

PROTHÈSE *dentaire*

SPECTROCOLORIMETRIE La prise de teinte du futur

C. PANIER

LA PROTHESE
EN POLOGNE

NOTRE DOSSIER
SPECIAL COLOGNE



APPROCHE DE LA SPECTROCOLORIMETRIE DENTAIRE

LA PRISE DE TEINTE DE DEMAIN

"C'est le dessin qui donne la forme aux êtres, c'est la couleur qui leur donne la vie. Voilà le souffle divin qui les anime." DIDEROT

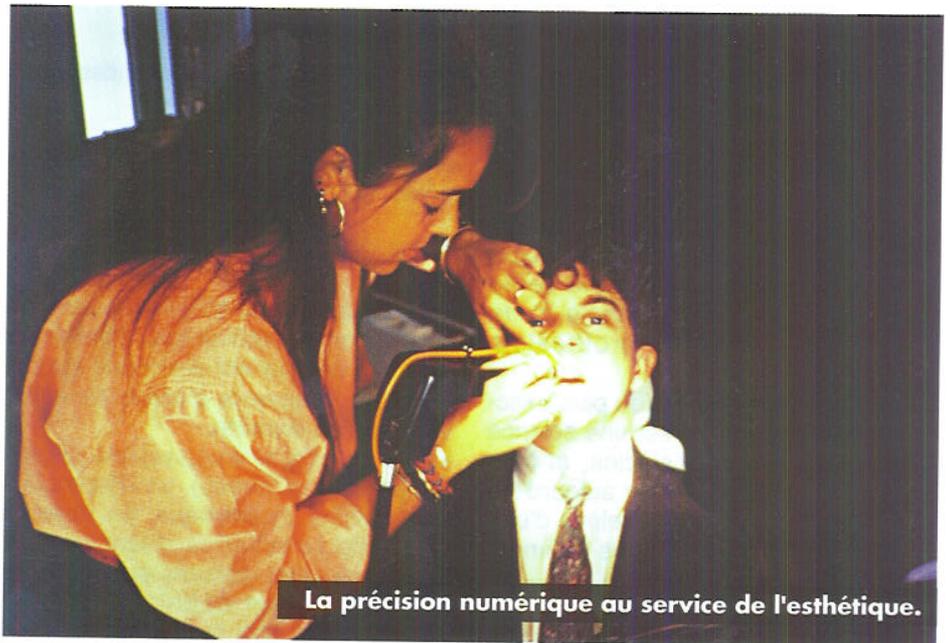
Cécile PANIER.
Prothésiste Dentaire.
Lyon.

Qui n'a pas eu de céramique à refaire à cause d'un problème de teinte ?

Cette mésaventure nous arrivera encore tant que nous n'aurons pas trouvé des moyens fiables et reproductibles pour la prise de teinte dentaire.

C'est l'objet de la spectrorimétrie qui hante depuis des années les couloirs de la recherche dentaire en attendant la commercialisation d'un système de prise de teinte électronique.

En tout état de cause, ces systèmes verront le jour bientôt et nous vous proposons une première approche de la technique pour vous familiariser avec la spectrorimétrie dentaire.



La précision numérique au service de l'esthétique.

INTRODUCTION

La cause de l'aspect insatisfaisant de nombreux travaux prothétiques réside essentiellement dans une mauvaise sélection de la teinte, ou dans sa transmission défailante. La teinte d'une dent est un phénomène complexe dont il n'est pas possible de nos jours de quantifier individuellement les différents facteurs qui interfèrent les uns avec les autres et qui sont à l'origine de l'impression que nous appelons teinte dentaire.

La teinte des dents recouvre des phénomènes physiques comme la transparence, la translucidité, la fluorescence, la réflexion, ainsi que des mélanges chromatiques additifs et soustractifs. Morphologie et état de surface sont des critères supplémentaires pour atteindre le succès esthétique. Il faut noter que dans la majorité

de ces situations, le jugement s'exerce en termes comparatifs: entre un échantillon et les dents naturelles.

On sait que ce jugement comparatif peut être faussé pour diverses raisons parmi lesquelles l'éclairage (son intensité mais surtout sa composition spectrale), la nature et les dimensions du champ observé, le contraste entre l'objet étudié et le fond, l'état de surface de l'objet et enfin l'équation personnelle de l'observateur. D'où l'intérêt d'une méthode d'évaluation utilisant les caractéristiques objectives de la couleur. Dans l'idéal, une telle méthode devrait s'affranchir complètement des éléments de subjectivité introduits par l'opérateur et des facteurs d'ambiance; elle devrait conduire à des résultats chiffrés précis et strictement répétitifs.

Les nouveaux procédés de colorimétrie développés dans la perspective

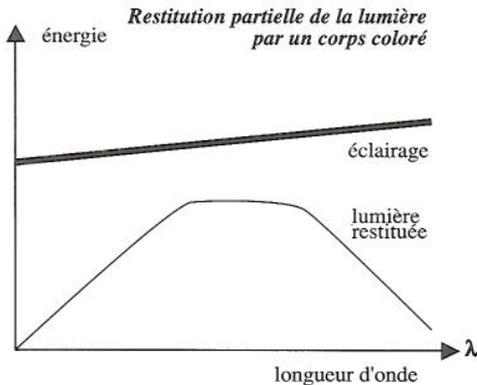


Figure 1 : Restitution partielle de la lumière par un corps coloré.

d'applications industrielles, permettent aujourd'hui une excellente approche dans ce sens. Leur avantage majeur est d'éliminer le caractère subjectif lors de la détermination de la teinte adéquate, par mesure simple et de même valeur pour un prothésiste comme pour un autre.

La mesure de 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 sous-estiment l'art en la matière.

Lorsque la lumière éclaire une dent, le faisceau lumineux se reflète en surface, de manière complexe et spéculaire, pénètre à l'intérieur, en se reflétant sur différentes couches et va quelquefois jusqu'à traverser la totalité de la matière. La couleur d'un objet doit 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, 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 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. (Figure 1)

Avant d'étudier la colorimétrie et la spectrophotométrie, il nous a semblé utile de faire un bref rappel de la définition d'un spectre et de passer rapidement en revue les différents sys-

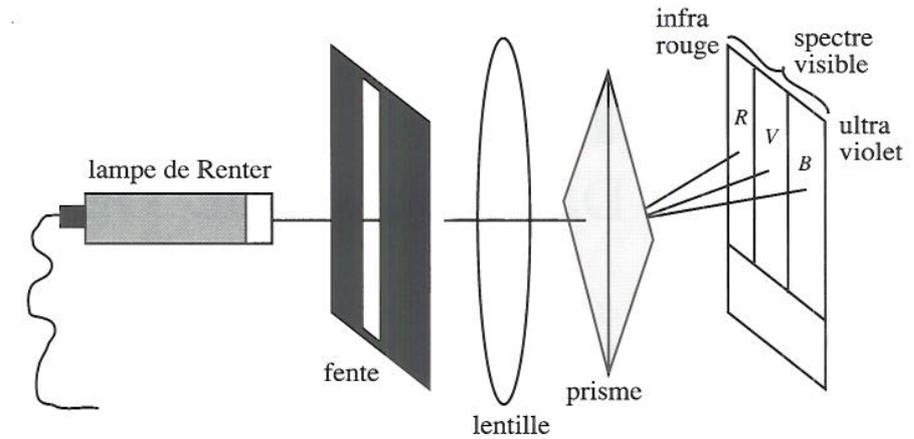


Figure 2 : L'ensemble des bandes colorées, qui reproduit les couleurs de l'arc en ciel, porte le nom de spectre.

tèmes qui permettent de quantifier la couleur.

I. LE SPECTRE

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.

Lorsque, à l'aide d'un système dispersif (prisme ou réseau), on décompose une lumière quelconque, on observe une suite continue ou discontinue de radiations, dont chacune possède une fréquence bien définie. Une telle radiation est dite monochromatique. Plaçons un écran opaque, muni d'une fente réglable, devant la lampe de Renter et rendons le faisceau lumineux convergent à l'aide d'une lentille. Si nous plaçons un prisme de verre sur le parcours du faisceau, ce dernier sera dévié et formera sur l'écran un ensemble de bandes colorées qui reproduit les couleurs de l'arc en ciel. (Figure 2)

En théorie, tout spectre est composé d'une suite de radiations distinctes, correspondant chacune à une transmission déterminée. En fait, lorsque les différentes radiations monochromatiques sont infiniment nombreuses et rapprochées, le spectre est continu ; c'est le cas, par exemple du spectre de la lumière solaire. (Figure 3)

Le spectre de la lumière blanche est un spectre typiquement équiénergétique, c'est à dire, possédant la même quantité d'énergie quelque soit la longueur d'onde.

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'oeil est peu sensible aux variations induites par l'éclairage, pour des nuances aussi fines que celles régissant la couleur des dents, l'oeil y sera très sensible.

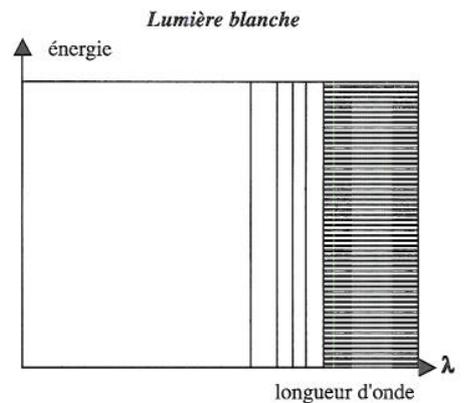
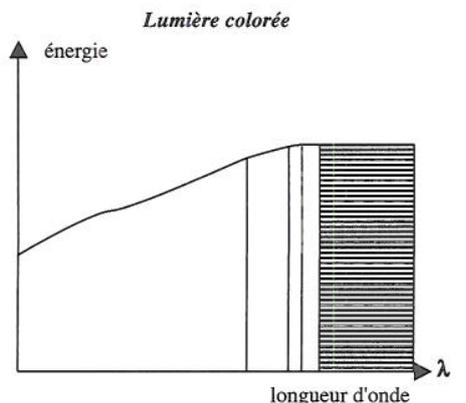


Figure 3 : spectre de la lumière blanche, spectre de la lumière colorée.



Analyse de la couleur à partir d'un spectre

Doutant de la valeur réelle de l'oeil pour la détermination des couleurs, nous nous sommes attachés à étudier le concept de la colorimétrie et de la spectrocromimétrie. Tel que nous avons décrit le processus, nous projetons un éclairage (courbe 2) (voir figure) que le corps nous restituera sous forme d'une couleur dont le spectre sera la courbe 3. Notre oeil ayant la courbe 1 comme réponse, il verra la couleur (courbe 3) comme la courbe 4 appelée courbe de perception.

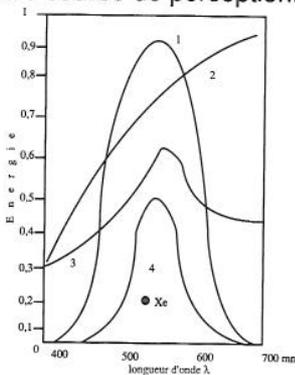


Figure 4 : Modification du spectre initial de la source d'éclairage à la rétine. 1 Sensibilité de l'oeil, 2 Spectre de la source d'éclairage, 3 Lumière réfléchi par le corps coloré, 4 perception de l'oeil.

Nous ne mémorisons pas au niveau de notre cerveau un spectre mais "le centre de gravité" de ce dernier, ce qui nous donne la sensation d'une seule couleur. Cette couleur est la résultante géométrique de toutes les longueurs d'onde additionnées ; pour l'observateur, elle se traduit par une couleur. On peut calculer cette couleur en retrouvant géométriquement le centre de gravité de la figure représentant graphiquement le spectre lumineux réfléchi en provenance de l'objet. (Figure 4)

II. QUANTIFICATION DES COULEURS.

La couleur est fonction de trois composants, la teinte, la saturation et la luminosité, le système le mieux adapté devra tenir compte de ces exigences.

1 - Le système R.V.B

Les trois couleurs de base de tout le

système sont le Rouge, le Vert et le Bleu (signal RVB) et les composants trichromatiques, r, v, b sont des nombres entiers, réels et sans dimensions.

Couleur= r(R) + v(V) + b(B) Chaque couleur étant définie par trois coordonnées, on peut la représenter par un point dans un système à trois dimensions . Le blanc sera représenté par la relation: $W= 1(R) + 1 (V) + 1(b)$ Ce système de couleur additive n'est pas retenu puisque le système recherché devra se baser sur le mode des couleurs soustractives.

2 - Le système X, Y, Z

Les trois couleurs de base, découvertes par Le Blanc (1731), ont été étudiées par la CIE (Commission Internationale de l' Eclairage), et ont conduit à un choix de trois couleurs de base X, Y, Z représentant une réalité physique : leur somme équivalente donne le blanc, leurs surfaces spectrales sont identiques et l'une des composantes représente la courbe de visibilité de l'oeil humain. X représente l'ambre (rouge), Y le bleu et Z le vert.

La recherche d'une couleur consiste à déterminer le pourcentage des composants X, Y, Z dans cette couleur analysée. On obtient ainsi trois courbes spectrales respectives pour X, Y et Z.

Si ces valeurs identifient les couleurs par rapport aux trois couleurs de bases de la CIE, elles ne sont pas identifiables aux trois paramètres qui nous intéressent : la teinte, la saturation, la luminosité.

3 - Le système Y,x,y

Pour obtenir ces trois paramètres, la CIE a défini un système de coordonnées x et y qui sont fonction des valeurs X, Y et Z et situent la couleur sur le diagramme. Y coïncide avec l'efficacité lumineuse et représente un segment rectiligne, la "droite des pourpres", série d'impression colorée allant du violet au rouge. (Figures 5 et 6)

Dans le cas de couleur d'égale inten-

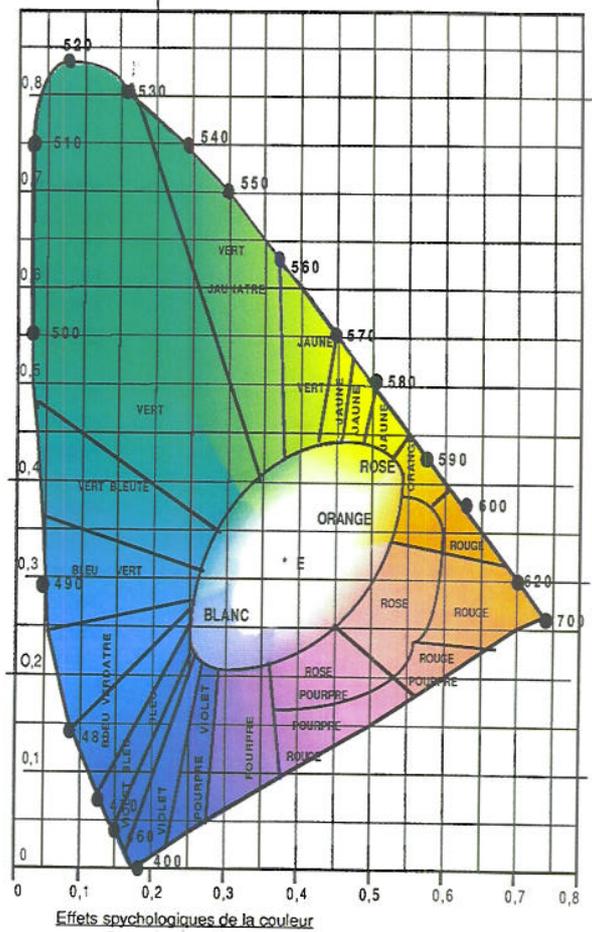
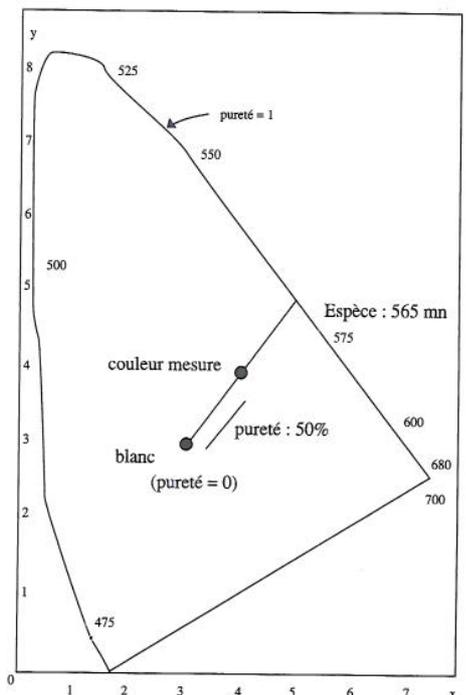


Figure 5 : Effets psychologiques de la couleur.

Figure 6 : système de coordonnées de Hunte.



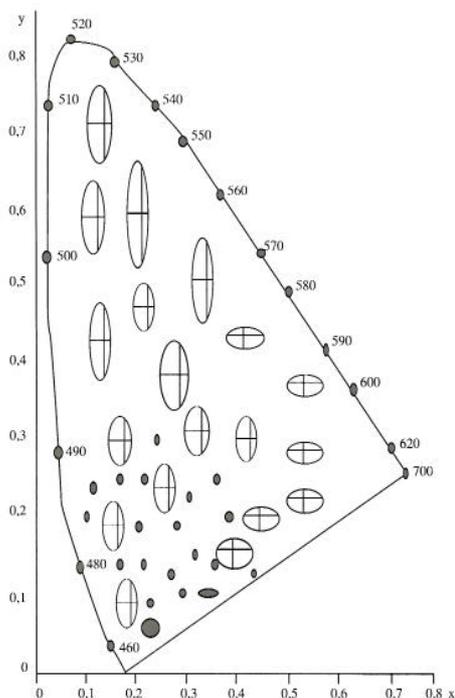


Figure 7 : Correlation entre caractéristiques et coordonnées trichromatiques.

sité, un écart constant de chromaticité autour d'une couleur donnée, décrit une ellipse dans le système $Y x y$ de la CIE. Ceci représente un inconvénient sérieux lors du calcul des écarts chromatiques.

4 - Coordonnées tristimulus d'une couleur (X-Y-Z)

Dans cet espace à trois dimensions (x, y, Y), chaque couleur peut être représentée par un point qui portera la teinte la saturation et luminosité, par sa position. Ce système permet de représenter le plus petit écart discernable par l'oeil ou Mac Adam. Lorsque l'on trace autour d'une couleur donnée la limite à partir de laquelle l'oeil discerne une différence, on obtient pour chaque couleur, des ellipses dont la taille et l'orientation varient.

Hunter décrit une transposition du système CIE en créant son système dans lequel les écarts chromatiques constants décrivent une circonférence

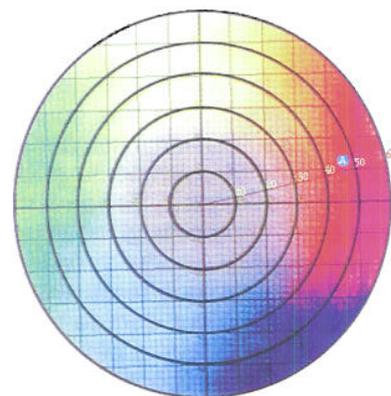


Photo 1 : Pour situer une couleur dans ce diagramme, on donne sa cote et ses coordonnées rectangulaires a et b .

Dans ce système, le blanc a les coordonnées $a = 0$ et $b = 0$. (Figure 7)

5 - Le système L^*, a^*, b^*

Au diagramme de chromaticité (x, y, Y) de CIE 1931 a succédé le diagramme de chromaticité uniforme CIE 1960. Il existe en particulier les systèmes : L, a, b ; L, α, β ; L, u, v et L, u^*, v^*

Pour des questions de commodité, nous avons utilisé le système L, a, b , 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 :

$$L = 116(Y/100)^{1/3} - 16$$

$$a = 500((X/100)^{1/3} - (Y/100)^{1/3})$$

$$b = 200((Y/100)^{1/3} - (Z/100)^{1/3})$$

Le système s'organise dans un solide de couleurs "cylindrique". La section horizontale du solide détermine des couleurs d'égale brillance. (Photo 1)

Pour situer une couleur dans ce diagramme, on donne sa cote et ses coordonnées rectangulaires a et b .

L'axe $(-a; +a)$ traduit les variations du vert au rouge, l'axe $(-b; +b)$ celle du bleu au jaune. La saturation d'une couleur mesurée par son facteur de pureté se définit par :

$$P = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Le système $L^* a^* b^*$ se prête particulièrement à la définition de la grandeur colorimétrique intéressante pour le chirurgien dentiste la variation couleur notée ΔE , exprimée comme suit par Mac Adam :

$$\Delta E = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} / 2$$

LE MÉTAMÉRISME

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.

1. lumière réfléchie colorée par l'objet
2. éclairage incandescent
3. lumière du jour
4. superposition des deux courbes provenant de deux objets métamères
5. courbes des deux couleurs différentes obtenues en faisant varier l'éclairage

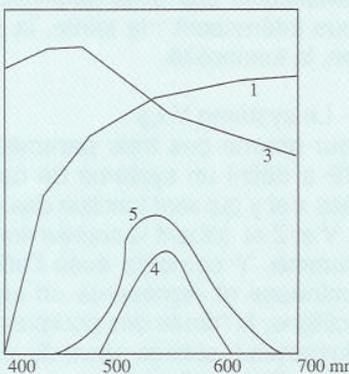
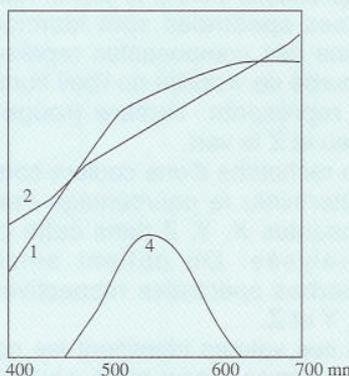
Figure a : Courbe de la couleur réémise par deux objets métamères.

Figure b : Illustration de la différence de couleur qui apparaît lorsque l'on change d'éclairage.

Si l'on étudie les deux figures, nous voyons que pour deux sources différentes de lumière (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 (figures ci dessous).

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.



III. 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(λ)) qui sera projetée sur les dents (R(α)).

La lumière résultante traversera trois filtres (X(λ); Y(λ); Z(λ)) émettant à trois photorécepteurs O(λ), lesquels déterminent directement les valeurs X, Y et Z.

X(λ), Y(λ) et Z(λ) représentent la transmission spectrale de chaque filtre.

X, Y, Z sont obtenus par intégration des fonctions d'onde par rapport à (λ).

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.

Le principal reproche que l'on puisse faire à la colorimétrie est son impuissance face au métamérisme, ces deux couleurs étant définie par les mêmes valeurs de X, Y, et Z. Les mesures effectuées intègrent directement l'influence et le résultat L(λ), a(λ), b(λ) n'est valable que pour une même source de lumière.

Pour avoir une différenciation dans le métamérisme, il est nécessaire d'identifier la couleur sous différentes longueurs d'onde. Seule la spectrocolumétrie le permet. (Figure 8)

L'utilisation des colorimètres dentaires a montré qu'ils étaient peu précis et les mesures ne sont pas toujours reproductibles.

IV. LA SPECTROCOLORIMÉTRIE DENTAIRE

Un spectrocolumètre est un système d'analyse des couleurs qui décompose la lumière en son spectre de longueurs d'onde et qui, à partir de cette décomposition, effectue la reconstruction des valeurs 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 décorrélé point par point, à l'émission de la source lumineuse. (Figure 9)

La finesse de l'analyse sera d'autant plus élevée que le spectre de la source lumineuse approche de l'idéal. Les valeurs X, Y, Z sont calculées en fonction de la transmission idéale (CIE) et pour une source qui peut être variable (équiénergétique, syalitique, fluores-

cente, lumière du jour...)

En spectrocolumétrie, n valeurs sont mesurées pour:

S(λ) O(λ) .I (blanc étalon)

S(λ) O(λ) R () (couleur étudiée) avec O(λ) la transmission spectrale du système n valeurs sont obtenues par R(λ).

Cette courbe de réflectance R(λ) contient, les informations de la couleur indépendamment de la source. Le problème du métamérisme est résolu.

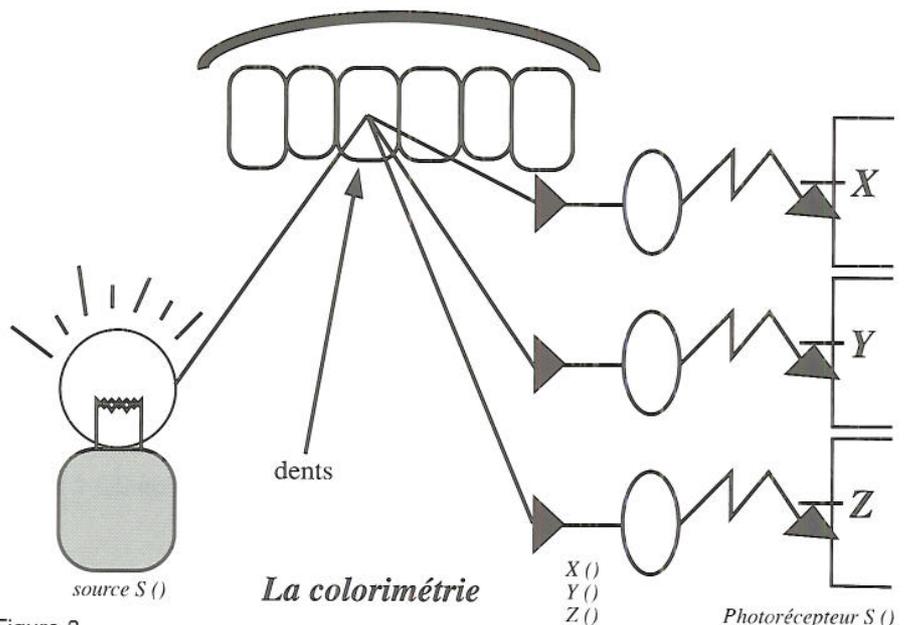


Figure 8

Figure 9

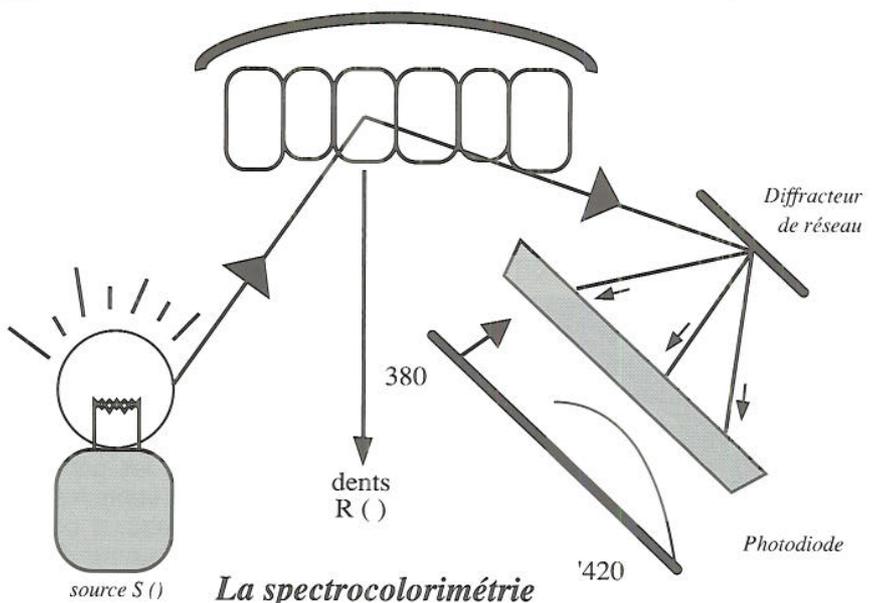




Photo 2 : le Ney lite

A - DIFFÉRENTS APPAREILS

1 - Ney lite

"Ney lite" est une source unique de lumière portative nécessaire pour l'opération délicate qu'est le choix de la teinte des dents. Elle est fabriquée avec une précision telle qu'elle illumine avec l'énergie spectrale de la lumière naturelle du jour toute la teneur en couleur. Fidèle à la couleur, le rayon de Ney lite (7000° Kelvin) éclaire une zone qui se limite à la bouche et aux lèvres, de sorte que toute interférence des éléments et conditions de l'extérieur qui ne sont pas essentielles sont exclues (1 8). (Photo 2)

Spécifications 220 volts, 50 Watts.

2 - Zeiss Elrephomat DFC5

C'est un photomètre à deux rayons dont une lumière changeable (lampe Xenon sans d'ozone pour effectuer la lumière A à la D65*)

* D65 : Codification des différentes phases de la lumière du jour selon la CIE. Une nuance ne peut être perçue qu'éclairée par un illuminant dont la répartition d'énergie est conforme à la référence D65 de l'ISO.

Le temps de mesure est de 0,3 à 5,2 s.

Fonctionnement :

Le changement de la lumière de A à D65 est facile et sera affiché. Il existe trois filtres de mesure, plus un qui élimine les U.V pour la D65 afin de déterminer la quantité de fluorescence.

Les valeurs fournies par le Zeiss sont des valeurs relatives par rapport à un étalon.

Pour la détermination de la teinte, l'échantillon est introduit dans un compartiment sombre, et la lumière réfléchiée est mesurée par les détecteurs. Les valeurs peuvent être affichées sur une imprimante, sur le photomètre (affichage digital) ou sur une calculatrice.

Avec cet instrument nous pouvons mesurer les couleurs d'opaque ; par exemple les textiles, les papiers colorés ou les opaques dentaires. Il n'est pas possible de mesurer des matériaux translucides comme des dents artificielles ou naturelles pour l'instant.

Pour une mesure exacte de de la couleur, nous devons déterminer la valeur de la teinte et la valeur de la lumière. (Photo 3)

3 - Sensoptic System

Ce système est nouveau et n'a pas fait ses preuves. P.C.F Borsboom and J.J Tenbosch essaient de développer une méthode de mesures des couleurs des matériaux transparents. Cet instrument n'est donc pas prêt pour des mesures standardisées.

La taille des échantillons doit être aussi large et épaisse que possible. Les dimensions minimums sont:

- Diamètre: 20 mm
- Epaisseur: 4 mm.

Les surfaces doivent être parallèles et polies. Nous avons besoin de larges échantillons pour minimiser la perte de lumière sur le pourtour de l'échantillon, cela joue un rôle dans la détermination de la couleur du matériel translucide. Lorsque l'échantillon est un solide, il faut le tremper dans un liquide d'un même indice de réfraction. L'échantillon doit avoir au moins trois fois le diamètre de fibre optique. Etant donné que la lumière qui nous intéresse est la lumière réfractée, on doit éviter la lumière réfléchiée par l'échantillon, il faut donc utiliser une tête de mesure de type B.

Ni l'appareil Zeiss, ni le Sensoptic, ne permettent par leur construction, une prise de couleur en bouche.

4 - Minolta.

(Photo 4)

Nous distinguons deux appareils et une tête de mesure:

- un mini calculateur Minolta DP.100
- un chromamètre CR-100/ CR-110
- et une tête de mesure qu'il faut appliquer verticalement sur l'échantillon afin de prendre les mesures.

Avant d'utiliser le chromamètre CR-100/ CR-110, il faut rentrer les valeurs d'étalonnage Y, x, y que nous trouvons sur l'arrière de la plaquette blanche livrée avec l'appareil .

L'étalonnage se fait au moment du changement de batterie, les informations enregistrées seront mémorisées jusqu'au prochain changement de batterie.

MESSUNG WEISS-
GRAD BEI LRA>D65<

LRA>D/65<
EINGESTELLT ?:

KORR.#: 1

555

1
85.97
2
85.38
3
86.46
4
86.36

R: 83.56
R: 84.61
R: 84.86
R: 85.25

L = 91.98
A-L = 2.38
B-L = -7.80

N-STENSBY = 122.29

X/D: 81.25
Y/D: 84.61
Z/D: 101.81
KX/D: 8.3036
KY/D: 8.3161

N-BERGER: 118.54

N-CIGY: 135.86
NUANCE = 8.99

Photo 3 : Exemple de prise de couleur effectuée par le Zeiss.

Photo 4 : Chromamètre CR-100/CR110



Valeurs de référence:
 C : Y 74.0 X. 311 Y. 318
 D65: Y 74.0 X. 313 Y. 331

Le spectrocolorimètre est capable de donner quatre sélections couleur:

- Y, x, y
- L*, a*, b*
- L*, C*, H* (voir figure)
- Munsell

Pour une mesure de chromaticité, il suffit de placer l'échantillon bien perpendiculaire à la tête de mesure et d'appuyer sur la touche "mode" afin de choisir la sélection. Ensuite on presse la touche "mesure" et les valeurs de la couleur s'impriment automatiquement. La chromaticité se mesure sur l'un ou l'autre mode et on peut passer de l'un à l'autre après avoir effectué les mesures. (Photo 5 et Figure 10)

B - MATERIELS METHODES ET RESULTATS

Le spectrocolorimètre

Pour pouvoir rentrer plus avant dans le vif du sujet il a été mis à notre disposition un spectrocolorimètre dentaire expérimental de première génération, mis au point par le Dr Duret et la Sté Bertin Industries. Ce spectrocolorimètre se compose d'un ordinateur IBM de type XT, d'un écran graphique couleur et de la carte spécifique connectée à la carte mère de l'IBM. (Photo 6)

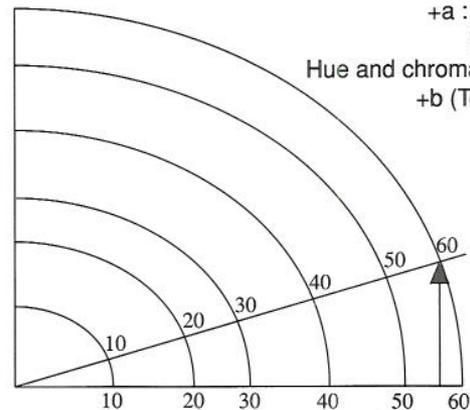
La carte spécifique de la spectrocolorimétrie comporte elle même des zones de mise en oeuvre, les mémoires nécessaires et toute une partie électro-optique. Si nous disséquons cette partie électro-optique, sans entrer dans les détails, nous découvrons l'arrivée d'une fibre optique, un réseau de dispersion et une barette CCD linéaire (découpant le spectre en 80 colonnes). Cette partie est typique du spectrocolorimètre français car elle est incluse dans la carte du spectrocolorimètre. Cette fibre optique rejoint une sonde d'utilisation manuelle. La sonde de mesure dentaire se compose d'une lampe flash xénon (de spectre proche

```

A1
832
H 2.76V U 6.3 C 1.0
832
Y 33.33 x .3219 y .3374
L 64.42 a -3.16 b +7.11
L 64.42 C 7.78 H*113.8
H 2.76V U 6.3 C 1.0
833
H 2.76V U 6.3 C 1.0
833
Y 33.35 x .3218 y .3373
L 64.44 a -3.17 b +7.07
L 64.44 C 7.74 H*114.8
H 2.76V U 6.3 C 1.0
834
H 2.76V U 6.3 C 1.0
834
Y 33.21 x .3219 y .3373
L 64.33 a -3.14 b +7.07
L 64.33 C 7.73 H*113.8
H 2.76V U 6.3 C 1.0
835
A2 H 8.16V U 6.2 C 1.5
835
Y 31.55 x .3317 y .3483
L 62.97 a -3.31 b +18.98
L 62.97 C 11.46 H*186.7
H 8.16V U 6.2 C 1.5
836
H 8.16V U 6.2 C 1.5
836
Y 31.44 x .3316 y .3481
L 62.87 a -3.28 b +18.91
L 62.87 C 11.39 H*186.7
H 8.16V U 6.2 C 1.5
837
H 8.16V U 6.2 C 1.5
837
Y 31.44 x .3316 y .3481
L 62.87 a -3.28 b +18.91
L 62.87 C 11.39 H*186.7
H 8.16V U 6.2 C 1.5
838
A3 H 9.1V U 6.1 C 1.8
838
Y 38.11 x .3362 y .3544
L 61.75 a -3.78 b +12.89
L 61.75 C 13.41 H*165.9
H 9.1V U 6.1 C 1.8
839
H 9.0V U 6.1 C 1.8
839
    
```

Photo 5 : Exemple de fiche Minolta

DESSIN 10 : (Chroma)
 L : Lightness
 H : (Hue angle)
 C : Chroma
 +a : (Toward red)
 H : Hue angle
 Hue and chroma (saturation)
 +b (Toward yellow)



de la lumière blanche) prolongée par un tube conduisant la lumière jusqu'à la surface de la dent.

L'extrémité de ce tube est transparent pour permettre un bon positionnement de la sonde ; un dispositif de positionnement nous permettra d'être sûr que le tube conducteur de lumière est bien à 90° de la dent.

La lumière émise par l'arc xénon sera conduite par le tube et illuminera l'ensemble de la dent. La géométrie

d'éclairage et de reprise est de 0,45°. Suivant cette géométrie, la fibre optique reprend la lumière à 45° et amène cette lumière au niveau du réseau (l'angle 45° respecte les données CIE), nous permettant de nous affranchir des réflexions spéculaires. A ce dispositif sont adjoints :

- une sonde énergétique pour le flash
- un blanc de référence (données CIE)
- une pédale de sélection.

Photo 6 : Spectrocolorimètre dentaire expérimentale

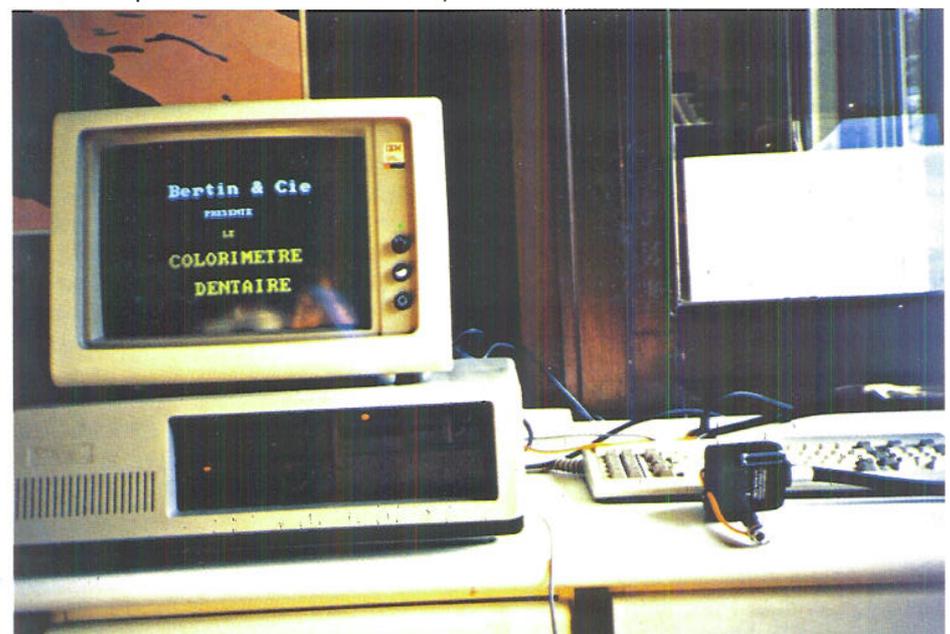




Photo 7 : Photo du spectre avec L*, a*, b*.



Photo 8 PAGE 93 Photo du spectre avec la prise de teinte au collet.

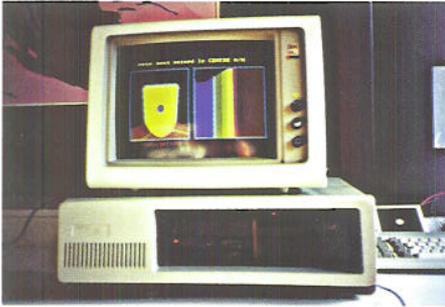


Photo 9 PAGE 94 Photo du spectre avec la prise de teinte au centre



Photo 10 : Photo des valeurs

1 - Mise en oeuvre

A la mise en fonctionnement de l'ordinateur, celui ci demande la mesure du blanc de référence après un 4ème Bip. Nous prenons alors le blanc de référence.

Nous positionnons la sonde perpendiculairement à la surface du blanc, puis nous appuyons sur la pédale de commande ; nous obtenons de ce fait deux éclairs successifs, ce qui donnera alors le spectre du blanc de référence, composé d'un histogramme de 80 colonnes. L'ordinateur calcule alors la différence entre un blanc théorique, équiénérgétique, et le blanc de notre flash. Cette différence sera rajoutée à chacun des spectres analysés car elle est fonction de la source de lumière et du matériel proprement dit. Il s'agit donc d'une calibration optique. A partir de cet instant, nous sommes prêts à faire la mesure de la teinte de la dent.

2 - Choix de la teinte

L'ordinateur nous propose différents teintiers dont les spectres ont été, mis en mémoire. Lorsqu'on sélectionne le teintier désiré, nous appuyons sur la pédale, ce qui indique le choix: Biocron, Candulo Porc, Vita, Vivodent C, Vivodent PE, Major Superlux, Can-

dulor ac, Vivodent SR, Cosmopolitan, Steele's, Denta Pearl, tous les teintiers.

3 - Choix entre une ou deux dents

Il est possible d'obtenir une teinte ou la moyenne entre deux teintes. Il suffit d'appuyer sur la pédale pour une teinte ou sur le clavier pour deux teintes. Pour obtenir l'analyse du spectre et ses valeurs L*, a*, b*, des études statistiques ont montré que trois positionnements de la sonde (au niveau du collet, centre, bord libre) nous donnent la teinte moyenne de la dent.

Le protocole clinique sera le suivant :

- à l'écran apparait une dent stylisée avec un point bleu au niveau du collet. Cela signifie que le logiciel nous demande de mesurer la teinte du collet. -après les trois bips sonores, nous positionnons la sonde au collet. Une pression sur la pédale, et nous obtenons immédiatement le spectre analysé. L'opération de la prise de teinte du centre et du bord libre suivra le même procédé. (Photos 7, 8 et 9)

4 - Présentation des valeurs

Après la dernière validation apparait un tableau composé de deux colonnes

- le 1er Choix indique la teinte le plus proche

- le 2ème Choix indique celle qui suit
Chaque partie de la dent a sa propre teinte et son coefficient qui sont :

- collet: 0,1
- centre: 0,7
- Bord libre: 0,2.

(Photo 10)

5 - Détermination de la teinte

L'ordinateur nous demande si nous souhaitons cette mesure dans un autre teintier, après validation. Si oui, vous appuyez sur le clavier, si non deux questions vous sont posées: - Désirez-vous changer les coefficients (l' affiche 0,7; 0,2; 0,1) - Désirez vous faire une autre mesure ? Si ce n'est pas le cas, vous appuyez sur le clavier.

V. ETUDE DE L'ÉVOLUTION DE LA TEINTE SUR LES TEINTIERS PAR RAPPORT AU SPECTROCOLORIMETRE.

Cette étude porte sur trois teintiers qui nous semblent les plus utilisés dans le domaine de la dentisterie : VITA, KERASCOP.ITS - IVOCLAR, UNITEK - CRYSTAR.

En effet, une question se pose: " Est ce que ces teintiers recouvrent toute la gamme des teintes de dents ? "

Il me semble intéressant de pouvoir vérifier si une ou plusieurs teintes ne seraient pas omises dans ces teintiers.

Pour chaque teinte, trois flashes sont effectués avec le spectrocolorimètre (prototype) du Professeur François Duret. Ainsi nous obtenons des valeurs de mesure pour L*, a*, et b*; on fait la moyenne de tous les L*, de tous les a*, et de tous les b*.

Il faut ensuite faire un schéma en trois dimensions, afin de situer l'évolution des trois valeurs.

1 - Etude du teintier VITA Lumin-Vacum.

Le teintier VITA est un des teintiers les plus utilisés, il se compose de 16 teintes qui sont rangées en quatre catégories.

- A: rougeâtre, brun
- B: jaune

- C: teinte grises
- D: rougeâtre, gris

Le tableau 1 représente les résultats obtenus pour la gamme des A.

Si l'on préfère classer les échantillons de teinte selon leur degré de clarté et non selon leur couleur dominante, nous conseillons de les grouper dans l'ordre suivant :

B1, A1, B2, D2, A2, C1, D4, A3, D3, B3, A35, B4, C2, A4, C4.

Une étude selon le même procédé est effectuée pour les teintiers Kerascop-ITS.SR Isosit-Nk IVOCLAR et UNITEK CRYSTAR Porcelain shade guide 16 teintes et permet d'obtenir des résultats pour chaque teintier. (Photo 11)

Pour le teintier SR Isosit, afin de faciliter le choix de la teinte, la référence du groupe de teinte a été portée sur chaque tige du teintier.

- groupe 1 : blanc (01, 03, 1A, 2A)
- groupe 2 : jaune -clair (1 C, 2B, 1 D)
- groupe 3 : jaune brunâtre (1 E, 3A, 2C, 2E, 3E, 3C)
- groupe 4 : gris (4A, 4B, 6C, 6B, 6D)
- groupe 5 : brun (5B, 4C, 4D)

Le nombre inscrit en petits caractères donne la correspondance de teinte avec les matériaux pour obturation VIVADENT. Il existe 21 teintes.

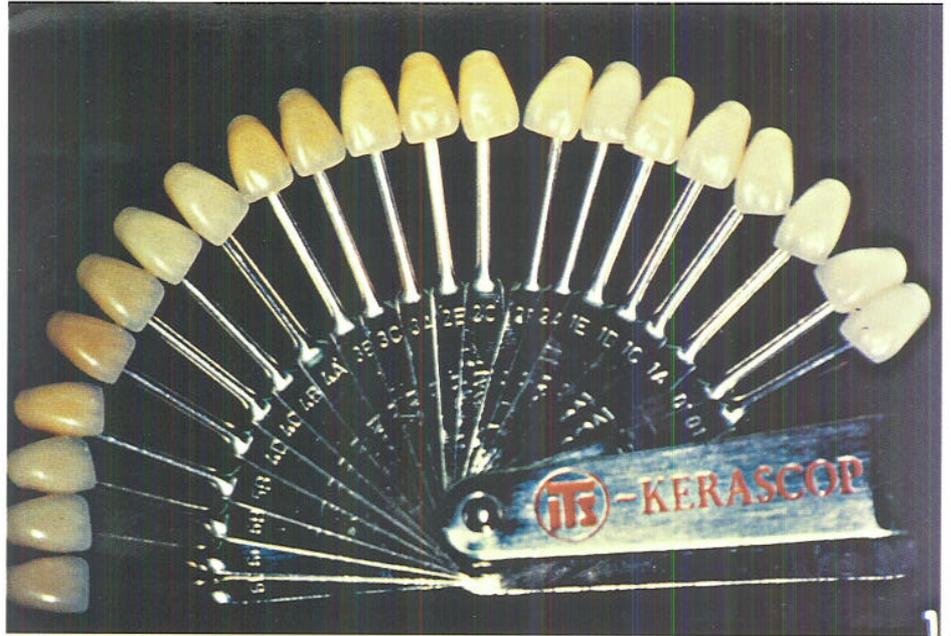


Photo 11 : teintier Kerascop

D'après l'étude des trois graphiques obtenus, on peut observer que les teintiers recouvrent plus les teintes allant du vert au rouge que les teintes allant du bleu au jaune. Les teintes des dents naturelles s'étendent plus dans les variations du bleu au jaune que dans les variations du vert au

rouge. De cela nous pouvons déduire que les teintiers Vita, Ivoclar et CRYSTAR ne sont pas réellement appropriés à la détermination de la teinte des dents naturelles.

Cette étude aurait été plus révélatrice si nous avions pu transférer les valeurs L^* , a^* , b^* en teinte, saturation, luminosité, mieux connues de tout le monde.

VI. ETUDE DE LA DÉSATURATION DE LA TEINTE DANS LA GAMME DES A DE CHEZ VITA PAR RAPPORT AU CHROMAMETRE DE MINOLTA.

MATERIEL

D'un côté la surface de l'échantillon est polie donc lisse, et de l'autre côté la surface est laissée telle quelle, donc rugueuse. On fait trois flashes pour chaque échantillon et on calcule l'écart type pour les surfaces polies et rugueuses.

Les échantillons ont été cuits dans le four à céramique P20 Ivoclar. Le programme de cuisson utilisé est le P7 ; la température est de 920°C, la vitesse d'élévation de température est de 60°/mn. La durée de maintien H est automatiquement fixée à 1 mn et le délai de fermeture de 4 à 5 mn. Mais pour les besoins de cette céramique, H a été portée à 1 seconde, et 5 à 2. Nous choisissons ce programme plu-

				Moyenne
A1	L: 70.0168	69.6638	80.5254	69.839
	a*: -.9973	-1.1737	-.6781	-0.9497
	b*: 6.5353	7.0445	3.9124	6.789
A2	L*: 68.1987	69.7689	68.1241	68.6972
	a*: -.1237	-.1907	-.1982	-0.1708
	b*: 10.7626	10.3816	10.634	10.5927
A3	L*: 65.6634	64.2178	66.0999	65.3270
	a*: .4984	0	.6745	0.3909
	b*: 12.1341	10.109	13.1263	11.7898
A3 5	L* : :62.1032	62.1631	63.6772	62.6478
	a*: 1.259	1.0292	1.0455	1.1112
	b*: 156DS7	13.8708	15.4215	14.966
A4	L*:60.7057	61.37	60.6365	60.9040
	a*:1.6592	2.152	2.3106	2.0406
	b*: 15.4735	16.6954	15.6606	15.9431

				<u>Moyenne</u>
A1	L* : 64.92	64.88	64.91	64.90
	a* : -5.07	-5.14	-5.07	5.09
	b* : 7.65	+7.55	7.57	7.59
A2	L* : 63.49	63.511	63.39	63.46
	a* : -4.15	-4.15	-4.33	-4.21
	b* : 13.57	13.52	13.59	13.56
A3	L* : 61.26	61.22	61.19	61.22
	a* : -4.15	-4.15	-4.33	-4.21
	b* : 13.57	13.52	13.59	13.56
A3 ⁵	L* : 62.40	62.38	62.34	62.37
	a* : -2.17	-2.17	-2.12	-2.15
	b* : 20.61	20.57	20.47	20.55
A4	L* : 58.39	58.45	58.51	58.45
	a* : -2.83	-2.89	-2.70	2.80
	b* : 20.00	20.06	19.73	19.93

Tableau 2 : Vita échantillons à faces lisses

				<u>Moyenne</u>
A1	L* : 64.42	64.44	64.33	64.39
	a* : -3.167	-3.17	-3.14	-3.15
	b* : 7.11	7.07	7.07	7.08
A2	L* : 62.97	62.87	62.87	62.90
	a* : -3.31	-3.28	-3.28	-3.29
	b* : 10.98	10.91	10.91	10.93
A3	L* : 61.75	61.69	61.72	61.72
	a* : -3.10	-3.62	-3.66	-3.66
	b* : 12.89	12.98	12.94	12.93
A3 ⁵	L* : 62.00	61.96	61.94	61.96
	a* : -2.34	-2.36	-2.34	-2.31
	b* : 19.63	19.62	19.58	19.61
A4	L* : 61.14	61.16	61.15	61.15
	a* : -3.22	-3.17	-3.26	-3.21
	b* : 18.01	17.85	17.96	17.94

Tableau 3 : Vita échantillons à faces rugueuses

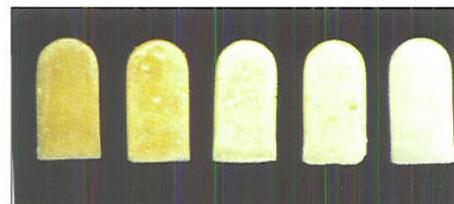


Photo 12 : Echantillons: A1, A2, A3, A35, A4 Dentine Vita.

tôt qu'un autre car les températures de début et de fin de vide sont programmables. Le vide a été programmé de 550°C à 920°C. (Photo 12)

MÉTHODE

L'étude a été effectuée avec le mini calculateur Minolta DP100 et le CR-100/CR/110.

Ce sont tous deux des appareils complémentaires car l'un permet de calculer comme son nom l'indique, tandis que les chromamètres CR-100 et CR-110 sont des analyseurs de tristimulus très légers et très compacts, permettant de mesurer la couleur par réflexion sur un échantillon, et utilisant des cellules silicium de haute sensibilité et des filtres sélectionnés répondant aux normes standard de la CIE. La reproductibilité et la grande précision de ces appareils donnent des valeurs supérieures à l'observation de l'oeil humain.

Les lectures provenant de la tête de mesure sont affichées sur un cadran à cristaux liquides après traitement de l'information par le mini ordinateur.

La tête de mesure contient une lampe à arc à xénon pulsé haute performance fournissant un éclairage diffus dont la lumière réfléchie s'effectue sous un angle constant : la norme par rapport à l'échantillon.

L'information lue sur l'affichage digital est le résultat d'un rapport lumière émise/lumière réfléchie qui reste constant grâce au principe ratiomètre incorporé dans l'appareil fonctionnant comme un système à double faisceau détectant des déviations très faibles au travers de 6 cellules réceptrices.

La tête de mesure offre le choix entre deux illuminants standards, à savoir l'illuminant C (6774°K) et l'illuminant D65 (6504°K) correspondant aux normes de la CIE.

Les chromamètres CR-100 et CR-110 se présentent donc comme l'outil indispensable dans tous les cas d'un contrôle de qualité.

Du fait de la rapidité des mesures, l'appareil se révèle comme étant le matériel type dans tous les laboratoires industriels et scientifiques.

Le client peut étalonner son appareil sur une teinte de son choix et également étalonner, s'il le désire, l'ensemble des appareils en sa possession sur cette même référence.

RÉSULTATS

Pour chaque échantillon de dentine Vita, nous avons effectué trois mesures successives en prenant garde de ne pas bouger ni l'échantillon, ni les têtes de mesure.

Dans les tableaux qui suivent sont répertoriées toutes les mesures, ainsi que la moyenne pour chacune d'elles.

Le premier tableau représente les données des échantillons pour les faces lisses et le deuxième tableau représente les données des échantillons pour les faces rugueuses. (Tableaux 2 et 3)

Avec les résultats obtenus par le chromamètre de Minolta, nous pouvons déduire que les teintes mesurées sur les échantillons à faces lisses ont des luminances (L^*) plus hautes que les échantillons à faces rugueuses.

Donc que l'état de surface influence la prise de teinte et avec une surface rugueuse les échantillons paraissent plus sombre.

Cette étude nous révèle que lorsque la surface d'une dent possède un brillant et un poli important, la lumière l'illuminant sera réfléchié selon la loi de réflexion où l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

D'autre part, si l'état de surface d'une dent possède des irrégularités, l'illuminant sera réfléchi dans toutes les directions, ce qui explique qu'une dent ayant un poli important paraîtra plus brillante et plus claire.

Cécile PANNIER
Prothésiste Dentaire
Lyon

CONCLUSION

Dans notre exercice quotidien, nous sommes fréquemment amenés à porter des jugements personnels pour choisir la teinte adaptée au reste de la denture du patient. Ce choix est tout à fait subjectif et aléatoire: il varie en effet d'un observateur à l'autre et en fonction des conditions d'observation.

Si les goûts ne se discutent pas, les couleurs elles, se mesurent grâce au progrès toujours croissant des techniques scientifiques. Ainsi la spectrorimétrie permet de déterminer avec précision la teinte exacte d'une dent. D'autre part, les moyens informatiques et télévisuels suppriment tout besoin d'intermédiaire éventuel pour transmettre les données du praticien au laboratoire.

De ce fait, la spectrorimétrie apparaît comme la technique la plus satisfaisante pour identifier avec exactitude les teintes des dents dans la pratique dentaire. Il est d'ailleurs certain que notre pratique sera bouleversée à l'avenir par l'avènement des nouveaux systèmes de spectrorimétrie dentaire qui sont en préparation.

Cette étude pose également le problème des teintiers du commerce tant par leur porcelaine, leur mode de cuisson, leur différence entre deux mêmes teintiers d'une même marque. De plus, les teintiers ne recouvrent pas toutes les variations des teintes des dents naturelles.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) LE DENMAR D., NGUYENT T., BONIFAY P.
La couleur en odontologie : caractéristiques objectives.
Cahier de prothèse, 57: 49-72 ; 1987
- 2) O'BRIEN, RYGE ;
Les matériaux dentaires
Préfontaine, 1982, P 35-48, P 203-217
- 3) BILLMEYER F.W, SALTZMAN M.
Principles of color technology
Interscience, 1966
- 4) TURNER G.P.A
Introduction to paint chemistry
Chapman and Hall, 1967
- 5) DELARUELLE, A, CLAES A.I
Eléments de physique
Wesmael-Charlier, 1967, 4. P129-149
- 6) PUENTE DEBLAS
Approche de la perception de la lumière et de la couleur
RFPP, 1 988, £, P 35-54
- 7) LEMIREPA, BURK.B
La couleur en dentisterie
Prélat, 1 978, P 3-40
- 8) BICHET P.
Données actuelles concernant la maquillage des dents artificielles et de la fausse gencive en prothèse adjointe complète.
Thèse Académie de Nancy Metz, 1985, P 5-28 i9)
- 9) LEVY Harry L.
Technique rationnelle de prise de teinte en prothèse dentaire.
Prothèse Dentaire, 1988, P 5- 10
- 10) SPROULL Robert C.
L'assortiment des couleurs en Odontologie
Julien Prélat, 1977, P 40-49
- 11) NALLY J.N, MEYER J.M
Recherche expérimentale sur la nature de la liaison céramique.
Schwelz-monatsschr.zhnheikd, 1970, P 50-80
- 12) DELARUELLE A, CLAES A.I
Eléments de physique
Wesmael-Charlier, 1977, 2, P339-354
- 13) DELARUELLE A., CLAES A.I
Eléments de physique
Wesmael-Charlier, 1967, 4, P129-148
- 14) HANON M., PELLERIN F., GUERNET M., MAHUZIER G.
Abrégé de chimie analytique
Masson, 3, 1980, P 6-11
- 15) BILLY M.
Introduction à la chimie analytique
Bordas, 1975, 145-157
- 16) DURET F., LORDET Y., DECAUDIN J. M, LEQUINE M.
Quand l'art devient science :
La spectrorimétrie
LQOS N°45, 1 987, P 95-1 07
- 17) YAMAMOTO M.
Metal ceramics
Quintessence books, 1982
- 18) LAYET G.
Conférence "La trilogie"
Fiabilité dans la reproduction des teintes en céramique :
objet / lumière / observateur
Novembre 1988
- 19) BORSBOOM P.C.F, TEN BOSCH J.J
Fiber -optic scattering monitor for use with bulk opaque materiel
Applied optics, 1982, VOL.2, N° 19
- 20) DURET F.
Communication sur la spectrorimétrie
Symposium de céramique, Paris
Septembre 1988
- 21) PRESTON J.
Etat actuel du choix de la teinte et de l'harmonisation des couleurs
Odontologia la quintessence Clinique Internationale, 2:
77-88; 1985
- 22) BORSBOOM P.C.F, TEN BOSH J.J
Measurement of reflectivity and color of translucent materiels.
Proceeding, 1984, VD.492, p 492-499
- 23) SHILLINGBURG II.T, HOBO S., WITSELL L-D.
Bases fondamentales de prothèse fixée.
Editions CDP, 434-441, 1982
- 24) GAMAIN M.
Conférence " La lumière et la couleur n"
"La pratique visuelle et l'environnement"
Novembre 1988