Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1994, **28**, N°3, 247-265

EVALUATION INSTRUMENTALE DE LA COULEUR

A. PIRACCI

Istituto Sperimentale per l'Enologia di Asti, S.O.P.Barletta,
Viale V.Veneto, 26, 70051 Barletta (BA) (Italie)

Résumé : *On se réfère à la mesure conventionnelle de la couleur par l'emploi de la méthode de la Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E.), on décrit la détermination des coordonnées chromatiques et des paramètres (nuance, luminosité, pureté de la couleur) qui caractérisent la couleur des vins.*

En se servant d'une interprétation géométrique sur le diagramme chromatique C.I.E. on obtient des équations qui fournissent des résultats plus précis de ceux qu'on obtient normalement par l'interpolation graphique. En outre un programme pour PC en langage BASIC est présent, par lequel, d'après les lectures des absorbances du vin, on obtient immédiatement et rigoureusement les valeurs chromatiques.

Les distances entre les points de couleur, obtenus par la méthode C.I.E. « intégrale » (40 mesures d'absorbances) et par d'autres méthodes simplifiées (4 ou 13 absorbances), sont comparées à le seuil de sensibilité à la variation d'une couleur déterminée et on obtient des suggestions qui imposent des circonspections à propos de l'usage des méthodes simplifiées.

INTRODUCTION

La vision de la couleur est un processus extrêmement complexe qui se produit en partie dans l'oeil et en partie dans le cerveau ; ceci explique par exemple pourquoi deux observateurs, pourvus d'une vue soi-disant normale,« voient » souvent la même couleur de façon parfois très différente.

D'après les physiologistes, les impulsions qui se propagent le long de tous les nerfs et spécialement le long des nerfs optiques sont toutes du même genre, et à une stimulation plus intense ne correspond pas une impulsion plus intense, mais un train d'ondes plus rapprochées dans le temps, c'est-à-dire d'une forte fréquence.

S'il est vrai que le long des nerfs optiques se propage un train d'ondes, avec le mécanisme de la modulation de fréquence, nous pouvons alors nous rendre compte des trois paramètres nécessaires pour expliquer la représentation psychique des couleurs.

En effet la fréquence porteuse expliquerait la « luminosité », la fréquence modulée rendrait compte de la « nuance », tandis que l'indice de modulation (rapport entre la fréquence minimale et la maximale de la modulation) serait relié à la « pureté de la couleur ». En rappelant que :

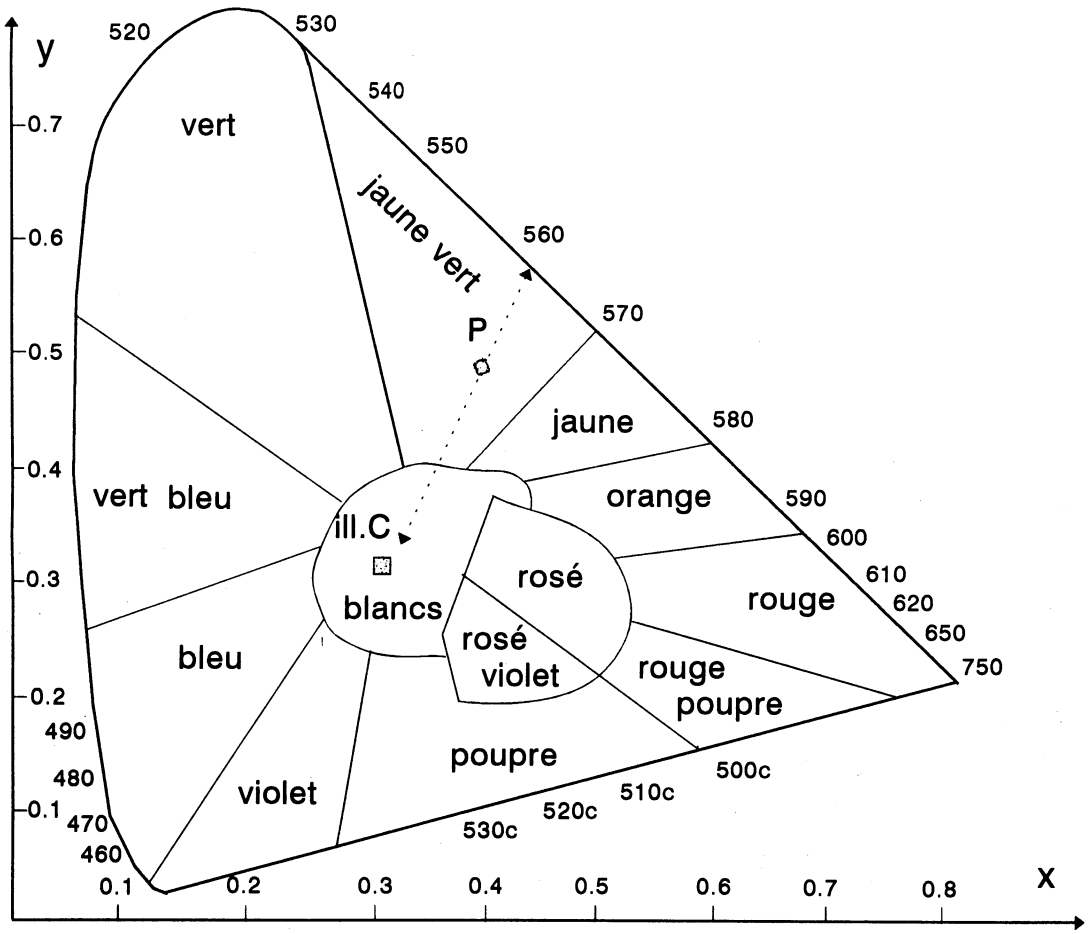


Fig. 1 — Diagramme chromatique de la C.I.E.

- la « luminosité » est l'attribut réservé à l'aspect plus ou moins clair de l'image ;

- la « nuance » (ou longueur d'onde dominante) est la qualité à laquelle une couleur est jugée jaune, bleue, orange ou autre ;

- la « pureté de la couleur » est l'attribut qui nous fait estimer une couleur plus ou moins passée (CHAMBERLIN et CHAMBERLIN, 1980).

Si nous considérons les couleurs du spectre solaire (lumières monochromatiques) comme des couleurs pures (pureté de la couleur = 100 p. cent), nous pouvons estimer toutes les autres couleurs comme un mélange d'une couleur pure avec une certaine quantité de blanc (pureté de la couleur = 0 p. cent).

La difficulté d'arriver à une mesure des caractéristiques est donc liée au fait qu'il n'est pas possible de mesurer, au sens physique, les sensations.

L'intérêt de pouvoir définir la couleur d'une boisson est cependant évident, de façon à permettre la comparaison entre deux produits simultanément ou même au bout de quelque temps, d'un lieu à un autre, et avec une sensibilité au moins égale à celle de l'oeil d'un observateur bien entraîné.

Avec des limitations convenables, on peut parvenir à une représentation univoque d'une couleur, tel qu'il est demandé à des fins pratiques.

Pour arriver à la mesure d'une couleur conventionnelle, il est donc nécessaire de pouvoir déterminer les caractéristiques chromatiques.

MÉTHODE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (C.I.E.)

Pour une description précise de cette méthode nous renvoyons à un précédent travail (PIRACCI, 1984) et à des publications de la C.I.E. (1931, 1967).

Par cette méthode nous obtenons les absorbances de l'échantillon, les valeurs de « x » et « y » coordonnées de P, point de couleur de l'étalon (figure 1) et le point C(0,3101 ; 0,3163) qui représente l'éclairant.

Les paramètres définissant notre étalon sont les suivants ::

- « longueur d'onde dominante L » (nuance) : en conjuguant C avec P (figure 1 et figure 2), et en prolongeant le segment jusqu'à rencontrer la courbe des couleurs spectrales, on localise le point V sur lequel on peut lire la longueur d'onde dominante ;

-« luminosité Y % » : la luminosité n'est pas déductible de la représentation sur le plan ; néanmoins le système C.I.E. est construit de façon à ce que Y résulte d'une mesure de la luminosité ;

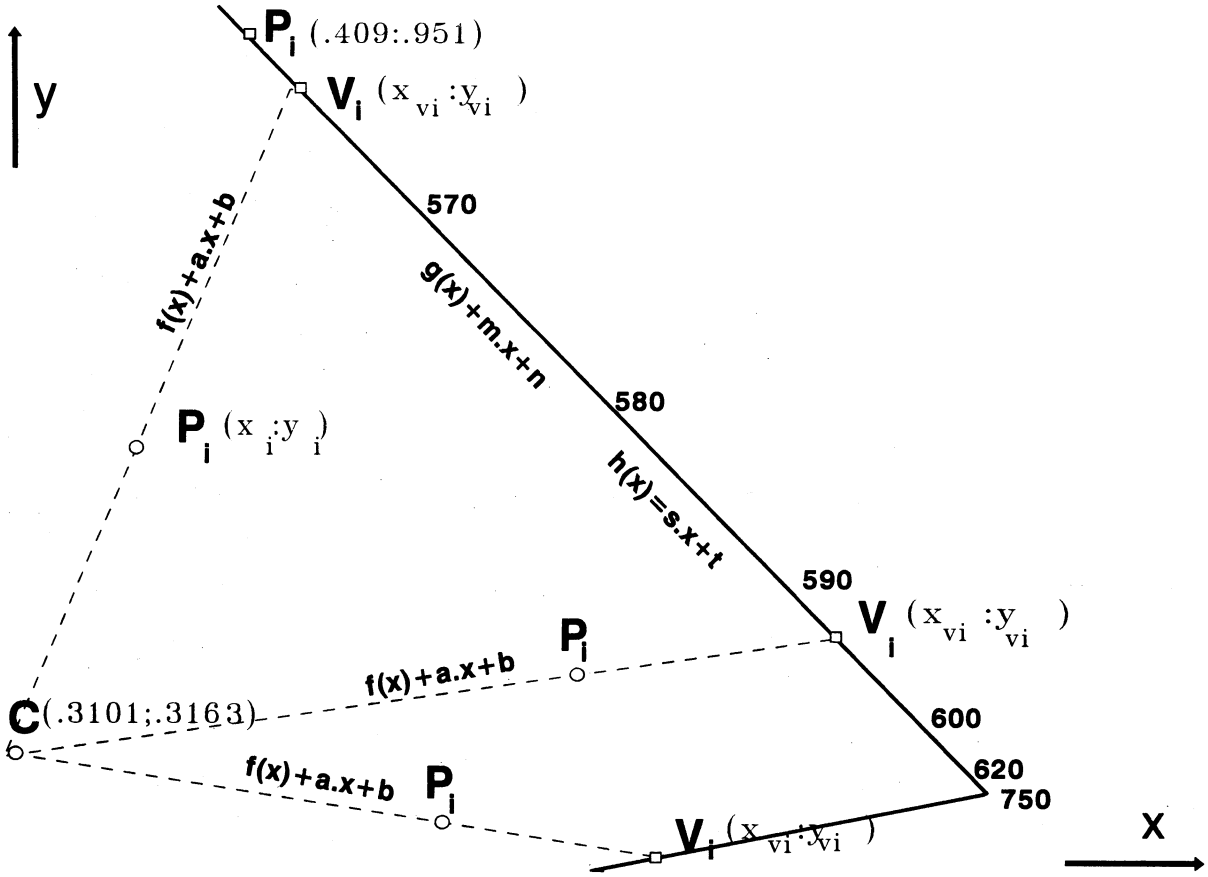


Fig. 2 — Intersections sur le « spectrum locus »

- « pureté P % » : la pureté est égale au rapport entre les segments CP et CV ; la relation (CP/CV).100 est appelée « pureté d'excitation de la couleur ».

Pour des déterminations correctes de ces paramètres selon la méthode C.I.E., il est nécessaire d'effectuer 40 mesures de densité optique de 380 nm à 780 nm avec des intervalles de 10 nm. En rappelant que DO = -lgT, la transmittance % est $T\%=10^{(2-DO)}$. A partir de ces valeurs de T %, et pour chaque longueur d'onde, les T % sont multipliés par les cœfficients de spécification relatifs aux différentes longueurs d'onde. Une longue série de calculs nous donnent les « coordonnées chromatiques » avec lesquelles il est possible d'intervenir sur la figure.

La méthode exige donc :

- 40 mesures de DO (de 380 à 780 nm compris),
- 40 transformations de DO en T %, où $T\%=10^{(2-DO)}$,
- 120 multiplications,
- 40 additions dont 3 de 40 chiffres qui se somment,
- 3 divisions,
- une extrapolation sur le graphique.

La méthode de référence de l' O.I.V. (1990) se base sur la méthode C.I.E., mais utilise seulement quatre mesures spectrophotométriques (à 445, 495, 550 et 625 nm). ROUBERT (1976) a suggéré la mesure de 13 absorbances de 400 à 700 nm avec des intervalles de 25 nm. Dans le passé nous nous sommes occupés du problème pour l'évaluation de la couleur des vins blancs (PIRACCI, 1984) et pour celle des vins rouges (PIRACCI et SPERA, 1986) en essayant de mettre en corrélation les évaluations instrumentales et visuelles.

Dans ce travail, nous avons voulu confronter les trois méthodes de la C.I.E., avec 40, 13 ou 4 absorbances, que nous indiquerons par les sigles CIE40, CIE13, et CIE4, afin de connaître celle qui doit être utilisée pour des mesures suffisamment précises des caractéristiques chromatiques d'un vin. Quelques considérations sont cependant nécessaires :

a) La complexité relative des calculs nécessaires pour obtenir les caractéristiques chromatiques avec la méthode C.I.E. nécessite l'utilisation d'un ordinateur. L'élaboration d'un programme approprié que l'ordinateur puisse exécuter est donc nécessaire (nous indiquons en annexe un programme en BASIC qui utilise 4, 13 ou 40 absorbances).

b) Les diagrammes reportés dans le Recueil des Méthodes d'analyse de l' O.I.V. consentent une précision de 1 nm pour la mesure de la longueur d'onde dominante et de 1 p. cent pour la mesure de la pureté de la couleur.

c) Nous indiquons ci-après quelques données géométriques et mathématiques qui permettent une évaluation beaucoup plus précise de la longueur d'onde dominante « L » et de la pureté « P » à partir des coordonnées trichromatiques.

ÉLABORATIONS GÉOMÉTRIQUES POUR L'ÉVALUATION DE LA PURETÉ DE LA COULEUR (P %)

En utilisant 4, 13 ou 40 absorbances, la méthode C.I.E. nous fournit les coordonnées trichromatiques du point de couleur Pi(xi ; yi). Pour obtenir la « pureté de la couleur pour cent (P %) », il est nécessaire de calculer les distances CPi et CVi entre le point C (0,3101; 0,3163) de l'éclairant et les points $P_i(x_i ; y_i)$ et $V_i(x_{vi} ; y_{vi})$, comme il est indiqué dans la figure 2.

Nous indiquons avec

$$f(x) = a\,x + b \qquad (1)$$

la droite qui passe par ces deux points. Cette droite a pour cœfficients :

$$a = (y_i - 0{,}3163)/(x_i - 0{,}3101) \qquad (2)$$

$$b = 0{,}3163 - 0{,}3101\,a \qquad (3)$$

Sur la base de simples considérations de géométrie analytique, les segments CPi et CVi sont :

$$CP_i = |x_i - 0{,}3101|\,(1+a^2)^{1/2} \qquad (4)$$

$$CV_i = |x_{vi} - 0{,}3101|\,(1+a^2)^{1/2} \qquad (5)$$

« a » et « x_i » sont connus, « x_{vi} » doit être calculé.

Dans ce but considérons la droite (sur le « *spectrum locus* ») :

$$g(x) = m\,x + n$$

sur laquelle nous lisons les longueurs d'onde dominantes « L » dans l'intervalle de 560/590 nm (de jaune-vert à jaune-orange), ou bien la droite :

$$h(x) = s\,x + t$$

sur laquelle nous lisons les « L » dans l'intervalle 590/750 nm (de rosé à rouge), ou bien en dernier la droite :

$$l(x) = p\,x + q$$

sur laquelle nous lisons les « L » dans l'intervalle de 492c à 560c (rouge-pourpre, violet), où la lettre « c » indique qu'il s'agit de la couleur complémentaire.

Pour calculer les cœfficients « m », « n », « s », « t », « p »et « q », nous utilisons les coordonnées de 30 points choisis au hasard dans les diagrammes du Recueil des Méthodes d'analyse de l'O.I.V.(avec grossissement 5 X), sur les zones de la droite g(x), ou bien sur h(x) ou sur l(x). Nous calculons ainsi les courbes de régression avec la méthode des minimums carrés:

$$g(x) = -0{,}996851\ x + 0{,}998313 \quad (r = 0{,}99998) \qquad (6)$$

$$h(x) = -0{,}981898\ x + 0{,}987416 \quad (r = 0{,}99998) \qquad (7)$$

$$I(x) = -0{,}470774 * x - 0{,}079897 \quad (r = 0{,}99998) \qquad (8)$$

Nous observons dans la figure 2 que f(x), selon l'intervalle de « L » intéressé, coupe g(x), ou h(x) ou bien I(x) dans le point $Vi(x_{vi} ; y_{vi})$. Nous pouvons alors obtenir « x_{vi} » qui sera utilisé dans la formule (5), en résolvant les systèmes entre la formule (1) et, respectivement, les formules (6), (7) (8) selon l'intervalle de « L ».

Pour l'intervalle 560/590 nm :

$$y_{vi} = a\ x_{vi} + b$$

$$y_{vi} = -0{,}996851\ x_{vi} + 0{,}998313$$

Il en résulte que

$$x_{vi} = (0{,}682013 + 0{,}3101\ a)/(a + 0{,}996851) \qquad (9)$$

Pour l'intervalle 590/750 nm :

$$Y_{vi} = a\ x_{vi} + b$$

$$y_{vi} = -0{,}981898\ x_{vi} + 0{,}987416$$

Il en résulte que

$$x_{vi} = (0{,}671116 + 0{,}3101\ a)/(a + 0{,}981898) \qquad (10)$$

En dernier, pour l'intervalle 492c/560c :

$$y_{vi} = a\ x_{vi} + b$$

$$y_{vi} = 0{,}470774\ x_{vi} - 0{,}79897$$

Dans cet intervalle, nous avons pour « x_{vi} » la valeur :

$$x_{vi} = (0{,}396197 - 0{,}3101\ a)/(0{,}470774 - a) \qquad (11)$$

En remplaçant les formules (9) (10) ou (11) dans la formule(5), nous obtenons la distance CV_i entre l'éclairant C et le point V_i en fonction du seul cœfficient angulaire « a » de la droite qui passe par les deux points et qui peut être obtenue, à partir de la formule (2), par les coordonnées $(x_i ; y_i)$ du point de couleur P_i.

Pour l'intervalle 560/590 nm (vins blancs) :

$$CV_i = 0{,}37289\ [(1 + a^2)/(a + 0{,}99685)]^{1/2}$$

Pour les rouges (590/750 nm) :

$$CV_i = 0{,}36663\ [(1 + a^2)/(a + 0{,}98190)]^{1/2}$$

et pour les pourpres-violet (492c/560c) :

$$CV_i = 0{,}25021\ [(1 + a^2)/(0{,}47077 - a)]^{1/2}$$

Le rapport pour cent entre les segments CP_i et CV_i nous donne donc la « pureté de la couleur pour cent »

$$P\ \% = (CP_i/CV_i)\ 100$$

pour les différents intervalles de « L », c'est-à-dire pour les différentes nuances de couleur que le vin peut avoir.

Donc, pour L = 560/590 nm

$$P\ \% = 100\ (x_i - 0{,}3101)\ (a + 0{,}99685)/0{,}37289 \qquad (12)$$

pour L = 590/750 nm

$$P\ \% = 100\ (x_i - 0{,}3101)\ (a + 0{,}98190)/0{,}36663 \qquad (13)$$

et, finalement, pour L = 492c/560c

$$P\ \% = 100\ (x_i - 0{,}3101)\ (0{,}47077 - a)/0{,}25021 \qquad (14)$$

ÉLABORATIONS GÉOMÉTRIQUES POUR L'ÉVALUATION DE LA LONGUEUR D'ONDE DOMINANTE

En observant la figure 2, nous lisons la longueur d'onde dominante du point de couleur $Pi(x_i ; y_i)$ sur le « *spectrum locus* » dans le point V_i, à l'intersection de la droite qui unit P_i avec l'éclairant C(0,3101 ; 0,3163).

Chaque point V_i du « *spectrum locus* » est en correspondance biunivoque avec une déterminée « L ». Il existe donc une correspondance analogue entre chaque « L » et le cœfficient angulaire « a » de la droite f(x), donnée par les formules (1) et (2).

Cette correspondance peut être explicitée par une fonction qui lie les valeurs de « L » à celles de « a ».

Nous avons donc choisi au hasard sur le diagramme chromatique 464 points (171 dans la zone du rosé-rouge, 122 dans celle du pourpre et 171 dans la zone du jaune). Pour chacun de ces points, nous avons lu les coordonnées trichromatiques $(x_i ; y_i)$ et la valeur de « L ». Puis, après avoir calculé « a » avec la (2), nous avons obtenu les régressions de « L » sur « a » avec la méthode des moindres carrés.

1°) Zone du rouge pourpre-violet

L'intervalle de « L » va de 492c à 560c, où « c » indique qu'il s'agit des « L » complémentaires. La régression linéaire entre « L » et « a » des 122 points a donné un excellent cœfficient de corrélation « r » (0,9998).

$$L = -13{,}19532.\ a + 490{,}54935 \qquad (15)$$

2°) Zone du rosé-rouge

L'intervalle de « L » va de 596 à 750 nm.

La faible valeur du cœfficient de régression linéaire (r = - 0,96) entre « L » et « a » nous a poussé à chercher des régressions plus complexes mais aussi plus efficaces. Si l'on désire cependant une précision plus grande et si l'on dispose d'un ordinateur PC, on peut employer des cœfficients que nous avons calculés avec une régression d'ordre 10 sur les valeurs de « a » calculées avec les coordonnées trichromatiques des 171 points expressément choisis :

$$L = C_{11} + \sum_{i=1}^{10} C_i . a_i \qquad (16)$$

ou les valeurs de C_i sont :

degré n.1 des cœfficients C_1 = 165,0922
degré n.2 des cœfficients C_2 = 548,3786
degré n.3 des cœfficients C_3 = 1219,848
degré n.4 des cœfficients C_4 = 37272,58
degré n.5 des cœfficients C_5 = -858792,7
degré n.6 des cœfficients C_6 = 2403577
degré n.7 des cœfficients C_7 = 2,293155 E + 07
degré n.8 des cœfficients C_8 = -1,207046 E + 08
degré n.9 des cœfficients C_9 = 5,194211 E + 07
degré n.10 des cœfficients C_{10} = 3,329828 E + 08
constante C_{11} = 616,5741

Cette régression a un cœfficient de corrélation particulièrement élevé (r = 0,99990) et permet un écart de L = 0,32 à L = 630 nm et de L = 0,06 à L = 640 nm.

3°) Zone du jaune-vert au jaune-orangé

Pour les vins blancs, la situation est apparemment plus complexe. En effet les vins de nuance jaune pâle, qui tend au jaune-vert, ont un point de couleur P_i dont l'abscisse chromatique s'approche de l'abscisse x = 0, 3101 de l'éclairant C(0,3101/0,3163). Donc, ces points de couleur s'approchent à une « condition de discontinuité » pour ce qui concerne le cœfficient angulaire « a » de la droite qui les réunit à l'éclairant C (figure 2) ; en effet, pour « x » qui tend à 0,3101, la lim a(x) $= \pm \infty$, selon que l'on procède envers x = 0,101 de « droit » ou de « gauche ». Pour surmonter cet obstacle, nous avons considéré la correspondance

biunivoque qui existe entre la valeur de « L » sur le « *spectrum locus* » et la distance « d » du point Vi par un point préétabli $Pr(x_r;y_r)$, choisi au hasard sur g(x). La distance « d » entre $Vi(x_{vi}$; $y_{vi})$ et $Pr(x_r ; y_r)$, tous deux situés sur la droite g(x)=mx+n, est

$$d_i = |x_{vi} - x_r| (1 + m^2)^{1/2}$$

Dans notre cas, puisque nous avons choisi P_r ($x_r = 0,409$; $y_r = 0,951$) et par la (6) m = -0,996851, on a :

$$d_i = |x_{vi} - 0,409| (1 + 0,996851^2)^{1/2}$$

$$d = 1,41199 |x_{vi} - 0,409| \qquad (17)$$

Pour expliquer la correspondance entre les « L » et les « d » en utilisant une fonction qui répond à un cœfficient de corrélation élevé, nous avons choisi au hasard sur le diagramme de chromaticité 171 points $Vi(x_{vi};y_{vi})$ de la g(x).

Après avoir calculé par la (17) toute les distances « d » de P_r, nous avons lu sur le « *spectrum locus* » les valeurs correspondantes de « L«.

Le fait que les distances « d » augmentent de moins en moins en augmentant les valeurs de « L », nous fait utiliser une fonction exponentielle :

$$L = A \, EXP (B \, d) \qquad (18)$$

La régression des valeurs de « L » sur x_{vi} selon la (18) et la (17) nous a permis d'obtenir :

$$A = 564,621174 \qquad B = 0,188192$$

En conséquence la (18) devient :

$$L = 564,621171 \, EXP (0,188192 \, d_i) \qquad (\text{avec } r = 0,9998) \quad (19)$$

En remplacent la (9) dans la (17), et par la (19), nous obtenons :

$$L = 564,62117. \, EXP[0,265725. \{\frac{0,6820 + 0,3101 \, a}{0,996851 + a} - 0,409)\} \qquad (20)$$

Cette régression a un cœfficient de corrélation très élevé (r = 0,9998).

PROGRAMME BASIC POUR ORDINATEUR PC

Nous avons choisi le langage BASIC car il est le plus usuel, compréhensible et utilisable avec un ordinateur P.C. présentant même de modestes performances. Nous reportons en annexe le programme que nous avons élaboré. Ce programme occupe une mémoire

de 7.100 byte et il se rapporte à la mesure de 40, 13 ou de 4 absorbances selon la précision souhaitée (méthodes CIE40, CIE13, CIE4). Il diffère des autres programmes que nous avons déjà indiqués dans d'autres publications, par une plus forte précision dans l'élaboration des données et pour le « choix autonome » que ce programme réalise en adressant les données dans les différentes zones de couleur.

En effet le programme, après avoir calculé les coordonnées trichromatiques x_i et y_i du point de couleur P du vin et le cœfficient angulaire « a » de la droite qui passe par le point P et par l'éclairant C, associe une couleur au moyen de l'histogramme qui traduit :

a>0,2291	zone des jaunes
-0,12075<a<0,2291	zone rosés-rouges
a<-0,12075	zone pourpre-violet

Le cœfficient a =- 0,12075 est relatif au point de couleur de coordonnées (x = 0,735 ; y = 0,265) et correspond à la longueur d'onde dominante L =7 50, qui sépare les zones des rouges et des pourpre-violet. Cette zone commence par L = 492,14c ; a = 0,2291 est le cœfficient angulaire qui sépare la zone des jaunes de celle des rosés-rouges.

En effet pour a = 0,2291 la longueur d'onde dominante L = 596,27 calculée par l'équation des jaunes (20) est presque égale a celle (L = 596,94) calculée par l'équation des rosés-rouges (16).

Après avoir élaboré les valeurs de la longueur d'onde dominante et la pureté selon les formules indiquées dans les paragraphes précédents pour chaque zone de couleur (12, 13, 14, 15, 16, 20), le programme s'adresse vers un seul chemin qui fournit les résultats sur l'écran et sur l'imprimante. Le compte rendu indique:

- le vin et l'épaisseur de la cuve,
- les coordonnées trichromatiques du point de couleur $P_i(x_i;y_i)$,
- la luminosité de la couleur pour cent (Y %),
- la pureté de la couleur pour cent (P %),
- la longueur d'onde dominante (L).

COMPARAISON ENTRE LES MÉTHODES PAR 40, 13 OU 4 ABSORBANCES

Afin d'évaluer si les méthodes simplifiées CIE par 4 ou 13 mesures d'absorbance (méthodes CIE4 et CIE13) donnent des résultats suffisamment proches de ceux obtenus par la méthode CIE avec 40 absorbances, nous avons réalisé les essais suivants .

1°) Évaluation expérimentale du seuil de sensibilité de l'œil moyen à la variation d'une couleur déterminée; nous indiquons cette valeur par le sigle S.O.V.

Un vin (Rouge noté R, Blanc B ou Rosé RS), a été dilué par une solution hydro-alcoolique de même pH et de même titre alcoométrique que le vin, de sorte qu'un groupe de 15 « observateurs », en utilisant un test duo-trio, ont indiqué pour la « différence de couleur » une différence très significative (P = 99 p. cent) entre le vin R et le vin dilué.

On a ensuite effectué des dilutions de R de plus en plus petites jusqu'à obtenir deux vins, Ra et Rb, de dilutions très voisines, mais tels que l'analyse statistique des observations (P=99 %) indique une différence significative pour la comparaison R/Ra et n'indique pas une différence significative pour la comparaison R/Rb.

Nous pouvons dire que pour le vin R la variation de couleur la plus petite que l'oeil moyen réussit à percevoir est comprise entre la différence de couleur des vins R et Ra et la différence de couleur des vins R et Rb ; de plus nous pouvons estimer que cette variation minime de couleur peut représenter le seuil de sensibilité de l'oeil moyen à la variation (S.O.V.) d'une couleur du type de R.

Nous pouvons schématiser :

(couleur R - couleur Ra) < S.O.V. < (couleur R - couleur Rb) (21)

en admettant que l'analyse instrumentale de la couleur donne deux résultats différents pour les couleurs de R et de Ra.

2°) Définition d'un paramètre d qui, au moyen de l'analyse instrumentale, puisse évaluer la différence entre deux couleurs.

Par l'emploi des coordonnées chromatiques, les trois vins R, Ra et Rb sont représentables par trois points de couleur (figure 3). Nous pouvons assimiler la « différence de couleur » entre deux vins à la « distance » entre deux points de couleur, segment d, calculé par l'emploi des coordonnées chromatiques avec les formules

(couleur R - couleur Ra) équivalent à $d_{R\,;\,Ra} = [(x_R - x_{Ra})^2 + (y_R - y_{Ra})^2]^{1/2}$ (22)

(couleur R - couleur Rb) équivalent à $d_{R\,;\,Rb} = [(x_R - x_{Rb})^2 + (y_R - y_{Rb})^2]^{1/2}$ (23)

Donc, pour la (21), nous pouvons considérer que :

$d_{R\,;\,Ra} < S.O.V. < d_{R\,;\,Rb}$ (24)

3°) Dans le tableau I nous avons indiqué les coordonnées chromatiques des vins rouges R, Ra et Rb, vins blancs (B, Ba, Bb) et vins rosés (RS, RSa, RSb) pour lesquels nous avons conduit une expérience identique.

Les coordonnées de chaque vin ont été déterminées par les trois méthodes CIE40, CIE4 et CIE13. En partant de ces coordonnées et par l'emploi des formules (22) et (23), nous avons calculées les distances entre les points de couleur de chaque vin (tableau II).

TABLEAU I

Coordonnées chromatiques des points de couleur des vins rouges (R, Ra, Rb), blancs (B, Ba, Bb) et rosés (RS, RSa, RSb)

Vins	CIE 40 absorb.		CIE 4 absorb.		CIE 13 absorb.	
	x	y	x	y	x	y
R	0,6426	0,3086	0,6379	0,3160	0,6419	0,3104
Ra	0,6336	0,3096	0,6308	0,3154	0,6323	0,3116
Rb	0,6261	0,3103	0,6246	0,3148	0,6250	0,3123
B	0,3179	0,3239	0,3172	0,3262	0,3180	0.3261
Ba	0,3178	0,3258	0,3169	0,3258	0,3179	0,3261
Bb	0,3176	0,3256	0,3168	0,3258	0,3177	0,3257
RS	0,3935	0,2965	0,3886	0,2843	0,3927	0,2974
RSa	0,3930	0,2964	0,3880	0,2851	0,3923	0,2976
RSb	0,3914	0,2965	0.3865	0,2846	0,3908	0,2976

Dans le même tableau nous observons les trois intervalles de S.O.V. comme ils dérivent de la (24), en utilisant les trois méthodes CIE pour un vin rouge, blanc ou rosé.

4°) Ce paramètre d (différence entre les points de couleur) peut être aussi employé pour définir la distance entre les points de couleur qu'on obtient en utilisant, pour un même vin, la méthode CIE40 ou la méthode simplifiée CIE4 ou bien CIE13. De plus, ces distances d peuvent être calculées avec les formules :

$$d_{CIE40\,;\,CIE4} = [(x_{40}-x_4)^2+(y_{40}-y_4)^2]^{1/2}$$

$$d_{CIE40\,;\,CIE13} = [(x_{40}-x_{13})^2+(y_{40}-y_{13})^2]^{1/2}$$

dont les coordonnées chromatiques, indiquées par les nombres 40 - 4 - 13, sont obtenues des trois méthodes CIE. Dans le tableau III, pour chacun de 39 vins de couleur différente, on a noté les distances d entre les points de couleur obtenus par la méthode CIE40 et par la méthode CIE4 ou CIE13.

5°) Nous comparons ensuite les valeurs de $d_{CIE40\,;\,CIE4}$ et $d_{CIE40\,;\,CIE13}$ (tableau III) aux intervalles du seuil de sensibilité de l'oeil moyen à la variation d'une couleur déterminée (S.O.V. dans le tableau II).

Trois cas sont possibles :

a) Pour un vin donné, la distance entre les points de couleur calculée par une méthode simplifiée ou par celle CIE40 est plus petite de la limite inférieure du seuil de sensibilité de la vue à la variation de la couleur même (S.O.V.) ; dans ce cas, les deux méthodes CIE donnent des résultats entre eux plus voisins de tout ce que l'œil peut discriminer ; la méthode simplifiée peut être utilisée avantageusement.

TABLEAU II

Distances du point de couleur du vin (rouge : R, blanc : B, rosé : RS) et des points des vins Ra ou Rb, Ba ou Bb, RSa ou RSb calculés par les trois méthodes CIE

Distances entre les points de couleur des vins	Méthode		
	CIE40	CIE4	CIE13
R-Ra R-Rb	90,6 165,9 90,6 < S.O.V. < 165,9	71,3 133,5 71,3 < S.O.V. < 133,5	96,7 170,1 96,7 < S.O.V. < 170,1
B-Ba B-Bb	1,4 4,2 1,4 < S.O.V. < 4,2	4,0 5,6 4,0 < S.O.V. < 5,6	1,4 5,0 1,4 < S.O.V. < 5,0
RS-RSa RS-RSb	5,1 21,0 5,1 < S.O.V. < 21,0	10,0 21,2 10,0 < S.O.V. < 21,2	4,6 19,1 4,6 < S.O.V. < 19,1

valeurs de $d10^4$

b) La distance entre les points de couleur d'un vin, obtenus par les deux méthodes, est plus grande de la limite supérieure du seuil de sensibilité de la vue à la variation de la couleur; dans ce cas la déviation de la méthode simplifiée au regard de la méthode CIE40 est sûrement plus grande du seuil de sensibilité visuelle et donc, pour des évaluations plus précises, la méthode CIE40 est conseillée.

c) La distance entre les points de couleur d'un vin, obtenus par deux méthodes différentes, est incluse dans les limites inférieure et supérieure du seuil de sensibilité visuelle ; même dans ce cas la méthode CIE40 est conseillée.

L'examen comparé des tableaux II et III montre que :

- pour les vins blancs et rosés, les méthodes simplifiées CIE13 et CIE4 fournissent des résultats sensiblement différents de ceux de la méthode CIE40 ; en effet la mesure d'uniquement 4 ou 13 absorbances conduit à des points de couleur plus éloignés de ceux de la méthode CIE40 que le seuil de sensibilité de la vue à la variation de la couleur. Il peut arriver que deux vins, distincts par l'oeil moyen, ne soient pas discriminés pour les caractères chromatiques si nous utilisons la méthode CIE40 pour l'un et la méthode CIE4 pour l'autre. En effet, deux vins A et B, qui sont différents à l'observation visuelle, peuvent conduire à des points de couleur schématisés ainsi :

(dans le diagramme C.I.E.) A40 —— B40 —— A4 —— B4

S.O.V.

TABLEAU III

Distances des points de couleur obtenus par la méthode CIE40 et les méthodes CIE4 ou CIE13 (valeurs de d*10^4)

Vins rouges	CIE40 - CIE4	CIE40 - CIE13	Vins blancs	CIE40 - CIE4	CIE40 - CIE13	Vins rosés	CIE40 - CIE4	CIE40 - CIE13
R	87,7	19,3	B	7,6	2,2	S	131,5	12,0
Ra	64,4	23,8	Ba	9,0	2,2	Sa	123,6	13,9
Rb	47,4	22,8	Bb	8,2	1,4	Sb	128,7	12,5
1	143,0	48,3	1	35,2	2,8	1	48,0	6,3
2	55,2	32,5	2	44,0	2,8	2	55,3	7,3
3	113,3	77,6	3	13,9	2,2	3	88,6	13,0
4	83,5	27,6	4	5,4	1,4	4	78,4	30,2
5	105,6	26,1	5	33,2	5,1	5	89,1	12,2
6	153,6	29,0	6	18,0	3,2	6	51,0	6,0
7	78,6	29,5	7	14,3	1,0	7	11,4	2,0
8	51,1	32,0	8	13,3	3,6	8	10,0	1,0
9	92,3	28,6	9	7,6	2,1	9	61,6	5,6
10	105,4	27,5	10	8,5	2,6	10	88,5	11,5

la « distance » entre A40 et B40 est plus grande de la S.O.V., mais la « distance » entre B40 et A4 en est plus petite, et donc l'analyse instrumentale (B40 ; A4) ne réussit pas à différencier ce qui au contraire est admis pour l'oeil (A différent de B) ;

- pour les vins rouges, la méthode CIE13 seule ne fournit pas des résultats sensiblement différents de ceux de la méthode CIE40 ; tandis que la mesure de 4 absorbances conduit à des points de couleur plus éloignés de ceux de la méthode CIE40 que le seuil de la sensibilité de l'œil à la variation de la couleur.

CONCLUSION

Nous pouvons conclure en affirmant que la détermination des cordonnées chromatiques, en partant de mesures spectrophotométriques de la substance, constitue la méthode la plus sûre pour définir numériquement une couleur conventionnelle dans un vin.

Mais il est très important que la détermination de la couleur conventionnelle soit effectuée d'une façon rigoureuse et reproductible. Cette mesure est vraisemblablement possible pour tous les vins par l'emploi de la méthode de la C.I.E. en utilisant 40 mesures d'absorbances de 380 à 770 nm. La détermination des caractères chromatiques par 4 ou 13 absorbances conduit à des valeurs chromatiques plus éloignées de celles obtenues par 40 mesures et plus éloignées que celles dues à la sensibilité de l'œil moyen à la variation de la couleur.

Les calculs numériques deviennent très simples si on se sert du programme informatique que nous proposons et qui utilise les algorithmes obtenus par quelques interprétations géométriques. L'exactitude des résultats obtenus est nettement plus élevée que celle provenant d'une utilisation manuelle du diagramme chromatique.

Manuscrit reçu le 16 novembre 1992 ; accepté pour publication le 14 juin 1994

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAMBERLIN G.J., CHAMBERLIN D.G., 1980. *Colour.* Heyden, London.

C.I.E., 1931. *Proceedings of the 8th session of the Commission Internationale de l'Eclairage.* Cambridge University Press, 1932. AO, 22-23.

C.I.E., 1967. Report of the Colorimetry Committee of the Commission Internationale d'Eclairage. *Journal of the Optical Society of America.* 1968, **58**, n°2, 290.

O.I.V., 1990. *Recueil des Méthodes Internationales d'Analyse des vins.* AO, 17-22.

PIRACCI A., 1984. Determinazione computerizzata delle caratteristiche cromatiche dei vini bianchi. *Riv.Vit.Enol.*, **4**, n°1, 39-150.

PIRACCI A., SPERA G., 1986. Il colore nei vini rossi. Confronto tra metodi di analisi. *Vignevini*, **6**, 53-58.

ROUBERT J., 1976. *Determination de la couleur par la méthode des tristimuli.* Assemblée générale du « Groupe Polyphénols ». Dijon, mai 1976.

ANNEXE

Programme de détermination de la couleur

```
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
REM
```

PROGRAMME "DÉTERMINATION DE LA COULEUR"
Élaboration A.PIRACCI - 1994

Programme pour la détermination des coordonnées trichromatiques et des caractéristiques chromatiques selon la méthode C.I.E. par l'emploi de 40, 13 ou bien 4 valeurs d'absorbance. On enregistre l'épaisseur en cm de la cuve et les 40 valeurs des absorbances de 770 à 380 nm avec des intervalles de 10 nm ou les 13 valeurs d'absorbance de 700 à 400 nm avec des intervalles de 25 nm ou bien les 4 absorbances à 445, 495, 550 et 625 nm.

```
10        DIM OD(40), A(40), B(40), C(40), T(40)
CLS
REM Data=cœfficients de spécification des composants trichromatiques
REM pour les absorbances de 380 à 770 nm
      DATA .036,0,.164,.183,.004,.87,.841,.021,3.992,3.180,.087,15.159,12.623
      DATA .378,60.646,29.913,1.225,146.019,39.741,2.613,199.357,39.191,4.432
      DATA 206.551,33.668,6.92,193.235,22.878,10.605,150.550,11.038,16.129
      DATA 94.220,3.639,23.591,52.789,.511,34.077,28.717,.898,48.412,15.181
      DATA 5.752,64.491,7.141,15.206,79.357,3.871,27.858,91.47,1.956,42.833
      DATA 98.343,.86,58.782,98.387,.381,73.23,91.476,.202,84.141,79.897
      DATA .147,89.878,66.283,.101,89.536,53.157,.067,83.294,41.788,.029
      DATA 70.604,31.485,.012,53.212,21.948,0,36.882,14.411,0,23.531,8.876,0
      DATA 13.589,5.028,0,7.113,2.606,0,3.657,1.329,0,1.721,.621,0,.806,.29
      DATA 0,.398,.143,0,.183,.064,0,.085,.030,0,.04,.017,0,.017,.006,0,.008
      DATA .003,0,.003,0,0
      REM DATA = cœfficients de spécification des composants trichromatiques
      REM pour les absorbances de 400 à 700 nm :
320   DATA 3.2,.1,14.9,53.1,2.2,259.2,94.9,11.5,504.0,43.1,34.0,307.0
      DATA 3.5,87.6,78.4,27.4,179.2,14.7,107.8,241.7,2.5,195.4,213.2,0.4
      DATA 220.3,134.0,0.2,154.3,67.2,0,61.0,23.3,0,14.2,5.2,0,2.3,0.8,0
      REM On pose les conditions de INPUT de la méthode C.I.E. (par 40,
      REM 13 OU 4 absorbances), épaisseur de la cuve et lecture des DATA:
      INPUT "VIN  :  " ;   " ; Z$ : PRINT
      INPUT "choisir le nombre des absorbances (écrire 40 ou 13 ou 4)" ; N
      IF N = 4 GOTO 1500
      INPUT "épaisseur cuve (cm) =" ; V: PRINT
      X = 0 : Y = 0 : Z = 0
      IF N = 13 THEN 450
430 G = 370 : W = 10 : GOTO 460
450 G = 375 : W = 25
460 B = G
      IF N = 13 THEN RESTORE 320
  REM INPUT des absorbances, lecture des DATA et élaboration des
  REM coordonnées trichromatiques :
      FOR I = 1 TO N
        B = B + W
         PRINT "absorbance  a  " ; B ; "nm"
           INPUT OD(I)
            OD(I) = OD(I) / V
           READ A(I), B(I), C(I)
            T(I) = 10 ^ (2 - OD(I))
            X = X + A(I) * T(I): Y = Y + B(I) * T(I): Z = Z + C(I) * T(I)
      NEXT I
610         XX = X / (X + Y + Z): YY = Y / (X + Y + Z)
                  A = (YY - .3163) / (XX - .3101)
  REM  Ligne 640-680 = algorithme qui pousse aux différentes zones de couleur :
```

ANNEXE (suite)

Programme de détermination de la couleur

```
IF A > .2291 THEN 710: IF A < -.12075 THEN 750
   GOTO 790
710 REM Zone de couleur des jaunes
  I = 564.62117# * EXP(.265725 * ((.68201 + .3101 * A) / (A + .9969) - .409))
  S = 100 * (XX - .3101) * (A + .99685) / .37289
   GOTO 930
750 REM Zone de couleur du pourpre-violet
  I = -13.195322# * A + 490.549353#
  S = 100 * (XX - .3101) * (.47077 - A) / .25021
   GOTO 930
790 REM Zone de couleur des rose-rouges
L1  =  -165.0922 * A: L2 = 548.3786 * A ^ 2: L3 = 1219.848 * A ^ 3
L4  =  37272.58 * A ^ 4: L5 = -858792.7 * A ^ 5: L6 = 2403577! * A ^ 6
L7  =  2.293155E+07 * A ^ 7: L8 = -1.207046E+08 * A ^ 8
L9  =  5.194211E+07 * A ^ 9: L10 = 3.329828E+08 * A ^ 10: L11 = 616.5741
   I  =  L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 + L11
      S = 100 * (XX - .3101) * (A + .9819) / .36663
930  COLOR 0, 3
     PRINT "        CARACTERISTIQUES CHROMATIQUES DU VIN  : " ; Z$: PRINT
      PRINT "Coordonnées trichromatiques :"
         XX = XX * 10000 : XX = INT(XX) : XX = XX / 10000
         YY = YY * 10000 : YY = INT(YY) : YY = YY / 10000
     PRINT "x= " ; XX ; "y= " ; YY: PRINT
      PRINT "Pureté de la couleur (P%)= " ; S
      PRINT "Luminosité' (Y%) = " ; Y / 1000
            IF A < -.12075 THEN GOTO 1050
            PRINT "Longueur d'onde dominante (nm)= " ; I
      GOTO 1060
1050 PRINT "Longueur d'onde dominante (nm)=" ; I ; "C"
1060 LPRINT "     CARACTERISTIQUES CHROMATIQUES DU VIN  : " ; Z$: LPRINT
1065 IF  N = 4 THEN 1115
1070      IF N = 13 THEN 1110
  AB =  380: BA = 770: AC = 10
      GOTO 1120
1110          AB = 400: BA = 700: AC = 25: GOTO 1120
1115 LPRINT "Méthode C.I.E. par l'emploi de 4 valeurs d'absorbance (à 445,"
1116 LPRINT "495, 550 et 625 nm) et par une cuve de " ; V ; "cm"
1117 GOTO 1124
1120 LPRINT "Méthode C.I.E. par l'emploi de " ; N ; "valeurs d'absorbance de "
1121 LPRINT AB ;  " à " ; BA; "nm avec des intervalles de " ; AC ; "nm "
1122 LPRINT "et par une cuve de " ; V ; "cm"
1124       LPRINT TAB(20) ; "Coordonnées trichromatiques :": LPRINT
      LPRINT TAB(20) ; "x=" ; XX , TAB(45) ; "y=" ; YY: LPRINT
      LPRINT TAB(5) ; "Luminosité (Y%) ="  Y / 1000: LPRINT
      LPRINT TAB(5) ; "Pureté de la couleur (P%) =" ; S: LPRINT
            IF A < -.12075 THEN GOTO 1210
            LPRINT TAB(5) ; Longueur d'onde dominante (nm) = " ; I
      GOTO 1220
1210 LPRINT TAB(5) ; "Longueur d'onde dominante (nm) = ", I ; " Complémentaire"
END
1500 INPUT "épaisseur cuve (cm)=" ; V
      INPUT "445" ; D1: INPUT "495" ; D2: INPUT "550" ; D3: INPUT "625" ;D4
      D1 = D1 / V: D2 = D2 / V: D3 = D3 / V: D4 = D4 / V
T1 = 10 ^ (2 - D1): T2 = 10 ^ (2 - D2): T3 = 10 ^ (2 - D3): T4 = 10 ^ (2 - D4)
X = .42 * T4 + .35 * T3 + .21 * T1: Y = .2 * T4 + .63 * T3 + .17 * T2
Y = .2 * T4 + .63 * T3 + .17 * T2: Z = .24 * T2 + .94 * T1
X = X * 1000: Y = Y * 1000: Z = Z * 1000
GOTO 610
```