J. Int. Sci. Vigne Vin, 1996, **30**, n°4, 221-236

QUELQUES APPORTS DE L'ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE A L'ANALYSE DE DONNÉES SENSORIELLES

CONTRIBUTION OF MULTIPLE FACTOR ANALYSIS TO SENSORY DATA STUDY

J. PAGES

Institut National Supérieur de Formation en Agro-alimentaire
65, rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes (France)

Résumé : Un ensemble de 32 juges (structuré en deux sous-jurys : œnophiles et œnologues) a évalué un ensemble de 50 vins mousseux (dont 26 champagnes) à l'aide d'une fiche de dégustation comportant 24 descripteurs.
Nous présentons ici un traitement de ces données par l'Analyse Factorielle Multiple (AFM), méthode factorielle qui s'applique à des tableaux dans lesquels un ensemble d'individus (ici les 50 vins) est décrit par plusieurs groupes de variables (ici les descripteurs de chaque juge).
Cette approche fournit les résultats classiques de l'analyse factorielle (représentation des vins et des descripteurs) mais aussi des résultats spécifiques de ce type de données : superposition des représentations des vins vus par chaque juge et représentation des juges eux-mêmes. Ceci permet de mettre en évidence, dans le cadre d'une unique analyse, toutes les facettes de la variabilité des produits et de la variabilité des juges.

Abstract : Multiple Factor Analysis (MFA) deals with data in which a set of individuals is described by several sets of variables. Such data are frequently encountered in sensory analysis, for example when we want to compare panels, or to point out relationships between sensory data and chemical data. We present an application of MFA to data in which 50 sparkling wines (including 26 champagnes) are evaluated by 32 assessors (amateurs and oenologists) through 24 descriptors. Here, wines play the role of individuals ; the variables are the 32 × 24 descriptors ; one group gathers descriptors associated to a single assessor.
In this example, some questions are particularly important.
What are the main factors in the perception of these wines ? Are descriptors correlated ? Were champagnes perceived different than the other wines ? Do amateurs perceived these wines as oenologists ? Are chemical data correlated to sensory data ?
This application shows the interest of MFA, which provides firstly classical results of factor analysis. Thus, graphical displays of wines and of descriptors point out a clear opposition between the champagnes and the other wines. Champagnes were perceived more sparkling (this result is interesting because effervescence is subjected to a glass effect which usually masks differences between wines), with a stronger taste and aroma of old wines. From a chemical point of view, champagnes have a high measured effervescence and a low level of SO_2.
MFA provides also results specific to such multiple tables :
- graphical displays of variables groups ; here a group corresponds to a judge (each one contains the descriptors used by one judge) that is to say to the wines configuration associated to one judge. On this graphic, judges who globally perceived the wines in the same manner are close one to the other. In this application, surprisingly, there is no clear distinction between amateurs and oenologist.
- graphical displays of wines according to each judge. The 32 configurations of wines (each one for a single judge) are superimposed, as in procrustes analysis (the principles of the two methods are different but, from the point of view of this graphic, they are similar). This study shows wines perceived quite in the same manner by the different judges, and wines which are subject of various judgements.
- a set of canonical correlation coefficients : here they indicate that the first factor of MFA, which opposes champagnes to the other wines, is common to quite all groups (that is to say to all judges).
All these results derive from a single analysis. Thus it is possible to study, in a unique framework, all the aspects of wines variability and judges variability.

Mots clés : Analyse Factorielle Multiple, analyse sensorielle, vins mousseux, Champagne

Key words : Multiple Factor Analysis, sensory analysis, sparkling wines, Champagne

INTRODUCTION

L'Analyse Factorielle Multiple -AFM- (ESCOFIER et PAGES, 1984, 1993) est une méthode factorielle qui s'applique à des tableaux « individus × variables » dans lesquels les variables sont structurées en groupes. De tels tableaux sont très fréquents en analyse sensorielle : comparaison de plusieurs jurys, confrontation de données sensorielles et physico-chimiques, etc.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Plusieurs méthodes statistiques ont été conçues pour traiter des tableaux multiples : analyse canonique, analyse procustéenne (PIGGOTT *et al.*, 1986 ; SZTRYGLER *et al.*, 1990), INDSCAL (SCHIFFMAN *et al.*, 1981), STATIS (LAVIT, 1988). Les objectifs de l'AFM s'apparentent à ceux de ces méthodes.

Nous présentons ici une application de l'AFM à des données sensorielles dans laquelle une grande importance est accordée à la variabilité des dégustateurs, sujet qui a fait l'objet d'études approfondies (GAZANO, 1989).

DESCRIPTION DU RECUEIL DES DONNÉES

Un ensemble de 32 juges a évalué un ensemble de 50 vins mousseux à l'aide d'une fiche de dégustation comportant 24 variables (ou descripteurs).

Les 32 juges se composent de deux sous-jurys : 25 œnophiles et 7 œnologues ou experts. Les deux sous-jurys ont dégusté à 3 mois d'intervalle, dans des conditions aussi proches que possible. Dans la suite, les juges sont identifiés par un numéro de 1 à 25 pour les œnophiles et de 26 à 32 pour les experts.

Les 50 vins comprennent 26 vins de Champagne et 24 vins mousseux de différentes appellations (Saumur, Vouvray, Crémant de Bourgogne et d'Alsace, Blanquette de Limoux, etc.). Dans la suite, les vins sont identifiés par un numéro de 1 à 50, précédé de la lettre C (pour champagne) ou M (mousseux autres que champagne). Cette distinction est aussi introduite dans la variable *type de vin*, de type qualitatif à deux modalités (C ou M).

Les 24 variables sont regroupées dans une fiche de dégustation qui aborde toutes les phases de la dégustation (examen visuel, olfactif et en bouche). Leur liste est donnée en annexe. Il s'agit de notes variant de 1 à 5. Nous considérons ici ces variables comme quantitatives.

Les dégustations se sont déroulées dans des salles équipées pour l'analyse sensorielle, pourvues de boxes individuels. Les vins ont été évalués anonymement et présentés par séries de 10 échantillons. Pour des raisons pratiques, les experts ont dégusté les vins dans le même ordre ; pour chaque série, les œnophiles ont été subdivisés en trois groupes dégustant chacun les vins dans un ordre différent.

Les vins ont aussi fait l'objet d'analyses physico-chimiques usuelles (cf. liste en annexe).

PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

I — QUELQUES QUESTIONS

L'objectif principal était de caractériser chacun des vins. Compte tenu du grand nombre de vins et de variables, ces caractérisations devaient être synthétisées à l'aide d'une représentation factorielle.

Outre cet objectif principal, plusieurs thèmes devaient être abordés.

- Quels sont les principaux facteurs de variabilité dans la perception de ces vins ?

- Quelles variables sont liées ? Quelles variables sont indépendantes ?

- Les champagnes sont-ils perçus différemment des autres vins ?

- Les œnophiles portent-ils des jugements sur les vins différents de ceux des experts ?

- Les variables chimiques sont-elles liées aux variables sensorielles ?

II — LA VARIABILITÉ ENTRE JUGES

Cet article aborde tous ces thèmes. Mais nous souhaitons focaliser l'attention sur la variabilité entre les juges. En effet, la plupart des analyses sensorielles visent essentiellement à caractériser des produits en faisant plus ou moins explicitement l'hypothèse de l'homogénéité du jury. Il est donc opportun de profiter d'une étude comme celle-ci, qui concerne beaucoup de produits, pour développer quelques aspects méthodologiques dans l'étude de la diversité d'un jury. Le langage que nous utilisons s'inspire de l'expérimentation. La donnée élémentaire est x_{ijk}, valeur attribuée par le juge j, au vin i, du point de vue de la variable k. Cette valeur mesure une perception. Cette mesure est soumise à trois effets clairement identifiés :

- un effet vin : pour telle ou telle variable, l'ensemble du jury attribue des notes plus fortes à certains vins qu'à d'autres ; l'interprétation de cet effet ne pose généralement pas de problème : il est considéré comme dû à des propriétés physico-chimiques des produits. On dira ainsi, par exemple, que tel vin *est* plus acide, moins amer, etc.

- un effet juge : pour telle ou telle variable, certains juges attribuent des notes plus fortes à l'ensemble des vins que d'autres ; ainsi, par exemple, on observe que certains juges ont noté tous les vins très amers, très peu acides, etc. L'interprétation de cet effet est rarement immédiate : provient-il de la perception elle-même (tel

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

juge est plus sensible que d'autres à telle sensation) ou de l'expression de cette perception (mode d'utilisation de l'échelle de notation, références plus ou moins explicites, etc.) ?

- une interaction vin × juge : pour certaines variables, certains vins sont notés fortement par certains juges et faiblement par d'autres ; cette interaction peut être envisagée sous deux angles : celui des produits (les vins ne sont pas perçus de la même manière par tous les juges) et celui des variables (les variables n'ont pas la même signification d'un juge à l'autre). C'est souvent à cette interaction que l'on fait plus ou moins explicitement référence lorsque l'on évoque la variabilité entre les juges.

De manière générale, l'intérêt de l'étude de l'interaction produit × juge est multiple :

- tempérer et enrichir l'effet produit : tempérer, car des écarts entre moyennes peuvent masquer d'importantes variabilités ; enrichir, car la diversité des perceptions relatives à un produit est un élément de la caractérisation de ce produit ;

- connaître les juges, aspect précieux si l'on est conduit à travailler souvent avec le même jury ;

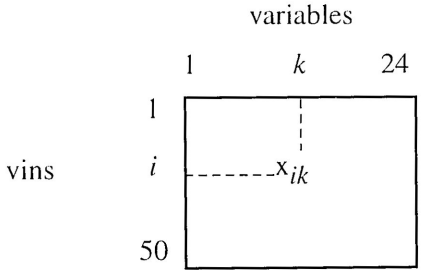
- mieux comprendre la perception des produits.

QUELQUES FAÇONS CLASSIQUES D'APPRÉHENDER LES DONNÉES

On dispose d'un ensemble de valeurs x_{ijk} (note attribuée au vin *i*, par le juge *j*, du point de vue de la variable *k*). Fondamentalement, la structure de ces données est cubique. Les méthodes factorielles s'appliquant à des tableaux rectangulaires, on considère généralement l'un des tableaux suivants.

I — TABLEAU I : TABLEAU DES MOYENNES (VINS × VARIABLES)

TABLEAU I



x_{ik} : moyenne, sur 32 juges, de la variable *k* pour le vin *i*.

x_{ik} : mean of wine *i* for variable *k*, calculated from the whole panel (32 judges).

A l'intersection de la ligne *i* et de la colonne *k* se trouve la moyenne des notes attribuées au vin *i* du point de vue de la variable *k*.

Ce tableau est très simple et de faible encombrement. Il masque la variabilité due aux juges ce qui, selon les cas, est un avantage ou un inconvénient.

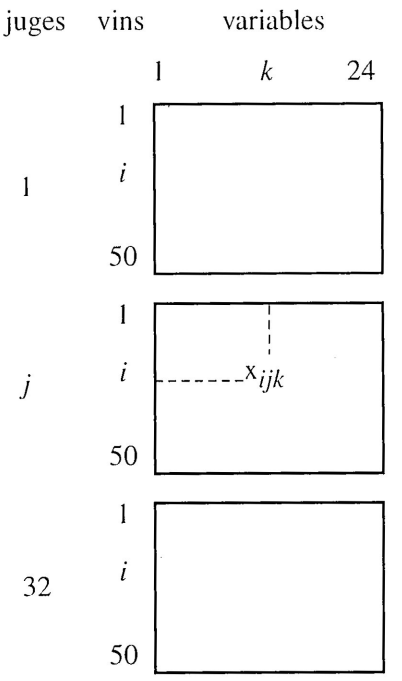
Son traitement par ACP est surtout intéressant si l'on dispose de beaucoup de produits. On peut alors lui adjoindre des données analytiques en tant que variables supplémentaires.

II — TABLEAU II : TABLEAU DES FICHES [(VINS × JUGES) × VARIABLES]

C'est le mode de présentation des données le plus fréquent. Il permet d'étudier simultanément l'effet vin et l'effet juge ; l'interaction vin × juge apparaît en termes de vins perçus différemment selon les juges. Ainsi, comparer les descriptions du même vin par deux juges différents revient à comparer deux lignes du tableau.

Ce tableau est fondé sur le fait que les juges utilisent les mêmes variables. En revanche, il supporte que tous les juges n'aient pas dégusté exactement les mêmes vins.

TABLEAU II

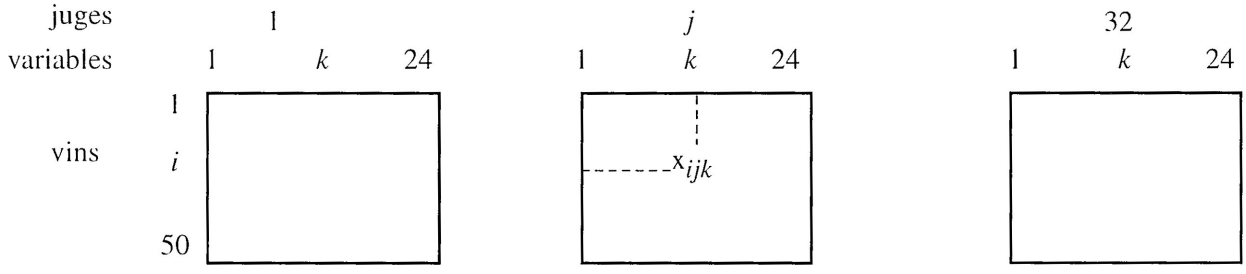


Une ligne représente une fiche de dégustation (description d'un vin par un juge).
x_{ijk} : note de 1 à 5 attribuée au vin *i*, par le juge *j*, pour la variable *k*.

A row represents a questionnaire (one wine described by one judge).
x_{ijk} : value (in a 5-point scale) of wine *i*, given by judge *j*, according to variable *k*.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

TABLEAU III



x_{ijk} : note de 1 à 5 attribuée au vin *i*, par le juge *j*, pour la variable *k*.

x_{ijk} : value (in a 5-point scale) of wine *i*, given by judge *j*, according to variable *k*.

On peut centrer (et aussi réduire) ce tableau juge par juge : on élimine ainsi l'effet juge pour focaliser l'analyse sur l'effet vin et l'interaction vin × juge.

III — TABLEAU III : TABLEAU DES VINS [VINS × (VARIABLES × JUGES)]

Ce mode de représentation est rarement utilisé : son grand nombre de colonnes le rend peu maniable par les logiciels usuels. Il permet d'étudier l'effet vin, l'effet juge (au travers des moyennes et des écarts-types des colonnes, ce qui disparaît par centrage et réduction) et l'interaction vin × juge qui apparaît cette fois en termes de variables utilisées différemment d'un juge à l'autre. Ainsi, comparer l'utilisation d'une même variable par deux juges différents revient à comparer deux colonnes du tableau.

Ce tableau se fonde sur le fait que les juges ont dégusté les mêmes vins. En revanche, il supporte que les juges n'utilisent pas tous les mêmes variables (il peut être construit dans le cas limite du libre choix des descripteurs par les juges). Cette propriété est intéressante même dans le cas où tous les juges utilisent une fiche comportant les mêmes descripteurs : elle revient alors à s'affranchir de l'hypothèse selon laquelle les juges ont la même compréhension des descripteurs.

Son traitement par ACP est précieux surtout si l'on dispose de beaucoup de produits. On peut alors lui adjoindre des données analytiques en tant que variables supplémentaires.

IV — UNE SYNTHÈSE POSSIBLE

Dans le cadre d'une étude de la variabilité des juges, il est souhaitable d'aborder l'interaction vin × juge selon les deux points de vue (celui des lignes du tableau II et celui de colonnes du tableau III). La réalisation séparée des ACP des tableaux II et III est possible mais la synthèse des résultats peut être rendue difficile du fait même qu'ils proviennent d'analyses différentes.

Pour pallier cet inconvénient, on peut analyser le tableau I en lui adjoignant les tableaux II et III en tant qu'éléments supplémentaires. Cette voie permet d'étudier toutes les facettes de la variabilité due aux juges dans un cadre unique. Mais ce cadre est construit à partir du seul effet vin : dans la variabilité due aux juges seule, la part liée à un effet vin peut être mise en évidence.

L'AFM du tableau III, dans laquelle chaque juge constitue un groupe, permet d'étudier les vins décrits par chaque juge (lignes du tableau II) et les variables utilisées par chaque juge (colonnes du tableau III) dans un cadre unique dont la construction s'appuie sur l'ensemble des données et non seulement sur les moyennes du tableau I. A ce tableau III, on adjoint un certain nombre de groupes de variables supplémentaires : le tableau I, description *moyenne* des vins par l'ensemble du jury, l'analogue du tableau I mais construit uniquement à partir des œnophiles d'une part et des experts d'autre part, le tableau des données physico-chimiques et la variable *type de vin* (tableau IV).

Cette méthode a été mise en oeuvre en centrant et réduisant les données (la réduction, qui donne la même importance *a priori* à chaque variable, n'est pas obligatoire dans ce type de données).

L'AFM est décrite en détail par ailleurs. Ses principales caractéristiques sont mises en évidence au cours du commentaire des résultats.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

I — REMARQUE PRÉLIMINAIRE SUR LA PONDÉRATION DES GROUPES

Dans un premier temps, on peut considérer l'AFM comme une ACP du tableau III dans laquelle les variables sont pondérées afin d'équilibrer l'influence *a priori* des groupes. La nécessité d'une telle pondéra-

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

TABLEAU IV

	1	768	24	24	24	7	1
vins	1 *i* 50	tableau III	tableau I 32 juges	tableau Ia œnophiles	tableau Ib experts	variables physico- chimiques	type de vin

Données soumises à l'AFM
- tableaux III et I : voir définition plus haut ;
- tableaux Ia et Ib : tableaux de moyennes analogues au tableau I mais qui ne prennent en compte que les 25 œnophiles (Ia) ou les 7 experts (Ib).
- 7 variables physico-chimiques (liste en annexe)
- type de vin : une seule variable qualitative à deux modalités (champagne, mousseux).
- seul le tableau III, composé de 32 groupes, intervient en actif ; les 5 autres tableaux constituent chacun un groupe supplémentaire.

- tables I and III : see definition above.
- tables Ia and Ib : tables of means, analogous to table I, but calculated only from the 25 amateurs (table Ia) and only from œnologists (table Ib).
- 7 chemical variables (see annexe).
- type of wine : one categorical variable with two categories (champagne, other wine).
- only table III, including 32 groups of variables, intervenes as active element. The other tables compose each one an illustrative table.

tion s'impose immédiatement lorsque les groupes de variables sont très différents, ce qui est le cas, par exemple, lorsque l'on confronte un groupe de variables sensorielles et un groupe de variables analytiques.

Dans le cas présent où les variables actives sont homologues d'un groupe à l'autre, cette nécessité semble moins impérieuse mais est justifiée par les faits suivants :

- certains juges ont attribué pour certaines variables une note constante à tous les vins (c'est le cas de la limpidité pour 11 juges) ; ces variables ne prennent évidemment pas part aux calculs ; il en résulte un nombre de variables différent d'un juge à l'autre ;

- les variables de certains juges sont très liées entre elles ; de ce fait, ces juges ont *a priori* une influence sur le premier axe plus importante que celle des autres (lorsque toutes les variables d'un juge sont liées entre elles, cela engendre une forte inertie dans une direction de l'espace des variables ; cette direction *attire* le premier facteur d'une analyse factorielle de l'ensemble du tableau).

La pondération des variables dans l'AFM convient ici ; elle équilibre l'influence *a priori* des groupes en ce sens qu'elle rend égale à 1 l'inertie maximum des variables d'un groupe tout en respectant la structure de chaque groupe de variables.

II — REPRÉSENTATION MOYENNE DES VINS (figure 1)

1) Signification de la représentation moyenne

Dans l'AFM, la représentation moyenne des vins est obtenue par projection du nuage de points défini par les lignes du tableau III. Cette représentation est analogue jusqu'à un certain point à celle, classique, de l'ACP du tableau I : dans les deux cas, chaque vin est représenté par un point et deux vins sont d'autant plus éloignés qu'ils ont été l'objet de jugements différents. Mais la distance entre deux vins n'a pas exactement la même signification dans les deux analyses : dans un cas (ACP du tableau I) elle correspond à une distance entre points moyens, dans l'autre (AFM du tableau III) à une moyenne (pondérée) de distances (en toute rigueur cette dernière propriété s'applique aux carrés des distances). Pratiquement, cela implique que si tous les juges différencient les vins *i* et *l*, mais que selon les juges, les critères de différenciation ne sont pas les mêmes, cette différence apparaît sur la représentation moyenne de l'AFM et non dans l'ACP. En revanche, si les critères de différenciation sont les mêmes, l'écart entre les vins *i* et *l* apparaît dans les deux analyses.

2) Résultats

Sur la représentation de la figure 1, chaque vin est désigné par un numéro suivi d'une lettre identifiant sa catégorie : C pour champagne, M pour autre vin mousseux. D'emblée il ressort que, en général, les juges perçoivent des différences entre ces deux types de vins et que ces différences correspondent au principal facteur de variabilité. Ce résultat découle des positions relatives des 50 vins sur le plan ; ces positions peuvent

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

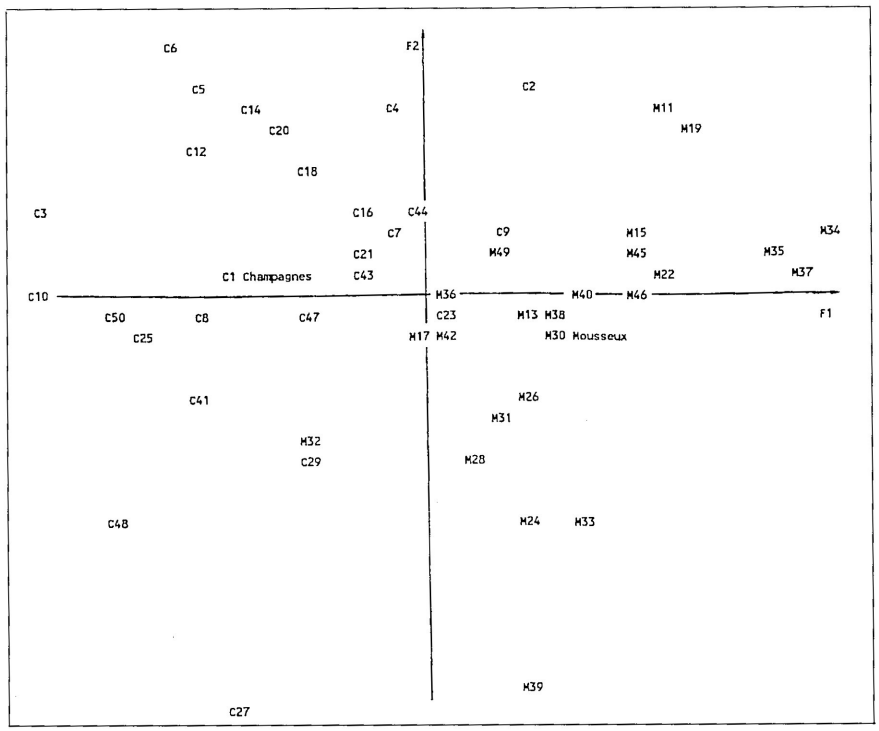


Fig. 1 — Représentation moyenne des vins

Fig. 1 — Graphical display of mean wines

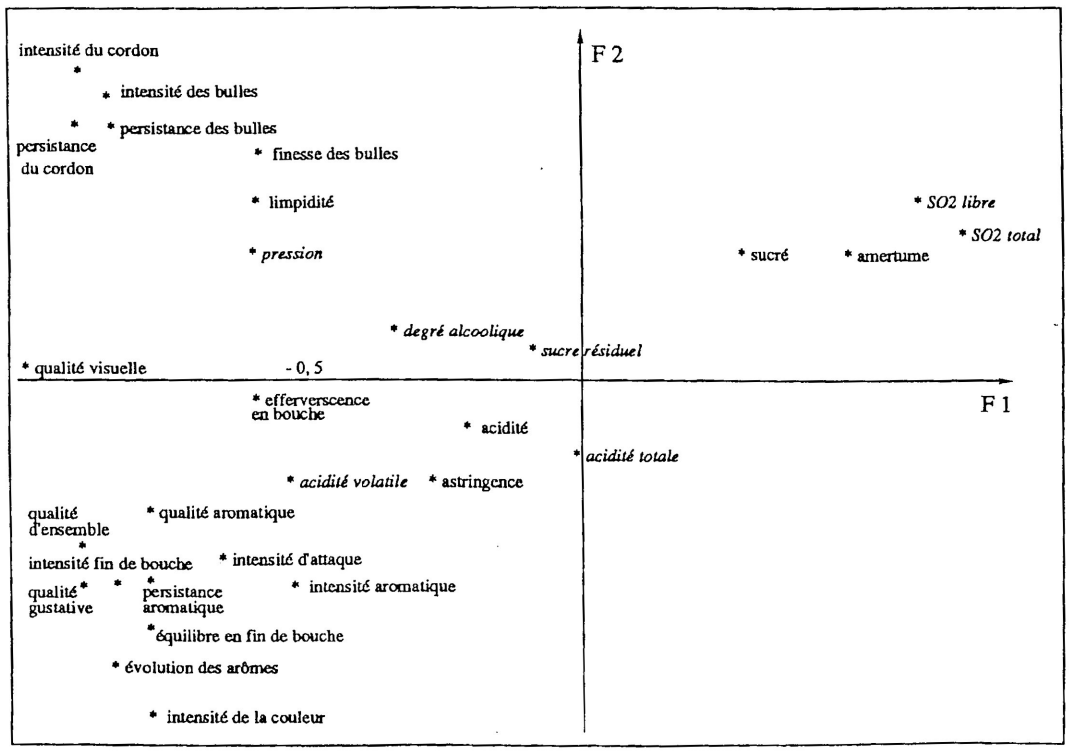


Fig. 2 — Représentation des variables « moyennes » associées à l'ensemble du jury et des variables physico-chimiques

Fig. 2 — Graphical display of « mean » variables, associated to the whole panel (columns of table I) and of chemical variables

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

être complétées par celles des centres de gravité des modalités *champagne* et *mousseux* et par le rapport de corrélation entre le premier facteur de l'AFM et la variable *type de vin* (.593).

Au-delà de cette interprétation globale, on peut considérer chaque vin : ainsi les vins C3 et C10 (à gauche sur le graphique) sont perçus comme particulièrement typiques des champagnes, à la différence des vins C9 ou C23 situés à côté des mousseux.

Le premier facteur, qui oppose champagnes et mousseux, peut être considéré comme un axe de typicité du Champagne. Cette typicité n'est pas une typicité théorique, par exemple définie par une charte, mais une typicité perçue qui ressort d'une évaluation, à partir d'un nombre restreint de variables, de vins répandus sur le marché.

Remarquons enfin que la qualité globale de représentation du nuage des vins sur ce premier plan est de .145 ; la description de 50 vins en distinguant les évaluations de 32 juges ne se laisse pas enfermer dans un seul plan. Par souci de concision, nous limitons toutefois les commentaires à ce plan.

III — REPRÉSENTATION DES VARIABLES *MOYENNES* ASSOCIÉES À L'ENSEMBLE DU JURY (figure 2) ET AUX SOUS-JURYS (figure 3)

Pour identifier les variables sensorielles associées à l'opposition *champagne-mousseux*, on représente les variables, comme dans toute analyse factorielle, par leurs coefficients de corrélation avec les facteurs des individus. Dans cet exemple, le grand nombre de variables actives incite à examiner en premier lieu les variables *moyennes* associées à l'ensemble du jury (i.e. les colonnes du tableau II) introduites en tant que groupe supplémentaire. Sur ce graphique (figure 2), par exemple, un fort coefficient de corrélation entre une variable et le premier facteur indique que, pour l'ensemble du jury, cette variable est liée à l'opposition *champagne-mousseux*.

1) Premier facteur

Les variables les plus liées au premier facteur représentent :

- l'effervescence (intensité, persistance, finesse, des bulles et du cordon ; effervescence en bouche) ;

- l'intensité (de la couleur, olfactive, gustative à l'attaque et en final) ;

- l'équilibre gustatif (à l'attaque et en final) ;

- la qualité (visuelle, olfactive, gustative et globale) ;

- le caractère évolué des arômes.

En résumé, comparativement aux autres vins mousseux, les champagnes sont apparus plus effervescents, plus intenses, plus évolués, plus équilibrés et meilleurs. Insistons sur le fait qu'il s'agit là d'une tendance globale relative à l'ensemble des vins et du jury, à laquelle on a déjà relevé quelques exceptions concernant les vins (e.g. C9 ou C23).

Le fait de mettre en évidence des liaisons fortes entre les variables associées à l'ensemble du jury et les facteurs de l'AFM est important : cela indique que les différences entre vins mises en évidence dans la représentation moyenne se réfèrent globalement aux mêmes variables pour l'ensemble des juges.

Le fait que les différentes variables mesurant l'effervescence soient l'objet d'un effet produit est un résultat en soi. En effet, l'effervescence dans le verre dépend beaucoup du verre dans lequel se trouve le vin (utiliser le même type de verre diminue mais n'annule pas cet effet verre qui dépend de micro-aspérités). Les différences d'effervescence entre vins doivent donc être très fortes pour s'exprimer.

2) Remarque sur l'approche directe de la différence entre mousseux et champagnes

Il est aussi possible de rechercher directement les différences entre mousseux et champagnes en réalisant pour chaque variable, une analyse de variance ayant pour facteurs la variable *type de vin* (2 modalités : champagne, mousseux) et la variable *juge* (32 modalités). Les résultats sont très proches des conclusions ci-dessus. Toutefois, cette convergence (lorsqu'une structure est forte dans un jeu de données, elle apparaît dans les résultats de la plupart des méthodes) ne doit pas masquer la différence entre les deux points de vue.

En premier lieu, le fait que le principal facteur de variabilité des perceptions coïncide avec une opposition *champagne-mousseux* est, en soi, un résultat important. Ensuite, dans l'optique de l'analyse de variance, on met en relation chaque variable sensorielle avec l'appellation : du point de vue de cette variable, tous les champagnes par exemple sont équivalents. Ce n'est pas le cas du premier facteur, dont précisément l'un des intérêts est de suggérer que certains champagnes, par exemple, sont plus caractéristiques que d'autres : dans le calcul des coefficients de corrélations, ces champagnes très caractéristiques influent plus que les autres.

La convergence entre les résultats des deux approches vient simplement de la forte liaison entre l'appellation et le premier facteur (cf. le rapport de corrélation de .593).

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

3) Deuxième facteur

Le deuxième axe sépare les variables liées au premier facteur en opposant l'effervescence dans le verre aux autres variables. A typicité constante, les juges semblent distinguer des vins plutôt effervescents, peu intenses et finalement peu appréciés et des vins plutôt intenses et appréciés et peu effervescents. L'interprétation de ce facteur est délicate. Il évoque un problème d'équilibre gustatif mais l'effervescence dont il est question est celle qui est observée dans le verre (l'effervescence en bouche ne participe pas à ce facteur). Il évoque aussi des effets de seuil (du type : l'effervescence est un facteur de qualité mais jusqu'à un certain point seulement) mais l'analyse présentée n'appréhende que des liaisons linéaires et une telle hypothèse doit être confrontée aux données par d'autres techniques. Enfin ce facteur n'est peut-être que la dimension nécessaire pour rendre compte de l'absence d'une liaison linéaire entre effervescence et qualité, dimension qu'il n'est pas obligatoire de réifier.

4) Variables physico-chimiques

On peut relier ces résultats avec les données physico-chimiques en projetant les variables de ce groupe introduit en supplémentaire. La position de la variable pression du côté de l'effervescence perçue renforce les résultats énoncés en apportant un fondement physique aux perceptions. La plage de variation de cette variable est vaste : de 5,8 à 8,2 atmosphères. Par ailleurs, des différences de pression importantes (jusqu'à une atmosphère) ont été observées sur des bouteilles différentes d'un même producteur, ce qui explique sans doute que la liaison entre l'effervescence mesurée et observée ne soit pas plus étroite.

L'opposition entre SO_2 et acidité volatile a des explications œnologiques. La liaison entre ces variables et le premier facteur est intéressante à noter même si l'on ne peut trancher ici quant à son interprétation (influence directe de ces variables sur la perception ou indirecte car liée à l'origine du vin).

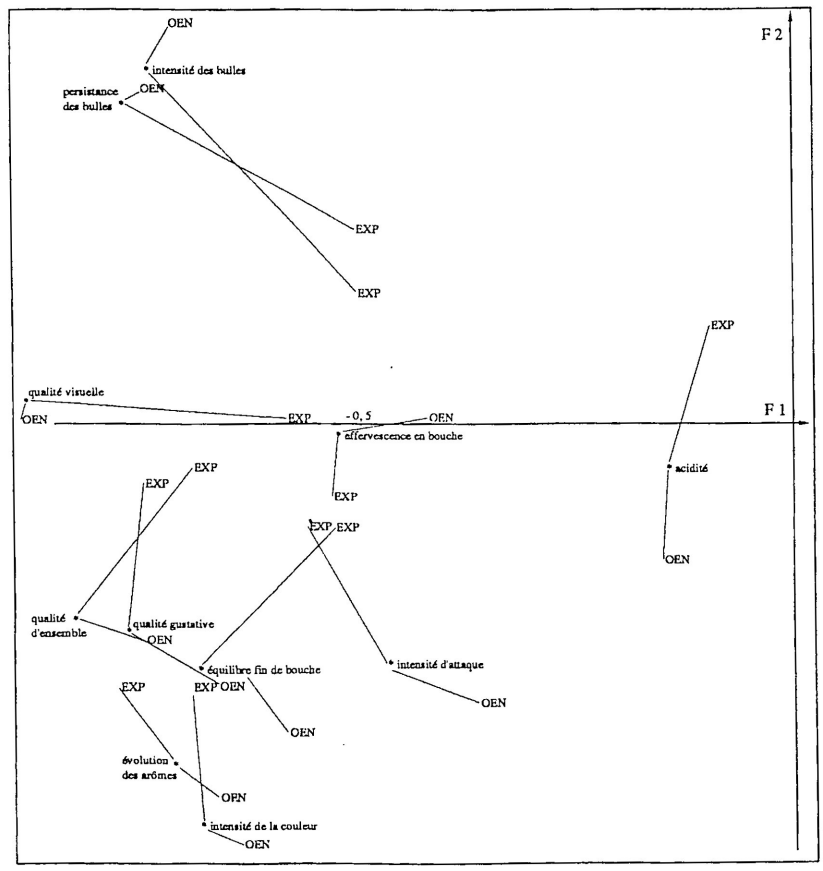


Fig. 3 — Représentation de quelques variables « moyennes »

Les libellés désignent les variables associées à l'ensemble du jury (colonnes du tableau I). Chacune est reliée à deux points désignant la même variable, associée aux œnophiles (colonnes du tableau Ia) et aux experts (colonnes du tableau Ib).

Fig. 3 — Graphical display of some mean variables

Only variables calculated from the whole panel (columns of table I) are labelled. Each one is joined to two points corresponding to the same variable, one being calculated from amateurs (OEN : columns of table Ia) and the other from œnologists (EXP : columns of table Ib).

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

5) Distinction entre les deux sous-jurys

On peut distinguer les perceptions des œnophiles et des experts en projetant les variables de ces deux groupes supplémentaires (figure 3). Les positions respectives des variables des deux sous-jurys sont cohérentes bien qu'elles ne se superposent pas. Globalement les variables des œnophiles sont mieux représentées que celles des experts : la raison tient sans doute à la disparité entre les effectifs de ces deux sous-jurys. Certaines variables sont proches pour les deux sous-jurys : intensité de la couleur et évolution des arômes. La première proximité, associée à une variable réputée facile à évaluer, était attendue ; la seconde, qui se réfère à la toujours délicate qualification des arômes, est un bon argument quant à la cohérence des données.

Les appréciations gustatives et globales sont pour les deux sous-jurys également liées au premier facteur. La qualité gustative est liée à l'opposition *champagne-mousseux* aussi bien pour les œnophiles que pour les experts.

Sur ce plan, l'effervescence dans le verre est bien exprimée pour les œnophiles et peu pour les experts. Les œnophiles ont nettement jugé les champagnes plus effervescents que les mousseux ce qui est beaucoup moins flagrant pour les experts. Or, lors de la dégustation des experts, plusieurs participants se sont étonnés à plusieurs reprises de la faible effervescence observée dans leur verre. Il semble que l'effervescence dans le verre s'est peu exprimée au cours de cette séance, hypothèse qui peut rendre compte des positions des variables sur le plan factoriel ; ce fait n'a pu être rapproché d'aucune condition expérimentale particulière.

Pour étudier de façon plus directe les différences entre œnophiles et experts, il est possible de réaliser une autre AFM dans laquelle les tableaux moyens des œnophiles et des experts, introduits ici en supplémentaire, seraient les seuls groupes de variables actifs. Nous ne faisons qu'évoquer ce traitement qui conduit à des résultats proches de ceux décrits ici.

IV —REPRÉSENTATION DES VARIABLES ASSOCIÉES À CHAQUE JUGE (figures 4 et 5)

1) Objectif

La représentation des variables actives permet d'appréhender l'aspect suivant de la variabilité entre juges : la caractérisation des principaux facteurs de variabilité par les variables sensorielles varie-t-elle beaucoup d'un juge à l'autre ? Autrement dit, ayant constaté précédemment que les différences entre vins étaient globalement dues aux mêmes variables d'un juge à l'autre, il est nécessaire d'examiner ce que recouvre l'adverbe globalement. Concrètement, dans l'exemple, l'opposition *champagne-mousseux* exprimée par le premier facteur a-t-elle la même signification sensorielle d'un juge à l'autre ?

2) Le cas des variables *qualité d'ensemble* et *intensité des bulles*

La figure 4 représente la variable qualité d'ensemble pour chaque juge. La dispersion des points montre une très grande hétérogénéité entre juges qui contraste avec la clarté de la position du point ensemble du jury. Certains juges (juges 24 ou 32) ont apprécié les vins comme l'ensemble du jury, d'autres non (juges 5 ou 23). Néanmoins, la majorité des points (28/32) est située dans la partie gauche du graphique et ceux qui sont dans la partie droite ne sont pas très loin dans cette direction : autrement dit, personne n'a dans l'ensemble préféré les mousseux. C'est en cela qu'il existe une tendance globale exprimée par la position du point *moyenne* de l'ensemble du jury.

Du point de vue de cette variable, les œnophiles ne se distinguent pas des experts.

Un commentaire analogue peut être fait à propos de la variable intensité des bulles (figure 5).

Ces figures 4 et 5 donnent un exemple d'une tendance globale nette (l'interprétation du premier facteur est claire et son caractère non fortuit ne prête pas à discussion) mise en évidence malgré une forte variabilité entre juges.

Beaucoup de variables sont proches de l'origine et donc mal représentées : on retrouve ici un aspect de la faible qualité (en termes d'inertie projetée) de la représentation plane des vins (figure 1).

V — REPRÉSENTATIONS DES VINS ASSOCIÉES À CHAQUE JUGE (figure 6)

1) Objectif

La représentation moyenne des vins fournit des résultats du type : le vin C10 est le plus typique du champagne ; le vin C9, en revanche, n'est pas typique et s'apparente aux autres mousseux. Il est naturel de se demander s'il existe un consensus parmi les juges sur de tels résultats.

Pour cela, on cherche à représenter sur un unique plan les vins décrits non seulement par l'ensemble du jury mais aussi par chaque juge. Nous avons déjà fait allusion à une telle représentation recherchée par une ACP du tableau II dans laquelle on exploite l'analogie entre les variables d'un juge à l'autre. Ce type de représentation est aussi l'objet de l'analyse procustéenne, dans laquelle on ne suppose pas les variables identiques

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

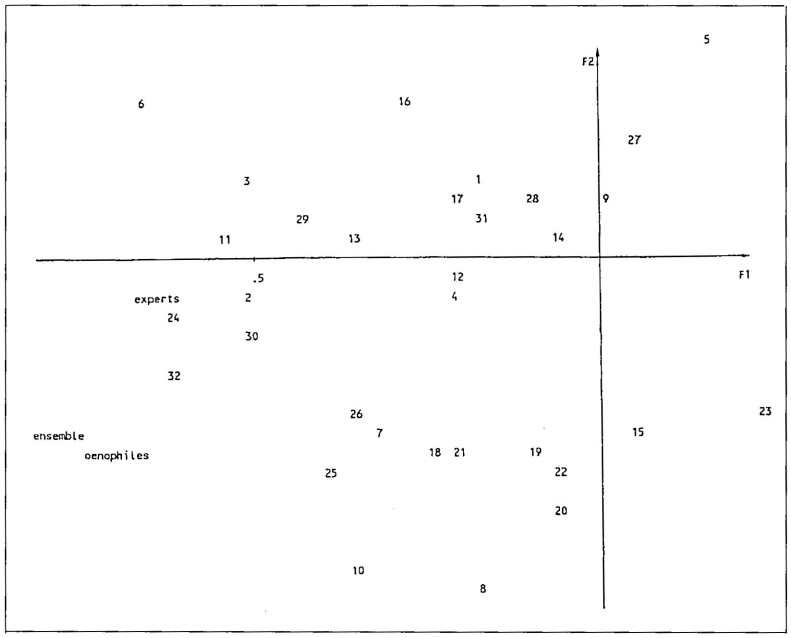


Fig. 4 — Représentation de la variable qualité d'ensemble associée à chaque juge

10 : variable qualité d'ensemble du juge 10 - de 1 à 25 : œnophiles - de 26 à 32 : experts

Fig. 4 — Representation of the variable global quality, each one associated to one judge

10 : variable global quality associated to judge 10 - from 1 to 25 : amateurs - from 26 to 32 : œnologists.

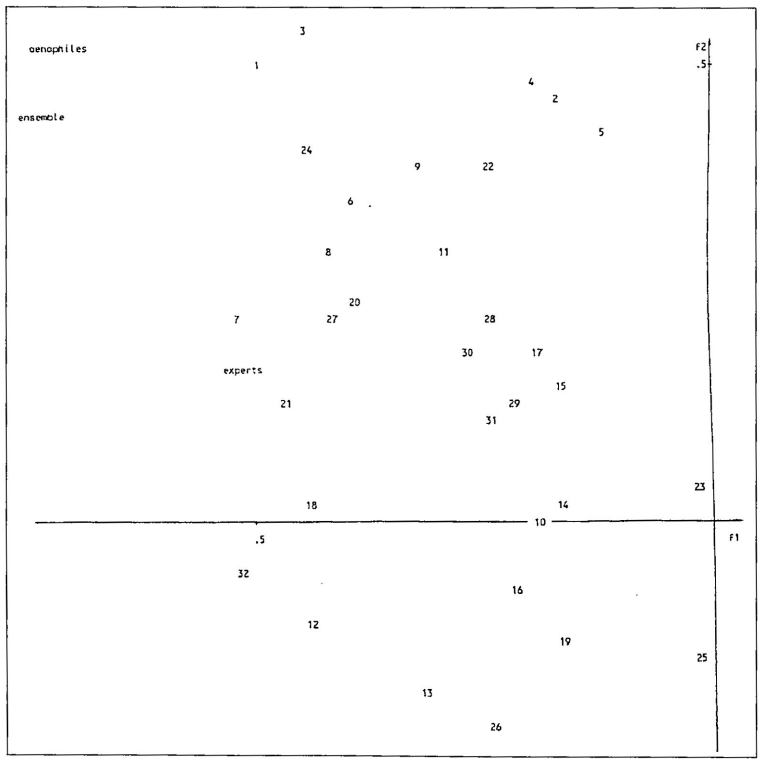


Fig. 5 — Représentation de la variable intensité des bulles associée à chaque juge

10 : variable intensité des bulles du juge 10 - de 1 à 25 : œnophiles - de 26 à 32 : experts

Fig. 5 — Representation of the variable intensity of effervescence, each one associated to one judge

10 : variable intensity of effervescence associated to judge 10 - from 1 to 25 : amateurs - from 26 to 32 : œnologists

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

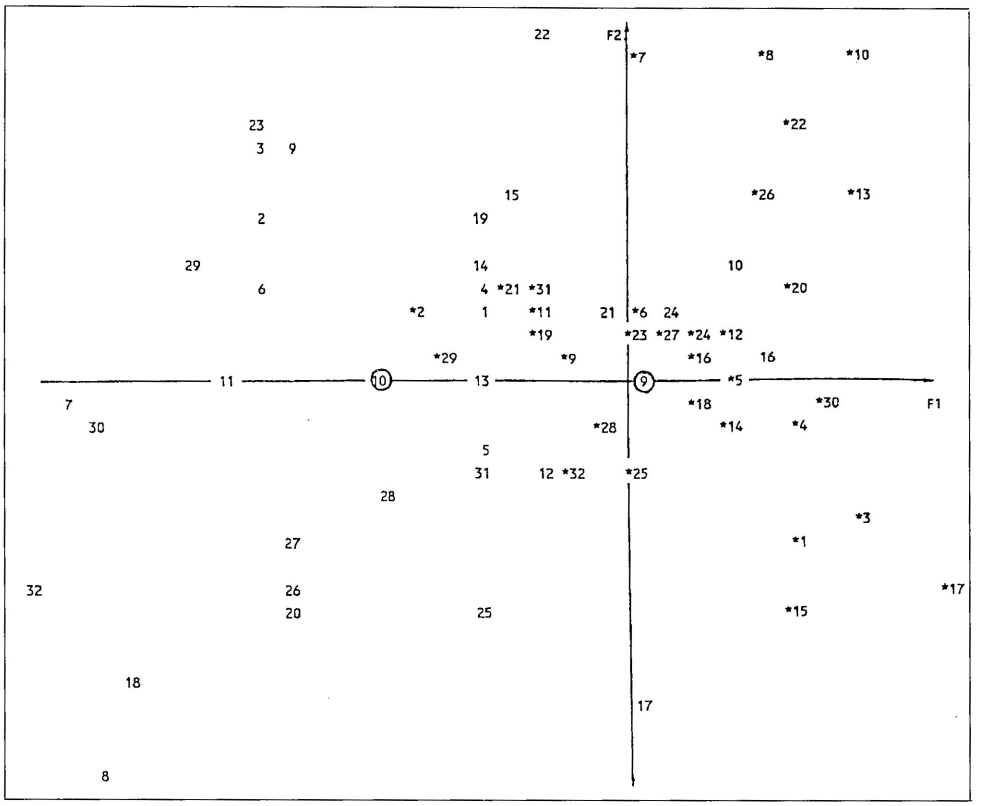


Fig. 6 — Représentations des vins 10 et 9 associées à chaque juge

Les numéros sont ceux des juges. Ils sont précédés par le signe * pour le vin 9 (*12 : vin 9 décrit par le juge 12 - 17 : vin 10 décrit par le juge 17). Les vins « moyens » sont cerclés.

Fig. 6 — Representation of wines 10 and 9 associated to each judge

Numbers refer to judges. They are preceded by * for wine 9 (*12 means wine 9 described by judge 12) and by nothing for wine 10 (17 means wine 10 described by judge 17). The averaged wines (from the whole panel) are framed with a circle.

d'un juge à l'autre. L'AFM fournit une telle représentation superposée à la représentation moyenne.

2) Cas des vins 10 et 9

Le grand nombre de points de cette représentation (50 vins × 32 juges = 1 600 points) incite à n'en faire figurer qu'une partie : par exemple, les vins décrits par un ou deux juges ou, autre exemple, un ou deux vins décrits par chaque juge.

La figure 6 rassemble les vins 10 et 9 décrits par chaque juge. Chaque vin est représenté par 33 points (32 juges + un point moyen). Le point moyen provient de la représentation moyenne (figure 1) et coïncide avec le centre de gravité des 32 autres. La dispersion des points associés à un même vin est non négligeable (présence d'une variabilité entre juges) ; mais le vin 10 est, à juge constant, presque toujours situé plus à gauche que le 9 (présence d'un effet vin). Le vin 9, dans l'ensemble, a toujours été considéré comme peu ou pas typique du champagne ; le vin 10, dans l'ensemble, a toujours été décrit comme plus ou moins typique.

On pouvait se demander si la position près de l'origine (donc près du vin moyen) du vin 9 était due à un jugement toujours moyen ou à une cooccurrence de descriptions extrêmes opposées : la figure 6 montre que la première hypothèse est la bonne.

Plus généralement, on peut rechercher systématiquement les vins qui sont l'objet de jugements homogènes, et parallèlement ceux qui font l'objet de descriptions contradictoires. L'homogénéité des descriptions relatives à un même vin peut être mesurée par l'inertie des points représentant un même vin par rapport à leur centre de gravité. Ce critère peut être calculé vin par vin et axe par axe. Le long du premier axe, il varie de 1 à 4 ; la figure 6 illustre cette variabilité puisque, pour ce critère, le vin 9 présente l'une des valeurs les plus faibles et le vin 10 la plus forte. L'examen de ce critère pour le premier axe et pour tous les vins montre que les vins qui font l'objet d'avis homogènes sont proches de l'origine et que les vins qui font l'objet d'avis hétérogènes sont situés aux deux extrémités de l'axe. Autrement dit, les situations de consensus entre les juges concernent des vins moyens ; les

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

situations de désaccord concernent des vins jugés extrêmes par une partie du jury seulement.

Selon une propriété de l'AFM, la superposition des représentations des vins associées à chaque juge satisfait un critère d'optimalité, analogue jusqu'à un certain point à celui de l'analyse procustéenne, qui assure la mise en évidence des parentés de structure entre les nuages des vins associés à chaque juge. Ainsi l'objectif de l'AFM peut être vu comme la mise en évidence de structures communes aux représentations des vins définies par chaque juge.

VI — REPRÉSENTATION DES PRINCIPAUX FACTEURS DE VARIABILITÉ DE CHAQUE JUGE (figure 7)

1) Objectif et principe

Le premier facteur de l'AFM est le principal facteur de variabilité des vins décrits par l'ensemble du jury. Ce facteur n'est pas lié aux variables de la même façon selon les juges (même s'il existe une tendance globale mise en évidence figure 2 par la projection des variables *moyennes*). On peut aussi se demander si ce facteur correspond au principal facteur de variabilité de chaque juge. Autrement dit, dans cet exemple, l'opposition *champagne-mousseux* est-elle la distinction principale faite par chaque juge (indépendamment des variables liées à cette distinction) ?

Techniquement, cette question revient à réaliser pour chaque juge l'ACP de son tableau vins × variables et à projeter les composantes principales obtenues sur le plan factoriel issu de l'AFM.

2) Résultats

La figure 7 représente la première composante principale de chaque juge sur le premier plan factoriel de l'AFM. Pour beaucoup de juges, le principal facteur de variabilité est lié à l'opposition *champagne-mousseux*. Remarquons les juges 32 et 6, dont la forte coordonnée le long de cet axe montre que le principal facteur de variabilité dans leur perception des vins est proche de celui de l'AFM (et donc de celui de l'ensemble du jury).

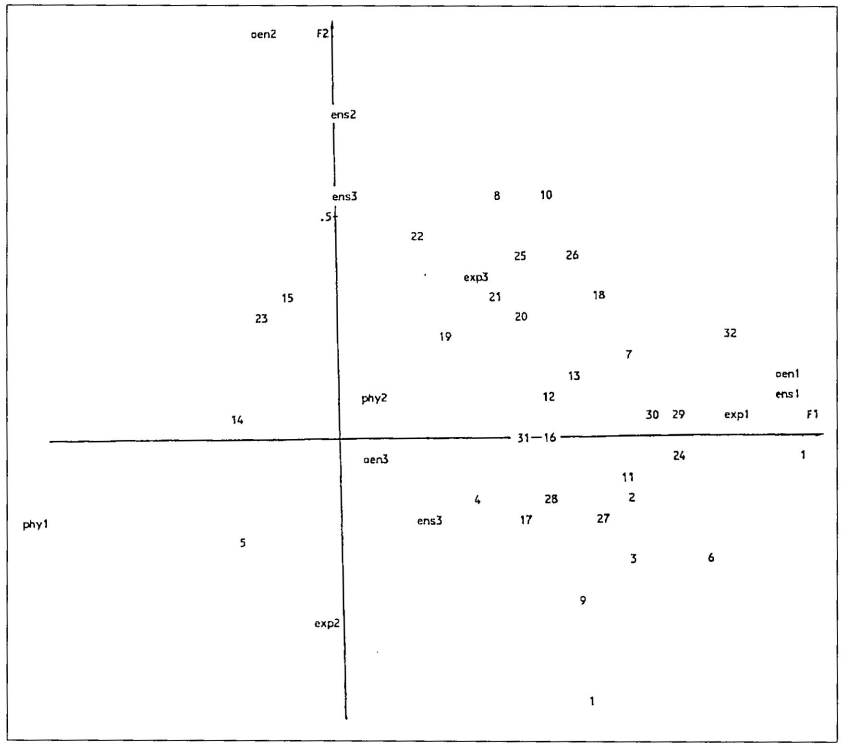


Fig. 7 — Représentation du principal facteur de variabilité de chaque juge

32 : principal facteur de variabilité du juge 32

Les sigles ens, oen, exp et phy désignent les tableaux I (ensemble du jury), Ia (œnophiles) Ib (experts) et celui des données physico-chimiques ; ils sont suivis d'un numéro qui désigne le rang du facteur de variabilité représenté (ens2 : deuxième facteur du tableau I)

Fig. 7 — Representation of the first principal component of each judge

32 : first principal component of judge 32.

Abbreviations ens, oen, exp, phy refers to table I (the whole panel), Ia (amateurs), Ib (oenologists), and chemical data ; they are completed by the rank order of the principal component (example : ens2 = second principal component of table I).

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Selon une propriété technique de l'AFM, l'analyse présentée est équivalente à une AFM dans laquelle chaque groupe de variables est remplacé par l'ensemble des composantes principales de son analyse séparée. Ainsi, la figure 7 peut être considérée non seulement comme une aide à l'interprétation des graphiques précédents mais aussi comme une représentation optimale des principaux facteurs de variabilité des juges.

De même que l'on a projeté les composantes principales des juges, c'est-à-dire des groupes actifs, on peut projeter les composantes principales des groupes supplémentaires. C'est ce qui a été fait figure 7 et qui met en évidence :

- la forte liaison entre le premier facteur de l'AFM et celui de l'ACP du tableau I (ensemble du jury), du tableau Ia (œnophiles) et du tableau Ib (experts) ; l'hypothèse d'identité entre les variables homologues des différents juges est confortée ; l'opposition *champagne-mousseux* est le principal facteur de variabilité quel que soit le point de vue adopté et le sous-jury choisi ;

- le second facteur de l'AFM n'est fortement lié qu'au second facteur de l'analyse des œnophiles (oen2) ; ainsi l'ACP du tableau moyen des œnophiles conduit à des résultats plus proches de ceux de l'AFM que celle du tableau moyen des experts ou de l'ensemble du jury.

VII — REPRÉSENTATION DES JUGES (figure 8)

1) Principe

Dans un esprit proche de celui du paragraphe précédent, on peut chercher à mesurer l'importance des facteurs de l'AFM dans la description de l'ensemble des vins par chaque juge. Pour cela, il est commode de raisonner dans l'espace des variables en mesurant l'inertie projetée des variables de chaque juge sur les axes de l'AFM. On calcule cette inertie pour chaque juge *j* et chaque axe de rang *s*.

Si cette inertie vaut 0, alors le facteur de rang *s* de l'AFM n'a rien à voir avec les données du juge *j*. Si cette inertie vaut 1, le facteur de rang *s* de l'AFM coïncide avec le principal facteur de variabilité du juge *j* (cette valeur maximum de 1 est la conséquence de la pondération décrite paragraphe 5.1). Ces deux situations extrêmes illustrent en quel sens on peut considérer cette inertie comme une mesure de l'importance d'un facteur de l'AFM pour un juge.

2) Interprétation globale

Ces inerties sont résumées figure 8, dans laquelle chaque juge a pour coordonnées l'inertie de ses variables le long des deux premiers axes de l'AFM.

Le long du premier axe, la coordonnée des différents juges est assez variable mais jamais nulle ou très faible. L'opposition *champagne-mousseux* semble perçue par tous. Elle est particulièrement sensible pour certains juges, par exemple le juge 32 dont la coordonnée sur ce graphique est cohérente avec celle de la figure 7 montrant une corrélation forte entre le premier

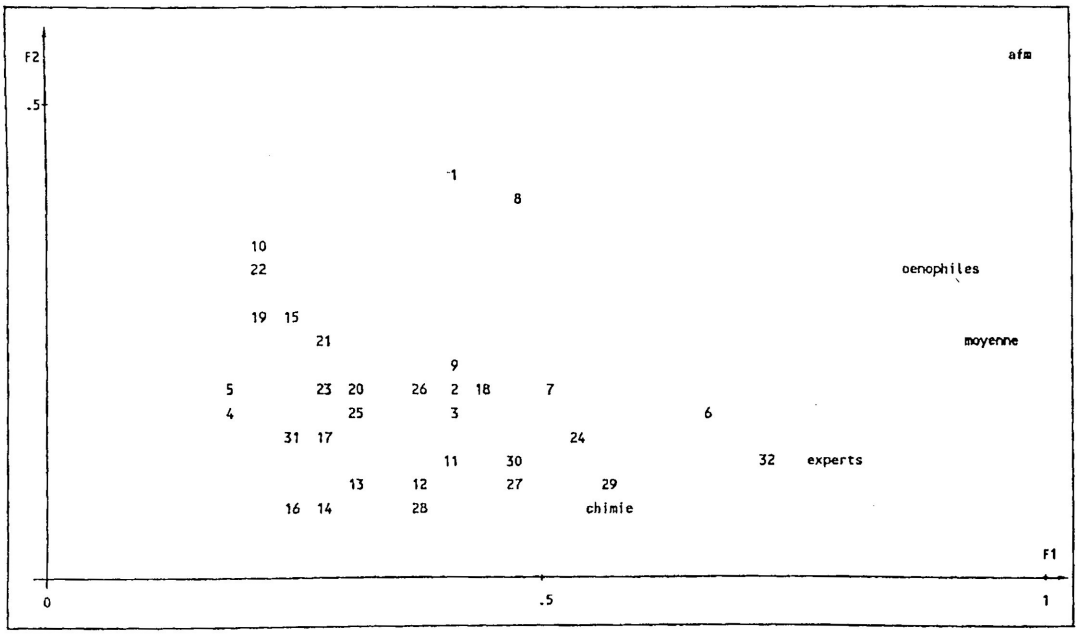


Fig. 8 — Représentation des juges

Fig. 8 — Graphical display of judges

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

facteur de l'AFM et la première composante principale de ce juge 32.

Ce type d'interprétation est proche de l'analyse de semblables données au travers du modèle INDSCAL, qui met en évidence des dimensions de perception communes aux juges ainsi que les poids de ces dimensions dans la perception de chaque juge. L'AFM peut être considérée comme une méthode d'estimation des paramètres du modèle INDSCAL, les dimensions communes du modèle étant les facteurs sur les individus et les poids du modèle étant les coordonnées des juges sur la figure 8.

3) Un outil de comparaison des juges

La figure 8 suggère une comparaison des juges entre eux. Sur ce graphique deux juges sont proches si les facteurs de l'AFM ont la même importance dans leurs évaluations. Cette interprétation des distances entre juges est renforcée par le fait que le nuage des juges de la figure 8 peut être vu comme une projection d'un nuage N(J) dont chaque point j, qui représente le juge j, est construit à partir de la description de l'ensemble des vins par le juge j (techniquement, ce nuage N(J) évolue dans un espace à 50×50 dimensions dans lequel chaque juge est situé en fonction du tableau de distances entre les vins que l'on peut construire à partir de ses évaluations). Naturellement, comme dans toute projection, la proximité entre points ne s'interprète à coup sûr que comme une ressemblance du point de vue des axes sur lesquels s'est effectuée la projection ; l'interprétation en termes de ressemblance globale ne concerne que les points bien représentés par leur projection.

Parmi les juges, il est intéressant de situer les experts (numérotés de 26 à 32). Ceux-ci n'occupent pas une position remarquable et, dans des dégustations de ce type, la différence entre œnophiles et œnologues n'est peut-être pas aussi grande qu'on le dit parfois. Remarquons toutefois la faible coordonnée des experts le long du deuxième axe : on retrouve ici la mauvaise expression de l'effervescence lors de la dégustation des experts.

4) A propos du *juge moyen*

A partir de ce graphique, on ne peut pas dire que les juges 2 ou 3, situés au milieu du nuage des juges, expriment l'avis moyen du jury et à ce titre peuvent le représenter. Ceci découle directement de la signification des coordonnées : du point de vue du premier axe, le juge 32, qui accorde à l'opposition *champagne-mousseux* une importance relative comparable celle accordée par l'ensemble du jury, est celui qui, malgré sa position excentrée, représente le mieux l'ensemble du jury. Dans cet esprit, on fait figurer sur le graphique le point, noté afm, qui représente le juge fictif tel que ses données induisent une configuration des vins identique à celle que fournit l'AFM. La distance à ce point met en évidence les juges dont la description des vins ressemble le plus à la description *moyenne* fournie par le premier plan de l'AFM. Selon ce point de vue, les juges 6 et 32, mais aussi 1 et 8, représentent bien l'ensemble du jury.

Sur ce graphique, figurent également les groupes supplémentaires. Le point *moyenne* correspond au juge fictif dont les réponses coïncident avec la moyenne du jury (tableau I). Ce point représente l'ensemble du jury au travers du tableau I alors que le point *afm* représente le jury au travers du tableau III. L'écart entre ces deux points provient principalement de l'homologie entre les variables des différents juges, utilisée dans la construction du tableau I et non dans celle du tableau III.

CONCLUSION

Dans une évaluation sensorielle, une variabilité entre juges est attendue à la fois pour des raisons théoriques et parce qu'elle est toujours observée. C'est d'ailleurs pour cela que l'on ne se contente pas de l'avis d'un expert et que l'on réunit des jurys.

Cette variabilité est souvent traitée comme une erreur de mesure, ce qui revient à s'intéresser aux produits, le jury étant considéré comme un instrument de mesure.

Elle peut aussi être un objet d'étude si l'on s'intéresse cette fois à la perception des produits. Ce point de vue présente des implications concrètes : à la limite, on peut chercher à construire une segmentation d'un marché fondée sur des critères sensoriels.

La variabilité entre juges présente de nombreux aspects qu'il est avantageux d'étudier dans un cadre unique qui assure :

- une cohérence entre les différents points de vue adoptés ;

- un confort dans l'interprétation et la présentation des résultats ;

- une relative simplicité de mise en œuvre.

C'est le cas de l'exemple présenté dont l'ensemble des résultats ont été obtenus en une seule exécution d'un programme (logiciel ADDAD).

Ce travail a fait l'objet d'un exposé aux 3e journées Agro-industries et Méthodes statistiques, Montpellier, 1992).

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ESCOFIER B. et PAGES J., 1984. L'analyse factorielle multiple. *Cahiers du BURO. Série recherche. n°42.* Université Pierre et Marie Curie, Paris.

ESCOFIER B. et PAGES J., 1993. *Analyses factorielles simples et multiples.* Dunod, Paris.

GAZANO G., 1989. De l'importance des différences inter-individuelles en psychophysique descriptive. *Thèse de doctorat*, Université Paris VII.

LAVIT Ch., 1988. *Analyse conjointe de tableaux quantitatifs*, Masson, Paris.

PIGGOTT J.R. *et al.*, 1986. *Statistical procedures in food research*, Elsevier, Londres.

SCHIFFMAN S.S., REYNOLDS M. et YOUNG F., 1981. *Introduction to multidimensional scaling*, Academic Press, New York.

SZTRYGLER F. *et al.*, 1990. *Evaluation sensorielle ; manuel méthodologique*, Lavoisier, Paris.

Manuscrit reçu le 23 octobre 1995 ;
accepté pour publication le 20 novembre 1996

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Annexe : liste des variables utilisées

VARIABLES SENSORIELLES (NOTES DE 1 À 5)

===> Examen visuel

Intensité de la couleur	de très faible à très forte
Limpidité	de parfaitement limpide à fortement louche

Emission de bulles

Importance	de très faible à très forte
Finesse des bulles	de très fines à très grosses
Persistance	de très faible à très forte

Cordon

Importance	de inexistant à toute la surface
Finesse	de très fin à très large
Persistance	de très faible à très forte
Appréciation visuelle globale	de très mauvaise à très bonne

===> Examen olfactif

Intensité globale des arômes	de très faible à très forte
Evolution des arômes	de très jeunes à vieux
Qualité globale des arômes	de très mauvaise à très bonne

===> Examen en bouchon

Intensité d'attaque	de très faible à très forte
Intensité de l'effervescence	de très faible à très forte
Equilibre à l'attaque	de pas équilibré à très équilibré
Acidité	de très faible à très forte
Astringence	de très faible à très forte
Amertume	de très faible à très forte
Saveur sucrée	de très faible à très forte
Equilibre en final	de pas équilibré à très équilibré
Intensité gustative de fin de bouche	de très faible à très forte
Persistance aromatique	de très faible à très forte
Qualité gustative	de très mauvaise à très bonne

===> Jugement d'ensemble

Qualité globale	de très mauvaise à très bonne

VARIABLES PHYSICOCHIMIQUES

Alcool acquis (en degré)
Sucres après hydrolyse (en g/l)
Acidité totale (en g/l H_2S0_4)
Acidité volatile (en g/l H_2SO_4)
Acide sulfureux libre (en mg/l)
Acide sulfureux total (en mg/l)
Pression (en atm)

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)