S.E.I.D. Paris
Editeur

Directeur de rubrique : Dr F. Duret

Que François Duret soit maintenant connu par la plupart des odontologistes de France et de l'étranger ne peut pas être nié.

Que sa conception sur les fabrications assistées par ordinateur soit considérée comme une réalité actuelle prête à se déployer dans la pratique quotidienne de l'odontologiste, est beaucoup moins évident.

Les remises en questions effraient la plupart du temps il est donc plus commode de les ajourner pour se réfugier dans une routine d'un confort... provisoire.

L'empreinte optique continuée par une machine à contrôle numérique permet, depuis plusieurs mois déjà, la réalisation de prothèses fixées ; demain celle des prothèses mobiles ainsi que la conduite des traitements orthodontiques.

Il n'est donc pas possible d'ignorer : ni pour le praticien, ni pour l'enseignant, ni pour l'étudiant.

C'est donc la raison de cette nouvelle rubrique.

R. Sangiuolo

Quand l'art devient science : la spectrocolorimétrie

François DURET, Yves DORDET*, Jean-Michel DECAUDIN* et Michel LEQUIME***

*** Laboratoire de recherche et de développement d'optique et d'optoelectronique de la Société Bertin, centre des milles à Aix-en-Provence.**
**** Laboratoire du GBM de CFAO, Ch. de Malissol, Vienne (France) et section de CFAO prothétique de la Faculté Odontologique de Marseille.**

Résumé

Le choix de la couleur des dents artificielles ne doit plus relever d'une impression subjective mais de la Spectrocolorimétrie qui est une science.

Après avoir rappelé les notions fondamentales du « spectre et de la couleur », du « spectre d'émission des sources » ainsi que de la dérivation de la couleur et de la quantification des couleurs, les auteurs énumèrent les raisons de cette étude et définissent ensuite la colorimétrie puis la spectrocolorimétrie dentaire.

Le prochain article déjà annoncé dressera le bilan des résultats expérimentaux obtenus.

Mots-clés : Couleur - Spectrocolorimétrie - Métamérisme - Odontologie

Summary

The choice of the shade or colour of artificial teeth should no longer depend on a subjective impression but on a science called spectro-colorimetry.

Then the writers give a list of the reasons why they have made this study and define what colorimetry and dental spectrocolorimetry are.

Of course they mention the fundamental notions : spectrum and colour ; spectrum of the emission of sources ; derivation and quantification of the colours.

INTRODUCTION

Dans la réalisation esthétique d'une prothèse, la seule chose importante est l'obtention d'une harmonie (1). Même si l'on doit admettre que cette eurythmie est sous la dépendance de la mode, sa construction repose sur un acte de copie et de mise en environnement.

L'art est « l'ensemble des procédés, des connaissances et des règles intéressant l'exercice d'une activité ou d'une action... Le but final est de reproduire chez l'homme un état particulier de sa sensibilité plus ou moins lié au plaisir esthétique ». Nous pourrions gloser de nombreuses heures sur un tel monument mais une chose resterait constamment présente : l'art passe obligatoirement par l'expression de l'artiste au delà de ce que nous voyons. La créativité de l'homme doit obligatoirement s'exprimer dans l'art et la définition de la fin du XIXe siècle « ... l'exécution d'un objet... par voie d'imitation » explique sans doute la confusion qui existe entre Science et Art dentaire dans certains esprits aujourd'hui.

Cette modeste introduction nous permet de rappeler l'esprit qui anima notre présentation de Marseille en mai 1986. La dentisterie n'est pas un art, au sens contemporain du terme, mais une Science, elle est la construction dans l'espace et le temps, d'une fonction, d'une forme, où la place de l'action créatrice et artistique de l'homme diminuera d'autant plus que les règles la régissant seront définies et découvertes.

En dehors des règles de formes et de temps, recherchées par la CFAO, existent celles régissant l'esthétisme et dont la couleur est l'un des premiers fleurons. La couleur ou plus exactement la colorimétrie est une science depuis plus de deux siècles et tous ceux qui pourraient penser aujourd'hui que la couleur des dents relève d'une impression subjective font une bien grosse sous estimation de l'art en la matière...

DONNÉES FONDAMENTALES

Le spectre et la couleur

La composition spectrale de la lumière d'une source quelconque est composée d'un grand nombre de radiations correspondant à des couleurs différentes allant, dans le sens de longueurs d'onde croissantes, du violet au bleu, vert, jaune, orangé et rouge, avec évidemment toutes les nuances intermédiaires **(Fig. 1)**. Cet effet de décomposition peut être obtenu en plaçant un prisme dans le trajet d'un faisceau lumineux blanc **(Fig. 2)** (effet arc en ciel). Inversement, il est possible de reconstituer un faisceau de lumière blanche en superposant toutes les composantes de la lumière. En fait, on s'est rendu compte que l'on pouvait atteindre ce résultat avec seulement 3 radiations : le vert, le rouge et le bleu (signal RVB). Ces 3 couleurs, dites fondamentales ou encore primaires additives, suffisent, en faisant varier leurs proportions, à l'obtention de toute couleur du spectre.

Si l'on superpose seulement deux couleurs, on obtient les couleurs suivantes :
— le bleu plus le vert nous donne le cyan,
— le vert et le rouge nous donne le jaune,
— le bleu et le rouge nous donne le pourpre.

Ces trois couleurs, dites primaires soustractives, sont obtenues par soustrac-

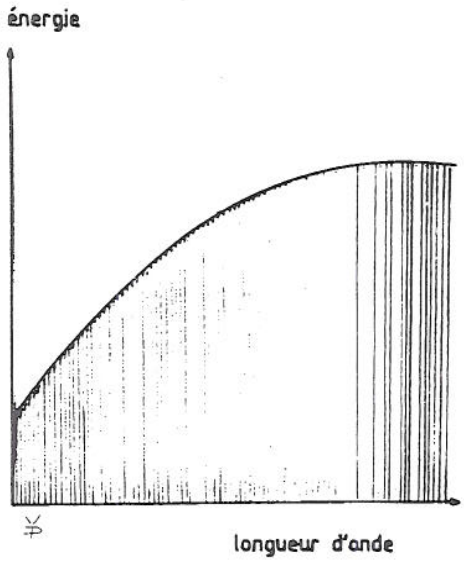


Fig. 1. Lumière colorée

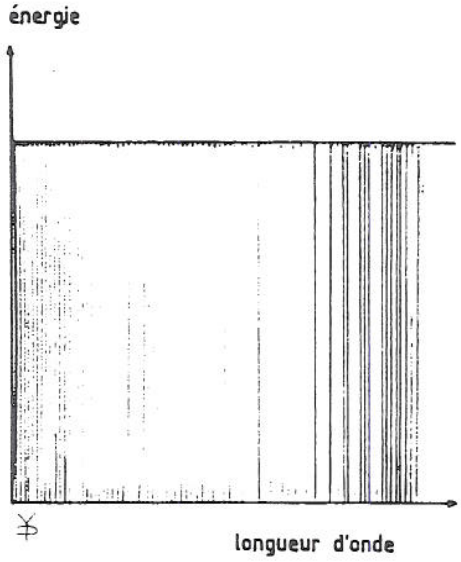
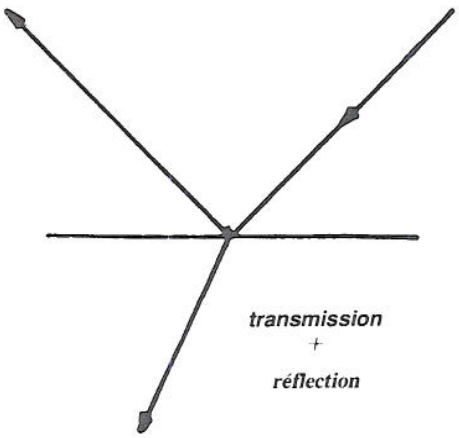
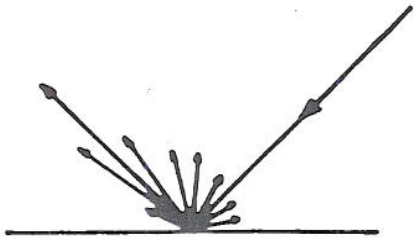
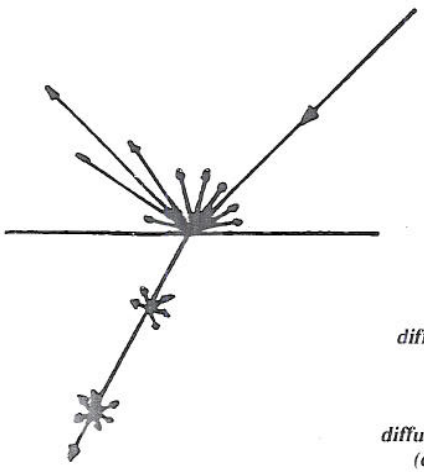


Fig. 2. Lumière blanche







réflection
+
diffusion de surface
+
transmission
+
diffusion dans la masse
(cas d'une dent)

Fig. 3. Interaction complexe de la lumière avec un corps

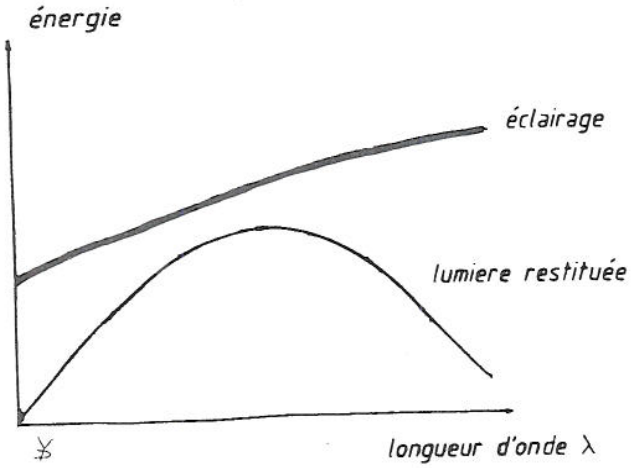


Fig. 4. Restitution partielle de la lumière par un corps coloré

tion d'une couleur fondamentale à la lumière blanche. D'ailleurs, si l'on rajoute le cyan au rouge, on obtient le blanc. Inversement, si l'on soustrait le vert au blanc on obtient le pourpre.

La couleur d'un objet s'explique par l'application de ce principe. Supposons qu'un objet soit frappé par une lumière blanche et reflète la totalité des radiations incidentes ; il nous apparaîtra blanc. L'objet n'a pas interagit avec le spectre. Si le rayonnement pénètre à l'intérieur et est totalemen absorbé par l'objet, ce dernier apparaîtra noir. Enfin, s'il n'absorbe qu'une partie des radiations incidentes, l'objet prendra la couleur complémentaire de la lumière absorbée. Lorsque la lumière éclaire une dent, le faisceau lumineux se reflète en surface, de manière complexe et spéculaire, pénètre à l'intérieur, en se reflètant sur différentes couches et va quelquefois jusqu'à traverser la totalité de la matière **(Fig. 3)**.

La couleur d'un objet doit, selon la théorie énoncée précédemment, nous permettre de prévoir les longueurs d'onde qu'il absorbe. A l'inverse, si l'on dispose du spectre de réémission d'un objet à partir d'une source dont on connaît le spectre **(Fig. 4)**, il est possible d'en préciser la couleur. La dent n'échappe pas à cette règle et le spectre du faisceau diffusé par la dent et atteignant les yeux sera « le reflet exact » de la couleur de cette dernière. La couleur d'un objet devient réellement son empreinte digitale car elle est le reflet de sa constitution structurale. La couleur apparente d'un corps est donc directement fonction de l'énergie rayonnante de la source d'éclairage et de la constitution structurale du corps étudié.

Le spectre d'émission des sources

Une source lumineuse a un spectre d'émission caractéristique, c'est-à-dire que son énergie est distribuée sur différentes longueurs d'onde, de façon continue ou discrète. Le spectre de la lumière blanche est un spectre typiquement équiénergétique **(Fig. 1)**, c'est-à-dire, possédant la même quantité d'énergie quelle que soit la longueur d'onde. La lumière du soleil sera différente suivant l'état du ciel. Nous dirons qu'un point culminant se situera à 500 nm.. Certaines sources lumineuses en particulier, comme les lampes à incandescence, pourront émettre très fortement au niveau des infra-rouges. D'autres, au contraire, comme les tubes fluorescents, émettront entre 440 nm (Tungstate de Cd) et 650 nm (Borate de Ca).

Si l'on veut analyser un spectre de réflexion pour connaître la couleur d'un objet, il est nécessaire de toujours utiliser la même source lumineuse. Si pour des couleurs très franches, comme les tapisseries, l'œil est peu sensible aux variations induites par l'éclairage, pour des nuances aussi fines que celles régissant la couleur des dents, l'œil y sera très sensible.

Définition de la couleur

Nous définissons classiquement la couleur par 3 paramètres :
— l'espèce,
— la pureté,
— l'intensité.

L'espèce d'une couleur est sa teinte (longueur d'onde au centre de gravité) ou tonalité chromatique (**Fig. 5**). Munsell, dans sa présentation, la répartissait le long d'un cercle (roue de Munsell). Elle est définie comme la longueur d'onde λe au centre de gravité du spectre perçu.

La pureté peut être définie comme la part d'énergie correspondant à l'espèce estimée de longueur d'onde λe par rapport à l'ensemble de l'énergie du spectre. Elle correspond à la saturation de Munsell. C'est la quantité de teinte que contient la couleur. Une couleur pure présente un spectre « pointu » (émission laser = pureté 1) alors qu'une couleur impure, lavée de blanc présente un spectre à larges bandes (couleur pastel).

L'intensité ou luminosité est « ce qui distingue une couleur claire d'une couleur sombre » (Munsell).

Elle peut être exprimée de deux manières différentes :
— intensité énergétique (énergie réémise par la couleur),

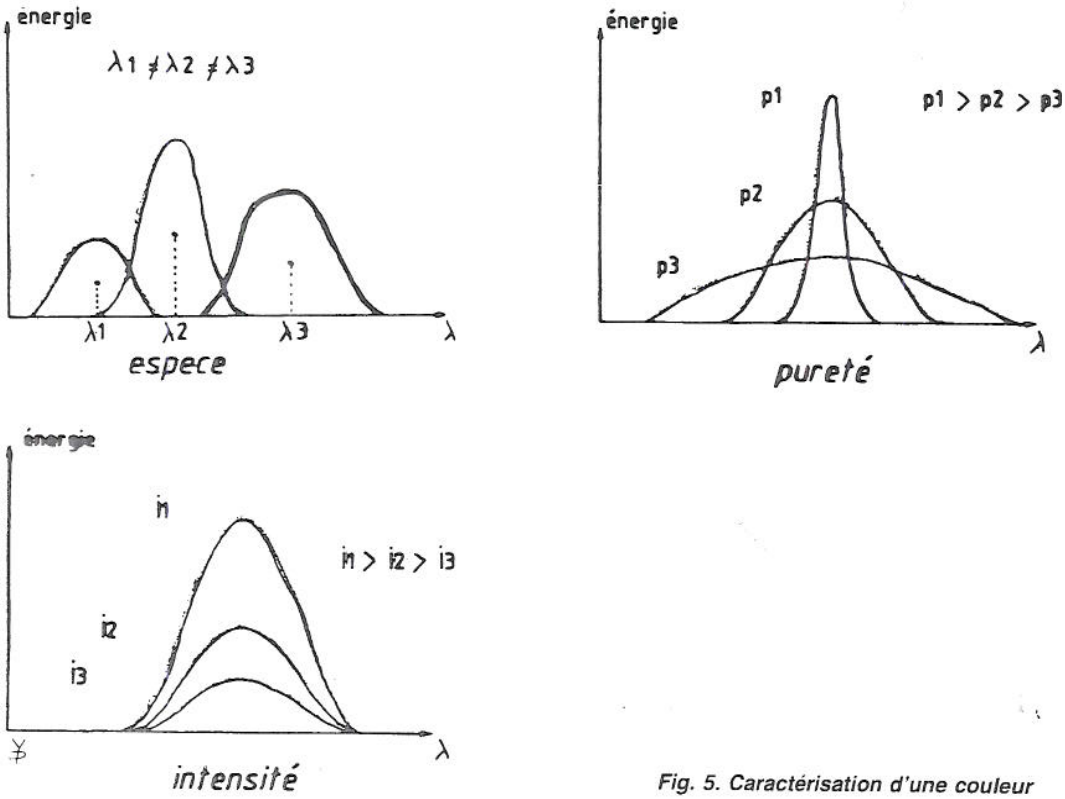


Fig. 5. Caractérisation d'une couleur

— intensité visuelle qui représente la corrélation,
entre la visibilité de l'œil et l'intensité énergétique. C'est l'intensité perçue par l'observateur.

L'espèce et la pureté sont souvent regroupées sous le terme de coordonnées de chromaticité car elles définissent la couleur apparente. Ces trois fonctions se retrouvent facilement à partir du spectre d'émission (pour une source) ou du spectre de la couleur (pour une dent).

Quantification des couleurs

Nous avons vu que toute couleur peut être reconstituée par un mélange approprié des 3 couleurs de base. Une couleur peut donc être caractérisée par sa proportion en 3 couleurs de base.

couleur = r(R) + v(V) +b(B)

Les trois couleurs de base de tout système sont le rouge, le vert et le bleu (signal RVB) et les composantes trichromatiques, r, v, b sont des entiers, réels et sans dimensions.

Chaque couleur étant définie par trois coordonnées, on peut la représenter par un point dans un système à 3 dimensions. Le blanc sera représenté par la relation :
W = 1(R) + 1(V) +1(B)

Les trois couleurs de base, découvertes par Le Blanc (1731), ont été étudiées par la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) et ceci a conduit à un choix de trois couleurs de base, x, y, z, représentatives d'une réalité physique.

Elles ont comme caractéristique physique :
— leur somme équivalente donne le blanc.
— leurs surfaces spectrales sont identiques.
— l'une des composantes représente la courbe de visibilité de l'œil humain.

Ce sont : l'ambre (rouge), le vert, le bleu.

La recherche d'une couleur consiste à déterminer le pourcentage des composantes X, Y et Z de la CIE dans cette couleur analysée (on multiplie la courbe spectrale de la couleur, ordonnée par ordonnée, pour chacun des stimulus, puis on fait l'intégration par sommation des trois courbes obtenues). On obtient ainsi 3 valeurs **(Fig. 6)** :
X = courbe spectrale couleur, courbe spectrale CIE ambre.
Y = courbe spectrale couleur, courbe spectrale CIE vert.
Z = courbe spectrale couleur, courbe spectrale CIE bleu.

Si ces valeurs identifient les couleurs par rapport aux trois couleurs de base de la CIE, elles ne sont pas identifiables aux trois paramètres qui nous intéressent : l'espèce, l'intensité et la pureté. Pour obtenir ces trois paramètres, la CIE a défini un système de coordonnées tel que :

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$Y = Y$$

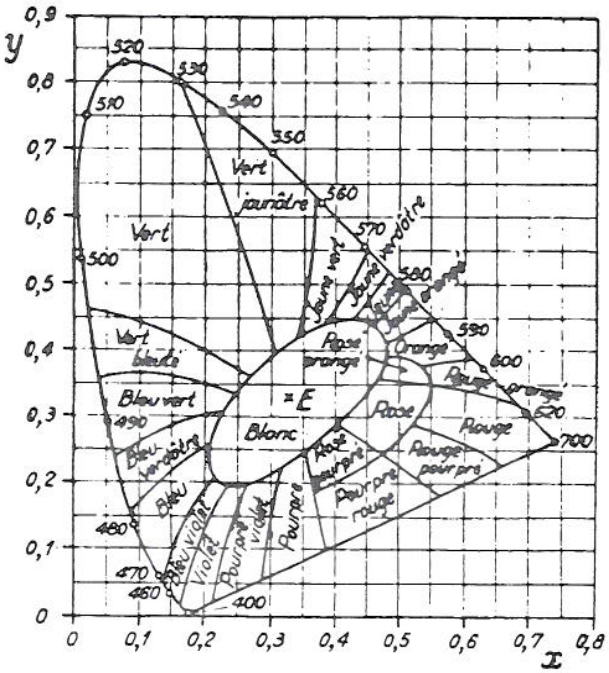


Fig. 6. Effets psychologiques de la couleur

On obtient pour l'analyse d'une couleur, comparée aux normes CIE et ramenée aux ordonnées x, y, Y (**fig. 7**) un système représentatif tridimensionnel très différent du diagramme de Munsell. Ce dernier restera un bon exemple des représentations artistiques du XIXe siècle mais ne pourra plus s'incorporer aux notions scientifiques de la colorimétrie.

Dans cet espace à trois dimensions (x, y, Y) (**Fig. 8**), chaque couleur peut être représentée par un point et ce point portera l'espèce, la pureté et l'intensité visuelle, par sa position. L'écart vu par l'œil entre deux couleurs peut être représenté dans cet espace. L'unité de cet écart ou Mac Adam représente la plus petite différence discernable par l'œil. Lorsque l'on trace autour d'une couleur donnée la limite à partir de laquelle l'œil discerne une différence on obtient pour chaque couleur, des ellipses, dont la taille et l'orientation varient (**Fig. 9**).

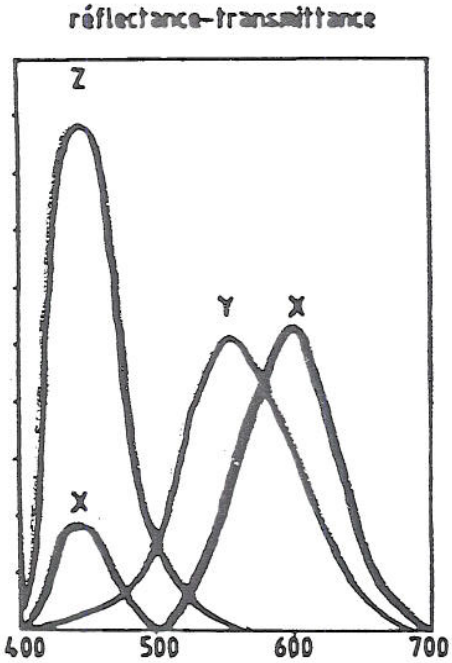
Il ne s'agit donc pas d'un système uniforme et c'est la raison pour laquelle un certain nombre d'autres représentations ont été proposées. Au diagramme de chromaticité (x, y, Y) de CIE 1931 succéda le diagramme de chromaticité uniforme CIE 1960. Il existe en particulier les systèmes :
L, a, b ; L, α, ß ; L, u, v ; L, u*, v*.

Pour des questions de commodité, nous avons utilisé le système L, a, b (**Fig. 10**), recommandé par la CIELAB (Adams et Nickerson) où chaque symbole peut être déduit, à partir de la connaissance de X, Y, Z, par les formules suivantes :

$$L = 116\,(Y)^{1/3} - 16$$
$$a = 500\,[(X)^{1/3} - (Y)^{1/3}]$$
$$b = 200\,[(Y)^{1/3} - (Z)^{1/3}]$$

L'expression de Mac Adam sera :

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$



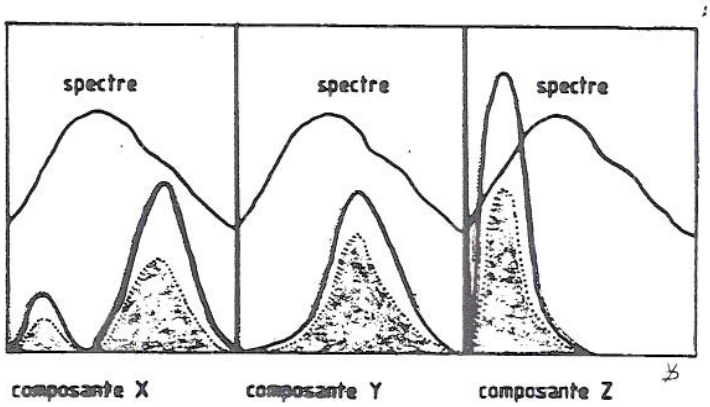


Fig. 7. Coordonnées tristimulus d'une couleur (x-y-z)

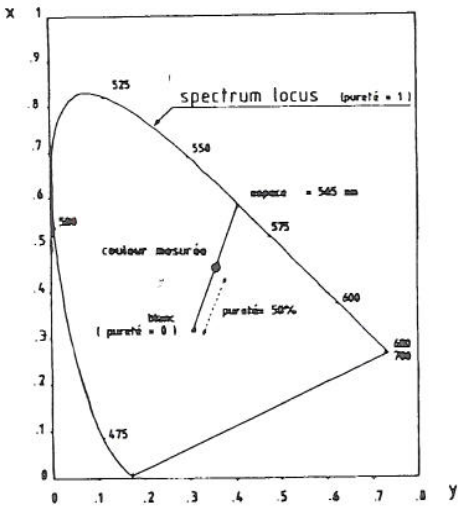
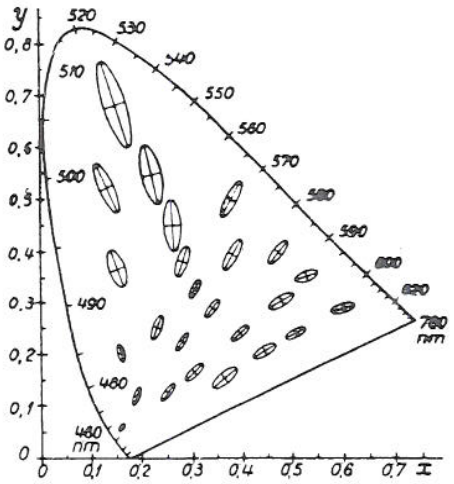
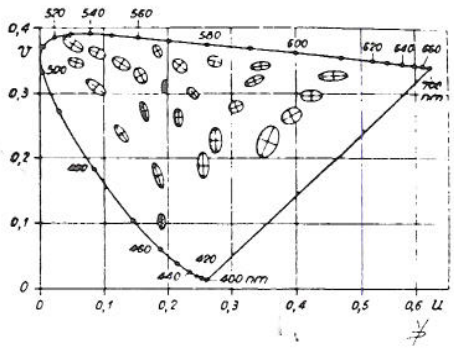


Fig. 8. Corrélation entre caractéristiques et coordonnées trichromatiques





Figs 9-10. Ellipses de Mac Adam représentées agrandies 10 fois.

RAISONS DE CETTE ETUDE

Les perceptions de l'œil

L'œil est le troisième élément servant à la reconnaissance des couleurs.

Il est la structure d'analyse et la vision de ces couleurs sera assurée essentiellement par ses cônes (moyenne 560 nm).

La rétine de l'œil est constituée de cônes et de bâtonnets. Les bâtonnets indiquent l'intensité (noir-blanc) et les cônes donnent la couleur selon trois réceptions différentes, les bleus (445 nm), verts (535 nm) et rouges (570 nm). L'œil perçoit donc la couleur comme l'addition de trois couleurs élémentaires.

Il existerait en vérité, selon les théories de Young (1802) et Helmholtz (1866) trois cônes différents, chacun sensible aux trois couleurs fondamentales : Rouge, Vert et Violet. Si cette théorie a fait les beaux jours du 20e siècle, il semblerait qu'elle soit battue légèrement en brèche (suite aux résultats des études d'électropotentiel) par celle de Hering (1872), qui voyait dans l'œil, la perception individuelle de 6 couleurs antagonistes. Même si l'on admet les observations sur l'inversion du potentiel membranaire de la rétine sous les faits des couleurs, la rhodopsine reste le pigment principal de la vision. Dans les deux cas d'hyperpolarisation et de dépolarisation membranaire, nous avons une réaction ionique assurant un afflux nerveux spécifique de la couleur analysée, au moment de isomérisation moléculaire 11-cis-trans.

La sensibilité de l'œil se superpose à celle de la rhodopsine. La zone visible se situe entre 380 et 720 mm et la courbe de réponse de l'œil montre clairement qu'il est très sensible dans la zone de 560 mm (vert). Un rayonnement devra être dix fois plus énergétique dans le Rouge pour obtenir la même réponse que le Vert **(Fig. 11).**

Par sa fonction physiologique propre l'œil reste limité dans son analyse pour plusieurs raisons :

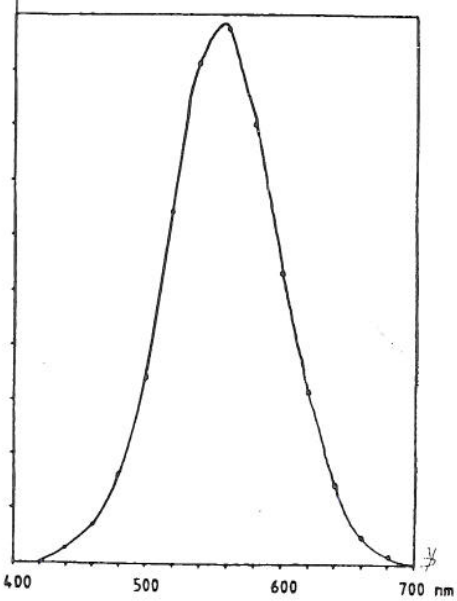


Fig. 11. Courbe de visibilité de l'œil humain

— son action est liée à l'hérédité et au sexe (8 % de la population, essentiellement chez les hommes, ont une mauvaise perception des couleurs).
— sa fatigue visuelle conduisant à une modification de la sensibilité spectrale... et comme l'a très bien défini Yamamoto, il existe de nombreuses erreurs de lecture de couleurs allant de l'influence de l'environnement à la psychologie et de la mémoire à la constitution. En particulier, il a montré que pour 50 % des études de teintes en cabinets de 3 dentistes, la couleur choisie était différente une fois sur trois et dans 35 % des cas une fois sur deux.

Doutant de la valeur réelle de l'œil pour la détermination des couleurs, nous nous sommes attachés à étudier le concept de la colorimétrie et de la spectrocolorimétrie.

ANALYSE DE LA COULEUR A PARTIR D'UN SPECTRE

Tel que nous avons décrit le processus, nous projetons un éclairage (courbe 2, **figure 12**) que le corps nous restituera sous forme d'une couleur dont le spectre sera la courbe 3. Notre œil ayant la courbe 1 comme réponse, liée à la rhodopsine (ou variante), il verra la couleur (courbe 3) comme la courbe 4 appelée courbe de perception.

Nous ne mémorisons pas, au niveau de notre cerveau (aires 17, 18 et 19 de Brodmann) un spectre mais le centre de gravité de ce dernier, ce qui nous donne la sensation d'une seule couleur. Dans notre cas, la couleur vue, se situe en λ e du centre de gravité de la **Figure 12.**

Si nous travaillons sur le spectre, nous obtiendrons les valeurs X, Y et Z en multipliant la courbe 4 **(Fig. 12)** par les courbes CIE, puis nous obtiendrons les normes, L, a, b pour les fonctions décrites en A-IV. De la même manière, nous pouvons obtenir les caractéristiques d'espèce, de pureté et d'intensité de la couleur.

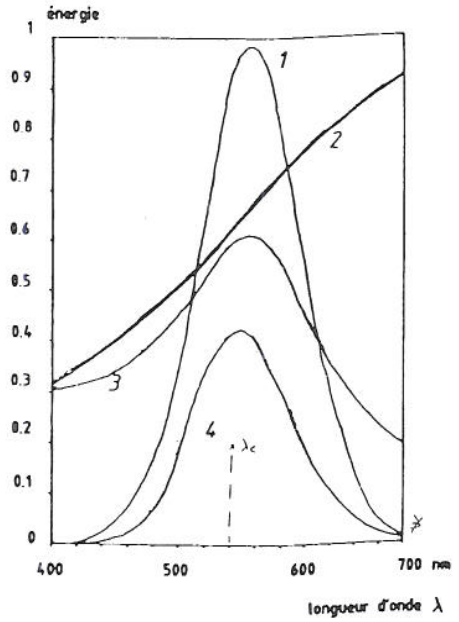
LE MÉTAMÉRISME COMBATTU

R.C. Sproull définissait le métamérisme comme une différence spectrale invisible. Cette définition est à la fois extraordinaire et dangereuse ; extraordinaire, car elle résume très bien le phénomène pour des initiés mais dangereuse, car elle ne s'adresse qu'à des initiés. Le métamérisme est la superposition quasi parfaite de deux centres de gravité issus de deux spectres de couleurs différentes. Deux couleurs métamères, présentent, sous un certain éclairage, des valeurs de X, Y, Z, identiques bien que leurs spectres soient légèrement différents.

Si l'on étudie les **Figures 13 et 14** nous voyons que pour 2 sources différentes de lumières (incandescence et du jour) le spectre résultant de chaque cas sera différent donc les couleurs perçues seront différentes alors qu'il s'agit du même objet.

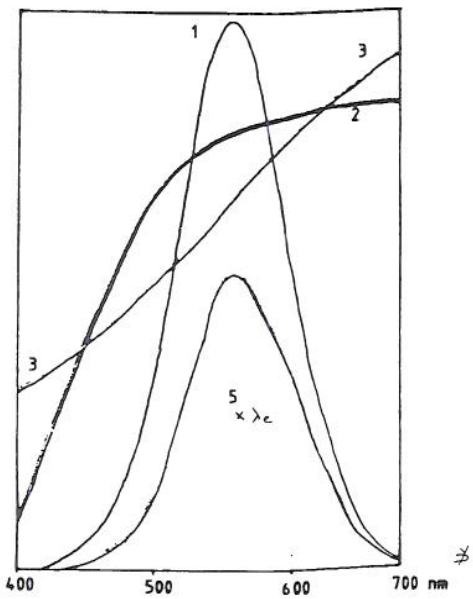
De la même façon, deux objets différents peuvent paraître identiques sous deux lumières différentes.

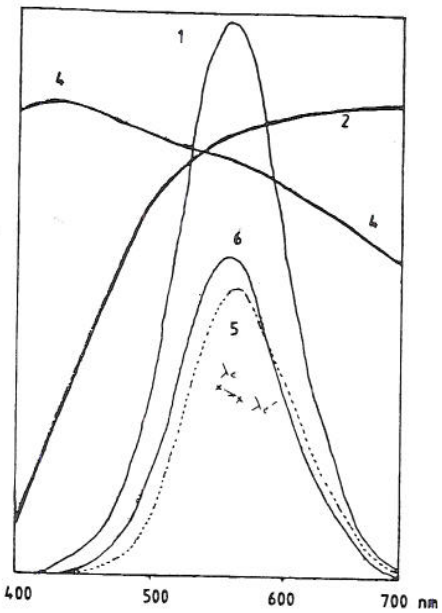
Enfin l'orientation, l'attaque angulaire du rayon lumineux pourra favoriser ce métamérisme. Nous représentons classiquement ce problème par :



1. visibilité
2. éclairage
3. réponse du corps coloré
4. perception

1. visibilité
2. spectre coloré
3. éclairement incandescence
4. lumière du jour
5 et 6. différentes coulleurs obtenues (perception différente)





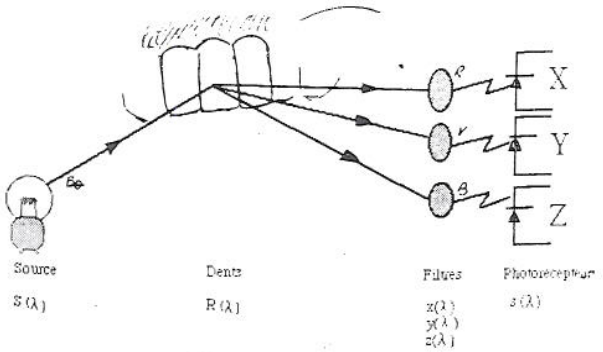


Fig. 15. La colorimétrie

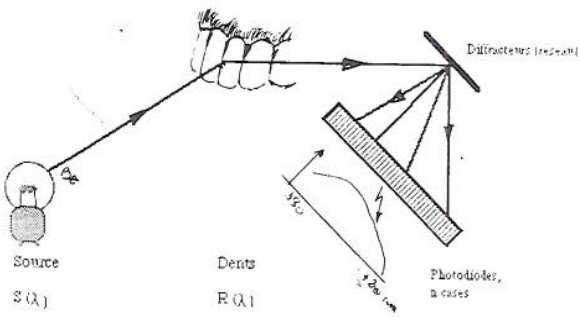


Fig. 16. La spectrocolométrie

si $S_1(\lambda)R_1(\lambda)\,d\lambda = S_1(\lambda).\,R_2(\lambda)d\lambda$ couleur avec $S_1(\lambda)$;
généralement
$S_1(\lambda)R_1(\lambda)\,d\lambda = \int S_{21}(\lambda).\,R_2(\lambda)d\lambda$ couleur avec $S_2(\lambda)$

Nous verrons que la spectrocolorimétrie offre une bonne solution à problème avec :
$S_1(\lambda)$ et $S_2(\lambda)$ émissions spectracles des sources 1 et 2
$R_1(\lambda)$ et $R_2(\lambda)$ reflectances spectrales du corps.

COLORIMETRIE ET SPECTROCOLORIMETRIE

La colorimétrie

Il s'agit d'un système d'analyse des couleurs qui effectue une mesure de transmission à travers les trois filtres CIE déjà décrits (X, Y, Z).

Nous utilisons une source ($S(\lambda)$) qui sera projetée sur les dents ($R(\lambda)$). La lumière résultante traversera 3 filtres ($X(\lambda)$; $Y(\lambda)$ et $Z(\lambda)$ ermettant à 3 photorécepteurs $o(\lambda)$ de déterminer directement les valeurs X, Y et Z.

$X = K.\ \int S(\lambda).\,R(\lambda)\,\bar{x}(\lambda)\,o(\lambda)\,d(\lambda)$
$Y = K.\ \int S(\lambda).\,R(\lambda)\,\bar{y}(\lambda)\,o(\lambda)\,d(\lambda)$
$Z = K.\ \int S(\lambda).\,R(\lambda)\,\bar{z}(\lambda)\,o(\lambda)\,d(\lambda)$
[avec $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ et $\bar{z}(\lambda)$ la transmission spectrale respective de chaque filtre].

La colorimétrie donne donc une couleur en fonction d'une source lumineuse spécifique et il est impossible de faire des comparaisons avec des mesures réalisées avec une autre source lumineuse.

De nombreux essais ont été menés dans cette direction. Nous citerons en particulier l'utilisation du chromascan. Il s'agit d'un colorimètre dentaire à fibre optique, composé de 3 filtres permettant la génération de 3 nombres correspondant à X, Y et Z du CIE.

Le principal reproche que l'on puisse faire à la colorimétrie est son impuissance face au métamérisme, ces deux couleurs étant définies par les mêmes valeurs de X, Y, Z.

Les mesures effectuées intègrent directement l'influence de l'éclairage et le résultat L, a, b n'est valable que pour une même source de lumière. Pour avoir une différentiation dans le métamérisme, il est nécessaire d'identifier la couleur sous différentes longueurs d'onde. Seule la spectrocolorimétrie le permet **(Figs 15 et 16).**

L'utilisation des colorimètres dentaires a montré qu'ils étaient peu précis et peu stables.

La spectrocolorimétrie dentaire

Un spectrocolorimètre est un système d'analyse des couleurs qui décompose la lumière en son spectre de longueurs d'onde et qui, de cette décomposition, effectue la reconstruction des valeurs de X, Y, Z par multiplication avec les courbes tristimulis de la CIE.

La mesure est d'abord faite sur un étalon blanc pour connaître le spectre de la source (opération d'étalonnage). La couleur est ensuite analysée et le spectre est décorrelé point par point, à l'émission de la source lumineuse. La fi-

nesse de l'analyse sera d'autant plus élevée que le spectre sera divisé en sous éléments.

Les valeurs X, Y et Z sont calculées en fonction de la transmission idéale (CIE) et pour une source qui peut être variable (équiénergétique, syalitique, fluorescent, lumière du jour...).

En spectrocolorimétrie, n valeurs sont mesurées pour
$S(\lambda)\,o(\lambda).\,1$ (blanc étalon)
$S(\lambda)\,o(\lambda)\,R(\lambda)$ (couleur étudiée)
avec $o(\lambda)$ la transmission spectrale du système.

n valeurs sont obtenues par $R(\lambda)$. Cette courbe de réflectance $R(\lambda)$ contient, les informations de la couleur indépendamment de la source.

Le problème du métamérisme, qu'avait clairement analysé Sproull, est résolu par la spectrocolorimétrie et aujourd'hui nous savons qu'il est possible « ... d'installer un spectrophotomètre dans son cabinet... ».

Conclusion

Par une description théorique, nous venons d'expliquer ce qu'est la couleur, comment nous la percevons et comment la science colorimétrique peut se substituer très avantageusement à l'homme.

Nous reprendrons cette conclusion si pertinente de notre ami et grand spécialiste de la couleur, Yves Dordet :

« La colorimétrie est une science peu connue et souvent abordée avec le sentiment d'empiéter sur le domaine des « artistes ». Cependant, il était indispensable, pour les impératifs de l'industrie moderne, de pouvoir remplacer une impression visuelle, qui dépend de trop de facteurs aléatoires par une valeur chiffrée, quantifiable et inaltérable.
Si « les goûts et les couleurs ne se discutent pas, les couleurs au moins se mesurent. »

Dans le prochain article nous donnerons nos résultats expérimentaux effectués sur le spectrocolorimètre de la Société Bertin, le seul adapté aux mesures dentaires, existant actuellement. Ce travail se fait à la Faculté de Marseille (P. Mariani) et au Laboratoire G.B.M. de CFAO à Vienne (F. Duret).

BIBLIOGRAPHIE

E. MARECHAL — Des matériaux inséparables de la couleur. *La Recherche* **88** : 374-375, 1987.

R.F. SPROUL — Color matching in dentistry. Part. I. *J. Prosth. Dent.* **29** (4) : 416-424, 1973.

R.F. SPROUL — Color matching in dentistry. Part. II. *J. Prosth. Dent.* **29** (5) : 556-566, 1973.

R.F. SPROUL — Color matching in dentistry. Part. III. *J. Prosth. Dent.* **31** (2) : 146-154, 1974.

B. PINGUET — L'esthétique en pratique courante. *C.D.F.* **49** : 31-34, 1970.

L. ROUCOULES — Le point sur l'esthétique en prothèse scellée. *C.D.F.* **22** : 49-54, 1975.

J.L. SHOTWELL, W.M. JOHNSTON, G.R. SWARTS — Color comparisons of denture teeth and shade guides. *J. Proth. Dent.* **56** : 31-34, 1986.

Y. ANGELO — Comment bien voir la couleur. *Le nouveau photocinéma* 98-101, 1978.

R.J. GOODKIND, K.M. KEENAN, W.B. SCHWABACHER — A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth. *J. Prosth. Dent.* **53** (1) : 105-109, 1985.

M. YAMAMOTO — Metal ceramics. Ed. Quintessence books, 1982.

J.D. PRESTON, S.F. BERGEN — Color Science and dental art. Ed. Mosby Company, 1980.