

CLIMAT ET SOL : CRITÈRES D'ÉVALUATION ET EFFETS SUR LE COMPORTEMENT DE LA VIGNE

A. CARBONNEAU

Professeur de Viticulture AGRO Montpellier

Institut Supérieur de la Vigne et du Vin

2, Place P. Viala

F - 34060 MONTPELLIER Cédex 1

Tél. 04.99.61.23. 60 - Fax : 04.99.61.20.64

Email iribarne@ensam.inra.fr.

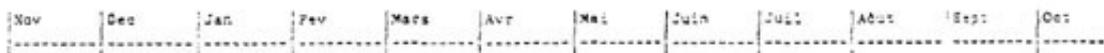
Le zonage viticole aborde en premier lieu la caractérisation des macroclimats aux échelles des grandes régions, pays, continents ou monde (géoviticulture). La méthodologie de caractérisation climatique et les premières applications au niveau des zones climatiques viticoles, sont présentés par Jorge Tonietto et Alain Carbonneau dans l'article du même ouvrage ' Systèmes de Classification Climatique Multicritères (CCM) Géoviticole ^a, suite aux publications de Tonietto et Carbonneau, 1998a et 1999, et de Tonietto, 1999. Le présent article s'adresse aux échelles du terroir (interaction ' mésoclimat x sol/sous-sol), de la petite région ou de la parcelle.

Dans une première partie un rappel sera fait de l'influence du climat sur un cycle végétatif moyen de la vigne. Dans une seconde partie les méthodes de caractérisation des sols seront résumées, puis la méthodologie du bilan hydrique potentiel du sol sera approfondie. Dans une troisième partie, sur la base du réseau de terroirs pour le cépage Syrah dans le midi de la France, les principaux éléments de la typicité des vins seront mis en relation avec des variables du climat, du sol et du comportement de la vigne.

CLIMAT ET CYCLE VÉGÉTATIF :

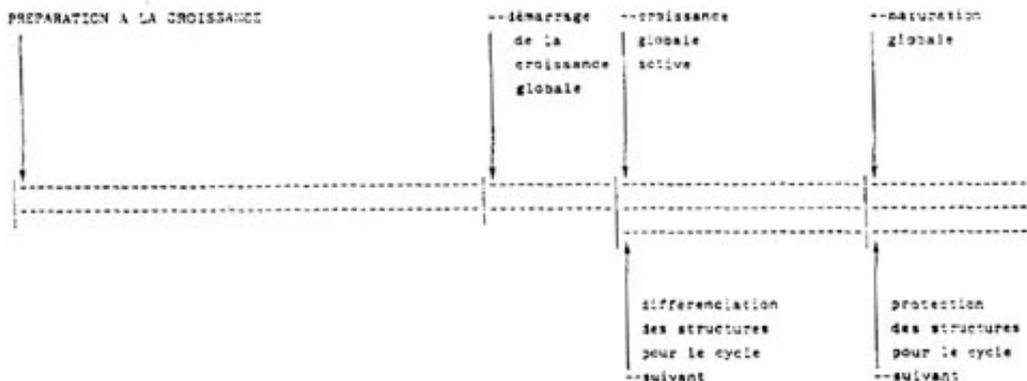
[Les figures 1,2,3 et 4](#) illustrent les principales influences connues du climat sur les organes de la vigne au cours du déroulement du cycle végétatif. La plupart de ces informations sont détaillées dans l'ouvrage ' Agrométéorologie de la Vigne ^a (Carbonneau et al., 1992).

CYCLE BIOLOGIQUE DE LA VIGNE
 PLANTE ENTIERE
 PRINCIPAUX STADES REPERES
 Calendrier moyen du Bordelais



PLANTE ENTIERE

PREPARATION A LA CROISSANCE



PRINCIPAUX STADES REPERES

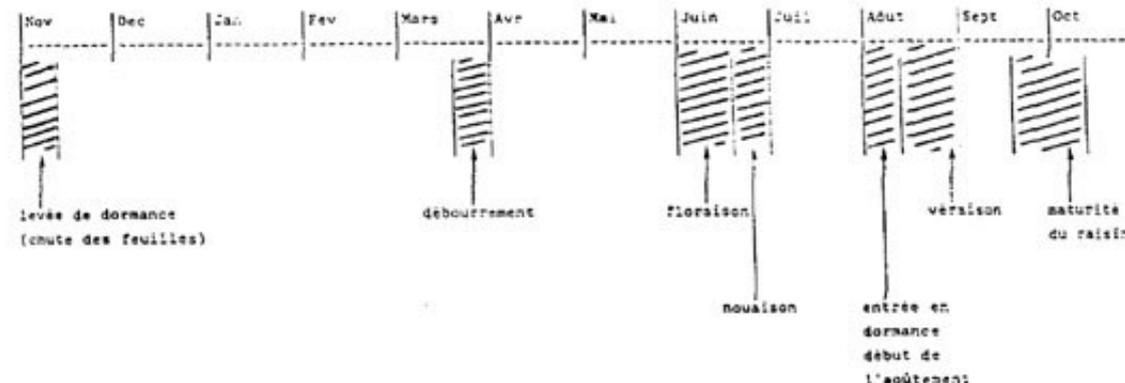


FIGURE 2

CYCLE BIOLOGIQUE DE LA VIE
 BOURGEONS LATENTS (A, A - 1)
 - action des principaux facteurs climatiques
 - calendrier moyen du Bordelais



BOURGEON LATENT (A - 1)



BOURGEON LATENT (A)

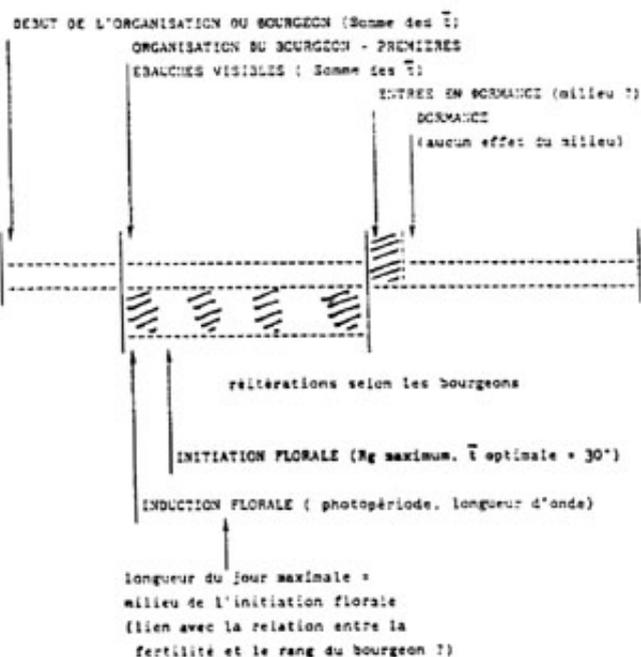


FIGURE 3

CYCLE BIOLOGIQUE DE LA VIGNE
 INFLORESCENCES, GRAPPES, BAIES
 - action des principaux facteurs climatiques
 - Calendrier moyen du Bordelais

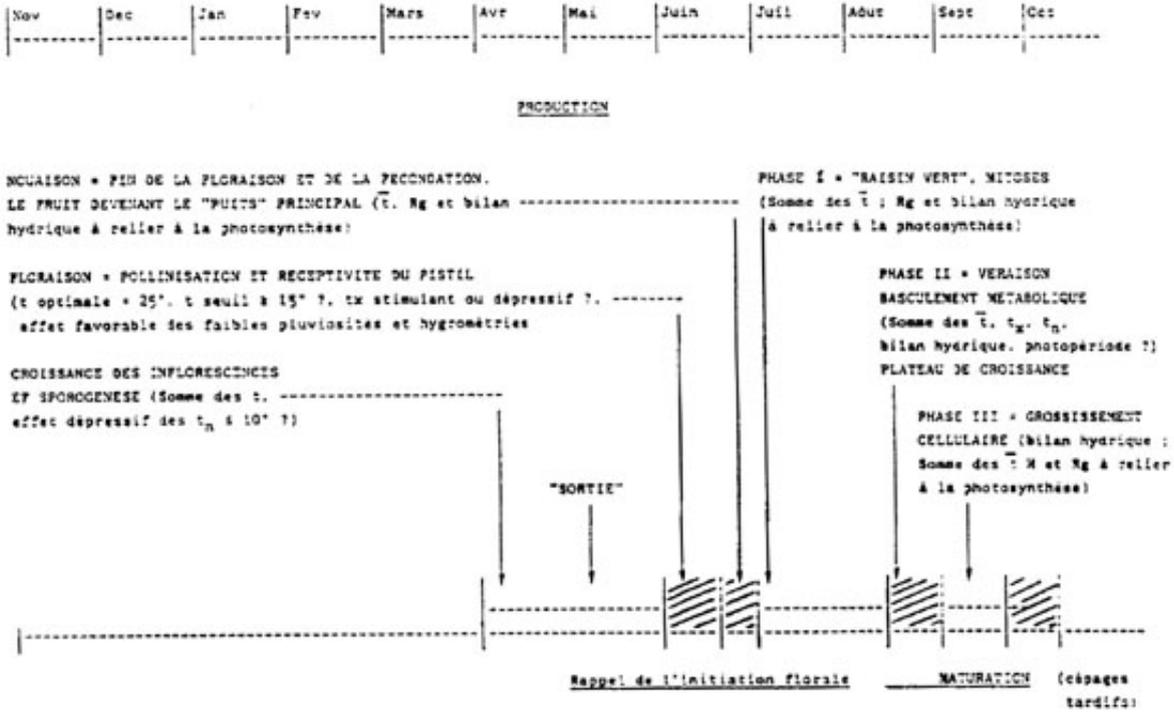
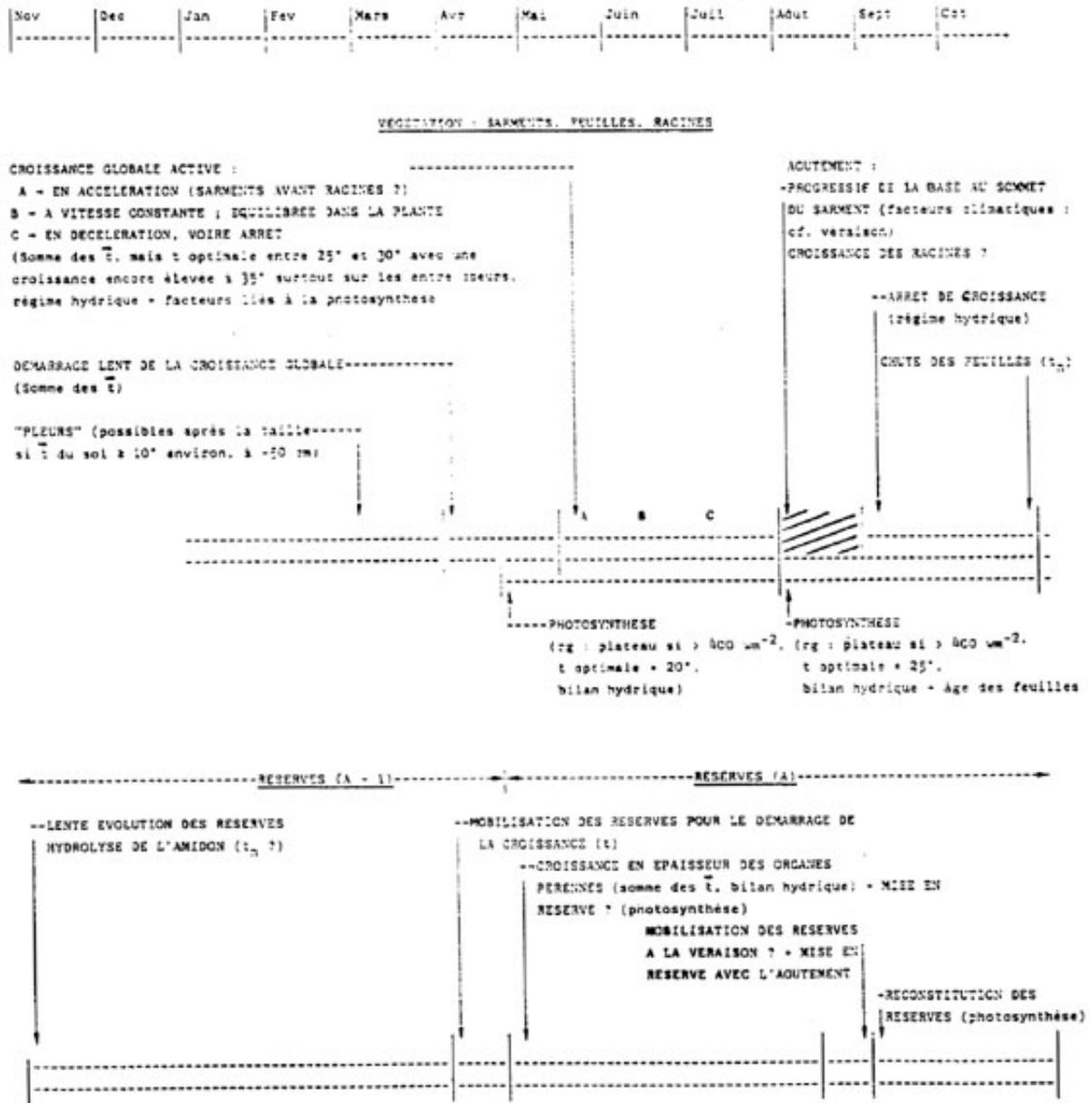


FIGURE 4

CYCLE BIOLOGIQUE DE LA VIGNE
VEGETATION ET ORGANES DE RESERVE
- action des principaux facteurs climatiques
- Calendrier moyen du Bordelais



Il convient de rappeler quelques points majeurs :

- le rôle permanent de la température tout au long du cycle végétatif, et la possibilité de modéliser sur des bases essentiellement thermiques en particulier les dates des stades phénologiques. Par exemple, le début du stade B ou première manifestation du débourrement, a été modélisé avec précision par Riou et Pouget (1992) ; en revanche les conditions de dormance et de sa levée restent encore mal connues sur l'ensemble de la gamme des climats.

- le renforcement de l'influence du facteur hydrique, contrainte hydrique notamment, au cours de la période estivale entre nouaison et véraison, et surtout après véraison.

- le phénomène 'plante entière'^a qui domine les particularités des organes, avec surtout le basculement à la véraison du fonctionnement global d'une activité de croissance dominante vers une activité de stockage ou de maturation.

Toutes ces informations et les modélisations qui leur sont liées, doivent servir de base de connaissances générales à toute étude de l'influence du climat et du sol sur le comportement de la vigne.

SOL ET BILAN HYDRIQUE POTENTIEL

Au sein de l'environnement climatique dont la méthode de caractérisation sur la base des indices de sécheresse, héliothermique et nycthermique est présentée par J. Tonietto, et A. Carbonneau, le sol doit être lui-même caractérisé. L'interaction ' mésoclimat x sol/sous-sol ' définit en effet l'Unité Terroir de Base, qui représente l'environnement en fonction duquel les choix technologiques du système cultural seront effectués pour aboutir à l'Unité de Terroir Viticole (Carbonneau, 1995a).

Il convient de rappeler que le sol doit d'abord être caractérisé de façon qualitative sur la base de la méthode de classification internationale en vigueur : type de sol, description des divers horizons, nature de la roche mère. Les cartes pédologiques constituent évidemment la base d'une telle connaissance.

Les facteurs édaphiques susceptibles d'entraîner des réponses au niveau du fonctionnement de la vigne doivent être quantifiés. Les informations les plus courantes sont les analyses de sol texture, pH, CEC, matière organique, éléments minéraux ...). Elles sont complétées par le diagnostic foliaire. Cependant l'information la plus pertinente vis à vis de la physiologie de la vigne ou de la qualité des vins ne se situe pas au niveau des analyses de sol. D'autres facteurs apparaissent plus importants.

Le pédoclimat. Il faut préciser qu'il s'agit du climat du sol lui-même, et non la combinaison des facteurs du sol et du climat. La température au voisinage des racines, ou plus communément la température du sol à 50cm de la surface, est un élément important, notamment au début du cycle végétatif. En effet, l'accélération du début de la croissance, une fois le débourrement effectué (et non pas le débourrement lui-même), est nettement stimulée par des températures de sol relativement élevées. Les sols légers et bien exposés se réchauffant vite au début du printemps, sont responsables de l'essentiel de la précocité des terroirs en zone septentrionale atlantique comme la moyenne vallée de la Loire (Morlat, 1997).

L'autre élément déterminant du sol et dont l'effet est véritablement universel pour tous les terroirs, est la réserve hydrique du sol et sa gestion au cours du cycle végétatif. Les premiers éléments de sa quantification sont l'estimation de la réserve utile (RU en mm sur le premier mètre de sol) qui est une donnée souvent disponible, et la profondeur exploitable par les racines de la vigne. Cette dernière est une information fondamentale sans laquelle toute analyse de sol n'a qu'un intérêt limité. Le sondage du terrain à la tarière, l'exécution de fosses avec des tractopelles, sont des opérations nécessaires, en particulier avant l'installation du vignoble et le choix du matériel végétal, porte-greffe surtout.

Néanmoins ces données ne permettent pas de véritablement quantifier la réserve hydrique totale du sol (d'autant que l'on n'estime qu'une profondeur supposée d'enracinement et non une profondeur d'assèchement) ; tout au plus peut-on établir des classes, ce qui est déjà très utile pour l'estimation du W_o du bilan hydrique potentiel (Riou et al., 1994), par exemple : W_o voisin de 100 mm (sol superficiel drainant), de 200 mm (référence habituelle), de 300 mm(sol profond ou sur nappe permanente).

Il apparaît donc nécessaire de proposer une méthode qui puisse estimer de façon continue, représentative du vignoble, et suffisamment précise, la réserve hydrique du sol. A ce jour trois méthodes sont mises en oeuvre à cet effet :

- l'établissement et le suivi des profils hydriques de sol grâce à un humidimètre à neutrons dont les limites sont les sols en pente à drainage profond, les sols sur nappe phréatique, et plus généralement la

localisation du tube qui n'est pas représentative de la morphologie racinaire (avec en particulier la très faible chance de rendre compte d'un fonctionnement racinaire profond en raison de la très faible probabilité de rencontrer une racine profonde) ;

- la mesure du flux de sève dans le tronc par la méthode du flux de chaleur qui permet de suivre avec précision le flux de transpiration et donc l'évolution de la réserve utile du sol, mais qui ne permet pas d'accéder à la RU, et qui pose des problèmes énormes d'échantillonnage de ceps en raison de l'hétérogénéité considérable entre ces derniers (par exemple variation habituelle de 1 à 10 d'expression végétative);

- la mesure du potentiel hydrique foliaire (potentiel de base et potentiel minimum) ou celle du potentiel de tige, permettent de résoudre les problèmes d'échantillonnage et de caractériser avec une fiabilité acceptable la situation hydrique, mais sont incapables d'estimer directement la RU ; cependant ces mesures servent véritablement de référence et d'élément d'étalonnage d'autres méthodes.

Face à ce vide relatif de méthodes disponibles, la méthode suivante est proposée. Elle s'appuie sur les concepts classiques de réserve utile RU, de réserve facilement utilisable RFU, de potentiel capillaire du sol en rapport avec son humidité volumique, de relation entre le potentiel du sol au voisinage des racines et le potentiel hydrique foliaire, enfin sur la relation entre la matière sèche produite et le rapport ETR/ETM (évaporation réelle/évapotranspiration maximale). Cette méthode ne nécessite qu'un outillage réduit ; mais doit être validée par quelques mesures de potentiel hydrique foliaire à la chambre à pression qui doit être un outil largement diffusé. La méthode s'appuie sur les lois suivantes.

Loi n°1 : Relation entre ETR/ETM et le stock d'eau disponible dans le sol W/W_0 (figure 5). Cette relation suppose que dans la fraction RFU de la RU, ou lorsque $K_s \geq W/W_0 \geq 1$, ETR/ETM ou mieux TR/TM reste voisin de 1, ce qui traduit l'absence d'une régulation spéciale vis à vis d'une contrainte hydrique (rappelons tout de même que la plante doit ici être adaptée au fort gradient de potentiel hydrique entre l'air et le sol). TR/TM peut d'ailleurs être considéré comme équivalent à TR/Tv ou TR/kETP selon la formule de Riou.

Cette relation suppose que dans la fraction de réserve de survie RS ($RS = RU - RFU$), ou lorsque $0 < W/W_0 < K_s$, ETR/ETM décroît rapidement le long d'une courbe calée entre le zéro et l'asymptote à 1, courbe approximable pour beaucoup d'agronomes à une droite.

Loi n°2 : Relation entre la matière sèche produite et ETR/ETM ou ETR/ETP (figure 6).

L'eau est le principal facteur limitant de la production de matière sèche par une culture dans la gamme des pratiques culturales habituelles. Ceci est encore plus vrai pour une liane comme la vigne. A l'intérieur de cette gamme une relation linéaire largement admissible existe entre d'un côté la matière sèche produite MS, et de l'autre ETR/ETM ou TR/TM ou TR/kETP. La figure 6 exprime cette relation linéaire largement admise en agronomie.

Ainsi, ETR/ETP par exemple peut être assimilé avec précision à MS qui représente la puissance ou matière sèche totale avec l'estimation suivante :

$MS = 0,5 B + 0,2 P$, où B est le poids des bois de taille (expression végétative) et P le poids de vendange. Il peut être admis que B représente la puissance, dont il est l'élément prépondérant et surtout le plus constant dans le temps.

Il existe deux façons d'estimer ETR/ETP au moyen de MS :

a/ on connaît une situation d'abondance hydrique tout au long du cycle végétatif dans le vignoble

considéré (exemple : irrigation au voisinage de l'ETM) avec ses caractéristiques variétales et culturales : on détermine ainsi MS max lorsque $ETR/ETP = 1$; en outre on admet le passage de la droite par le zéro ; et pour une année considérée on peut donc avoir : $ETR/ETP = MS/MS \text{ max}$. C'est probablement la façon la plus commode d'estimer la pente de la droite une fois pour toutes dans la parcelle.

b/ on connaît une situation hydrique de façon complète avec ETR1 (exemple de profils hydriques validés), ETP1 et MS1 ; la pente de la droite vaut MS1 (ETP1/ETR1), et pour une année considérée on peut donc avoir : $ETR/ETP = (ETR1/ETP1)(MS/MS1)$

Loi n°3 : Relation entre le potentiel hydrique du sol et l'humidité volumique du sol, afin d'estimer Ks (figure 7).

La figure 7 rappelle la relation classique entre le potentiel hydrique du sol, et l'humidité volumique du sol exprimée en % de la capacité du champ. Il est clair que pour un potentiel hydrique du sol donné, l'humidité volumique relative du sol W/W_0 sera plus élevée pour un sol riche en éléments fins que pour un sol riche en éléments grossiers.

Par ailleurs le potentiel hydrique foliaire de base de la plante traduit celui du sol au voisinage des racines et donc le degré de contrainte hydrique. A ce niveau il existe des valeurs référence pour la vigne, qui permettent de considérer que la contrainte hydrique induisant une régulation stomatique significative ne se produit qu'en dessous de - 2 bars de potentiel hydrique foliaire de base (Carbonneau, 1997). Cette valeur peut donc être reportée sur la figure 7 et permettre ainsi de déterminer le W/W_0 pour le sol considéré. Ks vaut donc W/W_0 correspondant au potentiel hydrique de -2 bars.

Une telle mesure peut être effectuée au laboratoire, avec suivi conjoint du potentiel capillaire et de l'humidité volumique sur toute sa gamme, sur un prélèvement des horizons de sol exploités par les racines, ceci une fois pour toutes pour le sol considéré. La difficulté technique existe néanmoins au niveau du prélèvement de l'échantillon de sol in situ, et aussi de la prise en compte d'un horizon précis ou d'une tranche de sol particulière au cours de la saison (exemple : le premier mètre du 1er avril au 15 juillet, et l'écart de profondeur 0,5m - 1,5m du 15 juillet à la vendange).

Calcul de W_0 : En rassemblant les données issues des lois n° 2 et 3, il est possible de préciser la loi n° 1 en ayant en ordonnées MS/MS_{max} , et en abscisses W/W_0 . Il représente ETR/ETP à un facteur d'échelle près dont la connaissance n'est d'ailleurs pas obligatoire ici, avec la valeur du Ks calculée (figure 8). Le calcul de W_0 en découle dans la partie où $MS/MS_{\text{max}} < 1$, soit au voisinage du point de séparation des deux tendances ($MS/MS_{\text{max}} \cong 1$ et $W/W_0 \cong Ks$), soit pour un point quelconque ($MS1/MS_{\text{max}} = W1/W_0$).

Dans le premier cas, il convient de bien vérifier que la régulation stomatique n'est pas significative sur le cycle et/ou que le potentiel hydrique foliaire de base a été pratiquement toujours supérieur à -2bars ; alors il vient $W/W_0 \cong Ks$ ou $W_0 \cong W/KS$. Il faut noter qu'une telle possibilité n'existe que si la vigne est en permanence pendant la période de calcul de W à la limite de l'enclenchement de la régulation stomatique. En pratique ceci ne peut pas se produire à l'échelle du cycle végétatif, mais seulement pendant une partie de ce dernier et à condition que l'on vérifie l'absence de régulation stomatique.

Dans le second cas, le calcul peut s'effectuer sur l'ensemble du cycle. C'est la méthode qui est

largement recommandée. Il vient ici $W_0 = W_1 (MS \text{ max}/MS_1)$.

Il faut simplement vérifier avec une marge de sécurité que $\frac{W_1}{W_0} < K_s$, pour être sûr de pouvoir utiliser la relation linéaire entre MS/MS_{max} et W/W_0 .

A l'échelle du cycle ou d'une période qui permet de calculer le bilan de matière sèche MS_1 , connaissant MS_{max} , il est possible de calculer W_1 selon la formule de Riou, mais en tenant compte de l'évolution saisonnière de k (Tonietto et Carbonneau), et en intégrant les informations disponibles concernant le ruissellement r^a (soustrait des pluies) et l'évaporation du sol (mesures in situ d'évaporation, consommation de l'herbe si besoin). Ainsi :

$$W_1 = W_0 + \sum_{1-4}^{30-9} (P-r) - \sum_{1-4}^{30-9} T_v1 - \sum_{1-4}^{30-9} E_{s1} \quad \text{avec}$$

$T_v = kETP$, k fonction de l'interception du rayonnement

$E_s = N_j (1-k) ETP_j$ ou tout modèle de E_s plus précis que celui de Riou

En combinant les deux équations précédentes, il vient :

$$W_0 = \frac{MS_{\text{max}}}{MS_{\text{max}} - MS} \left[\sum_{1.4}^{30-9} T_v1 + \sum_{1.4}^{30-9} E_{s1} - \sum_{1.4}^{30-9} (P-r) \right] \quad (\text{mm})$$

N.B : il convient de rappeler ici que le calcul s'effectue dans des conditions de contrainte hydrique ; le terme entre crochets est donc positif, la pluie ne compensant pas l'évapotranspiration potentielle pendant le cycle végétatif.

DESCRIPTEURS DU COMPORTEMENT DE LA VIGNE

La prise en compte des indices climatiques et l'estimation du W_0 renforcent l'intérêt du suivi d'observations classiques : stades phénologiques, poids des bois de taille et charge, poids de vendange. De même, l'appréciation de la qualité doit être mise en rapport : analyses biochimiques des raisins et des vins, analyse sensorielle des vins.

Les facteurs écophysologiques explicatifs de la qualité qui sont apparus les plus pertinents dans de nombreux essais de l'AGRO Montpellier ou de l'INRA et dans le réseau national 'modèle qualité' de le Centre Technique Interprofessionnel de la Vigne et du Vin (Riou et Carbonneau, 1999), sont :

- La Surface Foliaire Exposée potentielle SFEP, (Carbonneau, 1995b) en équilibre avec la puissance MS (bilan de matière sèche) ou la production de raisins. Il est important de noter SFEP (au moins la hauteur du feuillage) de façon évolutive au cours du cycle végétatif avec le niveau atteint à la floraison et celui à la véraison en particulier.

- la vigueur ou poids moyen du sarment, en décomposant le poids du sarment principal et celui de ses entrecoeurs qui reflète correctement la vigueur estivale (de même que l'effet du rognage qui se traduit très souvent du reste par une stimulation de la vigueur estivale).

- l'ensemble de ces données peut être organisé sous forme de 'triptyque' global (Carbonneau, 1996) afin d'estimer le fondement du potentiel qualitatif (Carbonneau, 1999a). D'autres variables écophysologiques et microclimatiques concernant les feuilles, les raisins, les racines ou le vieux bois sont à rajouter à ces facteurs de base pour affiner la connaissance selon les particularités de l'environnement ou de la conduite du vignoble (Carbonneau, 1990 a et 1997).

Ces principaux facteurs écophysologiques combinés aux indices climatiques et à la réserve hydrique du sol, ont été mis en rapport avec les éléments de la typicité et de la qualité des vins notés en analyse sensorielle. Les résultats ci-après permettent de fournir quelques explications écophysologiques du déterminisme de la typicité et de la qualité des vins.

VALIDATION DES METHODES DE CARACTÉRISATION DU CLIMAT ET DU SOL ET DE DESCRIPTION DU COMPORTEMENT DE LA VIGNE, AU TRAVERS DE LEURS LIAISONS AVEC LES VARIABLES DE L'ANALYSE SENSORIELLE DES VINS.

La validation des méthodes proposées est faite en rapport avec les données de l'analyse sensorielle des vins du réseau ' Syrah ^a (Tonietto, 1999). Ce réseau coordonné par l'AGRO Montpellier/INRA en liaison avec les techniciens locaux, comporte 18 parcelles régulièrement suivies en 1994, 1995, 1996, et couvrant l'ensemble de la zone méditerranéenne française. Chaque parcelle possède un système cultural classique pour la région et comparable, de façon à mettre en évidence les principaux effets de l'environnement climatique (mésoclimat, millésime) et édaphique (type de sol, réserve hydrique). Les vinifications ont été centralisées à la Station Expérimentale INRA de Pech Rouge, et les analyses sensorielles effectuées par un collègue formé à la méthode d'analyse sensorielle de l'AGRO Montpellier.

L'analyse des principaux résultats sur l'écophysologie et la qualité des vins, avec la mise en évidence de groupes de terroirs stables sur l'ensemble des millésimes a été présentée par Tonietto (1999).

Les figures 9,10,17,18,19,14, représentent les résultats des Analyses en Composantes Principales des données climatiques, édaphiques, écophysologiques et sensorielles ensemble. Le projection des diverses variables est visualisée sur le graphique des deux premières composantes principales qui représentent un peu plus de la moitié de la variation totale, ce qui est admissible pour interpréter des données de dégustation (Carbonneau, 1990b). La première composante décrit surtout (projections proche de cette composante et du cercle des corrélations) des variables sensorielles représentant la richesse ou l'Agrément Général du Vin lié pour l'essentiel à la maturité du raisin ; la seconde composante ne décrit rien de précis à elle seule, mais intervient en combinaison avec la première pour positionner, en situation intermédiaire entre les deux composantes et près du cercle des corrélations, quelques variables de typicité aromatique ou l'astringence.

La méthode d'interprétation proposée est l'appréciation qualitative de la proximité des variables sur ces graphiques, variables dont on a vérifié au préalable qu'elles sont effectivement significativement corrélées deux à deux sur l'ensemble des données ou des composantes. Sur ces bases, le point de projection de la variable, ainsi que le point diamétralement opposé par rapport à l'origine, sont entourés d'un cercle de rayon égal au 1/3 de la distance des deux points précédents. Ceci est répété pour toutes les variables corrélées entre elles.

Ainsi de façon graphique et indicative, est matérialisée une zone de proximité par rapport aux valeurs élevées d'une variable X concernant toute projection sur ce graphique d'autres variables, et une autre zone de proximité similaire pour -X ; l'espace intermédiaire non matérialisé apparaît donc peu relié à la variable X. Dans la mesure où les cercles de ce type correspondant à deux variables se regroupent, il est possible d'admettre leur proximité ou leur correspondance ce qui jette les bases d'une hypothèse explicative de leur liaison de cause à effet.

La figure 9 représente le graphique des deux premières composantes principales avec le cercle des corrélations sur l'ensemble des données du réseau ' Syrah ^a, avec la projection des variables significativement corrélées avec l'une de ces composantes.

Sont fortement associées à la première composante principale les variables sensorielles suivantes : chaleur (CHA), intensité colorante (ICO), concentration (CON), persistance aromatique intense (PER), gras (GRA) ; dans une moindre mesure et à l'opposé des précédentes : note végétale (VEG). Incontestablement cet axe traduit la richesse et la qualité globale du vin par effet de la maturation du

raisin.

Aucune des autres variables n'apparaît associée à la deuxième composante principale ; mais elles sont en situation d'influence conjointe par les deux composantes principales : pour les variables sensorielles, astringence (AST) , note fruitée (FRU), et dans une moindre mesure note épicée (EPI), note florale (FLO), note empyreumatique (EMP), note balsamique (BAL), acidité (ACI); pour les variables explicatives, l'estimation de la réserve hydrique du sol par le bilan de matière sèche (MS), l'indice de sécheresse (IS) noté W, l'indice héliothermique (IH), l'indice nycthermique ou de fraîcheur des nuits (IF), le rapport entre la Surface Foliaire Exposée potentielle et le poids de récolte (SFEP/P).

Les figures 10,11,12,13,14 permettent de visualiser les proximités entre les variables précédentes, en regroupant ces dernières en fonction de leurs corrélations deux à deux. Seule la variable ACI se trouve quasiment écartée de l'analyse avec une seule corrélation négative avec IS ou W, ce qui pourrait s'interpréter comme une perception de l'acidité tartrique dans le vin lorsque le raisin est issu de conditions de sécheresse. Les autres variables sensorielles peuvent être associées de façon plus pertinente à des variables explicatives importantes.

La figure 10 permet d'entrevoir une explication de l'astringence des vins (au stade jeune). En effet les meilleurs recouvrements des cercles de proximité entre AST et d'autres variables concernent dans l'ordre décroissant : IH, -MS et -W, IF, SFEP/P.

L'explication dominante est que l'astringence du vin découle au départ de conditions générales chaudes et sèches. S'agit-il d'un effet direct de l'un de ces facteurs ou des deux combinés sur les éléments du raisin responsables de l'astringence (qui restent à déterminer) ? S'agit-il d'un effet indirect au travers de la précocité de maturité, puisque la conjonction sécheresse et chaleur stimulant la concentration en sucres, inciterait à une récolte avant 'maturité phénolique' effective ? En tout cas la manipulation de IH et IS, en Ecotron (Carbonneau et de Loth, 1985) par exemple, permettrait de répondre objectivement à ces questions.

La figure 11 concerne le groupe de variables responsables de l'Agrément Général du Vin, de sa richesse et de son équilibre global. Cette association est rencontrée régulièrement en analyse sensorielle (Carbonneau, 1990b ; Morlat, 1997). Les meilleurs recouvrements des cercles de proximité concernent dans l'ordre décroissant : SFEP/P, - MS, -W et IH. L'explication dominante est la stimulation de la maturité du raisin via la concentration en sucres et en composés phénoliques du raisin en fonction de l'équilibre nutritionnel 'source-puits' représenté par SFEP/P (Carbonneau, 1996 et 1999 a), ainsi qu'en fonction de conditions globalement sèches et chaudes (Carbonneau, 1994 ; Tonietto, 1999) avec ici probablement un effet supplémentaire de vigueur défavorable à la maturité (Champagnol, 1984) qui est représenté en partie par MS. L'ensemble de ces résultats est classique, et des modélisations afférentes existent dans divers réseaux (Carbonneau 1992 et 1994 ; Tonietto 1999).

N.B : la note EMP peut être associée au groupe précédent en traduisant très probablement un début de tendance à la surmaturité.

La figure 12 concerne la variable note végétale VEG. Elle se situe à l'opposé du groupe de variables précédent et traduit à l'évidence le manque de maturité du raisin même si les vins présentant ce caractère n'étaient pas très 'herbacés' ni agressifs. L'explication est donc symétrique du cas précédent : -SFEP/P, MS, W et -IH.

La figure 13 est relative à la variable note balsamique BAL qui traduit des arômes de résine (sans interférence ici avec le boisé d'une barrique) ou d'essences de plantes sauvages (exemple : laurier). Les recouvrements sont dans l'ensemble assez moyens. Néanmoins on peut noter les influences de : - MS, -W, IH et aussi IF avec SFEP/P. L'interprétation serait analogue, mais avec moins de netteté, à

celle de la figure 11 traduisant l'Agrément Général du Vin et la maturité du raisin. La note BAL pourrait être considérée comme une étape vers la pleine maturité, à partir d'un niveau de faible maturité caractérisé par la note VEG.

La figure 14 traduit le positionnement d'un groupe de variables d'impressions aromatiques qui sont caractéristiques du cépage Syrah et souvent associées de façon intense dans le même vin. Rappelons que la plupart des vins de Syrah étaient caractérisés par une grande complexité, ce qui a certainement empêché le jury de pouvoir dissocier et hiérarchiser de telles impressions aromatiques. En particulier sont bien identifiées les notes fruitées comme le cassis (FRU), les notes épicées comme la réglisse (EPI), les notes florales comme la violette (FLO). Le meilleur recouvrement est sans conteste celui avec SFEp/P ce qui corrobore, non seulement l'effet positif déjà constaté de cette variable sur la maturité du raisin avec une large palette aromatique associée, mais encore un effet microclimatique spécifique lié à l'exposition elle-même de l'ensemble des feuilles et pour partie celle des grappes. Ce dernier phénomène, lié par exemple à la conduite en lyre, a été observé très largement pour de nombreux terroirs et cépages (Carbonneau, 1999b). Il convient également de signaler le recouvrement intéressant avec -IF, ce qui étaye l'observation courante que les vins les plus aromatiques ou les plus fins proviennent de régions à nuits fraîches pendant la maturation. Des données du même type existent concernant le raisin de table (Tonietto et Carbonneau, 1998b). Enfin les autres recouvrements apparaissent marginaux, et simplement de nature à nuancer les interprétations précédentes. Ces dernières devraient être définitivement démontrées par reproduction des conditions écophysiologicals en dispositif Ecotron (Carbonneau et de Loth, 1985).

CONCLUSION :

Sur l'ensemble de ces résultats, les variables explicatives voient leur pertinence statistique validée, et ouvrent des perspectives objectives de progrès des connaissances dans le déterminisme de la typicité et de la qualité des vins à partir du modèle ' Syrah ^a. Il convient de souligner en particulier :

- l'influence très large de SFEp/P, surtout au niveau de l'Agrément Général du Vin ou de la maturité , de l'opposition aux notes végétales, des notes aromatiques favorables, fruitées, épicées et florales ;
- l'influence forte de IH sur l'astringence, l'Agrément Général du Vin ou de la maturité, l'opposition aux notes végétales, les notes balsamiques ;
- l'influence forte de -MS ou -IS (-W) sur l'astringence, l'Agrément Général du Vin ou la maturité, l'opposition aux notes végétales, les notes balsamiques, avec une contribution accentuée de -MS estimateur de la réserve hydrique du sol au niveau de la maturité et des notes balsamiques ;
- le rôle occasionnel mais intéressant de -IF sur les notes aromatiques favorables fruitées, épicées et florales, mais également sur les notes balsamiques ; à noter enfin l'association entre IF et l'astringence dans l'effet global de IH à ce niveau.

Globalement donc, les éléments de typicité des vins de Syrah, notamment FRU, FLO, EPI, BAL, sont sous la dépendance de facteurs écophysiologicals stricts comme SFEp/P qui traduisent l'interaction entre le système cultural (même si le type global était imposé) et le terroir, et aussi de facteurs climatiques très stables du terroir comme la fraîcheur des nuits pendant la maturation.

L'astringence traduit surtout une influence du terroir, combinaison des conditions héliothermiques du cycle et du bilan hydrique avec la réserve hydrique du sol.

Les éléments de qualité , d'Agrément Général du Vin, ou de maturité du raisin, en opposition avec le caractère végétal sous la dépendance conjointe de facteurs écophysiologicals ou culturaux (SFEp/P), et de facteurs du terroir (-IS ou -W, -MS, IH). Des modélisations sont déjà développées sur ces éléments qualitatifs.

En revanche, l'essentiel du progrès des méthodes de caractérisation du terroir et du comportement écophysiologique du vignoble, doit concerner la typicité. Des descripteurs trop globaux ou pris isolément comme des notes aromatiques précises, ont un intérêt plutôt limité. Il convient de s'attacher notamment aux équilibres entre les variables sensorielles des vins dans le cadre d'analyses complexes.

Références bibliographiques

BROCHET P., GERBIER N., 1974. L'évapotranspiration. Aspect agrométéorologique ; évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. **S.M.M. Climatologie - Paris**.

CARBONNEAU A., LOTH C. de, 1985. Influence du régime d'éclairement journalier sur la résistance stomatique et la photosynthèse brute chez Vitis vinifera L. cv. Cabernet-Sauvignon. **Agronomie**, 5 (7), 631-638.

CARBONNEAU A., 1990 a. Mécanismes généraux de l'influence du système de conduite sur la qualité des vins. Intérêt qualitatif et économique des vignes en lyre : premières indications de leur comportement en situation de vigueur élevée. **Atti Accademia Italiana della vite e del vino**, 325-346.

CARBONNEAU A., 1990b. Influence de la conduite du vignoble sur la qualité des vins. **C.R. Acad. Agric.**, 76 (1), 13-21.

CARBONNEAU A., RIOU C., GUYON D., RIOM J., SCHNEIDER C., 1992. Agrométéorologie de la vigne en France. **Office des publications officielles des Communautés Européennes, Luxembourg**, 168p.

CARBONNEAU A., 1992. La teneur en sucres du raisin. **Progr. Agric. Vitic.**, 109 (22), 495-500.

CARBONNEAU A., 1994. Le zonage des potentialités viticoles à l'échelle de l'Union Européenne. **Progr. Agric. Vitic.**, 111 (22), 505-514.

CARBONNEAU A., 1995 a. La notion complexe de terroir. **Progr. Agric. Vitic.**, 112 (2), 29-30.

CARBONNEAU A., 1995 b. La Surface Foliaire Exposée potentielle. Guide pour sa mesure. **Progr. Agric. Vitic.**, 112 (9), 204-212.

CARBONNEAU A., 1996. General relationships within the whole plant : examples of the influence of vigour status, crop load and canopy exposure on the sink ' berry maturation ^a for the grapevine. **Acta Horticulturae**, 427, 99-118.

CARBONNEAU A., 1997. Interactions ' Terroir x Vigne ^a : Facteurs de maîtrise du micro-environnement et de la physiologie de la plante en rapport avec le niveau de maturité et les éléments de typicité. **In C.R. 1er Coll. Int. Les Terroirs Viticoles, Angers, France, 17-18 juillet 1996**, 147-153.

CARBONNEAU A., 1999a. Actualités et perspectives en agronomie de la vigne en France. **C.R. GESCO**, 11, vol.1, 99-110.

CARBONNEAU A., 1999 b. Conduite en Lyre dans le monde : les résultats d'une première expérience. **Progr. Agric. Vitic.**, 116 (12), 276-277.

CHAMPAGNOL F., 1984. Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale. **Dehan**

Montpellier Ed., 351p.

MORLAT R., 1997. Eléments importants d'une méthodologie de caractérisation des facteurs naturels du terroir, en relation avec la réponse de la vigne à travers le vin. **In. C.R. 1er Coll. Int. Les Terroirs Viticoles, Angers, France, 17-18 juillet 1996**, 17-31.

RIOU C., POUGET R., 1992. Nouvelles propositions pour évaluer la vitesse de débourrement des bourgeons de la vigne et modélisation de la date de débourrement. **J. Int. Sci. Vigne Vin**, 26 (2), 63-74.

RIOU C., CARBONNEAU A., 1994 a. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. **Office des publications officielles des Communautés Européennes, Luxembourg** :, 322p.

RIOU C., DURAND J.F., CARBONNEAU A., 1999. Modélisation de la qualité de la vendange à partir de l'analyse des données agronomiques et climatiques d'un réseau national. **C.R. GESCO**, 11, vol.1, 280-285.

TONIETTO J., CARBONNEAU A., 1998a. Macroclimat viticole et groupes climatiques de la vitiviniculture mondiale. In : SIMPOSIO INTERNAZIONALE TERRITORIO E VINO, **Siena, 1998**, p71. **(Abstract degli interventi)**.

TONIETTO J., CARBONNEAU A., 1998b. Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de l'A.O.C. Muscat du Ventoux dans le Département de Vaucluse. **Progr. Agric. Vitic.**, 115 (12), 271-279.

TONIETTO J., 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France : méthodologie de caractérisation. Thèse de Doctorat, **Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier**, 233p.

TONIETTO J., CARBONNEAU A., 1999. Analise mundial do clima das regioes viticolas e de sua influencia sobre a tipicidade dos vinhos : a posicao da viticultura brasileira comparada a 100 regioes em 30 paises. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 9, 7 a 10 de dezembro de 1999, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves : Embrapa Uva e Vinho/Jorge Tonietto e Celito C. Guerra, ed, 75-90.

[Figure 5](#) - Relation admise en agronomie entre le rapport ETR/ETM ou ETR/ETP et la fraction d'eau disponible dans le sol W/Wo.

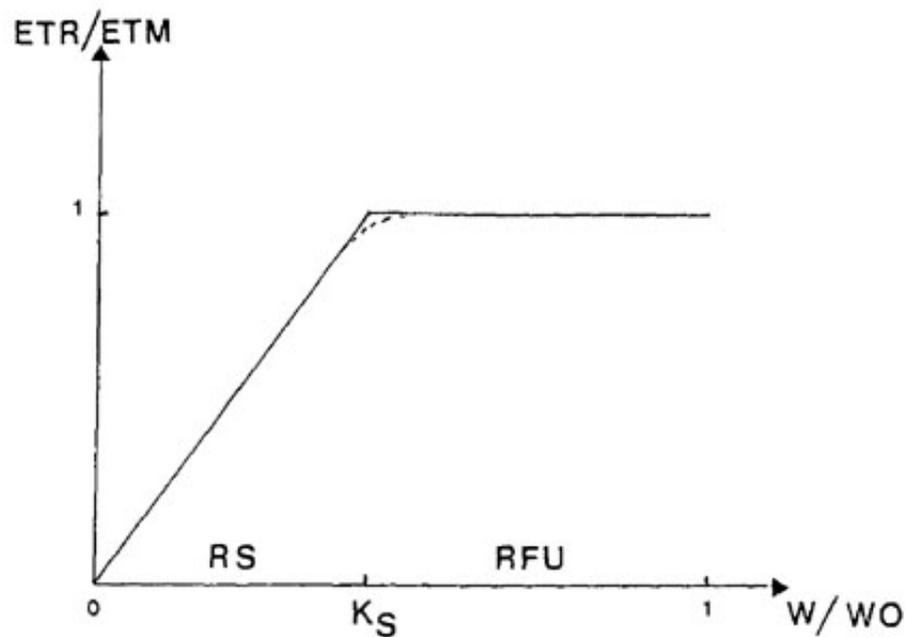


Figure 5 - Relation admise en agronomie entre le rapport ETR/ETM ou ETR/ETP et la fraction d'eau disponible dans le sol W/W_0 .

$ETR/ETM = 1$ lorsque la culture bénéficie de la RFU (Réserve Facilement Utilisable) ou lorsque $K_s \leq W/W_0 \leq 1$

$ETR/ETM < 1$ lorsque $0 < W/W_0 < K_s$ avec une relation linéaire acceptable en dessous de K_s dans les limites de RS (Réserve de Survie).

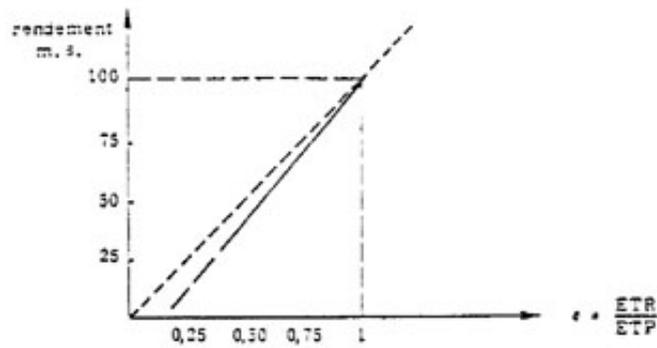
D'après Brochet et Gerbier, 1974.

$ETR/ETM = 1$ lorsque la culture bénéficie de la RFU (Réserve Facilement Utilisable) ou lorsque $K_s \leq W/W_0 \leq 1$

$ETR/ETM < 1$ lorsque $0 < W/W_0 < K_s$ avec une relation linéaire acceptable en dessous de K_s dans les limites de RS (Réserve de Survie).

D'après Brochet et Gerbier, 1974.

[Figure 6](#) - Relation linéaire entre la matière sèche produite par une culture et ETR/ETP ou ETR/ETM.



Relations entre le rendement en matière sèche
et le rapport $\frac{ETR}{ETP}$ (d'après Robelin)

Figure 6 - Relation linéaire entre la matière sèche produite par une culture et ETR/ETP ou ETR/ETM.

D'après Brochet et Gerbier 1974.

La linéarité est admissible pour la vigne dans la plage médiane 0,25 - 0,75 d'ETR/ETM.

D'après Brochet et Gerbier 1974.

La linéarité est admissible pour la vigne dans la plage médiane 0,25 - 0,75 d'ETR/ETM.

[Figure 7](#) - Relations entre le potentiel hydrique ou capillaire du sol ψ et l'humidité volumique du sol H assimilable à W/W_0 , pour deux types extrêmes de sol, grossier et fin. A noter pour un même potentiel, la différence d'humidité volumique entre les deux types de sol.

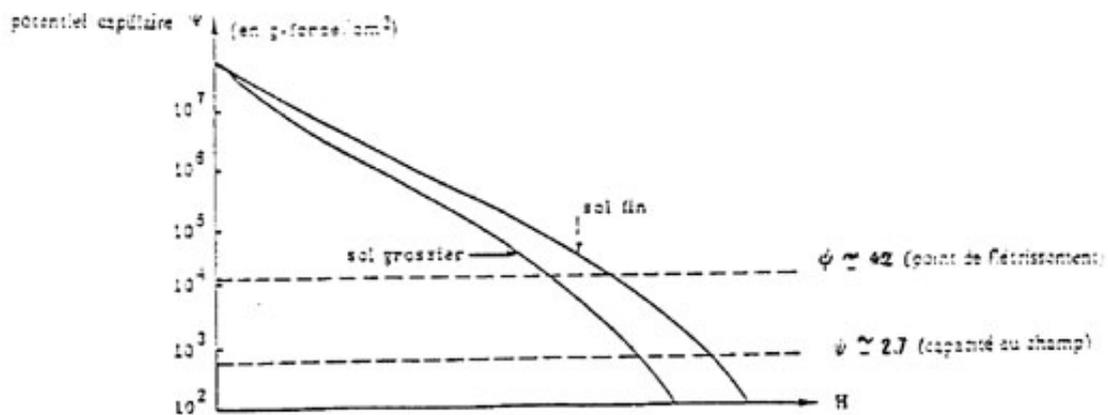


Figure 7 - Relations entre le potentiel hydrique ou capillaire du sol ψ et l'humidité volumique du sol H assimilable à W/W_0 , pour deux types extrêmes de sol, grossier et fin. A noter pour un même potentiel, la différence d'humidité volumique entre les deux types de sol.

D'après Brochet et Gerbier, 1974.

K_s est définie comme la fraction d'eau disponible dans un sol donnée à ψ égal à -2 bars (estimable par le potentiel hydrique foliaire de base).

D'après Brochet et Gerbier, 1974.

K_s est définie comme la fraction d'eau disponible dans un sol donnée à ψ égal à -2 bars (estimable par

le potentiel hydrique foliaire de base).

Figure 8 - Relation entre MS/MS_{max} et W/W_0 . Calcul de W_0 connaissant MS_1 et W_1 dans la plage où $0 < W_1/W_0 < K_s$.

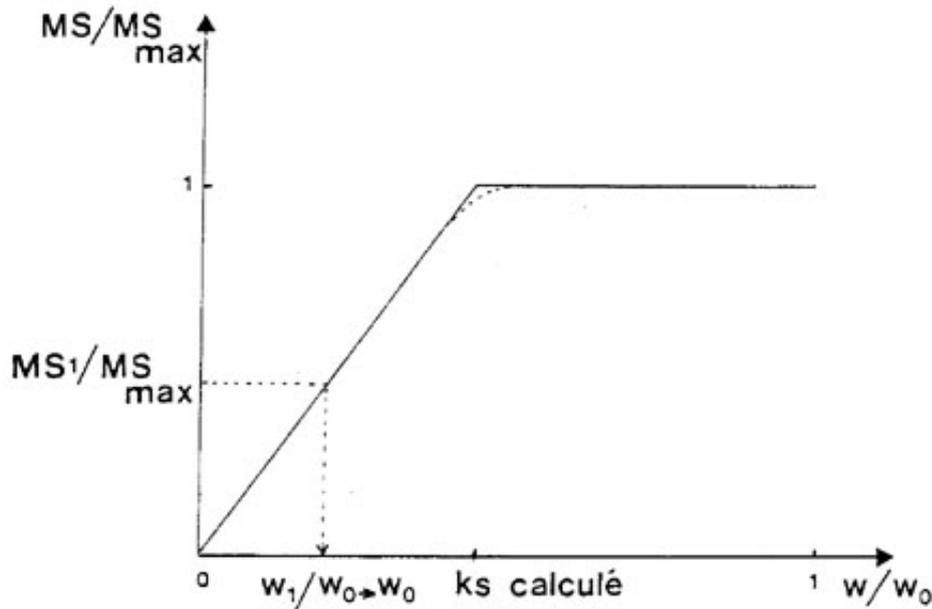


Figure 8 - Relation entre MS/MS_{max} et W/W_0 . Calcul de W_0 connaissant MS_1 et W_1 dans la plage où $0 < W_1/W_0 < K_s$.

Légende commune aux figures 9,10,11,12,13,14.

Analyse en Composantes Principales des résultats du réseau ' Syrah ^a et visualisation de la proximité des variables effectivement corrélées.

Variables sensorielles des vins à expliquer :

. AST : astringence

. CHA : chaleur

. ICO : intensité colorante

. CON : concentration

. PER : persistance aromatique intense

. GRA : gras

. VEG : note végétale

. BAL : note balsamique

- . FRU : note fruitée
- . FLO : note florale
- . EPI : note épicée
- . EMP : note empyreumatique
- . ACI : acidité

Variables écophysiological explicatrices :

- . IH : indice héliothermique
- . IS ou W : indice de sécheresse ou bilan hydrique potentiel
- . MS : matière sèche produite estimateur de W_o
- . IF : indice nycthermique ou de fraîcheur des nuits pendant la maturation
- . SFEP/P : rapport entre la Surface Foliaire Exposée potentielle et la production de raisins.

figure 9 : projection de l'ensemble des variables sur le graphique défini par les deux premières composantes principales avec le cercle des corrélations.

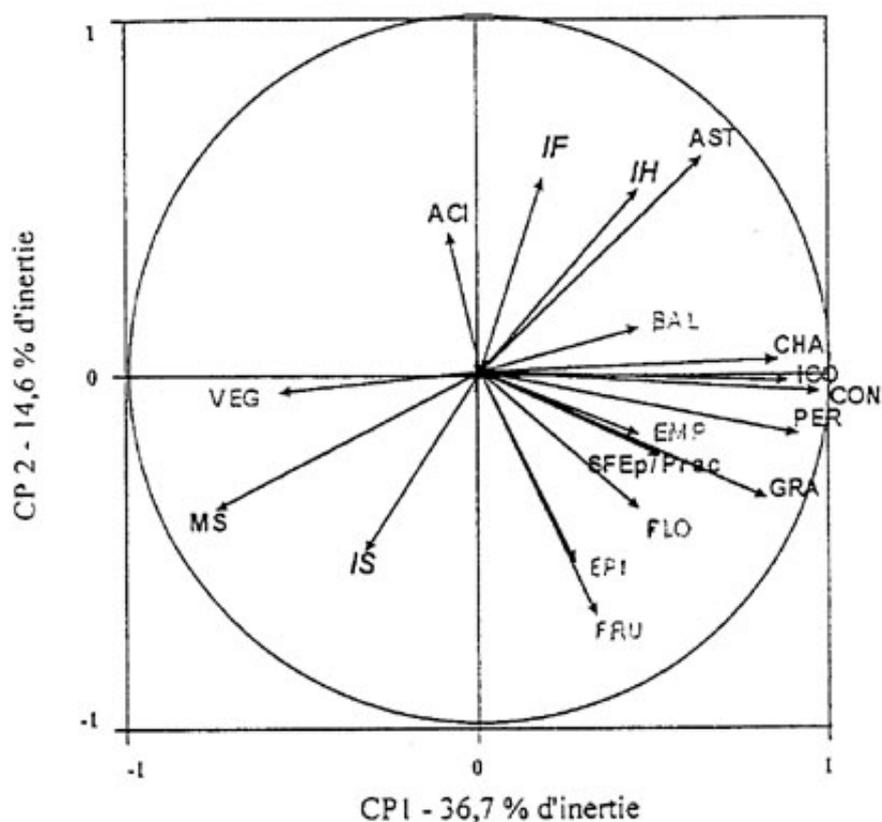
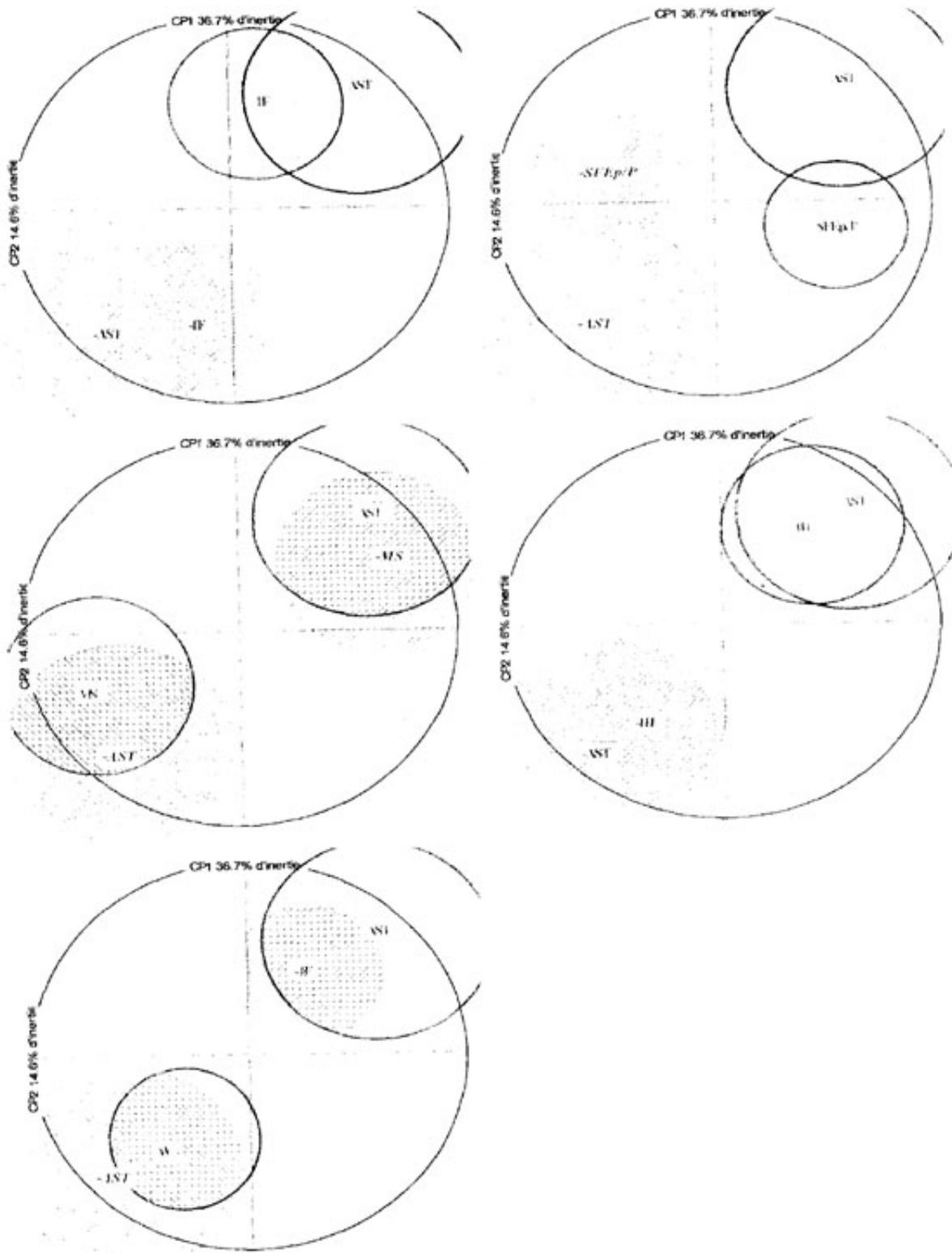
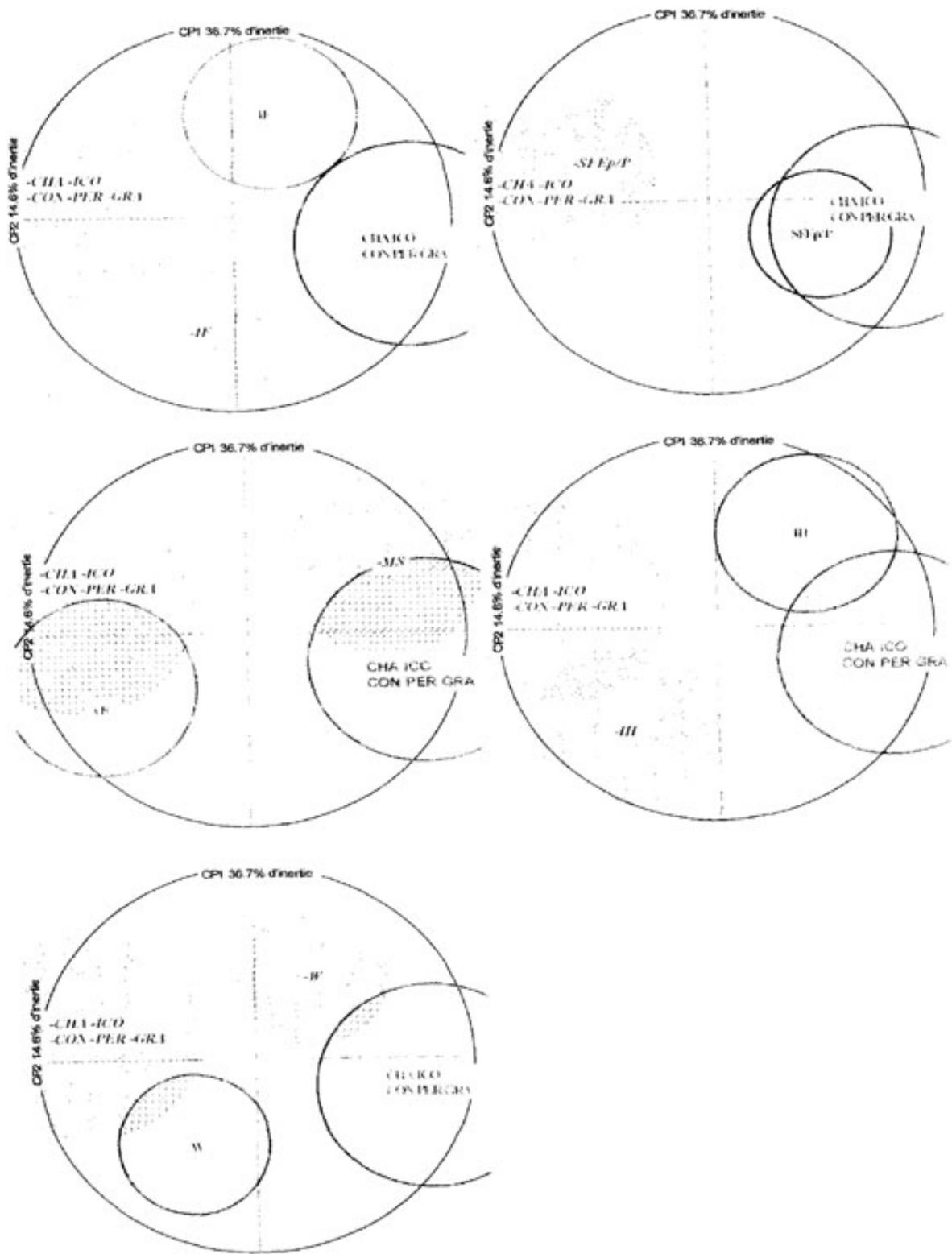


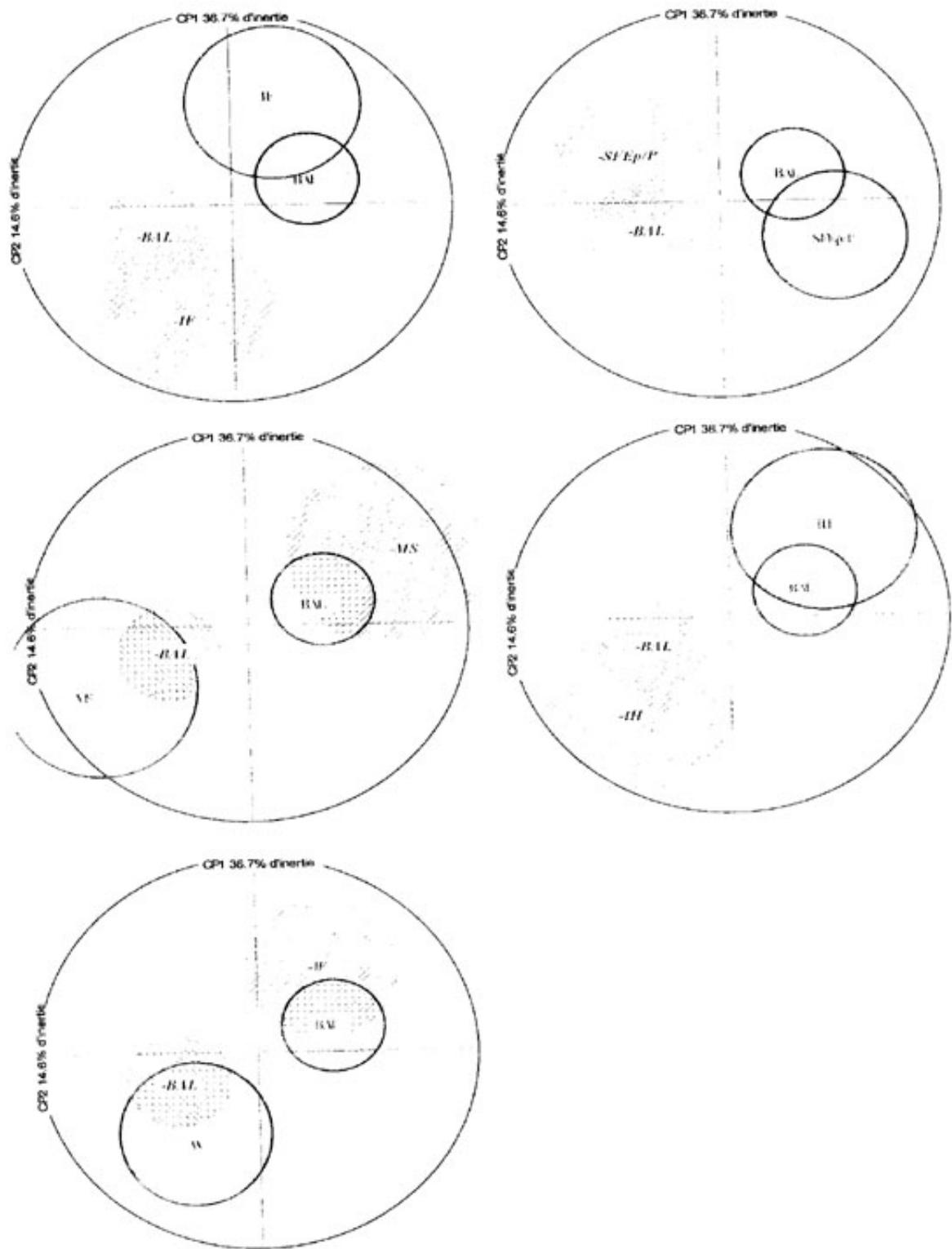
figure 10 : correspondances par rapport à l'astrigence



[figure 11](#) : correspondances par rapport à l'Agrément Général du Vin



[figure 12](#) : correspondances par rapport à la note végétale



[figure 14](#) : correspondances par rapport au complexe de typicité aromatique de la Syrah ; notes fruitée, épicée, florale.

