse statistique y sont figurés par des axes de classement croissant des divers traitements. L'ordre de grandeur des différences significatives est d'environ 90g de poids des bois/m<sup>2</sup>, ce qui constitue une assez bonne précision, eu égard aux applications viticoles.

##### 2.1. - LES SYSTEMES DE CONDUITE PRINCIPAUX :

En 1975, deux regroupements statistiques apparaissent :

- " Re " a un poids des bois plus faible que " He, Be, V "
- " Re, U, D " a un poids des bois plus faible que " V ".

T A B L E A U 21

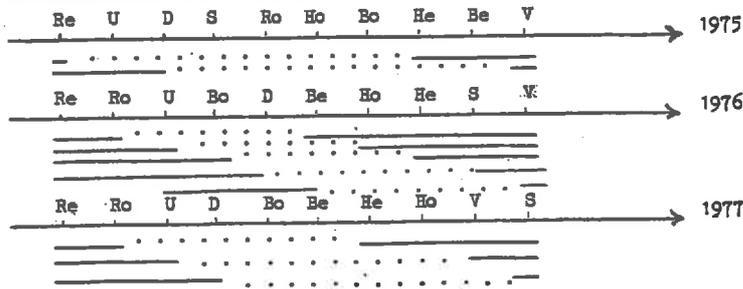
EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LE POIDS DES BOIS DE TAILLE DE L' ANNEE (kg / m<sup>2</sup>)

- Valeurs moyennes -

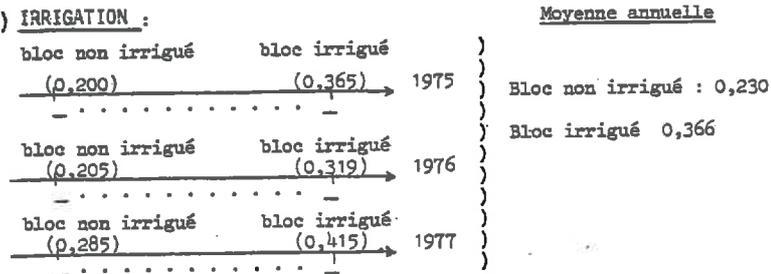
Système de conduite Années	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U	Moyenne de l'année
1975	0,270	0,234	0,306	0,321	0,279	0,317	0,266	0,248	0,334	0,247	0,282
1976	0,191	0,184	0,238	0,261	0,310	0,318	0,324	0,249	0,351	0,193	0,262
1977	0,263	0,260	0,341	0,354	0,391	0,379	0,445	0,324	0,426	0,319	0,350
Moyenne annuelle	0,241	0,226	0,295	0,312	0,327	0,338	0,345	0,274	0,370	0,253	

Classement et regroupement statistique, figuré par un trait plein, des traitements principaux (gaussien et non paramétrique)

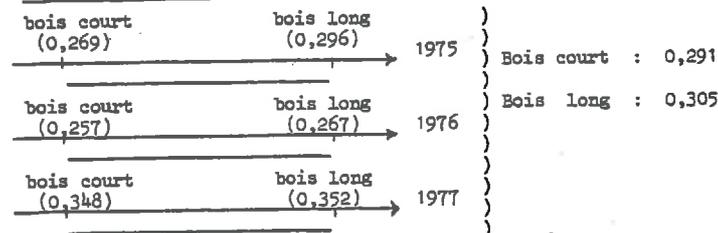
1) Systèmes de conduite principaux :



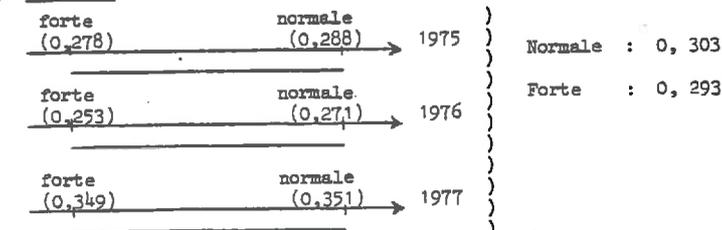
2) IRRIGATION :



3) TYPE DE TAILLE :



4) CHARGE :



INTERACTIONS SIGNIFICATIVES

Aucune sur les trois années avec les deux types d'analyse, gaussienne et non paramétrique.

T A B L E A U 21
------------------

(suite)

Régressions significatives à 5 p. 100 entre le poids des bois de taille de l'année en Kg/m<sup>2</sup> ( y ) et les paramètres microclimatiques ( x ) sur l'ensemble des systèmes de conduite :

1/ x = p. 100 moyen de la radiation incidente (P.A.R.) dans le couvert :

$$1975 : y = 0,0283 + 0,0249 x - 0,0006 x^2 \quad (R^2 = 0,628)$$

$$1976 : y = 0,4717 - 0,0088 x \quad (R^2 = 0,677)$$

$$1977 : y = 0,6446 - 0,0165 x + 0,0002 x^2 \quad (R^2 = 0,582)$$

2/ x = E.T.R. moyenne saisonnière (mm) :

$$1975 : y = -4,7587 + 0,0271 x \quad (R^2 = 0,668)$$

$$1976 : y = -1,6648 + 0,0088 x \quad (R^2 = 0,680)$$

$$1977 : y = -0,3085 + 0,0017 x \quad (R^2 = 0,741)$$

Le point le plus marquant est que les systèmes dont le niveau d'énergie solaire reçu par le couvert est moyen ("V", "Be", "He") sont ceux qui possèdent le développement végétatif le plus important. Le plus faible est atteint logiquement par une vigne rognée "Re" ainsi que par des systèmes très ouverts "U" et "D". Le poids des bois est donc fortement réduit pour les microclimats les plus pourvus en énergie solaire et ceci équivaut en 1975 à un rognage. Le système le plus entassé "Ho" est dans une position intermédiaire. Deux particularités se présentent toutefois : le rang assez bon du type rogné "Ro" qui a sans doute un peu mieux compensé que "Re" l'effet du rognage par la croissance des entre-coeurs (observée visuellement); la position assez moyenne du type à tronc haut retombant "S", dont la croissance a été peut être un peu ralentie du fait que le tronc a été allongé seulement au cours de l'hiver 1973-1974.

Une première relation sur l'ensemble des systèmes de conduite étudiés, entre le microclimat et l'élément de la biologie de la plante entière considéré mesurant le développement végétatif apparaît : une augmentation d'énergie solaire dans le couvert accroît le développement végétatif jusqu'à un maximum (aux alentours de 25 p 100 d'énergie lumineuse P.A.R. moyenne) puis le freine pour des niveaux supérieurs à 30 p 100. Ceci est à mettre en rapport surtout avec l'effet favorable de la photosynthèse globale de la plante sur la croissance et la maturation (CARBONNEAU, 1976). Cette photosynthèse est en effet diminuée à la fois par un manque d'énergie solaire et par des excès de chaleur (KRIEDEMANN, 1968 ; KRIEDEMANN et SMART, 1971 ; CARBONNEAU et al. 1978). Cette loi se trouve globalement vérifiée pour l'ensemble des trois années et des sous-traitements. Elle est traduite par les équations de régression (Tableau 21), tout comme l'est l'augmentation de l'E.T.R. chez les systèmes vigoureux (Tableaux 18 et 21). Il est à noter que l'effet du microclimat sur le poids des bois est supérieur à l'influence du climat annuel sur ce même paramètre.

En 1976, cinq regroupements statistiques apparaissent :

- "Re, Ro" est inférieur à "Be, Ho, He, S, V";
- "Re, Ro, U" à "Ho, He, S, V" ;
- "Re, Ro, U, Bo" à "He, S, V" ;
- "Re, Ro, U, Bo, D" à "S, V";
- "U, Bo, D" à "V".

Les conclusions précédentes se trouvent vérifiées avec un classement plus groupé des 2 types rognés "Re" et "Ro", ainsi qu'une place plus conforme à son microclimat intermédiaire pour le type "S". Il faut remarquer toutefois que les vignes étroites, peu rognées "Bo" et "Be" sont un peu moins bien classées qu'en 1975, peut-être en raison d'un assèchement du sol un peu trop important pendant la croissance (cf. figure 17) Cet effet est plus net sur d'autres paramètres analysés après. Le type "Ho" est assez proche du type "He", l'effet de l'entassement étant moins net en année très ensoleillée et chaude.

En 1977, le climat a été beaucoup plus tempéré que les années précédentes et le poids des bois y est plus élevé. Néanmoins, les mêmes conclusions générales se vérifient. La seule particularité concerne le système "Ho" qui est placé à un bon niveau. En 1977, en raison de la bonne croissance liée à la pluviosité, le palissage plan a été largement dépassé par les tiges créant ainsi un système semi-retombant assez bien exposé pour les feuilles les plus actives du tiers supérieur du sarment (KOBLET, 1969; KRIEDEMANN, KLI EWER, HARRIS, 1970). Le niveau microclimatique du "Ho" notamment, a donc été amélioré en fin de saison. Trois groupes statistiques apparaissent de ce fait :

- "Re, Ro" inférieur à "He, Ho, V, S" ;
- "Re, Ro, U" inférieur à "V, S" ;
- "Re, Ro, U, D" inférieur à "S".

## 2.2. - L' IRRIGATION :

Le tableau 21 montre que, chaque année, l'augmentation significative du poids des bois, de l'ordre de 60 p 100 en moyenne, est notée dans le terrain irrigué par rapport au terrain non irrigué. L'effet physiologique connu de l'eau sur la croissance et sur l'activité de la partie végétative est ainsi vérifié.

## 2.3. - LA LONGUEUR DU BOIS DE TAILLE :

Le tableau 21 n'indique aucun effet significatif de la longueur du bois de taille pour une même charge/m<sup>2</sup>, sur le poids des bois. Ni le débourement, ni la croissance des tiges, ni l'aouïement des sarments, ne sont affectés par ce traitement. Il faut noter toutefois que les bois les plus courts sont plus longs que des coursons à 2 bourgeons, et que les bois les plus longs n'ont jamais plus de 15 bourgeons.

## 2.4. - LE NIVEAU DE CHARGE EN BOURGEONS :

Dans le tableau 21, n'apparaît aucune différence significative entre les 2 charges : normale et augmentée de 50 p 100 par rapport à la normale, et ceci chaque année.

Le cep, sur l'ensemble des traitements étudiés, régule le développement de son appareil végétatif en fonction de la puissance permise par le niveau de l'interaction "génotype milieu" particulière. Au-delà d'une certaine limite, l'augmentation du nombre de bourgeons n'entraîne pas un accroissement du poids des bois, et même provoque une légère régression. Les mesures effectuées au "fish-eye" (cf. tableau 13) confirment cette observation.

Enfin, aucune interaction significative n'apparaissant, ainsi qu'aucune discordance entre les deux méthodes statistiques utilisées, (gaussienne et non paramétrique), nous pouvons garantir avec un très faible risque, la véracité et la portée des divers résultats mis en exergue au cours de cette analyse qui met donc en relief un des rôles prépondérants du microclimat sur la partie végétative.

## CHAPITRE III (RÉSULTATS)

### EFFET DU SYSTÈME DE CONDUITE SUR LA PARTIE PRODUCTRICE

Deux paramètres ont été considérés :

- . le nombre de grappes à la vendange/m<sup>2</sup>
- . le poids de récolte (kg/m<sup>2</sup>).

Le premier représente un élément de la fertilité potentielle, le second, le bilan de la fertilité potentielle, du taux de nouaison et du poids moyen de la baie. Aucune estimation du rendement en jus n'a été effectuée : aussi, les données ne seront pas exprimées en hl/ha. Toutefois, au cours de la réalisation des micro-vinifications, aucune tendance constante n'a été enregistrée à ce niveau.

#### 3. 1. - RÉSULTATS CONCERNANT LE NOMBRE DE GRAPPES À LA VENDANGE/ m<sup>2</sup>

Le tableau 22 présente les moyennes du nombre de grappes à la vendange/m<sup>2</sup> pour tous les traitements étudiés, ainsi que les résultats des analyses statistiques. L'ordre de grandeur des différences significatives est d'environ 1,2 grappes/m<sup>2</sup>, ce qui constitue une assez bonne précision eu égard aux applications viticoles.

##### 3.1.1. - LES SYSTÈMES DE CONDUITES PRINCIPAUX

En 1975, aucune différence significative n'apparaît. Le seul système qui se détache légèrement en tête de l'ensemble est le "U".

En 1976, les systèmes "Hea" et "Ho" sont significativement inférieurs aux types "U" et "Be".

En 1977, les systèmes "Re", "Ro" et "Ho" sont significativement moins fertiles que les systèmes "S" et "U".

Le fait le plus marquant sur l'ensemble des années et des sous-traitements étudiés est donc le comportement régulier de la vigne large ouverte en "U", ce qui correspond au microclimat le plus ensoleillé et le plus chaud sur l'ensemble du couvert.

Cette influence positive de l'éclairement et peut être surtout de la température sur la fertilité est quantifiée dans les équations de régression (Tableau 22).

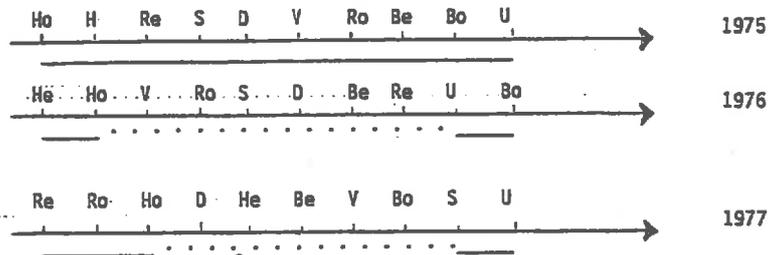
EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LE NOMBRE DE GRAPPES A LA VENDANGE/M<sup>2</sup>

- Valeurs moyennes -

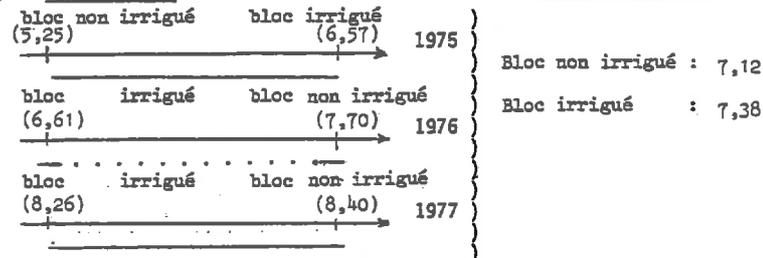
Système de conduite / Années	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U	Moyenne de l'année
1975	6,22	6,20	6,36	6,23	6,11	6,12	6,20	6,21	6,21	6,75	6,26
1976	6,92	7,38	7,89	7,36	6,67	6,56	7,09	7,24	6,75	7,76	7,16
1977	7,52	7,10	8,56	8,49	7,57	8,49	9,13	8,19	8,51	9,41	8,30
Moyenne annuelle	6,89	6,89	7,60	7,36	6,78	7,06	7,47	7,21	7,16	7,97	

Classement et regroupement statistique, figuré par un trait plein, des traitements principaux (gaussien et non paramétrique)

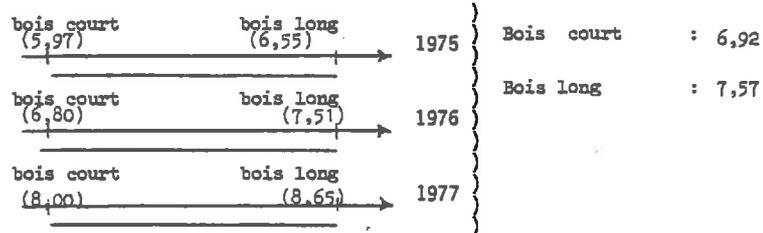
1) - Systèmes de conduite principaux :



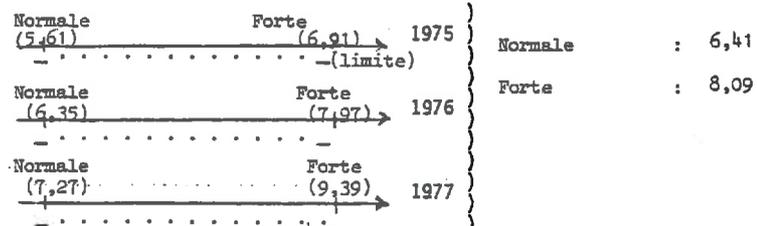
2) - IRRIGATION :



3) - TYPE DE TAILLE :



4) - CHARGE :



INTERACTIONS SIGNIFICATIVES

Aucune sur les trois années avec les deux types d'analyse, gaussienne et non paramétrique

T A B L E A U 22
------------------

(suite)

Régressions significatives à 5 p. 100 entre le nombre de grappes à la vendange / m<sup>2</sup> ( y ) et les paramètres microclimatiques ( x ), sur l'ensemble des systèmes de conduite.

1/ x = p. 100 moyen de la radiation incidente (P.A.R.) dans le couvert :

$$1975 : y = 6,7457 - 0,0601 x + 0,0015 x^2 \quad (R^2 = 0,446)$$

$$1976 : y = 5,2260 + 0,1142 x - 0,0014 x^2 \quad (R^2 = 0,389)$$

2/ x = écart thermique moyen des feuilles (°C) par rapport à l'air :

$$1975 : y = 6,3685 + 0,6909 x + 0,4859 x^2 \quad (R^2 = 0,871)$$

$$1976 : y = 7,1968 + 1,1706 x + 1,0374 x^2 \quad (R^2 = 0,463)$$

$$1977 : y = 8,7930 + 1,6093 x + 0,7754 x^2 \quad (R^2 = 0,466)$$

A l'opposé des types "U" et aussi des vignes étroites "Bo" et "Be", les systèmes à couvert entassé "Ho" et "He" sont généralement dans le bas du classement. Cette observation confirme, en la quantifiant pour des conditions agronomiques représentatives régionales, l'influence de la lumière et de la température sur l'initiation florale (BUTTROSE, 1974; MAY et ANTCLIFF, 1963 et 1964; SHAULIS, AMBERG et CROWE, 1966c; SMART, 1976).

Mais, l'interprétation d'autres résultats nécessite des observations supplémentaires.

Tout d'abord en ce qui concerne la place de la vigne large retombante ouverte "D" peu conforme à son niveau microclimatique si l'on considère la loi précédemment énoncée. En fait, il faut faire intervenir pour le moins l'influence du microclimat de la zone de taille (SMART, 1976).

Il semble, si l'on se réfère à certaines données de BUTTROSE (1974), que des températures très élevées (supérieures à 35°) sont de nature à freiner l'initiation florale. Cette constatation explique très certainement que le "D", dont la zone de taille est très exposée et très chaude certains jours, comme ses grappes d'ailleurs (cf. tableau 17) posséderait alors un microclimat défavorable à l'initiation florale. Ceci concerne essentiellement la période végétative suivant la floraison où le peignage vers le bas des sarments ("shoot positioning") est effectué en deux temps en fonction de l'évolution de la croissance. L'inhibition la plus nette a été notée en 1977, après les fortes chaleurs du début de l'été 1976. Ce fait n'a pas été rapporté par SHAULIS *et al* 1966a,b,c ; SHAULIS et MAY (1971); SHAULIS et SMART (1975), SMART (1976). Il semble devoir être mis en rapport avec la vigueur et la charge nettement supérieures dans leurs conditions, qui créent une protection suffisante de la zone de renouvellement même après le "shoot-positioning". Toutefois, CARGNELLO (1980), a présenté un Geneva Double Curtain modifié par l'adjonction d'un fil de soutien du feuillage au-dessus de la zone de taille afin d'assurer la protection de cette dernière, ce qui tendrait à prouver que les observations rapportées ici se retrouvent dans d'autres situations.

L'importance spécifique du microclimat de la zone de taille apparaît dans la position relative des deux types semi-ouverts "V" et "S". Ce dernier, surtout en 1977, apparaît toujours plus fertile que le "V" tout en possédant un microclimat global similaire. Le "S" en effet, possède un certain nombre de feuilles basales bien exposées juste au-dessus des grappes (cf. figure 13).

Enfin, un fait à priori surprenant, concerne la position moyenne des vignes traditionnelles rognées. Leur microclimat global est très bon, celui de leur zone de taille également. Pourtant, surtout en 1977, leur fertilité a été très faible. L'explication, reposant sur une très nette observa-

tion visuelle, est sans doute liée à la présence d'un faible nombre de feuilles, la plupart sénescentes et précocément en 76, ce qui est beaucoup plus net qu'en l'absence de rognage sévère. La physiologie de la partie végétative est donc ralentie malgré l'effet, stimulant du rognage noté précédemment.

Les différences induites par les systèmes de conduite sont du même ordre que les fluctuations annuelles.

### 3.1.2. - L' IRRIGATION

En 1975, aucune différence significative n'est notée, ce qui est logique puisqu'il s'agit de la première année d'irrigation sans effet sur la fertilité potentielle de la même année. En 1976 et 1977, les doses d'irrigation ont été légèrement baissées tout en maintenant un niveau de régime hydrique supérieur aux 3/4 de l'E T P jusqu'à la fin de juillet.

En 1976 et un peu moins en 1977, une infériorité significative des vignes irriguées est enregistrée, malgré du reste leur très légère supériorité de fertilité en 1975. L'irrigation intense pendant la période de début de juin à la fin de juillet diminue donc l'intensité de l'initiation florale. Ceci est sans doute lié, en partie du moins, à un ombrage plus important de la zone de renouvellement (cf. chapitre 4.2. - première partie). L'irrigation doit donc être effectuée à des doses modérées pendant l'initiation florale afin de ne pas nuire à la fertilité.

### 3.1.3. - LA LONGUEUR DU BOIS DE TAILLE

Seule une tendance apparaît : la meilleure fertilité moyenne des longs bois par rapport aux bois courts, pour une même charge/m<sup>2</sup>. Ce fait est en rapport avec l'augmentation faible du nombre de grappes par bourgeon en fonction du rang du bourgeon, sur *Cabernet-Sauvignon* (CASTERAN, 1971).

### 3.1.4. - LE NIVEAU DE CHARGE EN BOURGEONS

Ce dernier accroît logiquement de façon significative le nombre de grappes du cep. L'effet de régulation absolu, noté sur le poids des bois de taille est moins net sur la fertilité : son effet n'est ici que de moitié environ (26 p. 100) par rapport au pourcentage d'augmentation de la charge (50 p 100) entre le niveau normal et le niveau élevé.

En raison de l'absence d'interaction, comme pour le poids des bois de taille/m<sup>2</sup>, les résultats précédemment exposés en ce qui concerne le nombre de grappes à la vendange/m<sup>2</sup> sont généralisables à toutes les situations étudiées.

### 3. 2. - RESULTATS CONCERNANT LE POIDS DE RECOLTE (kg/m<sup>2</sup>)

Le tableau 23 indique tous les résultats concernant la production. L'ordre de grandeur des différences significatives est d'environ 0,17 kg de poids de récolte/m<sup>2</sup>, ce qui constitue une précision moyenne eu égard aux applications viticoles. La raison tient aux coefficients de variation élevés pour ce paramètre (CASTERAN, CARBONNEAU, LECLAIR, 1980).

#### 3. 2. 1. - LES SYSTEMES DE CONDUITE PRINCIPAUX

En 1975, deux systèmes ("V" et "U") assurent un poids de récolte /m<sup>2</sup> significativement plus élevé que celui des types "Re" et "Be".

En 1976 également, les types "V" et "U" sont en tête de classement, significativement supérieurs au groupe "He, Be, Ro".

En 1977, le groupe "S, U, V" est significativement plus productif que les vignes traditionnelles rognées "Re" et "Ro"; les types "S" et "U", plus que le groupe "Re, Ro, Ho, D".

Il ressort donc d'abord une assez bonne concordance entre la production et la fertilité potentielle, puisque les systèmes les plus entassés "Ho" et "He" sont en moyenne moins pourvus en grappes et moins productifs que la vigne large ouverte en "U", très régulière sur ce plan (cf. tableau 22). Le type "D" produit également en relation étroite avec la fertilité potentielle, et irrégulièrement dans le temps. Cette tendance est perceptible dans l'analyse des régressions du tableau 23 notamment au niveau de l'influence de la température foliaire.

Pour le "V", le nombre de grappes est moyen, donc c'est le poids individuel des grappes qui permet d'assurer le plus fort rendement, et surtout la grosseur des baies, d'après certaines observations complémentaires. Pour le "S", une conclusion analogue est possible, en notant toutefois qu'en 1976 l'initiation florale a été meilleure que dans le "V" en raison de la meilleure exposition de sa zone de taille, "S" et "V" étant les systèmes au développement végétatif le plus élevé. Le poids des bois de taille est donc en relation avec la grosseur des grappes et surtout celle des baies. Ce fait est corroboré par l'étude des régressions du tableau 23 en ce qui concerne l'E.T.R. qui est liée à la vigueur.

Le point assez éloigné de la relation "fertilité potentielle - production", sans grand rapport avec le poids des bois, concerne le comportement des vignes étroites : celles-ci assurent des productions parmi les plus faibles malgré un nombre de grappes souvent assez élevé ("Be" et "Bo" notamment), mais uniquement en 1975 et 1976. Il est possible de penser à un effet, non pas d'excès d'énergie solaire sur les phénomènes de croissance comme pour les types "D" et "U" puisque ces vignes ne sont pas les plus performantes dans l'interception de cette énergie, mais plutôt d'une certaine sécheresse caractéristique de 1975 et 1976 surtout pendant la phase de croissance. Le tableau 18 indique en effet, que les vignes étroites non rognées ne consomment, en année sèche (1976), pas plus d'eau que les vignes étroites rognées, malgré une végétation plus importante. Elles consomment davantage en année humide (1977). Les vignes à fortes densités de plantation, surtout les types peu rognés, semblent plus sensibles à la sécheresse que les vignes larges. Ceci est peut-être à mettre à l'actif d'une plus forte colo-

**TABEAU 23**

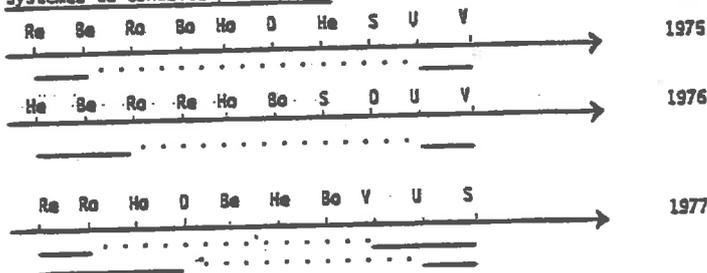
**EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LE POIDS DE RECOLTE (Kg / m<sup>2</sup>)**

- Valeurs moyennes -

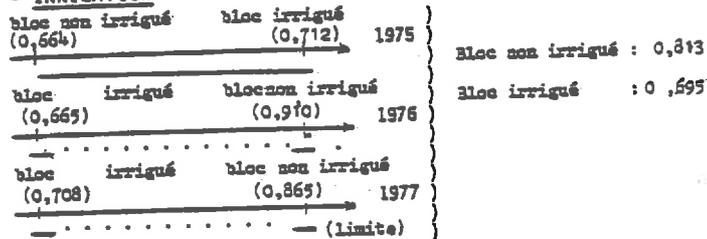
Système de conduite	Ra	Re	So	Be	Ho	He	S	D	V	U	Moyenne de l'année
Années											
1975	0,780	0,743	0,782	0,746	0,820	0,883	0,913	0,868	0,940	0,917	0,839
1976	0,691	0,761	0,793	0,681	0,766	0,671	0,843	0,853	0,911	0,883	0,785
1977	0,655	0,623	0,803	0,760	0,723	0,770	0,005	0,728	0,860	0,910	0,784
Moyenne annuelle	0,709	0,709	0,793	0,729	0,770	0,775	0,920	0,816	0,904	0,903	

Classement et regroupement statistique, figuré par un trait plein, des traitements principaux (gaussien et non paramétrique)

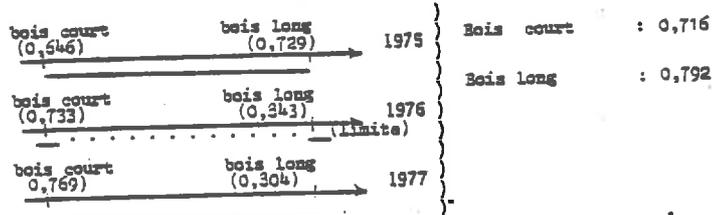
1) - Systèmes de conduite principaux :



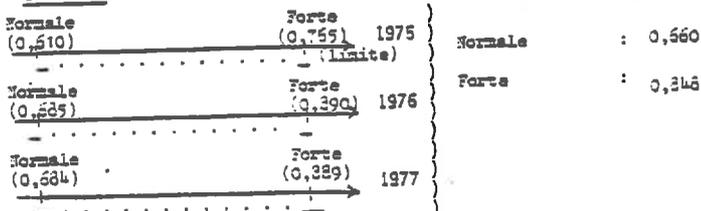
2) - IRRIGATION :



3) - TYPE DE TAILLE :



4) - CHARGE :



**INTERACTIONS SIGNIFICATIVES**

Aucune sur les trois années avec les deux types d'analyse, gaussienne et non paramétrique

T A B L E A U 23
------------------

(suite)

Régressions significatives à 5 p. 100 entre le poids de récolte en Kg/m<sup>2</sup> ( y ) et les paramètres microclimatiques ( x ), sur l'ensemble des systèmes de conduite.

1/ x = écart thermique moyen des feuilles (°C) par rapport à l'air :

$$1975 : y = 0,9056 + 0,0835 x - 0,0188 x^2 \quad (R^2 = 0,610)$$

$$1976 : y = 0,8490 + 0,1712 x - 0,0665 x^2 \quad (R^2 = 0,471)$$

$$1977 : y = 0,8578 + 0,1909 x + 0,0698 x^2 \quad (R^2 = 0,346 \text{ limite})$$

2/ x = E.T.R. moyenne saisonnière (mm) :

$$1975 : y = 7,4306 - 0,0376 x + 0,0001 x^2 \quad (R^2 = 0,394)$$

$$1977 : y = 8,2270 - 0,0438 x + 0,0001 x^2 \quad (R^2 = 0,526)$$

nisation du sol par les racines (HIDALGO et CANDELA, 1969), bien que RADULOV et BRAJKOV (1974) présentent des résultats assez différents en fonction de la disposition sur le terrain.

Toutefois, il n'y a pas d'interaction significative entre les densités de plantation ou l'intensité du rognage et l'irrigation. Cette dernière a un effet combiné avec celui du rognage plus marqué sur la teneur en sucres des baies, comme cela sera développé dans le prochain chapitre. Le grossissement des baies, pour les systèmes "Bo" et "Be" en comparaison de "Ro" et de "Re", n'a pas été autant favorisé par l'apport d'eau, que la croissance des tiges et des feuilles (sur laquelle l'influence interactive de l'irrigation a dû être masquée par le rognage sur les types "Bo" et "Be") dans les systèmes qui subissaient le plus la sécheresse, ceci pendant la période d'irrigation. Ensuite, la plus grande surface foliaire acquise à l'irrigation a permis une meilleure alimentation en sucres des baies.

Les différences induites par les systèmes de conduite sont très supérieures aux fluctuations annuelles.

### 3.2.2. - L'IRRIGATION

Sur les trois années, il faut noter une bonne concordance entre le poids de récolte et le nombre de grappes. L'irrigation, pendant l'initiation florale, en freinant cette dernière, n'a pas permis un rattrapage au niveau de la récolte malgré une stimulation des phénomènes de croissance en général.

### 3.2.3. - LA LONGUEUR DU BOIS DE TAILLE

Ici aussi, une bonne concordance avec la fertilité potentielle apparaît.

### 3.2.4. - LE NIVEAU DE CHARGE EN BOURGEONS

La même remarque s'impose sur les trois années.

## 3. 3. - LA GROSSEUR MOYENNE DE LA GRAPPE

Elle a été estimée par le rapport du poids de récolte/m<sup>2</sup> et du nombre de grappes à la vendange/m<sup>2</sup>. Aucun calcul n'a été effectué sur ce paramètre qui résulte de la conjonction des analyses des deux éléments constitutifs.

Toutefois, le tableau 24 donne à titre d'indication synoptique les valeurs moyennes pluriannuelles du poids moyen de la grappe.

## T A B L E A U 24

## POIDS MOYEN DE LA GRAPPE (g) SUR LES TROIS ANNEES ETUDIEES

1) Systèmes de conduite :

Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
102,9	102,9	104,3	99,1	113,6	109,8	123,2	113,2	126,3	113,3

2) Irrigation :

- Bloc non-irrigué : 120,9
- Bloc irrigué : 100,9

3) Type de taille :

- Bois court : 110,9
- Bois long : 111,6

4) Charge :

- Normale : 110,3
- Forte : 111,5

## C H A P I T R E I V

( R E S U L T A T S )

### E F F E T D U S Y S T E M E D E C O N D U I T E S U R L A M A T U R A T I O N D U R A I S I N

Deux éléments ont été notés à la vendange sur le moût de chaque cep : l'indice réfractométrique et l'acidité totale. Il convient de rappeler ici que la récolte a été effectuée chaque année à la même date pour tous les systèmes à la tardiveté maximale compte-tenu du climat et de l'évolution de la pourriture chez les systèmes les plus sensibles à cette maladie.

#### 4. 1. - RÉSULTATS CONCERNANT L'INDICE RÉFRACTOMÉTRIQUE DU MOÛT A LA VENDANGE

Les résultats sont consignés dans le tableau 25. L'ordre de grandeur des différences significatives est d'environ 0,6 unité d'indice réfractométrique, ce qui constitue une bonne précision eu égard aux applications viticoles.

##### 4. 1. 1. - LES SYSTEMES DE CONDUITE PRINCIPAUX

En 1975, la plus forte accumulation de sucres dans les baies a été notée pour le système "U". Le groupe "Ro, Re, U", est mieux placé que le type "Bo"; le groupe "Re, U" mieux que le groupe "Bo, Ho"; et le type "U" mieux que le groupe "Bo, Ho, D, He".

Une loi unique ne paraît pas se dégager de cette analyse. Toutefois, arrivent en tête les systèmes bénéficiant du plus fort éclaircissement : "U, Re, Ro", dont la photosynthèse par unité de surface doit être la plus élevée; ensuite se situent les systèmes à niveau microclimatique intermédiaire : "Be, V, S, He" puis le type "Ho" entassé.

La teneur en sucres des raisins tend à augmenter surtout avec le niveau moyen d'énergie solaire reçu dans le couvert. Elle est ici peu reliée au poids des bois de taille et au poids de récolte. Il faut en outre noter, que l'année 1975 a induit une croissance modérée et surtout a été très ensoleillée jusqu'aux vendanges. Ainsi les systèmes très éclairés ont-ils exploité au maximum leurs possibilités, cet effet dominant les autres conditions.

C'est du reste ce qui confirme l'étude des régressions (tableau 25) pour 1975 seulement au sujet de l'éclaircissement et de la température des feuilles.

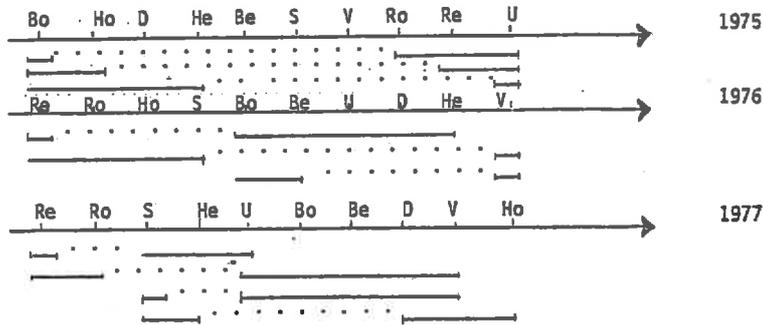
EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR L'INDICE REFRACTOMETRIQUE DU MOÛT A LA VENDANGE

- Valeurs moyennes -

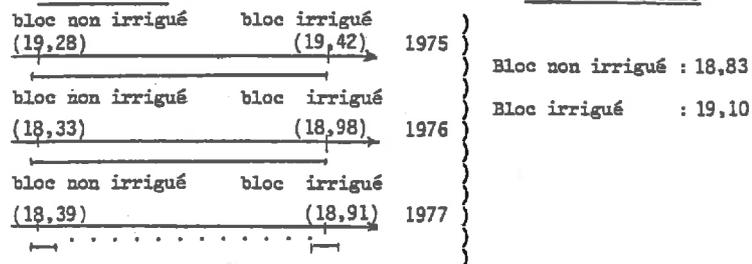
Système de conduite	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U	Moyenne de l'année
1975	19,49	19,63	18,89	19,30	19,10	19,27	19,31	19,22	19,47	19,82	19,35
1976	18,64	18,18	18,88	19,00	18,70	19,17	18,71	19,15	19,62	19,03	18,91
1977	18,04	17,63	18,83	18,84	19,31	18,52	18,29	19,03	19,16	18,79	18,64
Moyenne annuelle	18,72	18,48	18,87	19,05	19,04	18,99	18,77	19,13	19,42	19,21	

Classement et regroupement statistique, figuré par un trait plein, des traitements principaux (gaussien et non paramétrique)

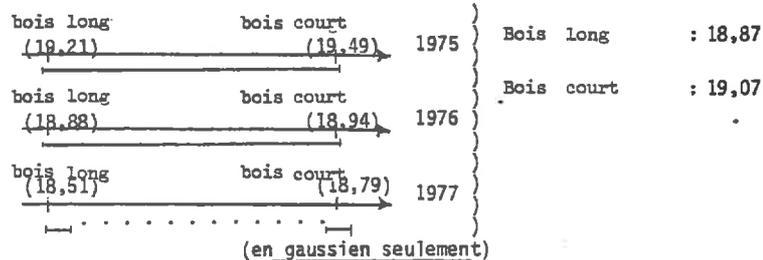
1) - Systèmes de conduite principaux :



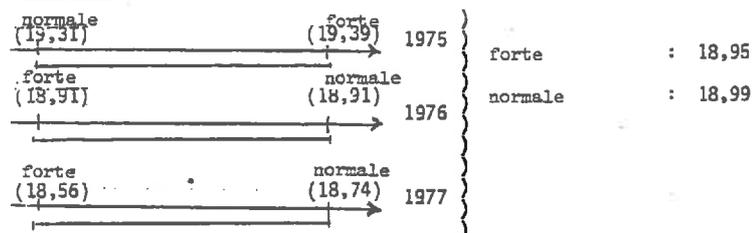
2) - IRRIGATION :



3) - TYPE DE TAILLE :



4) - CHARGE :



INTERACTIONS SIGNIFICATIVES

1 9 7 5 :

	bloc non irrigué	bloc irrigué
D	19,42	19,03
S	18,52	20,10

1 9 7 6 :

	bloc non irrigué	bloc irrigué
D	18,49	19,31
S	17,82	19,60

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{U+V+He+Ho}{4}$	19,28	18,98
$\frac{D+S}{2}$	18,41	19,45

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{Be+Bo}{2}$	18,58	19,30
$\frac{Re+Ro}{2}$	18,55	18,17

	bloc non irrigué	bloc irrigué
Be	18,28	19,73
Bo	18,88	18,87

1 9 7 7 :

	bloc non irrigué	bloc irrigué
D	19,16	18,91
S	17,59	18,98

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{U+V+D+S+He+Ho}{6}$	18,69	19,01
$\frac{Be+Bo+Re+Ro}{4}$	17,90	18,77

\*  
(en gaussien seulement)

	Bois court	Bois long
$\frac{Be+Bo}{2}$	18,73	18,86
$\frac{Re+Ro}{2}$	18,18	17,48

\*  
(en gaussien seulement)

T A B L E A U 25
------------------

(fin)

Régressions significatives à 5 p. 100 entre l'indice réfractométrique du moût à la vendange ( y ) et les paramètres microclimatiques ( x ) sur l'ensemble des systèmes de conduite :

1/ x = p. 100 moyen de la radiation incidente (P.A.R.) dans le couvert :

$$1975 : y = 19,9188 - 0,0759 x + 0,0020 x^2 \quad (R^2 = 0,439)$$

2/ x = écart thermique moyen des feuilles (°C) par rapport à l'air :

$$1975 : y = 19,5409 + 0,2669 x - 0,0291 x^2 \quad (R^2 = 0,391)$$

L'importance de la photosynthèse par unité de surface foliaire apparaît donc. L'influence de l'éclairement à ce niveau est du reste prépondérante (KRIEDEMANN, 1968; KRIEDEMANN et SMART, 1971).

Deux exceptions à cette règle apparaissent :

- les systèmes "Be" et surtout "Bo" présentent des indices réfractométriques faibles par rapport à leur niveau d'éclairement. L'effet de sécheresse déjà noté en ce qui concerne la production, pourrait être la cause de la relativement faible teneur en sucres des baies dans les vignes étroites peu rognées, surtout le type "Bo" moins éclairé que le "Be".
- le type "D" possède un comportement tout à fait singulier très voisin du "U" sur le plan microclimatique, sur celui de la croissance, de la fertilité et aussi de la production, il présente des baies significativement moins sucrées que ce dernier. La longueur du tronc semble donc être en cause en liaison avec le régime hydrique, et non avec la température des feuilles affectable par l'éloignement par rapport au sol, puisque celle-ci est assez comparable entre les systèmes "U" et "D".

La présence d'une interaction significative (tableau 25), traduisant une réaction différente à l'irrigation entre les types "D" et "S" permet de préciser l'effet de la longueur du tronc sur la teneur en sucres des raisins. Dans cette optique, le "S" réagit très positivement à l'irrigation; le "D" ne répond pratiquement pas à un meilleur régime hydrique. Cette constatation est valable pour 1975, 1976 et 1977 et indépendante des différences respectives des deux systèmes en ce qui concerne le poids des bois et le poids de récolte. Un effet conjugué du régime hydrique et du microclimat est donc envisageable : pour les vignes à long tronc, l'ouverture de la végétation provoque en moyenne, mais à un niveau plus bas que pour les systèmes équivalents à tronc court, une meilleure teneur en sucres des baies sans doute liée à une meilleure photosynthèse; cette dernière doit être stimulée par l'irrigation qui supplée des difficultés de régime hydrique liées à la longueur du tronc; cet effet est surtout net pour les types non ouverts dont le niveau de photosynthèse est loin de la saturation, les types ouverts compensant leur défaut d'alimentation en eau par leur bon microclimat foliaire.

Ces observations, en nuanciant les idées en fonction du microclimat, rejoignent la théorie "des pertes de charges" de BRANAS (1974). Ces dernières sont peut être moins dues à la longueur des vaisseaux conducteurs qu'au nombre de bifurcations résultant de la taille de formation.

En 1976, l'effet du niveau moyen d'énergie solaire dans le couvert est moins net qu'en 1975, sans doute du fait que le climat en fin de maturation y a été plus pluvieux. De ce fait, l'influence du poids de bois de taille des systèmes de conduite, donc de leur surface foliaire, y est plus nette. Aucune régression simple entre l'indice réfractométrique du moût et les paramètres du microclimat apparaît (tableau 25). Il faut donc procéder à une interprétation plus complexe, aucune tendance majeure ne s'imposant sur l'ensemble des résultats.

Ainsi le type entassé "Ho" possède une faible teneur en sucres des baies; les types très ouverts "U" et "D" une meilleure; en général, les plus fortes teneurs en sucres des baies sont notées pour les niveaux micro-climatiques intermédiaires qui concilient au mieux surface foliaire et énergie solaire reçue par la feuille. Le système "V" possède la plus grande surface foliaire éclairée/ha (cf. tableau 15) et aussi les raisins les plus riches en sucres. Ces faits sont en accord avec la synthèse bibliographique sur la photosynthèse de CARBONNEAU (1976c) et les résultats de PETERSON et SMART (1975).

Le type "S" présente ici aussi la particularité de baisse d'accumulation de sucres en l'absence d'irrigation, liée à la longueur du tronc. En 1976, apparaît en outre une interaction significative entre la présence de tronc long (types "D" et "S" confondus) en faible densité de plantation et l'irrigation. Ceci renforce encore la loi précédente.

Les vignes étroites rognées "Re" et "Ro" possèdent les baies les moins sucrées. La proportion de vieilles feuilles, très élevée en 1976, est donc sans doute, comme pour le poids de récolte, la cause de ce mauvais résultat.

Le faible niveau de rognage intervient surtout par un effet de sécheresse, comme cela a été vu au sujet du poids de récolte. En conséquence, les types "Bo" et "Be" ont un classement inférieur à celui fourni par leur potentialité d'énergie solaire et améliorent nettement leur comportement à l'irrigation par rapport aux vignes rognées traditionnelles. Ce fait est significatif dans deux interactions : la première concerne la comparaison des groupes "Be, Bo" et "Re, Ro" en fonction du régime hydrique; la seconde indique qu'en relation avec ce dernier paramètre, le type "Be" est le plus réactif, sans doute en raison de la moindre influence de l'ombre portée en rangs étroits avec un feuillage haut du fait de l'irrigation, ceci par rapport au type "Bo" moins dégagé à la base du couvert.

En 1977, le classement des systèmes est très voisin de celui de 1976 en ce qui concerne "Re", "Ro", "S", "U", "D" et "V". Les lois concernant l'effet d'un microclimat intermédiaire et celui de la longueur du tronc sont donc vérifiées. De même, l'interaction de comportement des types "D" et "S" en fonction du régime hydrique est significative.

Toutefois, les vignes étroites non rognées sont mieux classées sans doute en raison de la disparition des effets de sécheresse. Leur niveau n'est cependant pas très élevé en raison de l'importance de l'ombre portée en année tardive. De même, cette tardiveté explique le taux de vieilles feuilles important dans les vignes rognées traditionnelles dont les valeurs de teneur en sucres des baies sont très faibles et significativement inférieures à la plupart des autres.

Mais le fait le plus original concerne le classement des vignes larges planes "He" et "Ho". Le type "He" est moins bien classé qu'en 1976; le type "Ho" est nettement le meilleur en 1977. Comme cela a été noté pour le poids des bois de taille, la croissance du système "Ho" au-delà du palissage, en majorité vers le Sud, a amélioré le microclimat en fin de saison, pendant la maturation, ce qui a favorisé la fin de croissance, mais aussi la teneur en sucres des baies. Le type "He" n'a pas profité de cet avantage, très probablement parce que ses tiges étaient déjetées vers le Nord.

Comme pour le "V", la vigueur stimulée par un microclimat intermédiaire favorise donc l'accumulation des sucres dans les raisins.

De façon générale, les variations d'indice réfractométrique du moût, induites par les systèmes de conduite, sont supérieures aux fluctuations annuelles.

Enfin, deux autres interactions significatives apparaissent en 1977 : "densité de plantation" et "régime hydrique" ; "niveau de rognage" et "longueur du bois de taille". Peu d'idées concordantes avec l'ensemble des résultats précédents apparaissent nettement. Aussi paraît-il plus logique de supposer qu'il s'agit d'un biais lié à l'emploi de statistiques gaussiennes, puisque ces interactions ne sont pas significatives en analyse non paramétrique. Ce biais est dû à la présence de populations bimodales apparaissant dans les regroupements où interviennent les types "Re" et "Ro" dont le mode est nettement décalé vers un niveau inférieur par rapport à celui d'autres sous-populations. La statistique gaussienne semble donc sensible à la bimodalité au niveau des comparaisons multiples et des regroupements de traitements. Les statistiques non paramétriques paraissent offrir davantage de sécurité, tout en permettant en général un bon niveau de précision sans grande perte d'information. Cette remarque tend à généraliser l'emploi du test "H" de KRUSKAL-WALLIS dans les essais factoriels de systèmes de conduite par rapport au test "F" de FISHER.

#### 4. 1. 2. - L'IRRIGATION :

L'irrigation tend à accroître, sur l'ensemble des systèmes de conduite, la teneur en sucres des baies. Cet effet n'est toutefois significatif qu'en 1977, où le poids des bois a été le plus élevé. La surface foliaire, sur l'ensemble des situations microclimatiques, tend à favoriser la richesse en sucres des raisins. Ces résultats rejoignent ceux de MERIAUX, ROLLIN et RUTTEN (1979). Toutefois, ces données ont été obtenues dans nos conditions pour des poids de récolte inférieurs à l'irrigation, en raison de l'effet dépressif de cette dernière sur l'initiation florale.

#### 4. 1. 3. - LA LONGUEUR DU BOIS DE TAILLE :

Les bois courts tendent à favoriser un meilleur indice réfractométrique du moût que les bois longs, à charge/m<sup>2</sup> identique. Une seule différence significative, mais en statistique gaussienne seulement, existe en 1977. Ceci est peut-être dû au poids de récolte légèrement supérieur avec les longs bois. Toutefois, ces derniers (cf. tableau 13) assurent un meilleur éclaircissement, lié à un meilleur étalement du feuillage, que les bois courts. Ces divers effets doivent donc se compenser.

#### 4. 1. 4. - LE NIVEAU DE CHARGE EN BOURGEONS :

Aucune différence significative n'apparaît. Un phénomène de compensation analogue à l'effet précédent peut être envisagé : la forte charge, du reste raisonnable (6,06 bourgeons/m<sup>2</sup>), augmente la production mais aussi l'éclaircissement dans le couvert (cf. tableau 13) en raison de la régulation du poids des bois de taille constatée. Un phénomène de stimulation de l'activité foliaire lié à la présence de "puits", en l'occurrence d'un nombre plus élevé de grappes, profitant à ces dernières, peut être également envisagé (STOEV, 1966 ; KRIEDEMANN et LENZ, 1972). Néanmoins, des charges trop élevées de l'ordre de 10 bourgeons/m<sup>2</sup> s'avèrent, dans beaucoup de situations tempérées, et pour des cépages du type *Cabernet-Sauvignon*, incompatibles avec une bonne et régulière maturité.

#### 4. 2. - RESULTATS CONCERNANT L'ACIDITE TOTALE DU MOÛT A LA VENDANGE

Les données figurent dans le tableau 26. Il convient de noter d'emblée que l'acidité totale du moût représente essentiellement une résultante entre la teneur en acide malique et en acide tartrique du moût. De ce fait, l'interprétation des résultats fera appel à beaucoup d'hypothèses sur les proportions relatives de ces deux acides en négligeant le rôle éventuel de cations. Il est néanmoins intéressant de voir ce que peut apporter cette mesure de l'acidité totale dans la comparaison de différents systèmes de conduite, en insistant sur le fait que l'interprétation ne s'appuie que sur les lois suivantes qui semblent les seules à expliquer assez simplement les résultats.

Afin de faciliter l'interprétation de ces données, deux lois sont donc établies a priori qui concernent l'énergie solaire, particulièrement la température des baies, qui est modifiée assez fortement par le système de palissage :

- la teneur en acide malique des baies décroît très nettement avec l'augmentation de la température des grappes (LAKSO et KLIEWER, 1978 ; VAUTIER *et al*, 1978).

- la teneur en acide tartrique des raisins présente une plus faible liaison avec la température des grappes (VAUTIER *et al*, 1978). En fonction d'observations complémentaires, il est établi que cette dernière favorise l'accumulation finale d'acide tartrique chez le *Cabernet-Sauvignon*.

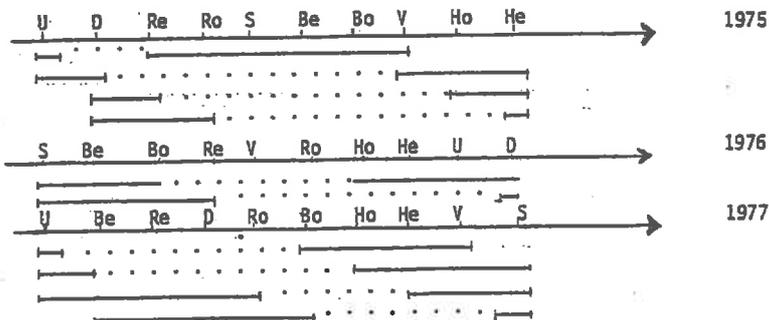
EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR L'ACIDITE TOTALE  
(g H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) du MOÛT A LA VENDANGE

- Valeurs moyennes -

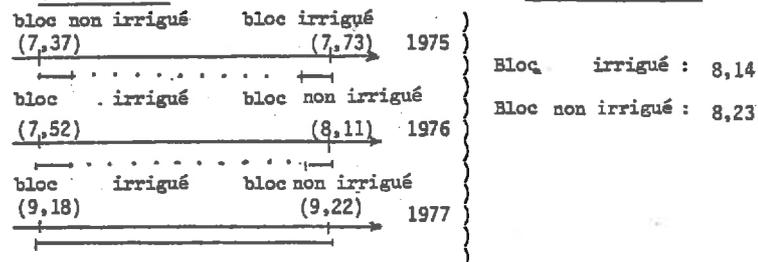
Système de conduite Années	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U	Moyenne de l'année
1975	7,55	7,41	7,62	7,62	7,91	8,01	7,59	7,31	7,83	6,89	7,57
1976	7,78	7,75	7,60	7,58	8,02	8,02	7,44	8,16	7,76	8,03	7,81
1977	9,05	8,95	9,27	8,84	9,34	9,50	9,77	9,01	9,55	8,75	9,20
Moyenne annuelle	8,13	8,04	8,16	8,01	8,42	8,51	8,27	8,16	8,38	7,89	

Classement et regroupement statistique, figuré par un trait plein, des traitements principaux (gaussien et non paramétrique)

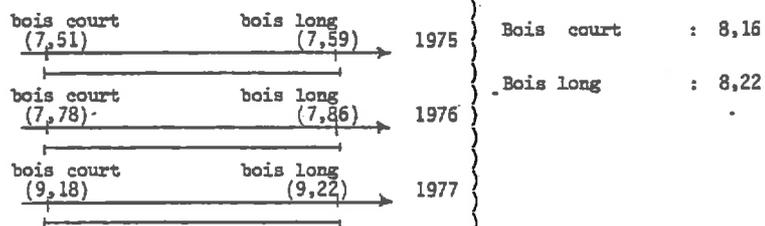
1) - Systèmes de conduite principaux :



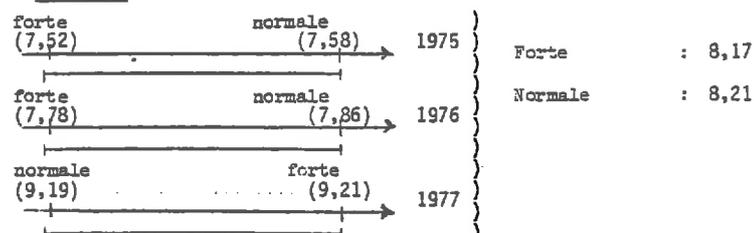
2) - IRRIGATION :



3) - TYPE DE TAILLE :



4) - CHARGE :



INTERACTIONS SIGNIFICATIVES

1 9 7 5 :

	bloc non irrigué	bloc irrigué
U	7,09	6,70
V	7,35	8,32

	bloc non irrigué	bloc irrigué
D	7,27	7,35
S	6,96	8,23

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{U+V+D+S+He+Ho}{6}$	7,27	7,91
$\frac{Be+Bo+Re+Ro}{4}$	7,53	7,46

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{Be + Bo}{2}$	7,27	7,76
$\frac{Re + Ro}{2}$	7,79	7,16

(en gaussien\* seulement)

1 9 7 6 :

	bois court	bois long
He	7,59	8,44
Ho	8,54	7,50

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{U + V}{2}$	8,41	7,37
$\frac{He + Ho}{2}$	8,21	7,83

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{U+V+D+S+He+Ho}{6}$	7,51	7,52
$\frac{Be+Bo+Re+Ro}{4}$	7,85	7,51

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{Be + Bo}{2}$	7,92	7,26
$\frac{Re + Ro}{2}$	7,78	7,76

(en gaussien\* seulement)

1 9 7 7 :

	bloc non irrigué	bloc irrigué
U	9,80	7,69
V	9,12	9,99

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{U + V}{2}$	9,46	8,84
$\frac{He + Ho}{2}$	8,96	9,88

	bloc non irrigué	bloc irrigué
$\frac{U+V+D+S+He+Ho}{6}$	9,24	9,40
$\frac{Be+Bo+Re+Ro}{4}$	9,20	8,86

(en gaussien\* seulement)

T A B L E A U    26
---------------------

(fin)

Régressions significatives à 5 p. 100 entre l'acidité totale du moût à la vendange en g. d' $H_2SO_4$  ( y ) et les paramètres microclimatiques ( x ) sur l'ensemble des systèmes de conduite :

1/ x = p. 100 moyen de la radiation incidente (P.A.R.) dans le couvert :

$$1975 : y = 7,2027 + 0,0802 x - 0,0025 x^2 \quad (R^2 = 0,836)$$

$$1976 : y = 10,1365 - 0,2049 x + 0,0042 x^2 \quad (R^2 = 0,404)$$

$$1977 : y = 9,8889 - 0,0107 x - 0,0006 x^2 \quad (R^2 = 0,651)$$

2/ x = écart thermique moyen des feuilles (°C) par rapport à l'air :

$$1975 : y = 7,3626 - 0,9242 x - 0,5520 x^2 \quad (R^2 = 0,591)$$

3/ x = p. 100 moyen de ciel au niveau des grappes :

$$1975 : y = 7,8701 - 0,0057 x - 0,0006 x^2 \quad (R^2 = 0,357 \text{ limite})$$

$$1977 : y = 9,7358 - 0,0248 x - 0,0004 x^2 \quad (R^2 = 0,679)$$

4/ x = écart thermique moyen des baies (°C) par rapport à l'air :

$$1977 : y = 9,6569 - 0,8708 x + 0,2382 x^2 \quad (R^2 = 0,519)$$

5/ x = E.T.R. moyenne saisonnière (mm) :

$$1975 : y = -28,2563 + 0,1906 x - 0,0003 x^2 \quad (R^2 = 0,530)$$

$$1977 : y = 16,4798 - 0,0504 x + 0,0001 x^2 \quad (R^2 = 0,714)$$

L'ordre de grandeur des différences significatives est d'environ 0,45g de  $H_2SO_4$ , ce qui constitue une bonne précision eu égard aux applications viticoles.

#### 4. 2. 1. - LES SYSTEMES DE CONDUITE PRINCIPAUX :

En 1975, la plus faible acidité totale est notée chez les systèmes ouverts "U" et "D", notamment en comparaison du type "Ho".

En outre, l'entassement de la végétation autour des grappes, plus grand pour les types "V" et "S", est très accentué à l'irrigation chez ces derniers alors qu'il l'est peu pour le "U" et le "D". Ceci est prouvé par la présence de deux interactions significatives, et est lié à des teneurs élevées en acidité totale. La première idée est donc que c'est l'acide malique qui est prépondérant et que les systèmes dont les baies sont les plus chaudes ont la plus faible acidité malique.

Toutefois, les systèmes à grappes dégagées et chaudes, "Re", "Be", "He" ne possèdent pas la plus faible acidité totale. Une alternative se pose donc :

- si l'acidité malique est absolument prédominante au niveau des effets des systèmes de conduite, un autre facteur que le microclimat des grappes intervient : c'est sans doute le microclimat de l'ensemble de la zone des grappes, raisins et feuilles avoisinantes, qui assure l'équilibre "synthèse - dégradation" de l'acide malique.

- si l'acidité tartrique n'est pas négligeable, les systèmes dont les baies sont les plus chaudes sont ceux qui accumulent le plus cet acide.

Or, une autre interaction est significative : le niveau de rognage en vigne étroite interfère avec le régime hydrique. Les types "Be" et "Bo" présentent une acidité totale plus importante à l'irrigation, ce qui confirme l'effet précédemment démontré de l'entassement du bas du couvert. En outre, les types rognés sévèrement "Re" et "Ro" ont des baies nettement moins acides à l'irrigation. Cet effet interactif des vignes rognées semble être à l'origine d'une autre interaction assez analogue entre la densité de plantation et le régime hydrique. Cette dernière n'est significative qu'en statistique gaussienne, les tests non paramétriques paraissant moins puissants à ce niveau.

Cette observation peut permettre de trancher entre les deux alternatives précédentes. En effet, l'irrigation provoque un entassement important de la zone des grappes, ce qui tend à accroître l'acidité totale en raison de l'augmentation de l'acidité malique. Même si cet entassement

à l'irrigation est moins sensible pour les types "Re" et "Ro" où l'ombre portée est moins importante que pour les types "Be" et "Bo", les premiers devraient accuser la même tendance, mais atténuée, d'augmentation de l'acidité à l'irrigation, si c'est le microclimat de l'ensemble de la zone des grappes qui est responsable du niveau d'acidité malique dans les baies. Or, les types "Re" et "Ro" présentent une baisse d'acidité totale. C'est donc la deuxième hypothèse, fondée sur un effet différentiel du microclimat sur l'acidité malique et tartrique, qui doit être retenue en priorité.

Il apparaît de ce fait que, en fonction du système de conduite, l'acidité totale du raisin est influencée, notamment par le microclimat des grappes; de plus, elle serait la résultante de l'acidité malique maximale pour des baies entassées dans le feuillage et froides, et de l'acidité tartrique maximale pour des baies dégagées et chaudes. L'importance de couverts peu denses et de grappes dégagées pour produire des raisins peu acides se perçoit également dans l'analyse des régressions du tableau 26.

En 1976, les résultats sont presque à l'opposé de ceux de 1975. La loi précédente permettrait d'expliquer cette inversion. Les plus fortes chaleurs de 1976, surtout avant véraison, ont dû permettre au raisin d'atteindre des maxima d'acidité tartrique plus élevés qu'en 1975, la dégradation ayant dû être d'intensité analogue après véraison où les climats ont été plus comparables. Ceci explique d'une part, le niveau général d'acidité totale supérieur en 1976 par rapport à 1975, et d'autre part, le fait que les systèmes ouverts "U" et "D" aient été les plus acides en 1976 (année où l'acide tartrique a dû être déterminant dans le classement des traitements), alors qu'ils étaient les moins acides en 1975, (année où l'acide malique a dû être le plus discriminant en la matière). Les autres systèmes de conduite, ainsi que les combinaisons interactives, ont un niveau d'acidité totale difficile à expliquer de façon précise en raison de l'équilibre "acide malique - acide tartrique" modifiable par le microclimat des grappes. Le type "S" est le moins acide, en raison sans doute du faible niveau d'acidité tartrique.

En 1977, c'est l'acide malique qui expliquerait le mieux le comportement des systèmes : en particulier le groupe des types à grappes les plus chaudes "U, Be, Re, D, Ro" possède une acidité totale du moût inférieure à celle produite par les systèmes à grappes plus froides, "V" et "S" surtout. Le type "U" notamment au niveau des interactions, présente un comportement interprétable par l'acidité tartrique. En outre, la fraîcheur du climat de 1977 explique le niveau global élevé d'acidité totale, imputable sans doute à l'acidité malique d'après la première hypothèse.

Il convient enfin de noter que les fluctuations en acidité totale liées aux systèmes de conduite sont légèrement inférieures aux variations annuelles, mais avec la réserve que les conclusions seraient beaucoup plus précises si le dosage des acides malique et tartrique était généralisé cep par cep.

#### 4. 2. 2. - L'IRRIGATION :

De façon générale, surtout pour 1975 et 1976, l'effet global de l'irrigation est explicable par les lois précédentes. En 1975, l'entassement de la base du couvert a provoqué une augmentation d'acidité totale, par le biais de l'acidité malique. En 1976, cet effet a eu pour conséquence

surtout de diminuer l'acidité totale, par le biais de l'acidité tartrique. En 1977, le niveau général très élevé d'acidité a certainement peu favorisé un effet spécifique de l'irrigation.

Il n'apparaîtrait pas nécessaire, à la lumière des observations émanant des systèmes de conduite, au sujet des effets de l'irrigation utilisée dans cet essai, de faire appel à d'autres théories que les lois microclimatiques précédentes. En effet, il aurait été possible d'invoquer d'une part, une stimulation des remontées d'acides des racines vers la partie aérienne (RIBEREAU-GAYON G., 1966) afin d'expliquer l'augmentation de l'acidité avec l'irrigation, et d'autre part, de meilleures dissolution et alimentation notamment en  $K^+$  (LEOPOLD et KRIEDEMANN, 1975), donc une meilleure neutralisation d'acides dans le raisin afin d'expliquer une baisse de l'acidité avec cette irrigation.

#### 4. 2. 3. - LA LONGUEUR DU BOIS DE TAILLE :

Le type de taille influe très peu sur l'acidité totale du moût à la vendange. Une très faible tendance à l'augmentation de cette acidité avec l'allongement du bois de taille est perceptible. La confrontation avec l'indice réfractométrique du moût, montre qu'à charge/m<sup>2</sup> égale, les longs bois de taille tendent à retarder la maturité pour les sucres et les acides, sans doute en raison de l'augmentation de la production.

Le type de taille interfère en 1976 avec le dégagement de la zone des grappes en vigne large plane en ce qui concerne l'acidité totale (tableau 26). Le système "He" possède sans doute davantage d'acide tartrique en fonction du dégagement d'une partie des grappes hors du couvert plus entassé à ce niveau, dans le cas de la taille à 4 bois que dans celui de la taille à 2 bois. Le type "Ho" possède une réaction inverse difficilement explicable, à moins que pour celui-ci, la variation de l'acidité malique soit exceptionnellement prédominante en 1976.

#### 4. 2. 4. - LE NIVEAU DE CHARGE EN BOURGEONS :

Aucune différence significative n'est visible. Comme pour la teneur en sucres du moût, un phénomène de compensation lié à l'amélioration de l'éclaircissement dû à la régulation de croissance peut être avancé.

## C H A P I T R E . . . V . . .

( R E S U L T A T S )

### E F F E T   D U   S Y S T E M E   D E   C O N D U I T E   S U R L E S   L I A I S O N S   E N T R E . . . P A R A M E T R E S . . .

Pour compléter les connaissances dans le domaine de la Biologie de la plante entière, notamment au niveau des compétitions intra-plante, il est nécessaire d'étudier la liaison entre les paramètres simples analysés précédemment de façon isolée, pour chacune des situations microclimatiques induites par les systèmes de conduite. Pour des raisons de simplicité, des analyses multivariates généralisées n'ont pas été effectuées.

Pour mener à bien cette étude, des résultats de régressions multiples entre les divers paramètres notés sur chaque cep de l'essai, sont présentés. Chacun des cinq paramètres suivants (poids des bois de taille en kg/cep :  $X_5$  ; nombre de grappes/cep à la vendange :  $X_0$  ; poids de vendange en kg/cep :  $X_1$  ; indice réfractométrique du moût à la vendange :  $X_2$  ; acidité totale du moût à la vendange en g de  $H_2 SO_4$  :  $X_3$  ) est expliqué par les 7 paramètres suivants moins lui-même :

( $X_0$ ;  $X_1$ ;  $X_2$ ;  $X_3$ ;  $X_5$ ;  $X_4$  = charge en bourgeons par cep ;

$X_6$  = nombre de sarments par cep).

Le calcul de ces régressions multiples, pour chaque système de conduite a porté sur les données de chaque cep et sur l'ensemble des 3 années étudiées, donc sur environ 160 répétitions pour chaque calcul. Dans les tableaux 27, 28, 29, 30 et 31 figurent pour chaque paramètre les éléments des 6 régressions simples (coefficient constant, pentes des droites de régression, carré du coefficient de corrélation simple et risque correspondant) et de la régression multiple (coefficient constant, coefficients des régressions partielles, carré du coefficient de corrélation multiple et risque correspondant). Il est à noter que dans tous les cas, la valeur la plus élevée du coefficient de corrélation a été obtenue avec la régression multiple faisant intervenir la totalité des 6 variables explicatives. Le carré de ce coefficient exprime le pourcentage de la variation totale imputable à la liaison considérée. La signification est décrétée pour un risque supérieur à 0,05.

TABLEAU 27 - Régressions du poids des bois de taille en kg/cep sur les autres paramètres

- R0 -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X0	Poids de récolte X1	Indice réfractométrique X2	Acidité totale X3	Charge X4		
Poids des Bois X5	Nombre de sarments X6	0,2117					0,0237	0,2127	0,0
	Charge X4	0,1742					0,0320	0,2766	0,0
	Acidité totale X3	0,4999				- 0,0030		0,0001	0,8882
	Indice réfractométrique X2	0,7896			- 0,0167			0,0041	0,4309
	Poids de récolte X1	0,4448	0,0274					0,0082	0,2576
	Nombre de grappes X0	0,3156	0,0119					0,1180	0,0
	X0-X1-X2-X3-X4-X6-	0,1630	0,0144	-0,1821	0,0003	- 0,0038	0,0282	0,3992	0,0

- Re -

Poids des Bois X5	X6	0,2556					0,0177	0,1402	0,0
	X4	0,1911					0,0289	0,2956	0,0
	X3	0,5111				- 0,0069		0,0007	0,7452
	X2	-0,1564		0,0331				0,0231	0,0544
	X1	0,4638		- 0,0072				0,0006	0,7586
	X0	0,3390	0,0088					0,0645	0,0015
	X0-X1-X2-X3-X4-X6-	-1,336	0,0103	-0,1684	0,0599	0,0474	0,0229	0,4143	0,0

TABLEAU 27 (suite 1)

- Bo -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>			Nombre de sarments X <sub>6</sub>
Poids des Bois	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	0,2956						0,0281	0,1660	0,0
	Charge X <sub>4</sub>	0,1919				0,0454			0,2796	0,0
X 5	Acidité totale X <sub>3</sub>	0,1646			0,0537				0,0262	0,0411
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	0,5055		0,0048					0,0002	0,8398
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	0,4946	0,0892						0,0544	0,0035
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	0,3287	0,0199						0,2133	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>6</sub>	- 0,7306	0,0325	-0,2436	0,2580	0,0514	0,0414	-0,0097	0,4241	0,0

- Be -

Poids des Bois	X <sub>6</sub>	0,2973						0,0291	0,1824	0,0
	X <sub>4</sub>	0,2443				0,0405			0,2395	0,0
X 5	X <sub>3</sub>	0,1777			0,0556				0,0168	0,0946
	X <sub>2</sub>	0,0876		0,0281					0,0062	0,3195
	X <sub>1</sub>	0,5282	0,0710						0,0395	0,0106
	X <sub>0</sub>	0,3818	0,0166						0,1509	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>6</sub>	- 0,3321	0,0298	- 0,2761	0,0177	0,0197	0,0428	- 0,0007	0,3748	0,0

TABLEAU 27 (suite 2)

- Ho -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X 0	Poids de récolte X 1	Indice réfractométrique X 2	Acidité totale X 3	Charge X 4		
Poids des Bois	Nombre de sarments X6	0,2530					0,0540	0,2551	0,0
	Charge X4	0,3920				0,0507		0,2145	0,0
	Acidité totale X3	0,2441			0,1282			0,0270	0,0463
	Indice réfractométrique X2	-0,9640		0,1200				0,0085	0,2712
X 5	Poids de récolte X1	0,7436		0,2241				0,1781	0,0
	Nombre de grappes X0	0,3536	0,0359					0,3673	0,0
	X0-X1-X2-X3-X4-X6-	-0,4248	0,0466	-0,2206	0,0005	0,0651	0,00354	0,4347	0,0

- He -

Poids des Bois X 5	X 6	0,4414					0,0445	0,1685	0,0
	X 4	0,3006				0,0541		0,2170	0,0
	X 3	-0,0867			0,1705			0,0433	0,0110
	X 2	2,025		-0,0348				0,0008	0,7382
	X 1	1,006		0,1384				0,0567	0,0038
	X 0	0,6877	0,0230					0,1492	0,0
	X0-X1-X2-X3-X4-X6-	-3,590	0,0167	-0,0109	0,1393	0,1479	-0,00488	0,2706	0,0

TABLEAU 27 (suite 3)

- S -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X 0	Poids de récolte X 1	Indice réfractométrique X 2	Acidité totale X 3	Charge X 4		
Poids des Bois	Nombre de sarments X 6	0,4343						0,1935	0,0
	Charge X 4	0,3787					0,0519	0,2101	0,0
	Acidité totale X 3	- 0,6396				0,2453		0,1607	0,0
	Indice réfractométrique X 2	1,015			0,0197			0,0012	0,6694
	Poids de récolte X 1	0,5560		0,2531				0,2519	0,0
X 5	Nombre de grappes X 0	0,2285	0,0371					0,3685	0,0
	X 0-X 1-X 2-X 3-X 4-X 6-	- 1,934	0,0231	-0,0002	0,0378	0,1671	0,0132	0,4462	0,0

- D -

Poids des Bois	X 6	0,4343						0,2347	0,0
	X 4	0,2632					0,0453	0,3190	0,0
	X 3	0,9707				0,0156		0,0005	0,7926
	X 2	0,3950			0,0365			0,0013	0,6813
	X 1	0,8821		0,0802				0,0425	0,0161
	X 0	0,4874	0,0219					0,2244	0,0
	X 0-X 1-X 2-X 3-X 4-X 6-	- 2,372	0,0268	-0,2254	0,1288	0,0046	0,0454	0,4744	0,0

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X 0	Poids de récolte X 1	Indice réfractométrique X 2	Acidité totale X 3	Charge X 4		
Poids des Bois X 5	Nombre de sarments X6	0,6014					0,0440	0,1388	0,0
	Charge X4	0,3244					0,0593	0,2670	0,0
	Acidité totale X3	0,4741				0,1253		0,0380	0,0209
	Indice réfractométrique X2	1,018			0,0247			0,0029	0,5355
	Poids de récolte X1	1,135	0,1207					0,0509	0,0077
Nombre de grappes X0	0,7363	0,0262					0,1746	0,0	
	X0-X1-X2-X3-X4-X6-	-0,1135	0,0206	-0,1269	-0,0074	0,0854	-0,0267	0,3399	0,0

Poids des Bois X 5	X 6	0,5998					0,01044	0,0599	0,0030
	X 4	0,5713					0,02347	0,0632	0,0024
	X 3	1,551				-0,0721		0,0139	0,1523
	X 2	0,9344			0,0033			0,0	0,9541
	X 1	0,9046	0,03212					0,0068	0,3230
	X 0	0,5036	0,0160					0,0941	0,0002
	X0-X1-X2-X3-X4-X6-	0,1237	0,0281	-0,1693	0,04127	-0,0995	0,0024	0,2180	0,0

## 5. 1. - LE POIDS DES BOIS DE TAILLE PAR CEP (TABLEAU 27)

Le nombre de sarments/cep et la charge/cep expliquent positivement et significativement, mais très peu, le poids des bois de taille, surtout chez le "U" où les phénomènes d'aoûttement doivent être prépondérants.

L'acidité totale ne l'explique au sens statistique, positivement et significativement, mais faiblement, que pour les systèmes sensibles à l'entassement à la base du couvert : "Bo", "He", "Ho", "V", "S".

L'indice réfractométrique n'est jamais en liaison significative avec le poids des bois : les phénomènes bénéfiques de la surface foliaire sur l'accumulation des sucres dans les baies paraissent équilibrer la concurrence pour ces sucres, entre tiges et fruits.

Le poids de récolte et le nombre de grappes sont en faible liaison positive et significative avec le poids des bois : la croissance des tiges favorise la fertilité potentielle et la croissance des baies. Toutefois, les vignes rognées "Re" et "Ro" ainsi que le "U", à faible poids des bois, ne présentent pas de liaison significative entre ce paramètre et le poids de récolte.

La régression multiple totale explique environ le tiers de la variation totale, surtout en raison de l'influence de la charge sur le poids des bois. Les phénomènes de concurrence intraplante ne sont donc pas prédominants au niveau du poids des bois.

## 5. 2. - LE NOMBRE DE GRAPPES PAR CEP (TABLEAU 28)

Le nombre de grappes par cep est naturellement bien expliqué positivement et significativement par la charge et le nombre des sarments, pour chaque système. Mais seulement la moitié de la variation environ est imputable à cette liaison.

L'acidité totale explique, au sens statistique, positivement et significativement, mais faiblement, le nombre de grappes, pour les types "Bo", "Be", "He", "S", "D", et "U". Une certaine concordance existe avec la liaison entre le poids des bois et l'acidité totale. Mais il est possible de penser, en plus de l'effet d'entassement émanant de la dernière relation, à un effet de faible concurrence entre grappes pendant la maturation : l'augmentation du nombre de grappes tend ici à accroître légèrement l'acidité.

TABLEAU 28 - Régressions du nombre de grappes/cep à la vendange sur les autres paramètres

- Ro -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Poids de récolte X 1	Indice réfractométrique X 2	Acidité totale X 3	Charge X 4	Poids des bois X 5			Nombre de sarments X 6
Nombre de grappes	Nombre de sarments X6	0,7053						1,147	0,5954	0,0
	Poids des bois X5	8,734				1,162	9,913		0,1180	0,0
	Charge X4	2,517							0,4366	0,0
	Acidité totale X3	4,671		1,089					0,0183	0,0865
Xo	Indice réfractométrique X2	55,75		-2,260					0,0889	0,0002
	Poids de récolte X1	5,408	7,160						0,6666	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6-	13,97	5,292	-0,4561	-0,6037	-0,0631	4,346	0,4918	0,7838	0,0

- Re -

Nombre de grappes Xo	X 6	2,150						0,9771	0,5176	0,0
	X 5	9,857					7,287		0,0645	0,0015
	X 4	2,567				1,159			0,4601	0,0
	X 3	10,08			0,3863				0,0026	0,5356
	X 2	33,80		-1,116					0,0318	0,0240
	X 1	5,597	6,862						0,6511	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6-	4,310	5,572	0,4059	-0,3386	0,4380	3,289	0,0743	0,7743	0,0

TABLEAU 28 (suite 1)

- Bo -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Poids de récolte X 1	Indice réfractométrique X 2	Acidité totale X 3	Charge X 4	Poids des bois X 5			Nombre de sarments X 6
Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	0,2203						1,239	0,5973	0,0
	Poids des bois X <sub>5</sub>	7,137					10,72		0,2133	0,0
	Charge X <sub>4</sub>	1,250				1,374			0,4753	0,0
	Acidité totale X <sub>3</sub>	-1,479			1,863				0,0584	0,0025
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	23,98		-0,5487					0,0058	0,3464
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	4,662	7,641						0,7396	0,0
	X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	2,732	5,807	-0,0607	-0,2279	0,0422	5,024	0,3411	0,8347	0,0

- Be -

Nombre de grappes X <sub>0</sub>	X <sub>6</sub>	-0,2717						1,316	0,6829	0,0
	X <sub>5</sub>	8,638					9,058		0,1509	0,0
	X <sub>4</sub>	1,233				1,409			0,5310	0,0
	X <sub>3</sub>	-3,360			2,222				0,0493	0,0045
	X <sub>2</sub>	12,55		0,0896					0,0001	0,8869
	X <sub>1</sub>	4,796	7,395						0,7873	0,0
	X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	-6,397	5,583	0,3392	0,0942	-0,1653	3,634	0,5103	0,8600	0,0

TABLEAU 28 (suite 2)

- Ho -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Poids de récolte X1	Indice réfractométrique X2	Acidité totale X3	Charge X4	Poids des bois X5			Nombre de sarments X6
Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Nombre de sarments X6	1,927						1,265	0,4908	0,0
	Poids des bois X5	13,38					10,22		0,3673	0,0
	Charge X4	5,891				1,148			0,3859	0,0
	Acidité totale X3	17,34			1,135				0,0075	0,3044
	Indice réfractométrique X2	-30,57		3,018					0,0189	0,0961
	Poids de récolte X1	7,330	7,608						0,7218	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6	-47,80	5,900	2,636	-0,0702	0,0398	4,360	0,1763	0,8143	0,0

- He -

Nombre de Grappes X <sub>0</sub>	X6	1,967						1,322	0,5267	0,0
	X5	20,42					6,483		0,1492	0,0
	X4	-5,780				1,197			0,3774	0,0
	X3	-1,615			3,634				0,0699	0,0014
	X2	62,53		-1,747					0,0069	0,32
	X1	9,029	7,887						0,6538	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6	-13,74	5,810	0,4495	0,6255	0,2544	1,653	0,3380	0,7449	0,0

TABLEAU 28 - (suite 3)

- S -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Poids de récolte X1	Indice réfractométrique X2	Acidité totale X3	Charge X4	Poids des bois X5		
Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Nombre de sarments X6	10,42					0,9846	0,3439	0,0
	Poids des bois X5	17,39				1,079	9,912	0,3685	0,0
	Charge X4	10,21						0,34	0,0
	Acidité totale X3	3,351			3,342			0,1119	0,0
	Indice réfractométrique X2	28,30		0,1501				0,0003	0,8348
	Poids de récolte X1	9,410	6,626					0,6474	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6-	- 20,19	5,007	0,9316	0,7785	0,3280	2,918	0,0275	0,7383

- D -

Nombre de grappes X <sub>0</sub>	X 6	9,012					0,9195	0,4020	0,0
	X 5	16,47				1,187	10,20	0,2244	0,0
	X 4	5,878						0,4705	0,0
	X 3	0,0670			3,447			0,0531	0,0073
	X 2	108,9		-4,237				0,0380	0,0228
	X 1	9,982	6,645					0,6271	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6-	54,58	5,750	- 2,270	- 1,020	0,3310	6,118	-0,1625	0,7420
									0,0

TABLEAU 28 - (suite 4)

- V -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Poids de récolte X1	Indice réfractométrique X2	Acidité totale X3	Charge X4	Poids des bois X5			Nombre de sarments X6
Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Nombre de sarments X6	1,648						1,345	0,5105	0,0
	Poids des bois X5	19,07					6,647		0,1746	0,0
	Charge X4	3,596				1,285			0,4948	0,0
	Acidité totale X3	19,10			1,215				0,0141	0,1615
	Indice réfractométrique X2	27,79		0,06438					0,0001	0,9146
	Poids de récolte X1	7,994	6,981						0,6719	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6-	- 0,3917	5,185	-0,6229	1,397	0,4056	1,685	0,1919	0,7876	0,0

- U -

Nombre de grappes X <sub>0</sub>	X 6	9,159						1,056	0,4844	0,0
	X 5	24,96					5,859		0,0941	0,0002
	X 4	10,51				1,115			0,3910	0,0
	X 3	-0,1543			4,043				0,1198	0,0
	X 2	93,89		-3,269					0,0573	0,0037
	X 1	14	5,745						0,5975	0,0
	X1-X2-X3-X4-X5-X6-	34,69	4,607	-1,305	-0,1486	- 0,2455	4,125	0,4537	0,6859	0,0

L'indice réfractométrique explique au sens statistique négativement et significativement, mais faiblement, le nombre de grappes, pour les systèmes "Ro", "Re", "D", et "U". Une concurrence pendant la maturation apparaît donc entre la présence des grappes et l'accumulation des sucres dans les baies. Cette concurrence est aussi perceptible pour les types qui ont le moins de feuilles, soit du fait du rognage ("Ro", "Re"), soit du fait du microclimat en liaison avec les chocs thermiques ("D", "U"). Ces systèmes semblent donc être au maximum de leurs possibilités en matière d'accumulation de sucres dans les raisins.

Le poids de récolte explique bien, significativement et positivement, le nombre de grappes, pour les deux tiers de la variation. La production est donc d'abord le fait de la fertilité potentielle et ensuite de celui du poids des baies.

La régression multiple totale explique environ les trois quarts de la variation totale, surtout en raison du lien entre, d'une part, la charge, le nombre de sarments et le poids de récolte, et d'autre part, le nombre de grappes. Les phénomènes de concurrence intraplante ne sont donc pas prédominants au niveau du nombre de grappes.

### 5. 3. - LE POIDS DE RECOLTE PAR CEP (TABLEAU 29)

Le poids de récolte est assez bien expliqué significativement et positivement, par le nombre de sarments et la charge. Ceci est à mettre en rapport avec la liaison entre le nombre de grappes et le poids de récolte.

L'acidité totale explique au sens statistique positivement et significativement, mais faiblement, le poids de récolte, sauf pour les systèmes "Ho" et "V". Globalement, il est possible de conclure, comme pour le nombre de grappes, à une concurrence pendant la maturation entre quantité de raisins et maturation de ces derniers.

L'indice réfractométrique explique faiblement au sens statistique le poids de récolte. Pour les systèmes "Bo", "Be", "Ho", "He", "S", "V", cette liaison n'est pas significative. Pour les types "Ro", "Re", "D", et "U", elle est significative à tendance négative. Comme pour le nombre de grappes, il est possible de penser à une concurrence pendant la maturation entre quantité de raisins et accumulation de sucres dans ces derniers chez les systèmes à surface foliaire réduite.

La régression multiple totale explique environ les trois quarts de la variation totale. Les mêmes remarques apparaissent en comparaison des effets du nombre de grappes.

TABLEAU 29 - Régressions du poids de récolte en Kg/cep sur les autres paramètres

- Ro -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des Bois X <sub>5</sub>		
Poids de récolte X1	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	- 0,1159					0,1115	0,4329	0,0
	Poids des bois X <sub>5</sub>	0,9816				0,2975		0,0082	0,2576
	Charge X <sub>4</sub>	0,0751			0,1114			0,3086	0,0
	Acidité totale X <sub>3</sub>	- 0,5300		0,2052				0,0498	0,0049
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	6,064	- 0,2640					0,0933	0,0001
Nombre de grappes X <sub>0</sub>	- 0,1290	0,0931					0,6666	0,0	
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	- 0,5108	0,0852	- 0,0065	0,0796	0,0209	- 0,8795	0,7321	0,0

- Re -

Poids de récolte X1	X <sub>6</sub>	- 0,0694					0,1040	0,4244	0,0
	X <sub>5</sub>	1,142				0,0826		0,0006	0,7586
	X <sub>4</sub>	0,1888			0,1001			0,2480	0,0
	X <sub>3</sub>	- 0,1317		0,1543				0,0297	0,0293
	X <sub>2</sub>	5,771	- 0,2525					0,1179	0,0
	X <sub>0</sub>	- 0,1456	0,0948					0,6511	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	1,391	0,0857	- 0,0791	0,0166	- 0,0276	- 0,7957	0,7568	0,0

TABLEAU 29 - (suite 1)

- Bo -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des Bois X <sub>5</sub>		
Poids de récolte X 1	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	- 0,2087					0,1275	0,4995	0,0
	Poids des bois X <sub>5</sub>	0,7990				0,6091		0,0544	0,0035
	Charge X <sub>4</sub>	- 0,0292			0,1332			0,3527	0,0
	Acidité totale X <sub>3</sub>	- 0,6924		0,2300				0,0703	0,0010
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	2,506		-0,0705				0,0076	0,02792
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	0,1484	0,0968					0,7396	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	- 0,9344	0,0953	0,0184	0,0672	0,0137	0,0148	0,7859	0,0

- Be -

Poids de récolte X 1	X <sub>6</sub>	- 0,3347					0,1462	0,5853	0,0
	X <sub>5</sub>	0,9336				0,5563		0,0395	0,106
	X <sub>4</sub>	- 0,1970			0,1597			0,4738	0,0
	X <sub>3</sub>	- 0,5305		0,2282				0,0361	0,0145
	X <sub>2</sub>	2,032		-0,0399				0,0016	0,6192
	X <sub>0</sub>	- 0,2388	0,1065					0,7873	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	0,3938	0,0988	-0,0289	-0,0038	-0,0377	0,0066	0,8277	0,0

TABLEAU 29 (suite 2)

- Ho -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Poids de récolte	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	- 0,2262						0,4939	0,0
	Poids des bois X <sub>5</sub>	1,518					0,7947	0,1781	0,0
	Charge X <sub>4</sub>	0,2833			0,1250			0,3671	0,0
	Acidité totale X <sub>3</sub>	1,960		0,0723				0,0024	0,5652
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	2,489	0,0040					0,0	0,9819
X 1	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	0,0185	0,0948					0,7218	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	3,614	0,0909	-0,1924	0,0304	- 0,0048	- 0,3177	0,7704	0,0

- He -

Poids de récolte	X 6	0,0955						0,1196	0,4101	0,0
	X 5	2,006					0,4098		0,0567	0,0038
	X 4	0,7455				0,0927			0,2155	0,0
	X 3	- 0,3637			0,3447				0,0598	0,0030
	X 2	4,794		- 0,1171					0,0029	0,5222
X 1	X 0	0,1388	0,0829						0,6538	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	- 2,218	0,0746	0,1005	0,0557	-0,0486	-0,1389	0,0655	0,6884	0,0

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des Bois X <sub>5</sub>			Nombre de sarments X <sub>6</sub>
Poids de récolte X1	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	0,8549						0,1152	0,3191	0,0
	Poids des bois X <sub>5</sub>	1,898					0,9951		0,2519	0,0
	Charge X <sub>4</sub>	1,115			0,1115				0,2464	0,0
	Acidité totale X <sub>3</sub>	0,2244		0,3697					0,0929	0,0002
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	6,219	-0,1566						0,0194	0,0779
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	0,2359	0,0977						0,6474	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	2,139	0,0878	-0,1382	0,0650	-0,0350	-0,0005	0,0544	0,6886	0,0

- D -

Poids de récolte X1	X <sub>6</sub>	0,4127						0,1108	0,4111	0,0
	X <sub>5</sub>	2,079					0,5290		0,0425	0,0161
	X <sub>4</sub>	0,2437			0,1317				0,4076	0,0
	X <sub>3</sub>	-1,783		0,5552					0,0970	0,0003
	X <sub>2</sub>	11,70	-0,4713						0,0331	0,0335
	X <sub>0</sub>	0,0494	0,0943						0,6271	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	-5,351	0,0849	0,1924	0,2075	0,0183	-0,7710	0,0404	0,7319	0,0

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Poids de récolte  X1	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	0,1024					0,1430	0,4185	0,0
	Poids des bois X <sub>5</sub>	2,383				0,4213		0,0509	0,0077
	Charge X <sub>4</sub>	0,6478			0,1196			0,3106	0,0
	Acidité totale X <sub>3</sub>	3,032		-0,00215				0,0	0,9810
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	2,561	0,0233					0,0007	0,7489
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	0,2196	0,0962					0,6719	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	0,0048	0,0969	0,0511	-0,1024	-0,0387	-0,1932	0,7120	0,0

Poids de récolte  X1	X <sub>6</sub>	- 0,1054					0,1478	0,5244	0,0
	X <sub>5</sub>	2,714				0,2120		0,0068	0,3230
	X <sub>4</sub>	- 0,0190			0,1618			0,4544	0,0
	X <sub>3</sub>	- 2,686		0,7327				0,2174	0,0
	X <sub>2</sub>	9,437	0,3374					0,3337	0,0252
	X <sub>0</sub>	- 0,2788	0,1040					0,7013	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	- 7,224	0,0716	0,2259	0,3112	0,0382	- 0,3856	0,7302	0,0

#### 5. 4. - L'INDICE REFRACTOMETRIQUE DU MOÛT A LA VENDANGE (tableau 30)

Charge et nombre de sarments, au même titre que nombre de grappes et poids de récolte, ont la même faible influence sur l'indice réfractométrique.

L'acidité totale du moût n'explique pas de façon significative l'indice réfractométrique du moût, pour les systèmes "Be", "Ho" et "S"; elle l'explique significativement et négativement, moyennement, pour les types "Ro", "Re", "Bo", "He", "D", "U". Ceci traduit le fait que le microclimat dans ces systèmes de conduite, au cours de la maturation des raisins, favorise dans ces derniers une accumulation de sucres et en même temps une diminution d'acidité totale.

Par contre, pour la forme en "V" une liaison significative assez moyenne entre indice réfractométrique et acidité totale du moût, existe mais à tendance positive. Cette dernière existe aussi pour le type "S" mais non significative; elle est nulle pour le type "Ho". Chez les systèmes semi-ouverts, le microclimat en cours de maturation favorise l'accumulation des sucres dans les baies, mais aussi il tend à accentuer la teneur finale en acide parallèlement au stockage des sucres. Ce fait a été aperçu dans l'analyse en composantes principales sur les données de 1975, décrite au niveau de la méthodologie. Avec les régressions multiples, il est plus facile de quantifier le phénomène pour chaque système de conduite.

Ce résultat peut être rapproché du déséquilibre microclimatique (cf. tableau 10) important entre feuilles et grappes, noté pour les types "Ho", "S" et "V", et de la vigueur des ceps élevée pour le "S" et le "V". Un feuillage assez bien exposé, actif et exportateur de métabolites vers les grappes, conjugué avec une faible dégradation de certaines substances dans des raisins à l'ombre et au froid, conduirait, pour les types "S" et "V" en particulier, à un taux élevé de sucres dans les baies, mais aussi à un certain blocage des processus de dégradation et d'évolution biochimiques dans ces dernières. Mais, l'effet de déséquilibre microclimatique et de la vigueur n'est pas la seule explication du phénomène.

En effet, il paraît logique de penser en plus, ou plutôt, à un effet de concentration liée à la présence importante de pourriture, surtout pour les systèmes "V" et "S". Cette observation très évidente au champ, surtout en 1976, explique certains éléments de la qualité du vin, traitée dans le chapitre suivant. Mais, le phénomène a été aussi visible en l'absence de pourriture importante, notamment en 1975. La première idée est donc la plus vraisemblable.

TABLEAU 30 - Régressions de l'indice réfractométrique du moût à la vendange sur les autres paramètres

- RO -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X0	Poids de récolte X1	Acidité totale X3	Charge X4	Poids des Bois X5		
Indice réfractométrique X 2	Nombre de sarments X6	19,30					- 0,0729	0,0729	0,0007
	Poids des bois X5	18,83					- 0,2431	0,0041	0,4309
	Charge X4	19,15				- 0,0458		0,0391	0,0123
	Acidité totale X3	23,08		- 0,5416				0,2595	0,0
	Poids de récolte X1	19,11	- 0,3533					0,0933	0,0001
	Nombre de grappes X0	19,24	- 0,0393					0,0889	0,0002
	X0-X1-X3-X4-X5-X6-	23,18	- 0,0250	- 0,0223	- 0,5030	0,0247	0,0049	- 0,0252	0,3171

- Re -

Indice réfractométrique X 2	X 6	19,15						- 0,0597	0,0756	0,0006
	X 5	18,16					0,6973		0,0231	0,0544
	X 4	18,91				- 0,0473			0,0300	0,0285
	X 3	25,26		- 0,8468					0,4835	0,0
	X 1	18,99	- 0,4671						0,1179	0,0
	X 0	18,85	- 0,0285						0,0318	0,0240
	X0-X1-X3-X4-X5-X6-	24,88	0,0197	- 0,2587	- 0,7746	- 0,0311	0,9252	- 0,0272	0,5703	0,0

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des Bois X <sub>5</sub>			Nombre de sarments X <sub>6</sub>
Indice réfractométrique	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	19,29					- 0,0255	0,0132	0,1494	
	Poids des bois X <sub>5</sub>	18,98					0,0507	0,0002	0,8398	
	Charge X <sub>4</sub>	19,13					-0,0131	0,0022	0,5644	
	Acidité totale X <sub>3</sub>	22,28			- 0,4055			0,1434	0,0	
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	19,14		-0,1076				0,0076	0,2792	
X <sub>2</sub>	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	19,16	- 0,0105				0,0058	0,3464		
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	22,34	- 0,0059	0,1113	- 0,4184	-0,0100	0,03940	0,0137	0,1541	0,0003

Indice réfractométrique	X <sub>6</sub>	19,00					- 0,0092	0,0023	0,5473
	X <sub>5</sub>	18,76					0,2202	0,0062	0,3195
	X <sub>4</sub>	18,92					-0,0024	0,0001	0,8890
	X <sub>3</sub>	19,78			- 0,1122			0,0087	0,2333
	X <sub>1</sub>	18,94		0,0399				0,0016	0,6192
X <sub>2</sub>	X <sub>0</sub>	18,87	0,0012				0,0001	0,8869	
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	19,66	0,0336	-0,1622	- 0,1059	0,0145	0,2145	0,0338	0,4914

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des Bois X <sub>5</sub>		
Indice réfractométrique X 2	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	19,14					-0,0059	0,0052	0,3960
	Poids des bois X <sub>5</sub>	18,93				0,0708		0,0085	0,2712
	Charge X <sub>4</sub>	19,06				-0,0019		0,0006	0,7765
	Acidité totale X <sub>3</sub>	19,03			-0,0009			0,0	0,9821
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	19,02		0,0006				0,0	0,9819
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	18,86	0,0062					0,0189	0,0961
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	19,09	0,0264	-0,1252	-0,0053	0,0100	0,00048	-0,0300	0,1029

Indice réfractométrique X 2	X 6	19,36						-0,0147	0,0293	0,0362
	X 5	19,08					-0,0220		0,0008	0,7382
	X 4	19,31				-0,0129			0,0196	0,0865
	X 3	21,37			-0,2736				0,1763	0,0
	X 1	19,12		-0,0250					0,0029	0,5222
	X 0	19,17	-0,0039						0,0069	0,32
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	21,58	0,0031	0,0544	-0,2871	-0,0087	0,0954	-0,0137	0,2104	0,0

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	19,03					0,0117	0,0042	0,4263
	Poids des bois X <sub>5</sub>	18,70				0,0613		0,0012	0,6694
	Charge X <sub>4</sub>	18,68			0,0054			0,0007	0,7364
	Acidité totale X <sub>3</sub>	19,89		0,1335				0,0153	0,1185
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	19,19	-0,1241					0,0194	0,0779
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	18,73	0,0017					0,0003	0,8348
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	20,33	0,0370	-0,3134	-0,1997	0,0481	0,1897	-0,0578	0,1084

- D -

Indice Réfractométrique X <sub>2</sub>	X <sub>6</sub>	19,34							0,0136	0,1762
	X <sub>5</sub>	19,14				0,0358			0,0013	0,6813
	X <sub>4</sub>	19,39			-0,0116				0,0213	0,0885
	X <sub>3</sub>	22,31			-0,3909				0,3229	0,0
	X <sub>1</sub>	19,37		-0,0701					0,0331	0,0335
	X <sub>0</sub>	19,43	-0,0089						0,0380	0,0228
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	22,30	-0,0120	0,0693	-0,3872	-0,0128	0,1561	0,0095	0,3508	0,0

TABLEAU 30 - (suite 4)

- V -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Acidité totale X <sub>3</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	19,18					0,0106	0,0017	0,6385
	Poids des bois X <sub>5</sub>	19,22				0,1184		0,0029	0,5355
	Charge X <sub>4</sub>	19,18		0,0110				0,0019	0,6143
	Acidité totale X <sub>3</sub>	14,51		0,5985				0,1812	0,0
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	19,30	0,0319					0,0007	0,7489
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	19,36	0,0012					0,0001	0,9146
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	13,59	-0,0435	0,1915	0,6740	0,002114	-0,0426	0,2129	0,0

- U -

Indice réfractométrique X <sub>0</sub>	X <sub>6</sub>	19,85						- 0,0271	0,0031	
	X <sub>5</sub>	19,29				0,0065		0,0	0,9541	
	X <sub>4</sub>	19,93		- 0,0348				0,0712	0,0013	
	X <sub>3</sub>	22,07		-0,3624				0,1796	0,0	
	X <sub>1</sub>	19,59	-0,0998					0,0337	0,0252	
	X <sub>0</sub>	19,84	-0,0175					0,0573	0,0037	
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>3</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	22,55	-0,017	0,1892	-0,3648	-0,0344	0,0787	0,0030	0,2364	0,0

La régression multiple totale, dans l'explication de l'indice réfractométrique du moût, traduit surtout les phénomènes de liaison "sucres - acides" et rend compte environ du tiers de la variation. Le restant est peu dû aux concurrences. L'effet direct des micro-climats sur les sucres et les acides du moût est donc prépondérant.

#### 5. 5. - L'ACIDITE TOTALE DU MOÛT A LA VENDANGE

(TABLEAU 31)

Tout a été expliqué par les régressions précédentes.

TABLEAU 31 - Régressions de l'acidité totale du moût à la vendange en g de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur les autres paramètres

- R<sub>0</sub> -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Acidité totale	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	7,742						0,0283	0,0508
	Poids des bois X <sub>5</sub>	8,076					0,0386		0,8882
	Charge X <sub>4</sub>	7,797				0,0276		0,0161	0,1082
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	17,02			-0,4791			0,2595	0,0
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	7,785	0,2428					0,0498	0,0049
X 3	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	7,832	0,0167					0,0183	0,0865
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	16,82	-0,0308	0,2528	-0,4679	0,0125	-0,0588	0,0032	0,2818

- Re -

Acidité totale	X 6	7,704						0,0276	0,0240	0,0499
	X 5	8,061							0,0007	0,7452
	X 4	7,869				0,0160			0,0051	0,3776
	X 2	18,56			-0,5709				0,4835	0,0
	X 1	7,803	0,1923						0,0297	0,0293
X 3	X 0	7,928	0,0066						0,0026	0,5356
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	19,17	-0,0128	0,0424	-0,6026	-0,0222	0,5698	0,0038	0,5042	0,0

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Acidité totale	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	7,469					0,0556	0,0717	0,0009
	Poids des Bois X <sub>5</sub>	7,777				0,4876		0,0262	0,0411
	Charge X <sub>4</sub>	7,769			0,0334			0,0168	0,1028
X 3	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	14,79			-0,3536			0,1434	0,0
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	7,713	0,3057					0,0703	0,001
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	7,644	0,0313					0,0584	0,0025
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	13,80	-0,0175	0,3155	-0,3260	0,6126	0,0599	0,2443	0,0

Acidité totale	X 6	7,471					0,0410	0,0666	0,0010
	X 5	7,737				0,3025		0,0168	0,0946
	X 4	7,636			0,0312			0,0262	0,0370
X 3	X 2	9,396			-0,0778			0,0087	0,2333
	X 1	7,722	0,1583					0,0361	0,0145
	X 0	7,608	0,0221					0,0493	0,0045
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	8,806	0,0061	-0,0140	-0,0691	0,1559	0,0649	0,0907	0,02

TABLEAU 31 - (suite 2)

- Ho -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE	
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>			Nombre de sarments X <sub>6</sub>
Acidité Totale	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	8,018					0,0183	0,0179	0,1054	
	Poids des bois X <sub>5</sub>	8,102				0,2108		0,0270	0,0463	
	Charge X <sub>4</sub>	7,925				0,0249		0,0315	0,0315	
X 3	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	8,431			- 0,0027			0,0	0,9821	
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	8,294		0,0335				0,0024	0,5652	
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	8,204	0,0065					0,0075	0,3044	
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	8,215	-0,0020	-0,0584	-0,0158	0,0327	0,1800	-0,0082	0,0499	0,3104

- He -

Acidité totale	X 6	7,848					0,0311	0,0552	0,0043
	X 5	8,145				0,2542		0,0433	0,0110
	X 4	8,108				0,0195		0,0190	0,0916
X 3	X 2	20,77			-0,6443			0,1763	0,0
	X 1	8,046		0,1736				0,0598	0,0030
	X 0	7,929	0,0192					0,0699	0,0014
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	19,98	0,0095	0,0659	-0,6267	-0,0376	0,2212	0,2680	0,0

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Acidité Totale X 3	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	8,195						0,0003	0,8294
	Poids des bois X <sub>5</sub>	7,347				0,6552		0,1607	0,0
	Charge X <sub>4</sub>	8,014				0,0124		0,0045	0,4096
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	10,41			-0,1146			0,0153	0,1185
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	7,432		0,2512				0,0929	0,0002
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	7,213	0,0334					0,1119	0,0
X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	10,25	0,0217	0,1034	-0,1399	0,0141	0,5869	-0,0697	0,2716	0,0

Acidité totale X 3	X 6	7,516						0,0239	0,0610	0,0041
	X 5	7,965				0,0323		0,0005	0,7926	0,0041
	X 4	7,477				0,0285		0,0609	0,0041	0,0
	X 2	23,84			-0,8259			0,3229	0,0970	0,0003
	X 1	7,536		0,1746				0,0970	0,0003	0,0073
	X 0	7,575	0,0154					0,0531	0,3798	0,0
X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	22,66	-0,0109	0,1510	-0,7817	0,0018	0,0114	0,0093	0,3798	0,0	

TABLEAU 31 - (suite 4)

- V -

Variable expliquée	Variables explicatives	Coefficients de régression						Carré du coefficient de corrélation R <sup>2</sup>	RISQUE
		Coefficient constant	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	Poids de récolte X <sub>1</sub>	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	Charge X <sub>4</sub>	Poids des bois X <sub>5</sub>		
Acidité totale X 3	Nombre de sarments X <sub>6</sub>	8,414					- 0,0116	0,004	0,4674
	Poids des bois X <sub>5</sub>	7,723					0,3029	0,038	0,0209
	Charge X <sub>4</sub>	8,089				0,0044		0,0006	0,7689
	Indice réfractométrique X <sub>2</sub>	2,305			0,3027			0,1812	0,0
	Poids de récolte X <sub>1</sub>	8,181		- 0,0014				0,0	0,9810
	Nombre de grappes X <sub>0</sub>	7,840	0,0116					0,0141	0,1615
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	2,313	0,0446	-0,1750	0,3077	0,0054	0,2222	0,2896	0,0

- U -

Acidité Totale X 3	X 6	5,792					0,0422	0,1060	0,0001
	X 5	7,852					-0,1928	0,0139	0,1523
	X 4	6,802				0,0471		0,0951	0,0002
	X 2	17,22			- 0,4957			0,1796	0,0
	X 1	6,792		0,2967				0,2174	0,0
	X 0	6,746	0,02963					0,1198	0,0
	X <sub>0</sub> -X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> -X <sub>4</sub> -X <sub>5</sub> -X <sub>6</sub>	15,29	-0,0022	0,2989	-0,4183	-0,0061	-0,2178	0,3599	0,0

## C H A P I T R E VI

( RESULTATS )

### EFFET DU SYSTEME DE CONDUITE SUR LA QUALITE DU VIN

Il convient de rappeler que la qualité du vin a été appréciée chaque année avec la technique de microvinification et la méthode de dégustation précédemment exposées, pour le vin jeune et en cours de vieillissement. Les résultats présentés dans le tableau 32 sont en accord avec le classement préférentiel général sur l'ensemble des fiches de dégustation, ainsi qu'avec des résultats émanant de dégustations effectuées occasionnellement par quelques collègues très larges. Les diverses observations du tableau 32 permettent, en outre, d'apprécier plus en détail que les situations complémentaires ci-dessus, les divers éléments majeurs de la qualité du vin. Des indications annexes sur des descriptions qualitatives d'arômes, typiques des systèmes étudiés, seront également fournies.

#### 6.1. - RESULTATS FOURNIS PAR LA FICHE STANDARD DE DEGUSTATION (Tableau 32)

##### 6.1.1. - LA COULEUR

Sur l'ensemble des années, le système "U" a toujours assuré la plus belle couleur, en intensité et attirance. Les types "S" et "He" sont significativement moins appréciés, et ceci résulte de leur très mauvais comportement en 1976. En effet, le taux de pourriture des raisins a été très élevé cette année là, surtout de façon évidente pour les types "S" et "V"; un peu moins fort pour les systèmes "Ro", "Re", "Bo", "B", "Ho", "He", "D"; très faible pour le "U". Les phénomènes d'oxydation des polyphénols dans les baies pourries et éclatées (RIBEREAU-GAYON J, PEYNAUD E., RIBEREAU-GAYON P., SUDRAUD P., 1975), expliquent les basses notes obtenues par le "S" et le "He", et les notes moyennes des autres systèmes, hormis le "U". Le "U" assure donc une très bonne régularité de couleur du vin, ce qui est une qualité très souvent recherchée pour les vins rouges de garde.

Ce fait est confirmé par les analyses d'anthocyanes figurant dans le tableau 33.

T A B L E A U 32

RESULTATS MOYENS DE LA QUALITE DU VIN D'APRES LA FICHE  
STANDARD DE DEGUSTATION, POUR LES DIFFERENTS SYSTEMES  
DE CONDUITE.

Systemes de conduite		Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U
7 5	CO	2,13	2,00	2,00	2,07	2,13	2,07	2,33	2,00	2,27	2,30
	BQ	2,57	2,67	2,63	2,67	2,40	2,17	1,70b	2,57	2,40	2,93a
	GS	1,70	1,70	1,60	1,60	1,57	1,63	1,93	1,87	1,70	1,47
	GC	7,33	7,33	7,33	7,33	6,33	6,33	7,13b	6,77b	6,93b	8,07a
	NG	13,73b	13,70b	13,56b	13,67b	12,43	12,20	13,09b	13,21b	13,30b	14,77a
7 6	CO	2,20	1,97	2,03	1,87	1,80	0,73b	0,43b	1,87	1,87	2,47a
	BQ	2,37	2,47	2,43	2,43	2,13	1,53b	1,37b	1,30b	2,00	2,57a
	GS	2,13	2,20	2,20	2,17	2,03	1,97	1,90	2,10	2,07	2,13
	GC	7,50a	6,87	6,93	6,97	6,13b	3,90c	3,37c	6,60b	5,73b	7,63a
	NG	14,20	13,51b	13,59b	13,44b	12,09	8,13d	7,07d	11,87c	11,67c	14,80a
7 7	CO	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,15	2,00	2,20	2,00	2,25
	BQ	2,15	2,15	1,95	2,00	1,60b	1,80	2,50a	1,70	2,35	2,40a
	GS	2,35	2,20	2,25	2,35	2,25	2,20	2,40	1,95	2,20	2,45
	GC	6,95	6,75	5,45b	5,65b	5,30b	4,75b	6,55	6,25	6,50	7,40a
	NG	13,45	13,10b	11,65c	12,00c	11,15c	10,90c	13,45	12,10c	13,05b	14,50a
Moyenne Annuelle	CO	2,11	1,99	2,01	1,98	1,98	1,65b*	1,59b*	2,02	2,05	2,34a
	BQ	2,36	2,43	2,34	2,37	2,04	1,83b	1,86b*	1,86b*	2,25	2,63a
	GS	2,06	2,03	2,02	2,04	1,95	1,93	2,08	1,97	1,99	2,02*
	GC	7,26	6,99	6,57b*	6,65b*	5,92	4,98c*	5,67c*	6,54b	6,38b*	7,70a
	NG	13,79b	13,44b	12,94*	13,04*	11,89	10,41d*	11,20d*	12,39c	12,67c	14,69a

LEGENDE -

- une lettre attenante aux valeurs indique un regroupement statistique en comparaison du type " U ", en utilisant le test " H " de KRUSKAL-WALLIS au risque 5 p 100.
- une astérisque représente une interaction significative entre années.
- CO = note de couleur sur 3
- BQ = note de bouquet sur 4
- GS = note de goût simple d'attaque sur 3
- GC = note de goût complexe de fin sur 10
- NG = note globale ou somme arithmétique sur 20

T A B L E A U 32
------------------

(suite)

Régressions simples et multiples significatives à 5 p. 100 entre la note globale fournie par fiche de dégustation ( y ) et les paramètres microclimatiques ( x ) sur l'ensemble des systèmes de conduite.

1/ Régression simple

x = p. 100 moyen de la radiation incidente (P.A.R.) dans le couvert :

1 9 7 5	:	y =	10,1552 + 0,1690 x - 0,0015 x <sup>2</sup>	(R <sup>2</sup> = 0,644)
1 9 7 6	:	y =	2,8678 + 0,4867 x - 0,0045 x <sup>2</sup>	(R <sup>2</sup> = 0,406)
1 9 7 7	:	y =	11,4738 - 0,0302 x + 0,0028 x <sup>2</sup>	(R <sup>2</sup> = 0,362)
Sur les 3 ans	:	y =	8,1542 + 0,2094 x - 0,0011 x <sup>2</sup>	(R <sup>2</sup> = 0,593)

2/ Régression multiple linéaire sur les 3 ans :

Dans l'ordre d'intervention des variables explicatives qui est décroissant en fonction du niveau de corrélation avec y :

x <sub>1</sub>	=	p. 100 moyen de la radiation incidente (P.A.R.) dans le couvert
x <sub>2</sub>	=	E.T.R. moyenne saisonnière (mm)
x <sub>3</sub>	=	écart thermique moyen des feuilles (°C) par rapport à l'air
x <sub>4</sub>	=	écart thermique moyen des baies (°C) par rapport à l'air
x <sub>5</sub>	=	p. 100 moyen de la radiation incidente (P.A.R.) au niveau des grappes
x <sub>6</sub>	=	rapport du p. 100 de ciel moyen dans le couvert au p. 100 de ciel moyen au niveau des grappes (sur voûte céleste).
y = 72,4746 - 0,1533 (x <sub>1</sub> ) - 0,1136 (x <sub>2</sub> ) + 5,2448 (x <sub>3</sub> )		
		+ 8,9460 (x <sub>4</sub> ) - 0,8704 (x <sub>5</sub> ) - 1,7609 (x <sub>6</sub> ) (R <sup>2</sup> = 0,784)

### 6. 1. 2. - LE BOUQUET :

Le bouquet est la résultante des arômes du fruit et de la fermentation, ainsi que de l'évolution en cours de vieillissement (RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., RIBEREAU-GAYON P., SUDRAUD P., 1975).

Le système de conduite possède une influence sur le bouquet. Le type "U" est significativement mieux noté que le "D", le "S" et le "He". Pour le "He", le bouquet est mal noté pratiquement chaque année; pour le "S", une bonne note a été obtenue en 1977 et deux mauvaises en 1975 et surtout en 1976; pour le "D", c'est surtout en 1976 que le bouquet a été mal apprécié.

Comme pour la couleur, le système "U" est le plus régulier et produit un vin au bouquet agréable, complexe, évolué et caractéristique du cépage.

Le type "S" est le plus irrégulier en la matière. Il a été reconnu que la sensibilité des formes retombantes non ouvertes à la pourriture est responsable des bouquets désagréables des vins, surtout en 1976. Ce résultat n'est pas lié à un défaut de vinification ou de conservation.

Le type "D" a présenté également des vins à bouquet désagréable, en particulier en 1976. Toutefois, le taux de pourriture n'est peut-être pas la seule cause du désagrément du bouquet. En effet, des brûlures sur baies ont été fréquemment observées dans ce système à la suite de périodes particulièrement chaudes. Des arômes "pharmaceutiques" assez étranges au raisin ont été notés.

Le type "D" analogue au G.D.C., est palissé en deux temps. Un premier passage a lieu au moment de la floraison pour créer l'ouverture du couvert; un second après nouaison environ un mois plus tard pour finir de peigner la végétation vers le bas. Ceci est nécessaire dans le cas où la taille est à longs bois et non dans le cas d'un cordon où les bois sont orientés vers le bas, ce qui évite d'avoir à basculer les sarments autour du fil de soutien de la zone de taille. Au cours de cette opération, beaucoup de jeunes baies auparavant à l'ombre se trouvent brusquement en pleine exposition, et si le temps est chaud subissent des brûlures. La biochimie du raisin, à la suite d'importants chocs thermiques sur les baies, pourrait conduire à la synthèse d'arômes désagréables. Ce phénomène peut s'appliquer au type "He" après l'important dégagement de la zone des grappes qui est effectué après nouaison par écartement de feuilles. Pour les systèmes "Re" et "Be", ce dégagement expose rarement des grappes totalement entassées au préalable.

Le comportement particulier du "D" après peignage des tiges ou "shoot positioning" est certainement lié à la présence de la taille à longs bois et devrait ne pas se produire pour les types "cordons" avec bois de taille orientés vers le bas. Toutefois, dans ce cas, l'effet inverse d'un entassement important des sarments descendant dans un cône peu ouvert autour des grappes, est à craindre.

### 6. 1. 3. - LE GOÛT SIMPLE D'ATTAQUE :

Aucune différence significative n'apparaît en moyenne. Seule une interaction significative avec les années concerne le système "U".

Ce dernier, et à un degré un peu moindre le type "D", produit en effet un vin tannique. Les vignes larges ouvertes, ou les niveaux micro-climatiques les plus élevés, favorisent au mieux l'accumulation des polyphénols (tanins et anthocyanes) dans des situations tempérées. Cette conclusion est corroborée par l'examen du tableau 33.

Cette caractéristique ne gêne pas trop la dégustation, même en vin jeune, pour les millésimes 1976 et 1977, dont les conditions n'ont pas favorisé une accumulation très élevée de polyphénols. Par contre, pour le millésime 1975, les vins sont généralement très riches, et dans ces conditions, le vin du système "U" est un peu trop tannique et rude même au bout de 3 ans. De ce fait, l'équilibre en bouche est déficient sans que le tannin soit "grossier" du reste. Néanmoins, pour le *Cabernet-Sauvignon*, dans le Bordelais et pour un vin de garde, le caractère régulièrement tannique du vin du système "U" et à un degré moindre de celui du type "D", est une garantie de qualité. Il convient de rappeler ici que les vins sont élaborés sans chaptalisation ni assemblage, techniques qui atténueraient ce caractère tannique.

Des déséquilibres dûs à l'acidité ont été notés en particulier pour les systèmes "S", "V", "Ho", "He". Ceci est à rapprocher des relations "sucres-acides" développées précédemment.

### 6. 1. 4. - LE GOÛT COMPLEXE DE FIN :

C'est le paramètre auquel a été attribué le plus de poids, puisque le vin est une boisson qui doit provoquer un certain agrément d'une intensité et d'une durée optimales.

De l'analyse de l'ensemble des fiches de dégustation, il ressort que le microclimat ne change pas la nature ou le type du vin. Ceci implique donc d'une part, que le cépage ou l'interaction "variété x milieu général" sont prédominants pour créer le type de vin, et d'autre part que l'introduction de nouveaux systèmes de conduite est compatible avec le maintien de la nature

de l'agrément recherchée par le consommateur. La sélection et l'introduction variétales sont donc nécessaires si l'on veut créer ou changer le type du vin; la mise au point de systèmes de conduite ne peut le faire, mais elle est capable d'apporter des modifications qualitatives autour du type donné, par exemple dans le cadre d'une Appellation. Un parallélisme peut être établi avec la sélection clonale. Il faut enfin souligner que si le type du vin n'est pas changé par le système de conduite, la qualité peut être totalement dégradée dans certaines formes.

Le microclimat induit des fluctuations quantitatives notables pour un type qualitatif défini.

L'examen du tableau 32 montre en moyenne qu'en ce qui concerne le goût complexe de fin, le vin du système "U" est significativement mieux apprécié que ceux des types "Be", "Bo" et "V", les vins de ces derniers étant significativement mieux appréciés que ceux des types "S" et "He".

Le goût complexe de fin est régulièrement le plus intense, le plus riche et le plus persistant dans le cas du "U", les arômes étant sous-tendus par les tanins mais rarement dominés par ceux-ci, même par rapport aux impressions notées chez les vignes traditionnelles "Re" et "Ro"; ceci en restant dans les caractéristiques du Cabernet-Sauvignon dans le Bordelais.

Les vignes étroites rognées, présentent des vins de très bon goût, mais avec manque de persistance, de richesse, surtout les années où le taux de feuilles âgées est élevé (1976, 1977).

Des interactions significatives avec les années apparaissent pour les types "Be", "Bo", "He", "S", "V".

Les vignes peu rognées "Be" et "Bo" ont été mal notées en 1977, année tardive. Des goûts désagréables de nature "herbacée" et "végétale" ont été assez nettement perçus. Ce fait est sans doute à mettre en rapport avec l'importance de l'ombre portée pour des récoltes de mi-octobre.

En rangs étroits surtout à cause de l'ombrage, le rognage répété s'impose donc; mais le niveau traditionnel et sévère, par manque de surface foliaire éclairée à l'hectare (cf. tableau 15), ne permet pas d'assurer une richesse du raisin aussi élevée que dans les systèmes ouverts à écartement entre rangs double possédant le meilleur microclimat et une vigueur réduite par les chocs thermiques. Il est cependant possible d'améliorer la qualité du vin en vignes étroites, en relevant un peu le niveau de rognage, la hauteur de feuillage égalant environ 0,8 fois l'écartement entre rangs (CARBONNEAU et al, 1977).

Le type "y" possède, comme les systèmes "Be" et "Bo", un vin significativement moins apprécié que celui du "U" au niveau du goût complexe. L'impression en bouche pour le "y" est à la fois celle d'une moindre richesse que pour le "U" et de la présence de goûts "herbacés". En 1976, en outre, le type "y" possédait des goûts "de pourri", ce qui explique la signification de l'interaction avec les années pour le "y".

Les vins des systèmes "He" et "S" sont significativement moins appréciés que ceux du groupe précédent; également, il y a interaction avec les millésimes. En l'absence de pourriture, le "S" est bien noté quant au goût complexe, avec parfois des saveurs "herbacées"; sinon, le vin est sans grand caractère, sans aucune persistance, avec des goûts désagréables de "pourri". C'est en outre un système où le taux de pourriture est difficilement contrôlable car il peut progresser très vite en 1 ou 2 jours, de même que la sensibilité à l'engrenage. Le type "He" est assez analogue au "S", mais sans jamais produire un vin suffisamment riche.

Le vin du système "Ho" est plus pauvre en bouche que ceux des types "Be", "Be" et "V"; il présente aussi quelques caractères "herbacés", mais n'accuse pas de façon aussi prononcée les graves défauts des systèmes "S" et "He".

De façon générale, les goûts "herbacés" semblent liés au déséquilibre microclimatique entre feuilles et grappes, en particulier pour les types "S", "y", "He".

Le comportement en bouche du vin du type "D" est différent. Il se situe au niveau du groupe "Be", "Bo", "y", mais pour des raisons apparemment autres. Le problème aromatique n'est pas ici celui des goûts "herbacés" ou de "pourri", mais de goûts "pharmaceutiques" étrangers au raisin en année chaude, moins rebutants du reste que les premiers et semblant disparaître au vieillissement. De plus, la richesse et la persistance des impressions en bouche sont rarement comparables à celles fournies par le "U", mais sont souvent supérieures à celles émanant des vignes traditionnelles. La principale critique au niveau du goût complexe de fin pour le type "D", concerne son irrégularité de comportement, avec d'assez mauvaises notes en année chaude, 1975 et surtout 1976.

#### 6. 1. 5. - LA NOTE GLOBALE :

C'est un point un peu contestable puisque la note globale est fondée sur la somme algébrique des notes précédentes avec un maximum de 20 (maximum pour la couleur = 3; pour le bouquet = 4; pour le goût simple d'attaque = 3; pour le goût complexe de fin = 10).

Toutefois, le tableau 32 montre que l'éclaircissement du feuillage explique moyennement la note globale et surtout que la régression multiple incluant l'ensemble des paramètres microclimatiques explique, sur les trois années étudiées, 78, 4 p. 100 de la variation de la note globale. De ce fait, ce très bon niveau de corrélation valide du même coup l'ensemble des mesures microclimatiques et la note globale de la fiche de dégustation. Des notations de pourriture incluses dans la régression multiple auraient encore augmenté le niveau de cette corrélation.

En outre, ce total peut être mis en parallèle avec une gamme de qualité :

- autour de 10/20 = bon vin de table
- autour de 12/20 = type "Bordeaux-supérieur"
- autour de 14/20 = type "Appellation Premières Côtes de Bordeaux"
- autour de 18/20 = type "Appellation très réputée"
- 20 / 20 = meilleurs millésimes des meilleurs crus.

Il apparaît dans le tableau 32 que seules les vignes étroites rognées traditionnelles et surtout la vigne large ouverte en "U" assurent régulièrement le niveau qualitatif de l'Appellation "Premières Côtes de Bordeaux"

En fonction des résultats de cet essai, il est possible d'établir la hiérarchie de qualité œnologique suivante :

- . 1/ "U" = qualité très bonne et très régulière
- . 2/ "Re", "Ro" = qualité bonne et régulière
- . 3/ "Be", "Bo" = qualité bonne en général, mais assez irrégulière.
- . 4/ "V", "D" = qualité assez bonne en général, mais irrégulière
- . 5/ "Ho" = qualité moyenne, régulière
- . 6/ "S" = qualité bonne ou mauvaise, très irrégulière
- . 7/ "He" = qualité moyenne ou mauvaise, très irrégulière.

## 6. 2. - RELATION ENTRE LA QUALITE DU VIN ET LA COMPOSITION DU RAISIN

Le très bon comportement de la vigne large ouverte en "U" en ce qui concerne la qualité du vin, peut être en partie expliqué par la composition du raisin en certains éléments simples. Des corrélations non paramétriques (test de SPEARMAN) ont été calculées entre la note globale à la dégustation et les moyennes annuelles des sucres et des acides des baies.

### 6. 2. 1. - LES SUCRES (cf. Tableau 25)

Ces derniers sont présents généralement de façon assez abondante dans les raisins du système "U". Toutefois, les types assurant les teneurs en sucres les plus élevées, en particulier le "V", ne sont pas les mieux classés à la dégustation; et à l'opposé, les vignes traditionnelles rognées, lorsque

le taux de feuilles âgées est important, produisent un vin bien apprécié, malgré la présence de raisins relativement peu sucrés. La corrélation entre l'indice réfractométrique et la note globale n'est pas significative à 5 p. 100.

Les sucres du raisin, liés à la vigueur et au microclimat des feuilles, ne constituent pas un critère valable de sélection des systèmes de conduite pour préjuger de la qualité de leur vin. Tout au plus, permettent-ils de fixer des évidentes limites minimales mais au-delà desquelles il est possible d'obtenir des vins de qualité à partir des raisins qui ne sont pas les plus sucrés ou bien des vins assez mauvais présentant notamment des goûts herbacés à partir de raisins relativement sucrés.

#### 6. 2. 2. - LES ACIDES (cf. Tableau 26)

L'acidité totale du raisin, et semble-t-il d'après les hypothèses précédemment développées, l'acidité malique, paraît mieux corréler avec la qualité des vins, que les sucres de la baie. Le "U" est le système aux raisins les moins acides. Les types les plus mal notés à la dégustation "He", "S", "Ho", "D", "V", sont parmi les plus acides; les vignes étroites et les vignes larges ouvertes le sont moins. La corrélation entre l'acidité totale et la note globale est significative à 5 p. 100 en 1975 et 1977 ; elle ne l'est pas en 1976 où l'influence de la pourriture est prépondérante.

Toutefois, l'acidité n'est pas toujours liée aux impressions "herbacées" lors des dégustations. Mais elle peut traduire le degré d'affinement du métabolisme des raisins, assez bien corrélé avec le microclimat des grappes et avec l'équilibre microclimatique entre feuilles et grappes. D'autre part, la fermentation malolactique doit logiquement atténuer les défauts de l'acidité.

#### 6. 2. 3. - LES POLYPHENOLS ET LES ARÔMES (cf. Tableau 33)

Dans cette étude, seules des analyses classiques, pouvant être réalisées à grande échelle, ont été développées afin de pouvoir apprécier simplement certains éléments de la biologie de la plante entière. Le dépouillement des résultats des dégustations montre les limites inhérentes à ces critères simples et permettra de suggérer des développements ultérieurs dans l'étude des systèmes de conduite de la vigne.

En particulier, au cours des dégustations, les principales impressions ont été liées aux polyphénols et aux arômes, beaucoup plus qu'à l'alcool ou qu'aux acides. Aussi, des analyses de polyphénols notamment

T A B L E A U 33

RESULTATS DE LA TENEUR EN  
 ANTHOCYANES (mg/l) DU VIN JEUNE  
 DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CONDUITE

Systèmes de Conduite  Années	Ro	Re	Bo	Be	Ho	He	S	D	V	U	Moyenne de l'année
1975	466	490	381	421	432	370	373	319	319	535	458,0
1976	244	311	370	336	234	256	177	330	311	442	301,1
1977	464	481	558	466	457	399	340	479	369	567	410,6
Moyenne Annuelle	391,3	427,3	436,3	407,7	374,3	341,7b	296,7b	376,0	333,0b	514,7a	

LEGENDE :

Une lettre attenantes aux valeurs indique un regroupement statistique, en utilisant le test de FRIEDMAN au risque de 5 p. 100, les années étant considérées comme blocs.

seront détaillées dans les travaux ultérieurs. Néanmoins, en fonction des données du tableau 33, il est possible de confirmer que la richesse du vin est liée à la teneur en polyphénols, tanins et anthocyanes. (RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., RIBEREAU-GAYON P., SUDRAUD P., 1975). A ce niveau, les vignes larges ouvertes à microclimat foliaire extrême et à vigueur réduite, notamment la forme en "U", sont les plus performantes.

Toutefois, l'examen de la richesse du vin doit être complété au moins par celui de la finesse et de la complexité aromatique, perçues surtout dans le vin du système "U", mais aussi en particulier dans ceux des vignes étroites traditionnelles, généralement moins riches. Cette finesse et cette complexité aromatique traduisant un état "d'achèvement" du métabolisme de la baie, paraît être en bonne relation, comme l'acidité, avec l'équilibre microclimatique "feuilles-grappes".

En conclusion, il est possible de mettre en exergue la qualité du vin de la vigne large ouverte en "U", quant à sa régularité en fonction des millésimes, son potentiel de richesse élevé que l'on peut réguler du reste par la charge en fonction de la nature du produit souhaité, et sa complexité aromatique dans le type de l'Appellation que l'on peut moduler éventuellement par la date de récolte dans certaines situations. Certaines microvinifications complémentaires permettent de suggérer ces idées.

Il est donc possible, en vigne large, de produire en quantité 30 p 100 supérieure aux témoins, un vin de haute qualité dans la mesure où des règles microclimatiques dans le couvert sont respectées : le meilleur moyen semble être la réalisation de la forme en "U".

C H A P I T R E VII

CONCLUSION DE LA PARTIE "BIOLOGIE CLASSIQUE  
DE LA PLANTE ENTIERE "

Les variations microclimatiques, notamment en ce qui concerne l'énergie solaire au niveau des feuilles et des raisins, qui ont été présentées dans la première partie, ont donc réagi significativement sur certains éléments simples de la plante entière. Ces phénomènes ont été quantifiés pour des conditions moyennes du Bordelais sur *Cabernet-Sauvignon*. Il est de ce fait possible, pour le viticulteur, au moyen du système de conduite, de modifier le mésoclimat de ses parcelles et d'obtenir des réponses substantielles de la vigne, tant au niveau de la production qu'à celui de la qualité du vin.

Au sujet de l'influence de certaines conditions microclimatiques sur la Vigne, l'aspect non linéaire de ces relations complexes nécessitant l'intervention de plusieurs paramètres explicatifs oblige à ne retenir que les principales conclusions suivantes :

- le poids des bois de taille/m<sup>2</sup> est stimulé par l'énergie solaire totale perçue au niveau global du couvert, mais la présence de chocs thermiques, nets en année chaude chez les systèmes ouverts, réduit le poids des bois. Ce sont essentiellement les phénomènes de vigueur plus que l'aoûtement qui semblent réagir en fonction du microclimat.

Un autre point concerne la régulation du poids des bois du cep en fonction de la charge de ce dernier, au-delà du niveau normal de l'échelle de taille.

- le nombre de grappes à la vendange/m<sup>2</sup> augmente assez régulièrement avec le niveau de l'énergie solaire perçue globalement dans le couvert. Le microclimat particulier de la zone de taille intervient surtout dans le cas de chocs thermiques, en année chaude, à la base de sarments très dégagés du fait du "peignage", de la faible charge et du port retombant. A l'opposé, l'irrigation, sans doute en aggravant l'entassement de la zone de taille, réduit la fertilité potentielle. La présence d'une proportion élevée de vieilles feuilles diminue l'intensité de l'initiation florale, si ce vieillissement apparaît précocement pendant l'élaboration des premières ébauches d'inflorescences. Les phénomènes de régulation liés à la charge sont moins nets que pour le poids des bois.

- le poids de récolte/m<sup>2</sup> corrèle bien avec la fertilité potentielle. Mais la grosseur des grappes et des baies est liée au poids des bois de taille et à la vigueur des sarments, et correspond au même optimum microclimatique. Le grossissement des baies est relativement moins bon dans les vignes à forte densité de plantation et peu rognées, sans doute en raison d'un effet de sécheresse lié à une meilleure colonisation du sol par les racines et à la présence d'une surface évaporante importante. Les plus fortes productions, à charge en bourgeons/m<sup>2</sup> identique, sont notées soit chez les systèmes à faible densité de plantation, à couvert moyennement éclairé qui sont les plus vigoureux et qui ont les raisins les plus gros, soit chez les systèmes à faible densité de plantation, à très bonne exposition de feuilles et à zone de taille assez aérée mais pas trop exposée en année chaude, qui ont les grappes les plus nombreuses et les plus fournies mais en petites baies.
- L'indice réfractométrique du moût à la vendange est lié au microclimat global du feuillage ainsi qu'à la surface foliaire. Comme pour le poids de récolte/m<sup>2</sup>, les moûts les plus sucrés sont obtenus soit par les systèmes possédant le meilleur développement végétatif et une exposition moyenne des feuilles, soit par les types globalement les plus exposés mais ayant une végétation moins importante du fait des chocs thermiques. En conséquence, les phénomènes de concurrence entre, d'une part la vigueur des sarments ou la quantité de raisin, et d'autre part, l'accumulation des sucres dans les baies n'y apparaissent pas si le facteur de variation est le système de conduite. Il convient également de noter, en ce qui concerne les vignes étroites, des phénomènes néfastes pour la teneur en sucres des baies liés soit au taux de vieillissement des feuilles pour les types rognés, soit à des effets de sécheresse pour les types peu rognés. Enfin, la longueur du tronc gêne l'accumulation des sucres dans les baies si la vigne se trouve dans des conditions de faible apport hydrique, et d'exposition du feuillage insuffisantes pour rattraper cet inconvénient.
- L'acidité totale du moût à la vendange, est essentiellement expliquée par le microclimat des grappes et par une hypothèse sur la réponse différente, en fonction de ce dernier, de l'acide malique et de l'acide tartrique. Les baies les plus exposées, seraient les plus pauvres en acide malique et les plus riches en acide tartrique. Comme pour les sucres du moût, l'acidité totale des raisins est peu soumise à la concurrence de la vigueur des sarments et de la production de raisins, si le facteur de variation est le système de conduite. Par contre, les relations sucres-acides du moût sont complexes : la plupart des situations microclimatiques favorisent en fin de maturation parallèlement une teneur en sucres élevée et une teneur en acides faibles. Les microclimats très déséquilibrés entre les feuilles et les grappes (types semi-ouverts) favorisent, dans les mêmes conditions, une teneur en sucres élevée et une teneur en acides forte. L'explication la plus vraisemblable est que les ceps des systèmes semi-ouverts qui accumulent le plus de sucres dans les baies en raison du microclimat des feuilles, doivent aussi élaborer le plus d'acides sans pouvoir les dégrader correctement en raison du microclimat des grappes. Ce phénomène paraît valable en l'absence de pourriture du raisin, ce qui écarte l'hypothèse exclusive d'un effet de concentration lié au développement de ce champignon.

- la qualité du vin, appréciée à la dégustation au moyen de l'échelle de notation proposée, fait ressortir essentiellement l'importance des polyphénols (couleur liée aux anthocyanes, tenue en bouche liée aux tanins) dans la richesse du produit, ainsi que celle des arômes dans la finesse et la complexité du vin. La pourriture est un facteur de dégradation de la qualité, surtout pour les systèmes semi-ouverts à déséquilibre microclimatique entre feuilles et grappes, qui ont pourtant été récoltés le plus vite possible après le déclenchement de la pourriture. La teneur en sucres du raisin, dans les limites inhérentes à cet essai, ne joue qu'un rôle secondaire. L'acidité du moût est assez bien corrélée avec la note globale de qualité; mais ce fait paraît plutôt traduire, d'après les observations des dégustateurs, un degré d'affinement global du raisin en liaison avec les goûts "herbacés", qu'une intervention directe des acides mêmes.

Les différences de qualité entre systèmes de conduite sont liées par ordre décroissant d'importance, d'abord au goût complexe de fin, ensuite au bouquet, enfin au goût simple d'attaque et à la couleur. La notation globale exprime le niveau de qualité potentielle d'un cépage pur vinifié traditionnellement et simplement. Selon ces critères, il ressort qu'un groupe de 5 systèmes (surtout les 3 premiers) produit un vin du niveau "Premières Côtes de Bordeaux" : le type "U" est le meilleur et le plus régulier de ce groupe; les vignes étroites rognées "Ro" et "Re" sont évidemment caractéristiques de ce groupe; les vignes étroites peu rognées "Bo" et "Be" sont proches des précédentes mais plus irrégulières en raison des années sèches et des années tardives. L'autre groupe de 5 systèmes concerne l'ensemble des vignes larges autres que le "U"; les types "V" et "D" sont pénalisés surtout par une certaine irrégularité; La vigne large plane classique, assure une qualité assez régulière mais toujours très moyenne; les types "S" et "He" sont les plus dangereux, surtout en raison de leur haute irrégularité.

L'ensemble des mesures microclimatiques réalisées dans cet essai expliquent environ 80 p. 100 de la variation de la note globale à la dégustation.

Les résultats de cet essai indiquent donc que pour assurer à la fois une bonne production et une bonne qualité, notamment la richesse, la complexité et la finesse du vin, une très bonne exposition des feuilles, ainsi qu'un équilibre microclimatique entre feuilles et grappes, sont à rechercher. Les vignes étroites à un plan de palissage satisfont ces exigences mais un optimum de hauteur de feuillage est suggéré (0,8 fois l'écartement entre rangs) afin de réduire les problèmes du taux de vieilles feuilles, de sécheresse, et d'ombre portée. Le comportement le plus régulier est obtenu avec une vigne à densité de plantation moitié des témoins traditionnels, ouverte sur la totalité de la hauteur du couvert, à tronc demi-haut, non rognée ici. Le port ascendant semble préférable au port retombant afin d'éviter, soit une exposition trop forte des baies après le palissage de la végétation si les bois de taille sont horizontaux ou dirigés vers le haut, soit un resserrement trop important des sarments autour des grappes si les bois de taille sont dirigés vers le bas. De ce fait, pour des conditions tempérées, c'est la vigne large en "U" qui présente le plus d'avantages agromomiques.

TROISIEME PARTIE

CONCLUSIONS et PERSPECTIVES

<p>CONCLUSIONS ET APPLICATIONS TECHNICO- ECONOMIQUES : LES SYSTEMES EN " LYRE "</p>
---

Cet essai sur les systèmes de conduite de la vigne a permis, au sein de la complexité de la biologie de la plante d'expliquer un certain nombre de phénomènes microclimatiques et physiologiques, débouchant sur des conséquences agronomiques et oenologiques. Ces dernières sont d'ailleurs en accord avec la plupart des résultats de travaux antérieurs. Il convient de rappeler les idées majeures développées dans les conclusions de la première partie "Analyse des paramètres microclimatiques dans différents systèmes de conduite", et de la deuxième partie "Biologie classique de la plante entière dans différents systèmes de conduite", à partir des résultats statistiquement significatifs.

## I. - I D E E S P R I N C I P A L E S :

Tout d'abord, ce travail permet d'établir un certain nombre de méthodes aptes à mesurer les divers effets des systèmes de conduite, mais aussi sans doute, ceux de beaucoup de traitements viticoles.

Au niveau microclimatique, l'énergie lumineuse reçue par le feuillage ou les grappes est mesurable assez commodément et précisément par trois techniques dont le choix est dicté par les possibilités de l'expérimentation : la cellule photoélectrique, les photographies hémisphériques, l'index foliaire. Les deux dernières sont plus représentatives de l'énergie solaire totale. Les valeurs citées dans ce travail peuvent servir de base de comparaison pour d'autres essais.

En ce qui concerne la température des feuilles et des raisins, l'utilisation des couples thermoélectriques permet d'obtenir des informations complémentaires des valeurs de l'énergie lumineuse, mais l'installation des électrodes et le dépouillement des résultats sont peu commodes. La mesure de l'E.T.R. avec l'humidimètre à neutrons fournit des indications intéressantes, mais il convient sans doute d'établir des profils assez profonds et assez bien répartis sur toute la surface afin de bien mesurer l'assèchement global du sol; ceci n'est pas toujours réalisable.

Au niveau "Biologie de la plante entière", les notations classiques, réalisables sur chaque cep, du nombre de bourgeons et de sarments, du poids des bois de taille, du nombre de grappes, du poids de récolte, de l'indice réfractométrique et de l'acidité totale du moût (peut-être plus importante que le degré alcoolique en puissance), bien qu'élémentaires, permettent néanmoins d'apprécier des phénomènes importants du comportement de la vigne.

Il serait cependant utile de tenter de mettre eu point ou de développer des méthodes rapides afin de mieux distinguer certains paramètres : la vigueur par la mesure de la surface foliaire du cep, la fertilité potentielle et la nouaison par une mesure de taille et de compacité des grappes, l'acide malique et l'acide tartrique du moût, le taux de pourriture de la vendange.

En ce qui concerne les polyphénols, les difficultés d'extraction rendent utopiques les observations cep par cep. Aussi, comme pour l'analyse des arômes, il semble préférable de procéder à des microvinifications en conditions standards, suivies d'analyses et de dégustations. Au sujet de ces dernières, l'échelle de dégustation proposée paraît un moyen valable de description du vin pouvant homogénéiser l'attitude des dégustateurs en leur laissant la possibilité d'analyses plus fines encore.

Au niveau biométrique, le dispositif ainsi que la structure factorielle de l'essai à base de petites parcelles élémentaires, sont valorisés par les résultats enregistrés sur plusieurs années. L'utilisation des statistiques non paramétriques, notamment le test "H" de KRUSKAL-WALLIS avec comparaisons multiples, est plus sûre que celle des statistiques gaussiennes surtout sensibles à la bimodalité des populations, tout en procurant un nombre très voisin de décisions significatives.

La précision de l'essai est suffisante eu égard aux exigences pratiques, sauf pour les éléments de la production très variables d'un cep à l'autre. Il semble que pour résoudre ce problème, la clef se situe moins dans le choix du dispositif ou du test statistique, que dans la prise en compte sous forme de modèle des effets de compétition interplantes, d'hétérogénéité de terrain, ainsi que dans la décomposition des interactions, en particulier avec la méthode de MANDEL (1971).

En ce qui concerne l'étude du système biologique, notamment celle des concurrences entre organes, les analyses en régressions multiples s'avèrent très intéressantes, plus faciles à interpréter et, pour cet exemple, aussi performantes que des analyses multivariates généralisées, en particulier l'analyse en composantes principales.

Cette étude confirme enfin l'intérêt de l'orientation globale de la méthodologie vers la Biologie de la plante entière pour mesurer des résultats agronomiques. La multiplicité des situations microclimatiques garantit les quelques lois d'écologie quantitative émergeant des multiples observations, même si, en raison de la complexité des phénomènes, la variation n'est pas expliquée en totalité.

En outre, les résultats obtenus avec l'ensemble des méthodes précédentes sont liés à la validité de ces dernières dont les performances ont été critiquées et dont la reproductibilité est bonne si on les utilise aussi précisément qu'elles sont décrites, ainsi qu'aux caractéristiques de la parcelle considérée. Toutefois, au-delà des valeurs absolues rapportées dans ce travail, les tendances émergeant des relations entre le microclimat et la physiologie de la plante méritent d'être soulignées, au moins en ce qui concerne les situations tempérées et à charge/m<sup>2</sup> égale.

Les vignes larges planes classiques possèdent en moyenne des feuilles et des grappes peu exposées : l'activité physiologique paraît se situer assez constamment à un niveau faible que ce soit pour la croissance des tiges, l'initiation florale, le grossissement et la maturation des fruits. La qualité du vin est assez moyenne, mais assez régulière dans la médiocrité. Le dégagement de la zone des grappes, dans ces systèmes, augmente surtout la vigueur et accentue les irrégularités de qualité en fonction des millésimes.

Les vignes larges semi-ouvertes ont une activité végétative excellente : vigueur maximale des sarments, fort grossissement des raisins; l'initiation florale est moyenne; pendant la maturation des baies, et malgré la forte vigueur et la bonne production, les phénomènes d'accumulation, surtout des sucres, sont très actifs; mais en raison du déséquilibre microclimatique entre feuilles et grappes, les processus de dégradation d'acides et d'évolution aromatique ne compensent pas l'apport de substances brutes : le vin présente souvent un caractère "herbacé" et est fortement déprécié lorsque la pourriture se développe dans ces conditions idéales, surtout dans le cas des types retombants. Ces derniers présentent en outre des difficultés de maturation liées à la longueur du tronc dans des conditions assez sèches. Ce sont des systèmes dangereux.

La vigne large ouverte, à feuillage bien pourvu en énergie solaire, présente une activité physiologique globale assez réduite concernant les phénomènes de croissance des tiges et des baies, mais la production est très bonne du fait de l'excellente initiation florale, si la zone de taille n'est pas trop exposée du fait de charges habituelles et du port retombant. La maturation des fruits et notamment le niveau des sucres, des acides et surtout des polyphénols sont les meilleurs malgré la bonne production. En

outre, l'état sanitaire des raisins est toujours bon dans ces systèmes. Toutefois, un équilibre microclimatique est à respecter entre feuilles et grappes, dans le sens d'un minimum de protection de ces dernières, afin d'assurer une qualité surtout d'ordre aromatique, aussi élevée et régulière que possible. De ce fait, il est souhaitable d'établir un port ascendant au-dessus de la zone de taille, afin d'éviter soit un dégagement trop brusque des raisins dans le cas où il faut "peigner" la végétation vers le bas, soit un feuillage trop rassemblé autour des grappes si les bois de taille sont dirigés vers le bas afin de faciliter le port retombant.

Le meilleur équilibre microclimatique nécessaire à la production et à la qualité est donc fourni par la vigne large ouverte en "U", à tronc demi-haut ou bas, avec un minimum de port ascendant. Pour ces vignes, les questions de rognage et d'effeuillage restent à préciser afin de parfaire encore leurs performances.

Les témoins constitués par les vignes étroites possèdent un bon équilibre microclimatique expliquant leur bon niveau de qualité pour les productions habituelles. Toutefois, le rognage, nécessaire en rangs étroits provoque, s'il est trop sévère, un taux de feuilles âgées trop important ainsi qu'un abaissement de la température des feuilles; ou bien, s'il est absent ou trop léger, une sensibilité trop élevée à la sécheresse ainsi qu'un effet néfaste de l'ombre portée. Un optimum empirique peut être établi afin de limiter ces inconvénients, la hauteur du feuillage équivalant environ 0,8 fois l'écartement entre rangs. L'étude comparative des vignes très étroites (environ 1 m entre rangs) reste toutefois à développer.

Il est donc possible en vigne large en "U", c'est-à-dire avec des avantages économiques substantiels par rapport aux vignes à écartement entre rangs moitié dans la même situation d'obtenir un vin de haute qualité, avec même possibilité d'augmenter cette dernière en même temps que la production (de 20 à 30 p 100 en moyenne) par rapport aux résultats habituellement rencontrés chez les vignes traditionnelles. Dans ces conditions, le microclimat du type "U" est meilleur que celui du témoin étroit en raison d'un meilleur étalement de la végétation.

Notons enfin qu'il serait dangereux pour la qualité, même avec une conduite en "U" d'utiliser des espacements triples ou au-delà des espacements traditionnels ; ou bien cela imposerait 3 plans de palissage ce qui est évidemment rédibitoire pratiquement.

## II. - CRITIQUE ET PORTEE DES RESULTATS :

Ces résultats ont été obtenus en conditions naturelles dans une situation moyenne du Bordelais sur *Cabernet-Sauvignon* et sont présentés avec un risque de 5 p 100, pour un ajustement des données à un simple modèle linéaire additif.

La première question que l'on doit se poser concerne la possibilité d'établir, à partir de ces données, non seulement des tendances majeures, mais des lois précises entre les paramètres microclimatiques et les éléments de la biologie de la plante entière. Il semble hasardeux de répondre par l'affirmative, et ce, pour deux raisons : d'abord parce que la gamme microclimatique n'est pas assez large, surtout en ce qui concerne l'alimentation en eau; ensuite parce que les mesures physiologiques sur plante entière sont incomplètes. C'est en fonction de cette analyse que seront approfondies des expériences en conditions plus contrôlées, incluant à la fois la création d'une plus large gamme microclimatique comportant des régimes hydriques variés ainsi que toute une gradation d'interception de l'énergie solaire, et l'élaboration d'un ensemble d'observations sur la phénologie, la croissance, la fertilité, la production et la maturation pour l'ensemble des composés majeurs du raisin. De cette façon, il sera éventuellement possible de mieux modéliser en relation avec le microclimat, le fonctionnement de la plante entière et notamment la composition du raisin, par exemple en faisant intervenir la surface foliaire réceptrice, l'effet filtrant du couvert sur l'énergie solaire, la transpiration, les phénomènes de concurrence avec la vigueur des tiges et la production des raisins, la durée des phases de développement. La quantification de la biologie de la plante entière, amorcée dans ce travail essentiellement sous forme d'exploration de points d'émergence d'un phénomène complexe, pourra être affinée et conduire à l'établissement de relations biométriques plus larges et plus précises. Des applications en agrométéorologie et en phytotechnie pourraient découler de ces études.

La seconde question qui vient à l'esprit est en rapport avec la situation de la parcelle expérimentale. Les résultats de cet essai sont confortés en particulier par les observations d'HUGLIN (1977) sur des cépages blancs en Alsace concernant des vignes traditionnelles et des vignes larges ouvertes. De ce fait, il est possible, sans grand risque, d'accorder une portée assez large aux conclusions générales émanant de ce travail en les étendant à l'ensemble de la zone climatique tempérée. Toutefois, il est nécessaire afin de connaître exactement les performances des vignes larges en "U" notamment, de diversifier le réseau d'essai en particulier dans des climats non tempérés et en fonction des mésoclimats, des sols et des variétés porte-greffes et greffons. Ces dernières peuvent être des cultivars nouveaux, classiques ou des introductions de cépages relativement précoces. En outre, l'appréciation de la qualité doit se faire dans l'optique de chaque production régionale avec les techniques de vinification en vigueur. Enfin, des études d'adaptation à la mécanisation des travaux, de divers types de palissage dérivant de la forme originelle en "U", ainsi que des bilans économiques aussi complets que possible doivent être effectués : ce sont les buts que s'est assigné un groupe pluridisciplinaire, le Groupe d'Etude des Systèmes de Conduite (G.E.S.CO.)

La troisième question touche à la place qu'occupe le microclimat modifiable par le système de conduite dans la panoplie de possibilités techniques dont dispose le viticulteur, exclusion faite des techniques œnologiques. L'élément majeur non modifiable est le macroclimat, voire le mésoclimat. C'est lui qui dicte le choix exclusif de certaines variétés et qui donne un style global à l'ensemble des productions viticoles régionales, qui apparaissent plus

sous forme de famille que sous l'aspect d'un ensemble incohérent. Ensuite, vient le cépage qui procure l'essentiel du type du raisin et du vin. Après, se positionnent toute une série d'éléments qui, d'une part "filtrent" le climat de base et qui, d'autre part, font réagir le cépage plus ou moins dans certains secteurs physiologiques en créant la gamme des interactions "génotypes x milieux" tout en gardant le type même du cépage.

Parmi ces éléments, ce travail, comme celui de SMART (1976), tend à donner une place importante, si ce n'est souvent prépondérante, au microclimat. En effet, le système de conduite induit des variations microclimatiques importantes, surtout au niveau de la partie aérienne, du même ordre ou supérieures aux variations annuelles moyennes ou mésoclimatiques. De ce fait, la situation du vignoble sur le plan du microclimat et du sol, peut donner des résultats très différents en fonction du système de conduite utilisé.

D'autre part, le microclimat est un dénominateur commun en viticulture : le sol, en dehors des cas de terrains marginaux pour la viticulture ou le porte-greffe, en dehors des cas d'erreurs de choix grossières, ou les autres techniques culturales si elles sont employées à bon escient, s'ils interviennent directement et spécifiquement sur les performances agronomiques, ont aussi des effets indirects, peut-être primordiaux sur la plante notamment sur sa vigueur, qui contribuent à déterminer le microclimat. Il est donc possible d'interagir avec le sol et le porte-greffe et les autres techniques, au moyen du système de conduite pour assurer l'entassement du couvert et le microclimat désirés.

Enfin, se situent des techniques dont la réponse est plutôt du type "tout ou rien" qui conditionnent le maintien d'un vignoble viable : l'irrigation dans des zones désertiques ; le drainage dans des sols humides ; l'adaptation du porte-greffe aux maladies, carences ou excès ; la lutte contre les maladies, les parasites et les mauvaises herbes ; la fertilisation évitant les carences minérales.

### III - APPLICATIONS SOCIO-ECONOMIQUES :

La justification même de toute recherche orientée est de mettre en oeuvre des essais fondamentaux afin de mettre au point des applications aussi larges et importantes que possible.

Ce travail doit donc naturellement conduire à l'élaboration et à la proposition de systèmes de conduite de la vigne, bien précisés en fonction des régions et des productions viticoles.

La clef de voûte de toute tentative de ce genre, comme du reste celles qui touchent à la phytotechnie en général ou à la sélection, est cons-

tituée par les données socio-économiques. Si l'on se réfère à certaines études de centres de gestion, ainsi qu'à celle de REYNIER (1980) pour le Bordelais, un bilan économique très général peut être dressé en indiquant des ordres de grandeur. L'orientation globale est dictée par le marché et par les impératifs sociaux, notamment au niveau de la rareté, du coût et des exigences de la main d'oeuvre. Une production de vin d'Appellation, moyenne établie sur différents vignobles bordelais, dans un contexte de taille et de récolte manuelles, est choisie. Les sorties sont fonction de chaque situation selon notamment la quantité et le prix ou la qualité du produit. Les entrées sont également fonction des diverses situations, mais des tendances dans les pourcentages sont assez constantes :

- Frais généraux : 20 %
- Amortissement des coûts de plantation : 5 %
- Approvisionnement : 10 % dont 5 % de produits de traitements
- Frais de traction et d'énergie : 15 %
- Frais de main-d'oeuvre 50 % dont :
  - vendange 25 %
  - taille 15 %
  - autres travaux : 10 %, dont 5 % pour les traitements.

Il ressort donc que le progrès agronomique se traduira en progrès économique sensible pour le viticulteur surtout s'il concerne les éléments suivants :

- a/ la production et la qualité, au niveau des sorties ;
- b/ la réduction des coûts de vendange, de taille, de traction et d'énergie au niveau des entrées.

Les autres éléments tels que l'amortissement des coûts de plantation, les approvisionnements et les temps de travaux dévolus aux opérations en vert, aux traitements et à l'entretien du sol, même s'ils sont importants, n'apparaissent pas sur l'ensemble les plus déterminants.

Il découle qu'il faut s'attacher en priorité à concilier rendement et qualité, à réduire les coûts de vendange et de taille, et à économiser les frais de traction et d'énergie, en ce qui concerne la mise au point des nouveaux systèmes de conduite, mais aussi l'introduction de toute innovation. Les autres secteurs sont également importants, notamment la lutte contre les maladies et les problèmes de pollution, mais leur solution doit être pour le moins compatible avec les exigences économiques prioritaires.

Les vignes larges en "U" répondent au mieux à la première exigence pour des situations tempérées en raison de leurs très bonnes performances agronomiques. Ce sont même les seules, pour ces situations tempérées, et les niveaux de charge habituels, avec les vignes traditionnelles, qui doivent être retenues,

L'utilisation même de rangs larges par rapport à celle de rangs étroits permet de réduire nettement les trajets dans la parcelle donc les frais de traction et d'énergie, et plus encore les temps de taille et de vendange. Une économie de 20 à 40 p 100 peut être escomptée dans ces conditions (REYNIER, 1980).

Des recherches plus poussées pour diminuer chez ce type de conduite les temps de vendange et de taille, ainsi que pour faciliter les opérations en vert et l'installation du palissage, que ce soit dans un contexte fondé sur la main d'oeuvre ou axé sur la mécanisation intégrale, sont en cours dans le cadre du G.E.S.CO. Il est en effet important que la mécanisation puisse se développer sur les systèmes de conduite agronomiquement les meilleurs afin de valoriser au mieux les situations viticoles.

Dans une première étape, un certain nombre de nouvelles formes sont proposées qui essaient de répondre aux impératifs fondamentaux des producteurs, mais aussi des consommateurs en ce qui concerne la qualité : ce sont les vignes en "lyre" dérivant de la forme originelle en "U", peut être plus intéressantes que cette dernière dans la mesure où l'évasement du haut du couvert permet de bien capter de l'énergie solaire tout au long de la journée en diversifiant les inclinaisons.

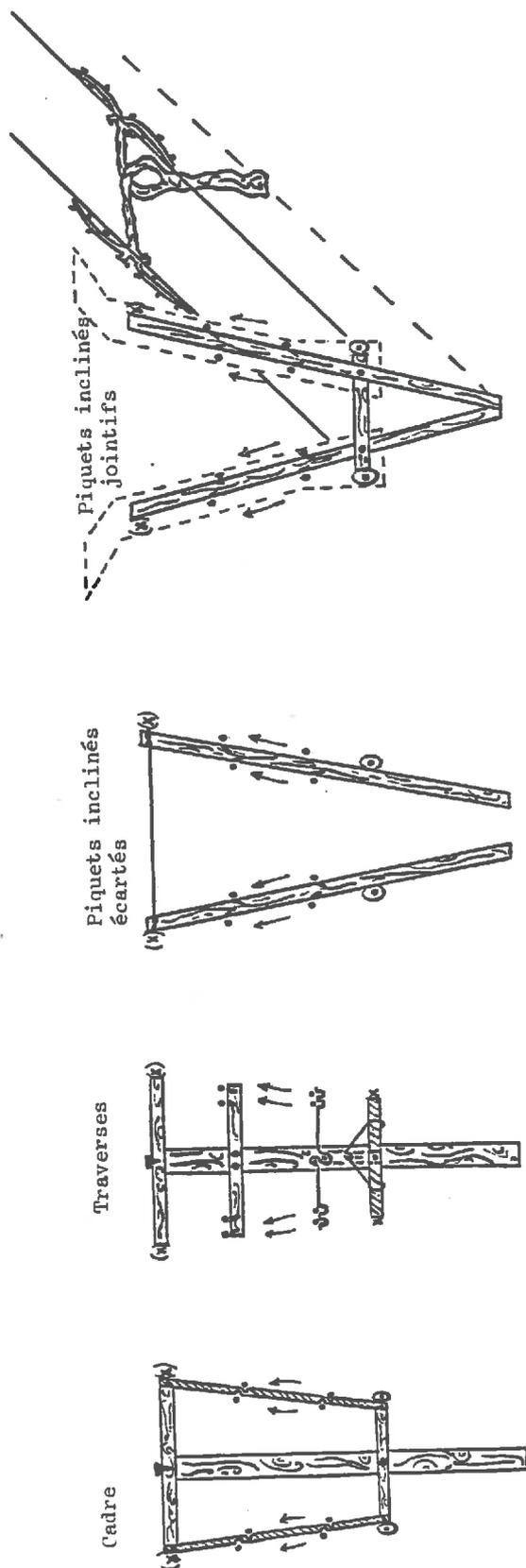
1) - La lyre ouverte (figure 18 et 18 bis)

(Dans cet exemple, la vigne est arbitrairement taillée à 4 bois demi-longs et le tronc est en  $\gamma$ ). Le palissage le plus commode est sans doute celui réalisé avec des piquets inclinés écartés ou jointifs retenus par une seule traverse, avec des fils mobiles de relevage. Le rognage et l'effeuillage ne sont pas nécessaires. En raison du très bon accès à la zone de taille, la taille et la vendange manuelles sont très facilitées. De plus, ce dégagement paraît être un atout pour une éventuelle taille mécanique ainsi que pour une récolte mécanique, surtout par secouage vertical du fil porteur des deux côtés ou d'un côté à la fois ou, peut-être par adaptation de procédés de battage latéral ou de secouage du tronc.

2) - La lyre tronquée (figure- 19 et 19 bis) :

(Dans cet exemple, la vigne est arbitrairement taillée à 2 longs bois et le tronc est en " $\gamma$ "). Les caractéristiques sont voisines de celles de la lyre ouverte, mais le rognage est nécessaire pour des vigueurs normales. Les palissages les plus commodes sont à base de piquets inclinés ou d'alternance de piquets en "T" et "t" alternés.

FIGURE 13

Palissages pour lyre ouverte

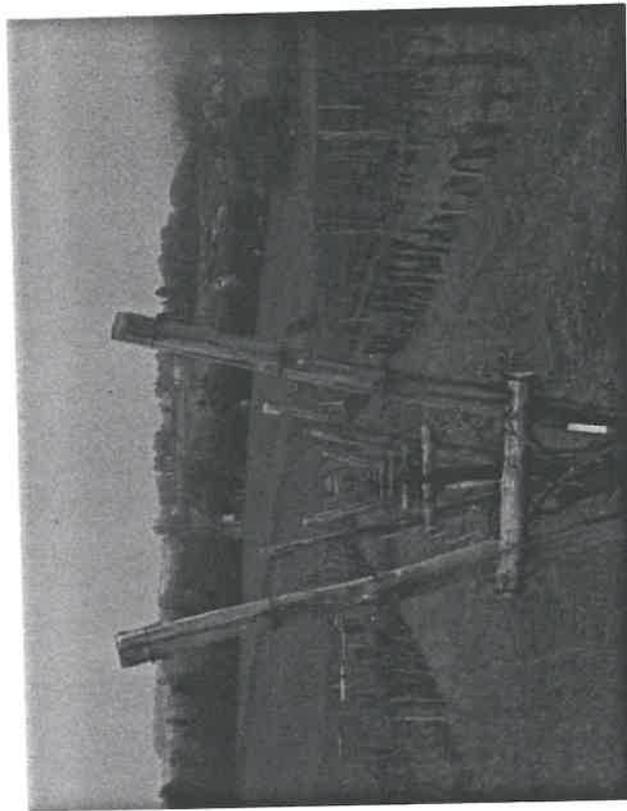
Cadre : Transformation de vignobles. Gros piquet central. Traverse supérieure de 1 m clouée commodément sur le haut du piquet. Traverse inférieure de 0,6 m clouée latéralement tenant la zone productrice avec gorge éventuelle. Cadre rigide fermé, éventuellement avant l'installation au champ, en clouant commodément deux traverses métalliques, inclinées de 10° environ pour faciliter le relevage, de longueur indexée sur la vigueur, et portant des gorges pour fils mobiles.

Traverses : Transformation de vignobles. Gros piquet central. 3 ou 4 traverses de nature diverse : en bois clouées sur le dessus ou le côté du piquet avec encoches pour fils mobiles ; métalliques sous forme de tringle ménageant encoches et fixations ; en bois ou métalliques articulées retenues par un fil de fer afin de faciliter le secouage si cette solution est préférée à celle des gorges sur traverse fixe.

Piquets inclinés écartés : Installation et transformation de vignobles. Piquets moyens inclinés d'environ 10°, espacés de 0,2 m au sol. Encoches pour fils mobiles. Gorge éventuelle. Solidité renforcée éventuellement par fil de fer ou petite traverse supérieure. Implantation rapide.

Piquets inclinés jointifs : voisins des précédents ; mais jointifs au sol, inclinés d'environ 12°, retenus par une traverse de 0,6 m clouée au niveau de la zone productrice assurant son déplacement par rapport aux piquets.

FIGURE 18 bis



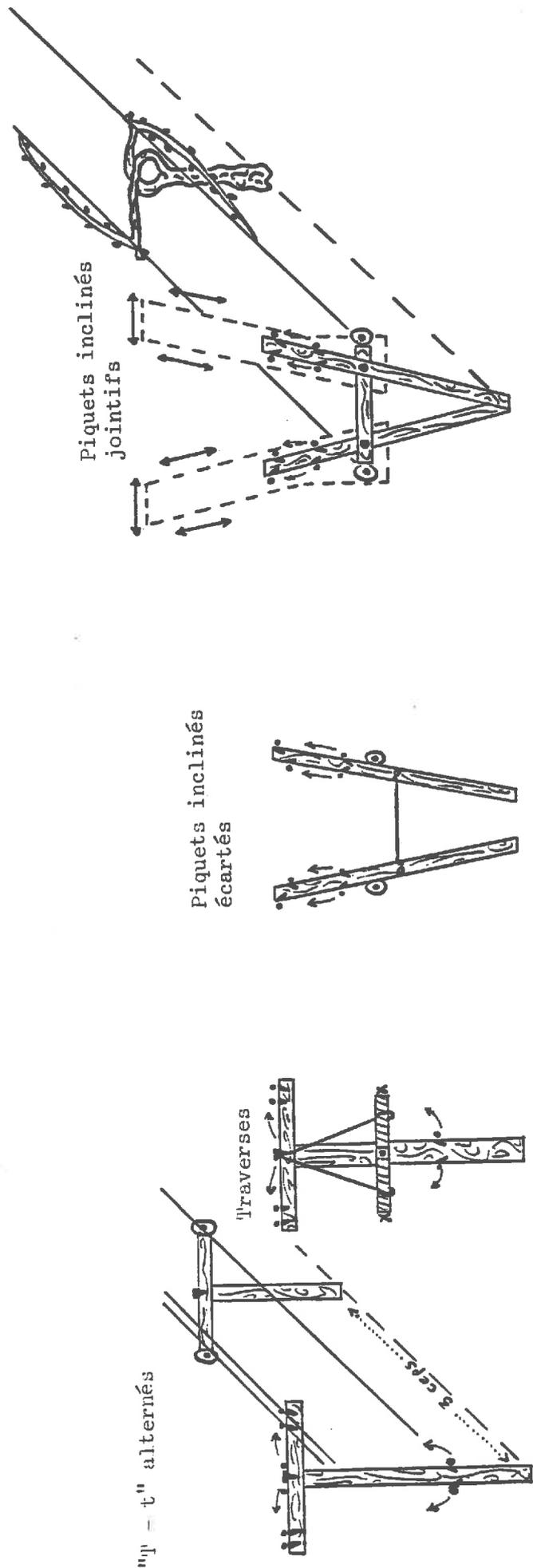
Piquets inclinés jointifs sur vigne transformée



Ouverture du couvert et dégagement des grappes dans la lyre ouverte ("fish-eyé")

FIGURE 19

Palissages pour lyre tronquée



"q" - "t" alternés : Installation et transformation de vignobles. Piquets moyens supportant une traverse commodément clouée sur le dessus.

"q" : piquet de 1,3 m environ hors sol ; traverse de 0,8 m avec encoches pour fils mobiles.

"t" : piquet de 0,7 m environ hors sol ; traverse de 0,6 m avec éventuellement gorge ou articulation.

Rapidité d'implantation des traverses. "q" et "t" alternés tous les 3 cepts environ (portée maximale 7 m).

traverses : cf. figure 1 avec palissage moins haut.

Piquets inclinés écartés : "

Piquets inclinés jointifs : "

F I G U R E 19 bis

Vigne large, rognée, de *Cabernet-Sauvignon*, avec un seul fil de soutien du feuillage (cf. flèche). - Remarquer le port érigé des sarments sur environ 1 m au-dessus de ce fil, sans aucun palissage.



### 3) - La lyre fermée (figure 20) :

(Dans cet exemple, la vigne est arbitrairement taillée à 2 cordons à bois demi-long et le tronc est en "  $\gamma$  "). Le faible écartement des fils de soutien de la zone de taille doit être compensé, pour assurer un bon microclimat des grappes, par un effeuillage localisé et tardif, (CARBONNEAU et al., 1977) et par un rognage en fonction de la vigueur. Ce système paraît bien adapté à une éventuelle taille mécanique, ainsi qu'à une récolte mécanique par battage latéral ou secouage du tronc. En tout état de cause et comme pour la "lyre tronquée" le rognage doit laisser un minimum de 1,2 m de hauteur de feuillage (CARBONNEAU et al., 1977), mais cette étude doit être affinée dans plusieurs situations.

### 4) - Les lyres érigées (figure 21) :

(Dans cet exemple, la vigne est arbitrairement taillée à deux cordons à coursons et le tronc est en "  $\gamma$  "). Ces types nécessitent un cépage à port érigé, ainsi qu'une vigueur modérée, afin d'éviter tout soutien du feuillage.

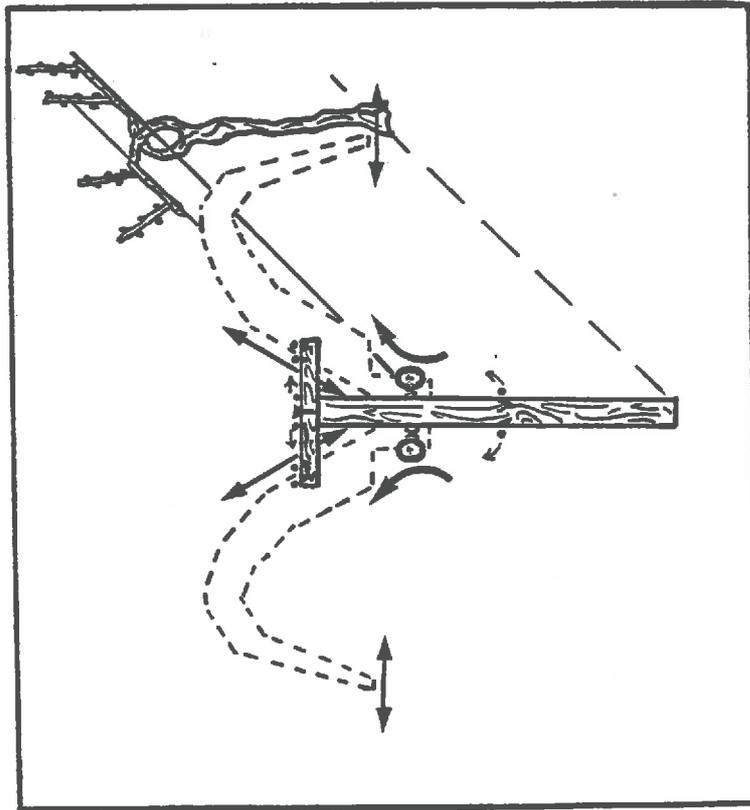
Les types "lyre-érigée et "lyre-érigée-tronquée" avec rognage central et fonction de la vigueur, ont des caractéristiques voisines de celles de la "lyre ouverte" et de la "lyre tronquée" respectivement.

Le type "lyre-érigée-fermée" possède des aptitudes voisines de celles de la "lyre fermée." Il faut noter que dans certains cas, il pourrait être possible de supprimer le fil de soutien de la zone de taille tout le long du rang et d'assurer simplement une certaine régularité des bois de taille selon le schéma de droite de la figure 21.

Ces nouveaux systèmes commencent à être étudiés et à s'adapter dans leur dimension et leur constitution aux diverses particularités régionales, ainsi qu'aux conditions de la mécanisation de la vendange et de la taille. Le cadre du G.E.S.CO. devrait permettre de perfectionner ces modèles, voire d'en trouver de meilleurs. De même, quelques transpositions à l'ensemble des plantes pérennes ligneuses, peuvent découler de ces réflexions dans la mesure où des formes ouvertes et des organes de taille linéaires et horizontaux sont intéressants. L'essentiel est de poursuivre les expérimentations de systèmes de conduite de la vigne afin de trouver l'optimum économique et l'optimum de qualité pour chaque situation viticole. Les formes en "lyre" paraissent s'inscrire dans cette optique, mais une réflexion sur les divers types de mécanisation et de palissage doit se développer; de même, doivent s'affiner la détermination de la production optimale dans ces systèmes selon le type de l'Appellation ou le caractère du vin de table choisi, également le choix de la date de récolte notamment pour les vins blancs secs, les vins de chaudière, et les vins liquoreux en relation avec le développement de la pourriture noble, ainsi que pour les raisins de table. Cet effort doit englober également les variétés nouvelles,

FIGURE 20

Palissage pour lyre fermée

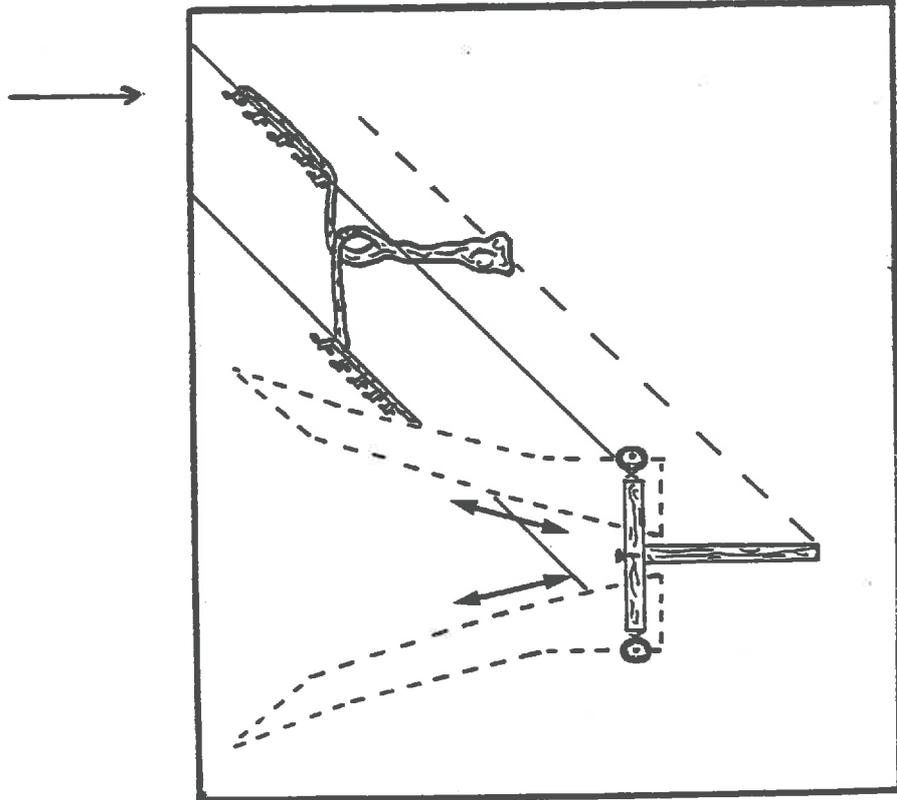


Installation et transformation de vignobles.

Piquet en "T" : gros piquet de 1,70 m environ hors sol. Traverse de 0,6 m avec encoches pour fils mobiles. La zone productrice située à environ 1,1 m du sol est tenue par deux fils écartés de l'épaisseur du piquet.

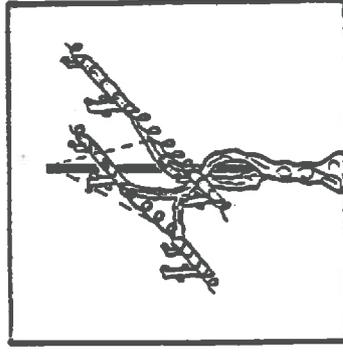
L'effeuillage autour des grappes est obligatoire et doit s'effectuer de préférence sur des feuilles âgées (environ 3 semaines avant vendange). Le rognage est fonction de la vigueur et doit porter surtout sur l'extrémité des sarments afin d'éviter l'ombrage trop important des raisins.

Palissage pour lyres érigées et érigées-tronquées



Installation et transformation de vignobles

Piquet en "t" (cf. figure 2)



← Minicordons tenus par une hélice rigide qu'ils absorbent. Le fil est interrompu et non soutenu par un palissage. L'écartement entre les cordons est de 0,2 m.

Un piquet individuel assure le maintien du tronc et des cordons.

lyre érigée fermée sans palissage

afin de trouver leur optimum cultural, car ce dernier existe toujours et sera déterminant dans un contexte économique difficile.

Enfin, au-delà du système de conduite, c'est la Biologie de la plante entière en liaison avec la notion même de microclimat qu'il convient, en raison de la position centrale de ce dernier, de mettre en exergue dans toute étude viticole ; de même que la méthodologie mise au point dans ce travail, par exemple le calcul d'un index foliaire, peut jeter les bases d'une nouvelle détermination de la valeur des techniques et aussi des terroirs viticoles.

---

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
-----------------------------

- ALLEN L.H., 1974. Model of light penetration into a wide-row crop. *Agron.J.*, 66, 41-47.
- AMIRDZHANOV A.G., 1973. Determination of absorption of solar radiation by vineyard. *Fiziol.Rast.*, 20 (6), 1198-1203.
- ANDERSON J.L., WEEKS M.G., ASHCROFT G.L., RICHARDSON E.A., 1978. Rest and developmental models of Concord grapevine. *Comm. XXth Int. Hort. Congr. Sydney.*
- BACHOC M., 1977. Nouveaux modes de conduite de la Vigne en Gironde. *Mémoire ENITA Bordeaux*, 100p.
- BADIA J., MASSON J.P., 1976. Séminaire sur l'analyse de variance et multivariate. *Laboratoire de biométrie INRA Toulouse*, 132 p.
- BALDINI E., INTRIERI C., 1978. Full mechanization of harvesting and pruning of grape vine trained to the Geneva Double Curtain system. *Comm. XXth Int. Hort. Congr. Sydney.* 16p.
- BENZECRI J. *et al.*, 1973. L'analyse des données. Ed. DUNOD, Paris, 1) La taxinomie, 615 p. 2) L'analyse des correspondances, 619 p.
- BISSON J., 1980. Essais de Systèmes de Conduite. *Revue G.E.S.CO.*, 1, 24.
- BOIDRON R., 1978. Vignes hautes et larges : dix ans d'expérimentation en Saône et Loire. *Prog. Agric. Vitic.*, 10, 297-310.
- BONHOMME R., 1969. Microclimat lumineux dans une culture de patate douce. Incidence sur la photosynthèse. *VIIth Annual Meeting of Caribbean Food Society, Martinique*, 7, 277-293.
- BONHOMME R., 1970. L'analyse de la surface des taches de soleil, de l'indice foliaire, et de l'inclinaison moyenne des feuilles à l'aide de photographies hémisphériques. *in " Colloque sur la réponse des plantes aux facteurs climatiques. Proceed. Symp. Uppsala, UNESCO, 1973,* 369-376. "
- BONHOMME R., 1976. Détermination des profils d'indice foliaire et de rayonnement dans un couvert végétal à l'aide de photographies hémisphériques faites *in situ*. *Ann. Agron.*, 27 (1), 33-59.

- BOUBALS D., 1962. Un essai d'interprétation des résultats d'expérimentation vigne haute - vigne basse. *Journées C.E.T.A. - Février - Mars, "Viticulture", Etude N° 615.*
- BOUBALS D., PISTRE R., 1964. Etat du problème des vignes hautes à grand écartement dans le midi de la France après la récolte 1963. *Prog. Agric. Vitic.*, 8, 195-200.
- BOUBALS D., PISTRE R., CAILLAUD C., 1965. Réflexion sur les résultats obtenus en 1964 et les années précédentes dans les essais de vignes hautes à grand écartement de l'Aude. *Prog. Agric. Vitic.*, 19, 216-222.
- BOUBALS D., 1978. Zonation à l'aide des sommes de températures "actives" du vignoble méridional français. *Comm. 1er Symp. Int. Ecologie de la Vigne - Constața, Roumanie.*
- BOUCHET R.J., 1962. Le problème de la défense des végétaux contre les gelées. *Bulletin Technique d'Information des Ingénieurs des Services Agricoles*, 167, 1-11.
- BRANAS J., BERNON G., LEVADOUX L., 1946. *Eléments de viticulture générale. Ed. DEHAN - Montpellier, 400 p.*
- BRANAS J., CAILLAUD C., 1970. Influence de la disposition du feuillage sur la qualité des produits. *Prog. Agric. Vitic.*, 4, 71-78.
- BRANAS J., 1974. *Viticulture, Ed. DEHAN - Montpellier, 990 p.*
- BRANDT G., 1976. Vigne large en Alsace. *Entreprises Agricoles*, Janvier, 48-52.
- BREJOUX P., 1962. L'Institut National des Appellations d'Origine et la Culture de la vigne haute à grand écartement. *Journées C.E.T.A., Février-Mars, Viticulture, Etude N° 612.*
- BUDAN C., POPA V. GH., 1978 (a). Indicateurs synthétiques en tant que moyen d'estimation des principales ressources écologiques dans la culture de la vigne. *Comm. 1er Symp. Int. Ecologie de la Vigne, Constanța, Roumanie.*
- BUDAN C., CALISTRU GH, METAXA GR., 1978 (b). Le microclimat et son influence sur la culture de la vigne dans certains vignobles de Roumanie. *Comm. 1er Symp. Int. Ecologie de la Vigne, Constanța, Roumanie.*
- BUTTROSE M.S., 1970. Fruitfulness in grapevines - the response of different cultivars to light, temperature and day length. *Vitis*, 9, 121-125.
- CARBONNEAU A., 1976 (a). Principes et méthodes de mesure de la surface foliaire. Essai de caractérisation des types de feuilles dans le genre *Vitis*. *Ann. Amélior. Plantes.*, 26 (2), 327-343.
- CARBONNEAU A., 1976 (b). Analyse de la croissance des feuilles du sarment de Vigne : estimation de sa surface foliaire par échantillonnage. *Connaiss. Vigne Vin*, 10 (2), 141-159.

- CARBONNEAU A., 1976 (c). Mise au point bibliographique sur la photosynthèse chez la Vigne. *Connaiss. Vigne Vin*, 10 (3), 249-267.
- CARBONNEAU A., LECLAIR Ph., DUMARTIN P., CORDEAU J., ROUSSEL C., 1977. Etude de l'influence du rapport "partie végétative/partie productrice" sur la production et la qualité des raisins. *Connaiss. Vigne Vin*, 11(2), 105-130.
- CARBONNEAU A., 1977. Considérations sur la "Biologie de la plante entière" en tant que discipline autonome - *Bulletin du département Amélioration des Plantes INRA, T.D.R.*, 5, 189-197.
- CARBONNEAU A., CASTERAN P., LECLAIR Ph., 1978. Essai de détermination, en Biologie de la Plante entière, de relations essentielles entre le bioclimat naturel, la physiologie de la Vigne et la composition du raisin. Méthodologie et premiers résultats sur les systèmes de conduite. *Ann. Amélior. Plantes.*, 28(2), 195-221.
- GARGNELLO G., 1980. Vineyard mechanization through the rational choice of vine training systems. *Comm. Int. Symp. 100 th Anniversary of Teaching and Research in the University of California-Davis*.
- CASTERAN P., 1971. Culture de la Vigne, in "Sciences et Techniques de la vigne Ed. DUNOD-Paris, tome 2, 1-199"
- CASTERAN P., CARBONNEAU A., LECLAIR Ph., 1980. Etude de la structure des populations de Vigne. Analyse des phénomènes de compétition entre plantes. *Vitis.*, 19, (2), 121-133.
- CHARTIER Ph., BECKER M., BONHOMME R., BONY J.P., 1973. Effets physiologiques et caractérisation du rayonnement solaire dans le cadre d'une méthode d'aménagement sylvicole en forêt dense africaine. *Rev. Bois et Forêts des Tropiques.*, 152, 19-35.
- CHAUVET M., REYNIER A., 1979. Manuel de Viticulture. *Collection d'enseignement agricole. Ed. J.B. BAILLIÈRE*, 319 p.
- CONSTANTINESCU G., 1945. in "HUGLIN P., 1972. Caractéristiques écologiques des cépages et des vignobles. Rapport français. *Bull. O.I.V.*, 491, 7-43"
- CONSTANTINESCU G., POENARU I., ALEXEI O., LAZARESCU V., 1978. Considérations sur le "zéro biologique" et sur la période de végétation de la vigne, cépages et espèces, reflétées en différents écosystèmes. *Comm. 1er Symp. Int. Ecologie de la Vigne - Constanța, Roumanie.*
- CORDEAU J., DUMARTIN P., 1973. Etude comparée de deux modes de conduite du vignoble : vigne large en cordons, vigne étroite en conduite classique. *Ed. Chambre d'Agriculture de la Gironde et I.T.V. Bordeaux*, 20 p.
- DELTOUR J., 1976. Calcul de l'éclairement solaire direct sur une surface orientée. *Bull. Rech. Agron. Gembloux.*, 11 (1-2), 11 - 24.
- DEMARLY Y., 1975. Considérations théoriques sur la concurrence chez les végétaux. *Ann. Amélior. Plantes*, 25 (1), 65-83.

- DRAGANOV D., PANDELIEV S., ANTONOV E., 1975. Recherches sur le bilan thermique des feuilles et des baies de vignes à taille de formation différente. I - Bilan thermique journalier des feuilles et des baies du cépage Bolgar. *Gradinar. Lozar. Nauka*, 12 (6), 147-156.
- DRAGANOV D., PANDELIEV S., 1976 (a). Recherches sur le bilan thermique des feuilles et des baies du cépage Bolgar dans les vignobles à taille de formation différente. II - Bilan thermique nocturne. *Gradinar. Lozar. Nauka.*, 13(7), 92-97.
- DRAGANOV D., PANDELIEV S., 1976 (b). Influence de la densité de plantation, de la taille de formation et du phytoclimat des vignes, sur la quantité et la qualité du raisin de cuve. *Gradinar. Lozar. Nauka.*, 13(5), 97-109.
- DUCREY M., 1975. Utilisation des photographies hémisphériques pour le calcul de la perméabilité des couverts forestiers au rayonnement solaire. *Ann. Sci. for.*, 32(2), 73-92.
- DUTEAU J., 1976. Le vignoble des Côtes de Bourg. Les sols et le climat. Influence sur la croissance des sarments et sur la maturation du raisin. *Thèse 3ème cycle - Université de Bordeaux II. N° d'ordre 24*, 135 p.
- FOEX G., 1895. Cours complet de Viticulture. Ed. COULET, Montpellier et Ed. MASSON, Paris, 1120p.
- GALET P., 1970. Précis de Viticulture. Ed. DEHAN, Montpellier, 490 p.
- HANDRECK, 1972. Wide split T - trellises for Sultanas. *C.S.I.R.O. Division of Horticultural Research, Published paper N° 252 (reprint from the Australian grapegrower & winemaker, 104, 8-9)*.
- HIDALGO L., CANDELA M.R., 1969. Morfologia radicular de la vid - Su relacion con la produccion, densidad y disposicion del vinedo. *Inst. Nac. Inv. Agr., Madrid*, 101 p.
- HUGLIN P., 1972. Caractéristiques écologiques des cépages et des vignobles. Rapport français. *Bull. O.I.V.*, 491, 7-43.
- HUGLIN P., 1977. Influence des pratiques culturales sur la qualité de la vendange dans les régions tempérées. *O.V.R.I. Stellenbosch S.A.*, 359-372.
- HUGLIN P., 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comm. 1er Symp. Int. Ecologie de la Vigne, Constanta, Roumanie*.
- KARANTONIS N., 1971. Influence des conditions du climat et du sol propres au besoin de la Méditerranée orientale sur le comportement des variétés porte-greffes. *Bull. O.I.V.*, 482, 295-310.
- KASIMATIS A.N., LIDER L.A., KLIWER W.M., 1975. Influence of trellising on growth and yield of "Thompson seedless" vines. *Am. J. Enol. Viticult.*, 26 (3), 125-129.

- KOBLET W., 1969. Mouvement des assimilats dans les tiges de vigne et influence de la surface foliaire sur le rendement et la qualité des raisins. *Wein Wissenschaft*, 819, 277-319.
- KONDO I.N., 1963. Résistance de la Vigne au froid de l'hiver. *Bull. O.I.V.*, 387, 574-581.
- KRIEDEMANN P.E., 1968. Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature and leaf age. *Vitis*, 7, 213-220.
- KRIEDEMANN P.E., KLIEWER W.M., HARRIS J.M., 1970. Leaf age and photosynthesis in *Vitis vinifera* L., *Vitis*, 9, 97-104.
- KRIEDEMANN P.E., SMART R.E., 1971. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica*, 5 (1), 6-15.
- KRIEDEMANN P.E., LENZ F., 1972. The response of vine leaf photosynthesis to shoot tip excision and stem cincturing. *Vitis*, 11, 193-197.
- KRIEDEMANN P.E., TÖRÖKFALVY E., SMART R.E., 1973. Natural occurrence and photosynthetic utilisation of sunflecks by grapevine leaves. *Photosynthetica*, 7 (1), 18-27.
- LAFON J., COUILLAUD P., GAY-BELLILE F., 1962. Essais de nouveaux modes de conduite du vignoble. *Extrait du journal "Le paysan français"*, N° de Mars, Avril et Mai.
- LAFON J., COUILLAUD P., GAY-BELLILE F., 1963. Les nouveaux modes de conduite dans les vignobles à vins blancs du Sud-Ouest. *Extrait du Bulletin Technique des Ingénieurs des Services Agricoles*, 182, 1-36.
- LAFON J., COUILLAUD P., GAY-BELLILE F., 1965. Sur l'évaluation et l'évolution des récoltes viticoles. Résultats essais 1964. Essais préliminaires de vendanges mécaniques. *Bull. mens. Soc. Agric. Sci. Art. Comm. Dept. Charente*, 2, 6-36.
- LAKSO A.N., 1976. Characterizing apple tree canopies by fish-eye photography. *Hortscience*, 11 (4), 404-405.
- LAKSO A.N., MUSSELMAN R.C., 1976. Effects of cloudiness on interior diffuse light in apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101 (6), 642-644.
- LAKSO A.N., KLIEWER W.M., 1978. The influence of temperature on malic acid metabolism in grape berries. II - Temperature responses of net dark CO<sub>2</sub> fixation and malic acid pools. *Am. J. Enol. Vitic.*, 29 (3), 145-149.
- LEOPOLD A.C., KRIEDEMANN P.E., 1975. Plant growth and development. *Ed. Mc-Graw Hill Book Company*, 2nd edition, 545 p.
- LEYVRAZ H., SIMON J.L., 1964. La culture mi-haute de la vigne. *Agriculture Romande*, III, (1 et 2), Série A, 11-15 et 22-24.

- MANDEL J., 1971. A new analysis of variance model for non additive data. *Technometrics*, 13 (1), 1-18.
- MATHIEU M., 1962. Quelques observations sur vigne basse transformée en vigne haute à grand écartement. *Journées C.E.T.A., Février-Mars, "Viticulture", Etude N° 614.*
- MAY P., ANTCLIFF A.J., 1963. The effect of shading on fruitfulness and yield in the Sultana. *J. Hort. Sci.*, 38, 85-94.
- MAY P., ANTCLIFF A.J., 1964. Fruit bud initiation. *Rep. J. Aust. Inst. Agric. Sci.*, 30 (2), 106-112.
- MAY P., SAUER M.R., SCHOLEFIELD P.B., 1973. Effects of various combinations of trellis, pruning and rootstock on vigorous Sultana vines. *Vitis*, 12, 192-206.
- MEDEVILLE P., 1962. Comparaisons de rendements et qualités de vins produits par les vignes hautes et basses. *Journées C.E.T.A., Février-Mars, "Viticulture", Etude N° 611.*
- MERIAUX S., ROLLIN H., RUTTEN P., 1979. Effets de la sécheresse sur la vigne. I - Etudes sur *Cabernet-Sauvignon*, *Ann Agron.*, 30 (6), 553-575.
- MILLAR A.A., 1972. Thermal regime of grapevines. *Am. J. Enol. Viticult.*, 23, 173-176.
- NIGOND J., 1971 in "SEGUIN B., 1977. Conséquences agronomiques des modifications microclimatiques dues aux tours de réfrigération des centrales nucléaires. Rapport sur la vigne. *Convention E.D.F. - I.N.R.A. - Station de Bioclimatologie I.N.R.A., Avignon, 119 p.*"
- OLMO H.P., 1980. Review of mechanical harvest - present and future. *Comm. Int. Symp. 100 th Anniversary of Teaching and Research in the University of California-Davis.*
- OSLOBEANU M., POENARU I., HARTIA S., DEJEU L., OPREA A., JABBAR A.H., 1978. Critères modernes concernant la répartition territoriale des cépages de raisins de table en Roumanie. *Comm. 1er Symp. Int. Ecologie de la Vigne, Constanța, Roumanie.*
- PETERSON J.R., SMART R.E., 1975. Foliage removal effects on "Shiraz" grapevines. *Am. J. Enol. Viticult.*, 26 (3), 119-124.
- PEYNAUD E., 1971. De l'ampélogie à l'œnologie. in "RIBEREAU-GAYON et PEYNAUD, 1971 . t. II, 687-719."
- POGOCIAN S.A., MELKONIAN M.V., 1973. L'activité photosynthétique de la Vigne. *Prog. Agric. Vitic.*, 11, 240-242.
- 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. *Thèse d'Etat - Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux, N° d'ordre 123, 246 p.*

- PUCHEU-PLANTE B., 1977. Les sols viticoles du Sauternais - Etude physique, chimique et microbiologique. Alimentation en eau de la vigne pendant la maturation et la surmaturation du raisin. *Thèse 3ème cycle. Université de Bordeaux II - N° d'ordre 27*, 165 p.
- RADULOV L., BRAJKOV D., 1974. Développement du système racinaire chez la vigne en fonction de la densité de plantation et du procédé de formation. *Sodovod. Vinograd. Vinodel. Moldavi*, 5, 61-63.
- RAVAZ L., 1909. Influence des opérations culturales sur la végétation et la production de la vigne. *Annales de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Montpellier. Ed. COULET, Montpellier*, tome 8, fascicule 4, 231-291.
- REMOUE M., LEMAÎTRE C., 1980. Expérimentations en cours sur les systèmes de conduite. *Revue G.E.S.CO.*, 1., 29-31.
- REYNIER A., 1980. Coûts de plantation et temps de travaux pour différents systèmes de conduite du Bordelais. *Revue G.E.S.CO.*, 1, 36-41.
- RIBEREAU-GAYON G., 1966. Etude du métabolisme des glucides, des acides organiques et des acides aminés chez *Vitis vinifera* L. *Thèse série A., N° 4712, N° d'ordre 5560*.
- RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., RIBEREAU-GAYON P., SUDRAUD P., 1975. *Sciences et techniques du vin*, tome 2, 556 p.
- RIVES M., 1959. Sur les comparaisons de moyennes dans les essais variétaux. *Ann. Amélior. Plantes*, 3, 357-376.
- RIVES M., 1962. Sur l'analyse de la variance. *Ann. Amélior. Plantes*, 12 (1), 5-18.
- RIVES M., 1966 (a). Problèmes de l'expérimentation sur les plantes pérennes ligneuses, en particulier la Vigne. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Suppl. 16, 239-247.
- RIVES M., 1966(b). Etude critique des dispositifs expérimentaux sur la Vigne. *Ann. Amélior. Plantes*, 16 (4), 411-422.
- RIVES M., 1969. Description de l'hétérogénéité des champs d'expérience. *Biométrische Zeitschrift*, 11 (2), 113-122.
- RIVES M., 1972. Essais de porte-greffes multicombinaisons. *Connaiss. Vigne Vin*, 3, 223-235.
- RIVES M., LAFON R., 1972. Observations sur le cycle du déterminisme de la production chez la Vigne à l'occasion de la mise au point d'une méthode d'infection artificielle par le mildiou (*Plasmopara viticola*) pour l'évaluation des fongicides au champ. *Vitis*, 11, 34-52.
- RIVES M., 1973. Expérimentation sur la Vigne. *Conférence à l'I.T.V. Lons le Saunier*.

- RIVES M., CASTERAN P., LECLAIR Ph., 1973. Données non publiées.
- ROBINSON N., 1966. Solar radiation. *Ed. Elsevier publishing Company, Amsterdam, London, New-York.*
- ROY F., 1962. Les problèmes d'écartement, de palissage et de taille en vignes hautes à grand écartement. *Journées C.E.T.A., Février-Mars "Viticulture", Etude N° 606.*
- SEGUIN G., 1965. Etude de quelques profils de sols du vignoble bordelais. *Thèse 3ème cycle. Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux. N° d'ordre 357, 107 p.*
- SEGUIN G., 1970. Les sols de vignobles du Haut-Médoc. Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin. *Thèse d'Etat. Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux. N° d'ordre 301, 141 p.*
- SEGUIN G., 1971. Influence des facteurs naturels sur les caractères des vins. *in "Sciences et Techniques de la Vigne, Ed. DUNOD, Paris, tome 1, 672-725".*
- SHAULIS N.J., OBERLE G.D., 1948. Some effects of pruning severity and training on Fredonia and Concord grapes. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 263-270.*
- SHAULIS N.J., 1950. Cultural practices for New-York Vineyards. *Cornell extension bulletin, 805, 47 p.*
- SHAULIS N.J., KIMBALL K., TOMKINS J.P., 1953. The effect of trellis height and training systems on the growth and yield of Concord grapes under a controlled pruning severity. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 62, 221-227.*
- SHAULIS N.J., KIMBALL K., 1955. Effect of plant spacing on growth and yield of Concord grapes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 66, 192-200.*
- SHAULIS N.J., SHEPARDSON E.S., MOYER J.C., 1964. Grape harvesting research at Cornell VI. Pruning, training and trellising Concord grapes for mechanical harvesting in New-York. *Proceedings, annual meeting, New-York State Horticultural Society, 234-241.*
- SHAULIS N.J., SHEPARDSON E.S., 1965. The Geneva double curtain. A training system for New-York's vigorous grapes. *Farm Research, April-June, 2-3.*
- SHAULIS N.J., JORDAN T.D., TOMKINS J.P., 1966 (a). Cultural practices for New-York Vineyards. *Cornell extension bulletin, 805, 39 p.*
- SHAULIS N.J., SHEPARDSON E.S., JORDAN T.D., 1966 (b). The Geneva Double Curtain for Concord grapes. Vine training and trellis construction. *New York State Agricultural Experiment Station, Geneva. Bulletin 811, 14 p.*
- SHAULIS N.J., AMBERG H., CROWE D., 1966 (c). Response of Concord grapes to light, exposure and Geneva double curtain training. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 89, 268-280.*

- SHAULIS N.J., STEEL R.G.D., 1969. The interaction of resistant rootstock to the nitrogen, weed control, pruning and thinning effects on the productivity of Concord grapevines. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 94, 422-429.
- SHAULIS N.J., MAY P., 1971. Response of "Sultana" vines to training on a divided canopy and to shoot crowding. *Am. J. Enol. Viticult.*, 22 (4), 215-222.
- SHAULIS N.J., SMART R.E., 1975. Grapevine Canopies : management, microclimate and yield responses. *Comm. XIXth Symp. Int. Hort., Varsovie*.
- SHAULIS N.J., 1975. Analysis of yield of grapes. *Comm. XXVith Annual meeting Am. Soc. of Enologists., San Francisco*.
- SIEGEL S., 1956. Non parametric statistics. Ed. Mc-Graw Hill Book Company London, 312 p.
- SMART R.E., 1973. Sunlight interception by vineyards. *Am. J. Enol. Viticult.*, 24(4), 141-147.
- SMART R.E., 1974 (a). Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinefera*) *Am. J. Enol. Viticul.*, 25 (2), 84-91.
- SMART R.E., 1974 (b). Photosynthesis by grapevine canopies. *J. Appl. Ecol.*, 11 (3), 997-1006.
- SMART R.E., 1976. Implications of the radiation microclimate for productivity of vineyards. *PhD thesis Cornell Univ. Ithaca., New-York.*, 174 p.
- SNEDECOR G.W., COCHRAN W.G., 1957. Méthodes statistiques. Ed. Association de Coordination Technique Agricole, Paris, 649 p.
- SPENCER J.W., 1965. Calculation of solar position for building purposes. *C.S.I.R.O. Aust. Div. Build. Res. Tech. Pap.*, 14.
- SPIEGEL-ROY P., BRAVDO B.A., 1964. Le régime hydrique de la vigne. *Bull. O.I.V.*, 396, 113-140.
- STOEV K.D., 1966. Enrichissement en sucres et accroissement du volume des baies (mécanisme, facteurs : rôle du feuillage pour le rendement et la qualité du raisin; productivité du feuillage). *Acad. Sci. Agric. Bulgarie*, 180 p.
- VALAT C., 1962. Vignes hautes à grand écartement - Porte-greffes et cépages. *Journées C.E.T.A., Février-Mars, "Viticulture", Etude N° 609*.
- VARLET GRANCHER C., 1975. Variation et estimation de l'énergie d'origine solaire reçue sur des plans d'inclinaison et d'azimut variables. *Ann. Agron.*, 26 (3), 245-264.
- VAUTIER Ph., SIMON J.L., GNÁGI F., KOBLET W., ZANIER C.; TANNER H., 1978. Processus de maturation des grappes ensoleillées directement et des grappes situées à l'ombre du feuillage (*Vitis Vinifera*). *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, 10, 7-12.

- VERES A., VALACHOVIC A., POLAKOVIC F., 1978. Importance du rayonnement solaire pour la vigne et pour la récolte de raisins. *Comm. 1er Symp. Int. Ecologie de la Vigne. Constanța, Roumanie*
- VIALA P., VERMOREL V., 1910. Ampélographie. Ed. MASSON, Paris, tome 1, 731 p.
- WAGNER P., 1974. Wines, grapevines and climate. *Science*, 230, 107-115.
- WINKLER A.J., COOK J.A., KLIEWER W.M., LIDER L.A., 1974. General viticulture. Ed. University of California Press, Berkeley., Los Angeles, Londres, 710 p.
- ZULUAGA P.A., ZULUAGA E.M., LUMELLI J., DE LA IGLESIA F.J., 1968. Ecologia de la Vid en la Republica Argentina. *Universidad nacional de Cuyo - Facultad de Ciencias Agrarias - Catedra de Viticultura*. 151 p.