

QZ

Quintessenz Zahntechnik

Tiré à part

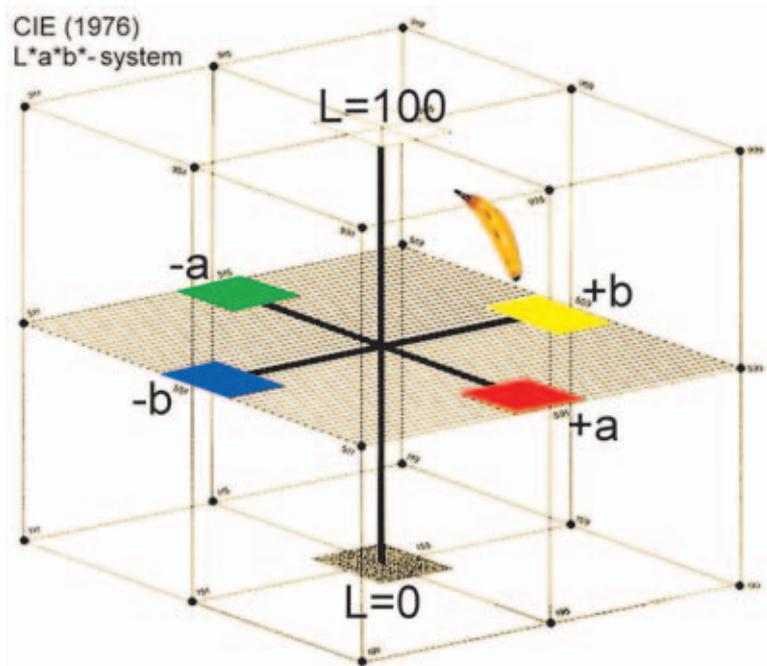
La définition
des teintes de dent

Andres Baltzer, Vanik Kaufmann-Jinoian

Volume 30 / Juillet 2004

7/2004

DEFINITION DE LA COULEUR



Résumé

Le VITA SYSTEM 3D-MASTER a été conçu afin de systématiser le relevé de teinte des dents et améliorer ainsi la justesse du résultat. Ce système reprend fidèlement les bases de la théorie moderne des couleurs. En étudiant la manière dont est conçu l'espace des couleurs avec une numérotation de chacune des nuances de couleur, on comprend plus facilement l'espace des couleurs propre aux teintes de dent naturelles. Au sein du VITA SYSTEM 3D-MASTER, cet espace de couleurs se divise en cinq groupes de luminosité. Lorsque l'on relève la teinte, on commence par définir le groupe de luminosité correspondant. De ce groupe découleront ensuite toutes les autres caractéristiques de la couleur.

Index

CEREC, CAD/CAM, VITA SYSTEM 3D-MASTER, teintes de dent, colorimétrie

La définition des teintes de dent

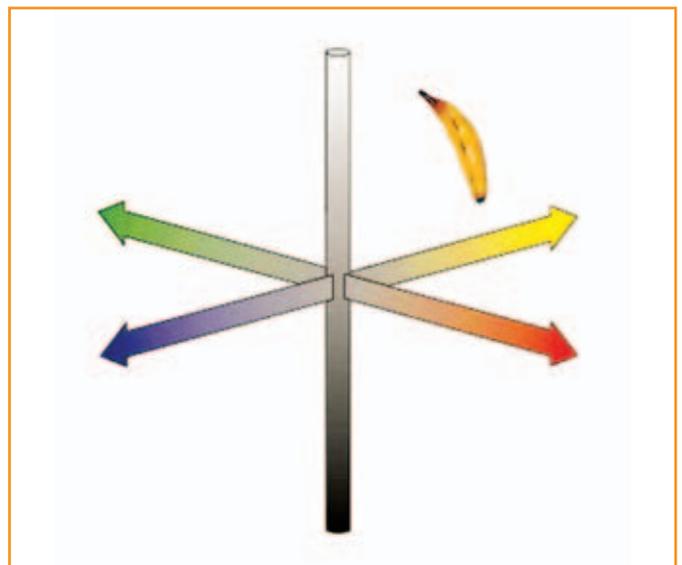
Andres Baltzer, Vanik Kaufmann-Jinoian

Personne n'aura de difficulté à savoir ce que représente la figure 1: on voit quatre flèches couleurs sur un poteau et une banane. Le dessin fait penser à un poteau indicateur.

Arrêtons-nous un instant sur cette figure. Les flèches multidirectionnelles partent du milieu d'un poteau dont la teinte s'éclaircit vers le haut. La banane se situe à une hauteur où le poteau est très clair et présente une tonalité jaune et rouge. Si l'on part du poteau pour se diriger vers la banane, on accède à une zone où les tons rouge clair et jaune clair dominent.

Figure 1 Poteau indicateur de couleurs: quatre flèches partent du milieu d'un poteau dont la teinte s'éclaircit vers le haut et se colorent en bleu, rouge, jaune et vert. La banane se situe entre le rouge et le jaune, dans la zone claire du poteau et symbolise l'espace de couleurs de toutes les dents naturelles.

Introduction



DEFINITION DE LA COULEUR

Le système de couleurs
L*a*b* ou L*C*h*

Figure 2 (page ci-contre) espace de couleurs L*a*b* avec l'axe vertical de la luminosité L (value) et les axes horizontaux des couleurs a et b. Ces deux derniers axes définissent le plan chromatique dans lequel la saturation (Chroma) augmente à partir du centre incolore vers l'extérieur. Les teintes (hue) sur le plan chromatique sont des couleurs composées qui entourent l'axe central incolore et vont du bleu au vert en passant par le rouge et le jaune. Dans les plans chromatiques supérieurs, les couleurs sont plus claires et dans les plans inférieurs, plus foncées. La banane marque l'emplacement et la forme de l'espace de couleurs des dents naturelles.

Lorsque l'on vit quotidiennement dans le monde des couleurs, comme par exemple le prothésiste et le dentiste, le poteau indicateur et la banane signifient quelque chose. Les quatre directions de couleur et la luminosité qui va en augmentant vers le haut et en diminuant vers le bas symbolisent l'espace des couleurs tridimensionnel que l'on désigne en colorimétrie sous le nom de L*a*b* System (Ill. 2).

Dans cet espace se trouvent toutes les couleurs visibles par l'œil humain. A mi hauteur de l'axe vertical noir blanc, on observe un plan horizontal gris avec quatre principaux axes aboutissant aux teintes vert rouge (axe a) et bleu jaune (axe b). La figure ne montre pas les couleurs composées qui se situent entre les couleurs principales et qui complètent le plan chromatique. Sur ce plan se déploient des couleurs qui partent de l'axe central incolore, noir blanc. Plus elles s'en éloignent, plus elles se colorent (saturation). Selon sa hauteur par rapport à l'axe central noir blanc, ce plan chromatique apparaîtra plus ou moins clair ou foncé.

La banane représente le secteur des teintes de dent naturelles au sein de l'espace de couleurs. Les différentes teintes de dent ont des luminosités très différentes et c'est pourquoi l'espace de couleurs propre aux dents est à la verticale de l'axe de la luminosité et s'étire en longueur, comme une banane. En haut se trouvent les dents claires et en bas les dents foncées. Les teintes de dent saturées se situent au niveau de la courbe extérieure de la banane qui est la plus éloignée de l'axe central incolore; les dents aux tons rougeâtres sont dans l'axe a, celles aux tons jaunâtres dans l'axe b.

La genèse du système de couleurs L*a*b* fait partie de l'histoire culturelle européenne. La tentation est grande de s'attarder sur les considérations physiques, neurophysiologiques et psychologiques de la théorie des couleurs et des systèmes de couleur. *Goethe* a violemment rejeté les découvertes physiques que *Newton* avait faites cinquante ans auparavant, découvertes pourtant unanimement acceptées par les milieux scientifiques. "Celui qui prétend décomposer la lumière en couleurs / considère le comme un singe..." c'est ainsi que parlait le poète qui pensait devoir s'opposer au physicien révolutionnaire. Pendant 200 ans, les physiciens, les physiologistes et les philosophes, au moins une fois dans leur vie, ont écrit ou parlé de la polémique incompréhensible engagée par *Goethe* contre *Isaac Newton*. Seules les découvertes de la recherche moderne ont mis fin à ces incessants débats scientifiques. Deux siècles plus tard, *Goethe* n'aurait pas osé s'opposer de la sorte à l'optique physique. Les connaissances actuelles comblent le fossé entre la physique et la perception des couleurs. Les choses sont beaucoup plus imbriquées qu'elles ne l'étaient à l'époque de *Goethe*.

Dans les premières décennies du 20e siècle, le besoin d'un système objectif de définition de la couleur s'est fait de plus en plus ressentir. On voulait disposer d'un système de couleurs à même de s'appuyer à la fois sur la capacité de l'œil humain à établir la concordance des teintes et sur une construction mathématique permettant de calculer la position de la couleur à définir en relation avec chacune des couleurs primaires. Ce système de couleurs ne devait pas faire appel à un étalon car comparer une teinte à définir et un étalon standard relève toujours de la subjectivité. Les étalons peuvent aussi se détériorer au fil du temps ce qui leur enlève tout crédit. La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) fut donc chargée de concevoir un tableau des couleurs normalisé, reposant sur un principe mathématique, capable de répondre à une quête de précision et d'objectivité.

DEFINITION DE LA COULEUR

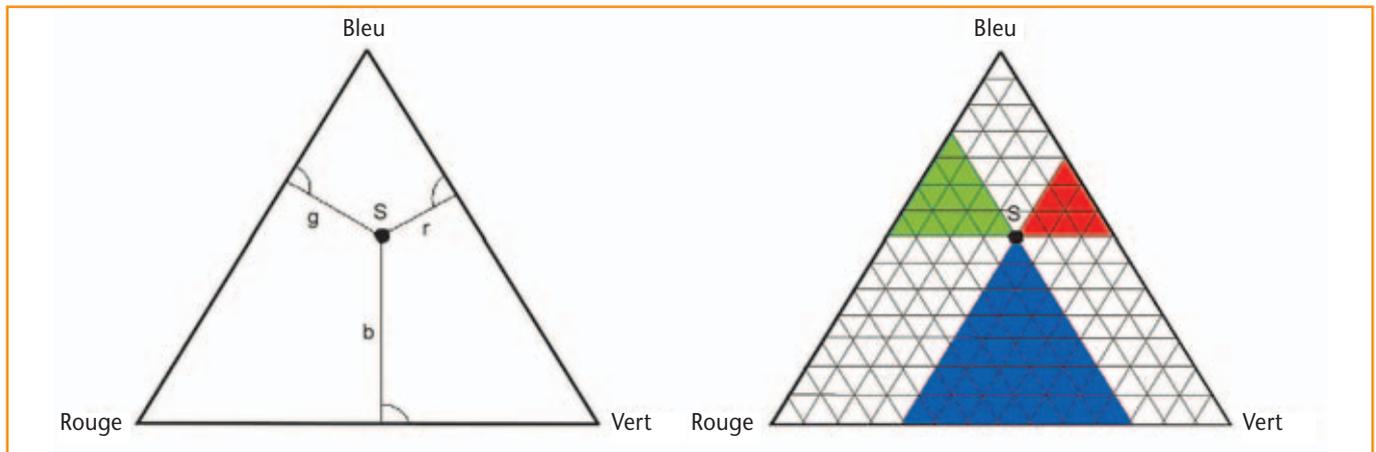


Figure 3 à gauche: le triangle rouge-vert-bleu (RGB) de *Maxwell*: chaque couleur composée est à l'intersection des lignes qui relient les couleurs à assembler. A droite: représentation de l'assemblage quantitatif des proportions de rouge, vert et bleu pour obtenir la couleur S.

Le triangle chromatique du physicien C. *Maxwell* est à l'origine de ce tableau des couleurs normalisé. En 1859, le physicien écossais présenta sa "théorie de la vision", point de départ de la colorimétrie quantitative. *Maxwell* y démontrait que toutes les couleurs résultaient d'un mélange des trois couleurs spectrales Rouge, Vert et Bleu. Il avait placé les trois couleurs principales Rouge (R), Vert (G) et Bleu (B) dans les coins d'un triangle équilatéral et avait expliqué que chaque couleur composée se trouvait à l'intersection des lignes qui reliaient les couleurs à assembler (Ill. 3 à gauche). La proportion de chaque couleur principale correspond au triangle équilatéral présent au sein du triangle complet. Elle résulte du point de la couleur composée se trouvant dans ce triangle (S dans la figure 3) et de la section colorée du côté du triangle complet. A l'aide d'un quadrillage triangulaire de l'ensemble du triangle, les ratios sont encore plus clairs (Ill. 3 à droite): pour la couleur composée S dans le triangle RGB de *Maxwell*, la portion de rouge est de 9 triangles, la portion de vert de 16 et la portion de bleu de 49. Si par exemple, toujours dans le triangle RGB de *Maxwell*, le point S se trouvait dans le coin "bleu", la couleur composée serait alors un bleu pur, car il ne resterait aucune portion pour le rouge et le vert.

Les relations géométriques et les distances entre les couleurs dans le triangle de *Maxwell* ont une signification précise et reposent sur des mesures physiques et psychiques suivantes: à l'aide de sources lumineuses standardisées, les observateurs modifient le mélange de rouge, vert et bleu jusqu'à ce que l'impression colorée concorde avec l'étalon. Pour la perception de la couleur, il existe donc trois critères:

- L'observateur (défini en tant qu'un individu dont la vision est normale)¹
- La source lumineuse (définie en température de la couleur en ° Kelvin)²
- L'objet (défini par ses propres données de couleur. Toutes les réflexions liées à des sources de lumière autres (réverbération) ont été éliminées)³

Chaque mélange peut être déterminé par les trois valeurs, R, G et B, connues sous le nom

DEFINITION DE LA COULEUR

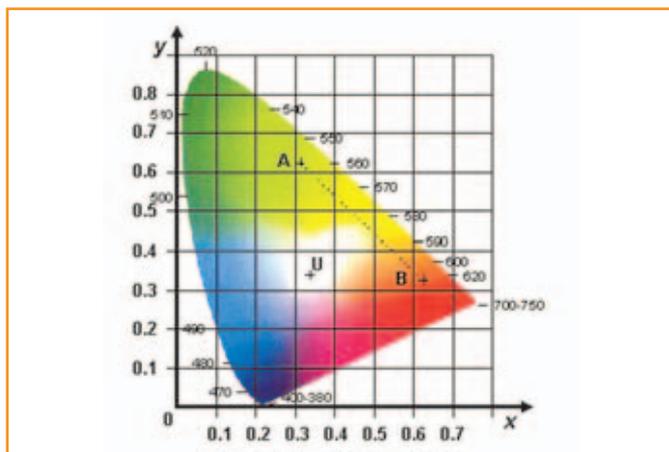


Figure 4 Tableau de couleurs normalisé (CIE 1931): les couleurs du spectre sont en forme de fer à cheval et placées autour du point blanc absolu, ce que l'on appelle le point incolore. Vers l'extérieur, la saturation augmente. Tous les points au sein du fer à cheval représentent un type de couleur. Si l'on trace une droite de la couleur A à la couleur B, on peut par un mélange additif produire toutes les couleurs qui se situent sur cette droite. A partir d'une lumière bleu-vert et d'une lumière rouge, on ne peut composer aucune lumière jaune.

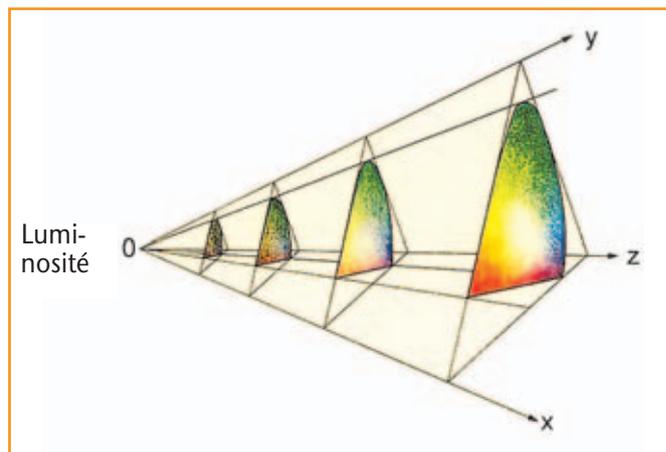


Figure 5 Tableaux de couleur normalisés illustrant les plans chromatiques de luminosité décroissante. Les diagrammes montrent comment sont perçues les couleurs lorsque la lumière décline. Cet espace de couleurs s'appelle le CIE 1931 System ou plus simplement le "cornet de couleurs".

de "valeurs trichromatiques" (tristimulus values). On dispose ainsi de trois variables qui caractérisent une couleur: la teinte (en anglais hue), la saturation (en anglais chroma) et la luminosité (en anglais value). Si l'on reporte dans le triangle les résultats de l'expérience, les trois couleurs Rouge, Vert et Bleu se trouvent dans les angles du triangle et les couleurs composées au cœur du triangle, dans toutes les nuances possibles. Dans ce triangle, ces couleurs débouchent sur un point qui représente le blanc pur.

En partant de ce principe, le CIE a conçu en 1934 le diagramme des couleurs (tableau de couleurs normalisé). Les anciennes valeurs trichromatiques de Maxwell RGB ont été mathématiquement reformulées et remplacées par trois nouvelles tristimulus values x , y et z . En annexe, figure un bref aperçu des calculs mathématiques⁴. Dans ce diagramme, l'axe horizontal représente les valeurs x et l'axe vertical les valeurs y (Ill. 4).

Sur l'axe z , il n'y a qu'un plan dans l'espace de couleurs qui capte la lumière. Les plans sur l'axe z proches du point zéro représentent les couleurs dont la luminosité va en décroissant. En d'autres termes, les schémas montrent l'aspect des couleurs lorsque la lumière décline. Dans la terminologie scientifique, généralement plutôt sobre, ce système d'espace de couleurs CIE 1931a été baptisé "cornet de couleurs" (Ill. 5).

Pour les applications industrielles, la mesure de la couleur n'est pas le seul critère déterminant. Il est très important de pouvoir définir exactement les écarts chromatiques. La raison en est évidente: un client qui commande un objet (par ex. une voiture) à un fabricant dans une teinte précise (par ex. vert glacier) s'attend à recevoir l'objet commandé dans une couleur qu'il a prévu d'assortir à un deuxième objet (déjà existant), avec bien sûr une petite tolérance d'usage.

⁴Les chiffres en exposant renvoient aux notes des pages 739 et 740.

DEFINITION DE LA COULEUR

Malheureusement, dans le fameux cornet de couleurs des colorimétriciens, il est impossible de définir les écarts chromatiques simplement sous la forme de distances au sein du diagramme. Les critiques ont donc constamment souligné que le vert était exagérément représenté et que les tons rouge, violet et bleu étaient tassés dans les angles.

Dans les années soixante, la littérature traitant des "écarts chromatiques" proposa en permanence des formules pour calculer les différences, formules qui seront plus ou moins utilisées. En 1976, un nouveau système métrique conseillé par la CIE, sous l'abréviation CIE L*a*b*, voit le jour. Il sera ensuite amplement utilisé et notamment pour des objets non lumineux comme par exemple les tissus, les colorants et les objets en plastique. En annexe 5 figure une brève esquisse de la nouvelle formule. Le système CIE L*a*b* semble répondre aux besoins industriels. La figure 2 présente ce système de couleurs.

Il est également possible de très bien représenter le système CIE L*a*b* à l'aide des paramètres appelés L* c* h* sans modifier la répartition des couleurs de l'espace L*a*b*. Seul l'emplacement de la couleur au sein de l'espace est calculé d'une autre manière. Avec le système L*a*b*, la couleur est définie par les distances sur les axes L, a et b. Avec le système L* c* h*, elle est définie par la distance sur l'axe L (Luminosité, valeur, hauteur de la couleur sur l'axe L), par la mesure C (saturation, chroma, distance entre l'axe L et le point coloré) et par l'angle h (teinte, hue, angle formé entre l'axe +a et l'emplacement de la couleur). Une comparaison est établie entre les deux systèmes L*a*b* et L* c* h* (Ill. 6 et 7). Pour le même point S, les paramètres L*a*b* sont notés à gauche et les paramètres L* c* h* à droite.

La conversion entre L*a*b* et L* c* h* s'effectue selon la formule ci-dessous. Elle est représentée graphiquement à la figure 8.

Conversion de L*a*b* en L* c* h* (au carré, +a / +b')⁶

$$L^*C^*h^* \mid L \text{ (Value) demeure } L \mid C \text{ (Chroma)} = \sqrt{a^2 + b^2} \mid h \text{ (hue)} = \sin(h) = b/\sqrt{a^2 + b^2}$$

Pour définir les teintes de dent, l'interaction des valeurs de luminosité (L), de saturation (C) et d'écart chromatique (h) est essentielle.

Il est plus simple pour le praticien de formuler la couleur avec les valeurs L* c* h* car ces valeurs se réfèrent directement à des caractéristiques de couleur qui l'intéressent, à savoir luminosité (L), saturation (C) et teinte (h). La valeur de saturation C s'exprime directement avec la grandeur C et n'a pas à être calculée par la formule ci-dessus indiquée. De même, la teinte, c'est-à-dire la tendance au rouge (+a) ou au jaune (+b) s'exprime bien plus simplement avec l'angle h.

DEFINITION DE LA COULEUR

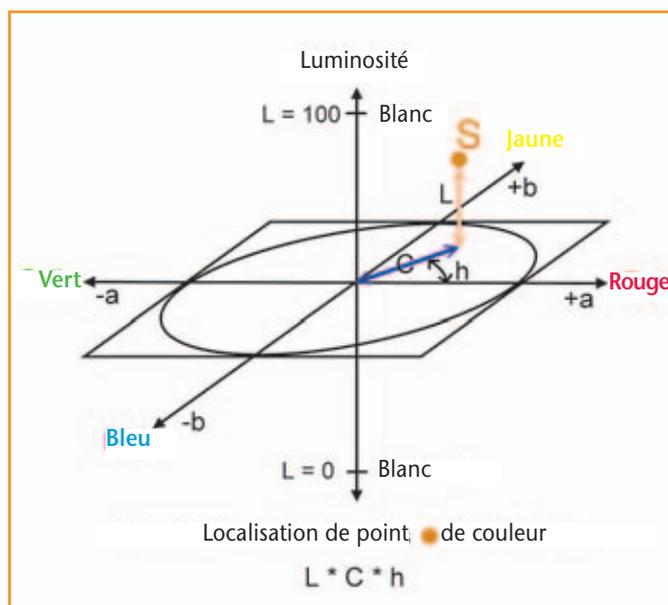
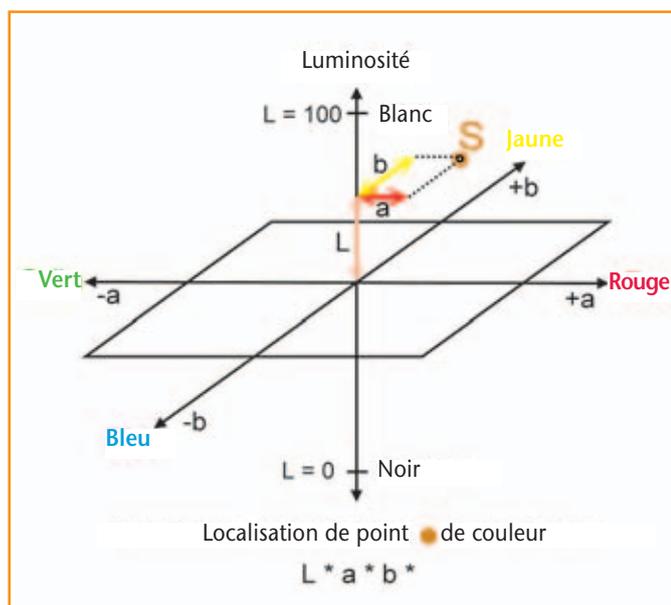


Figure 6 et 7 L'espace de couleurs L*a*b* et L* c* h* sont identiques au niveau de la répartition des couleurs. Seule la localisation des points de couleur est calculée différemment.

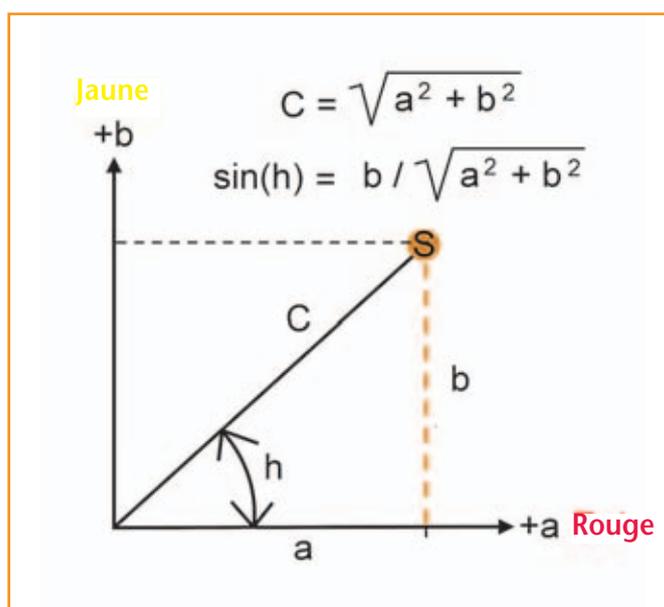


Figure 8 Localisation du point S (mélange de rouge et jaune) dans le plan chromatique: dans le système L*a*b* il est défini par a (horizontal) et b (vertical). Dans le système L* c* h*, il est défini par C et par l'angle h.

L'emplacement de l'espace de couleurs des dents au sein de l'espace L*a*b* ou L* c* h*

La zone des teintes de dent naturelles a été considérée au départ comme un espace de couleurs en forme de banane, dans le système L*a*b* ou L* c* h*. Cet espace se situe entre le rouge clair et le jaune clair et s'étire en peu en longueur le long de l'axe de la luminosité. Si l'on compare les valeurs chromatiques (c'est-à-dire l'emplacement dans l'espace de couleurs) de la dent la plus claire et de la dent la plus foncée que l'on puisse trouver dans la nature, les valeurs de référence dans le système L*a*b* sont de 78/1/12

DEFINITION DE LA COULEUR

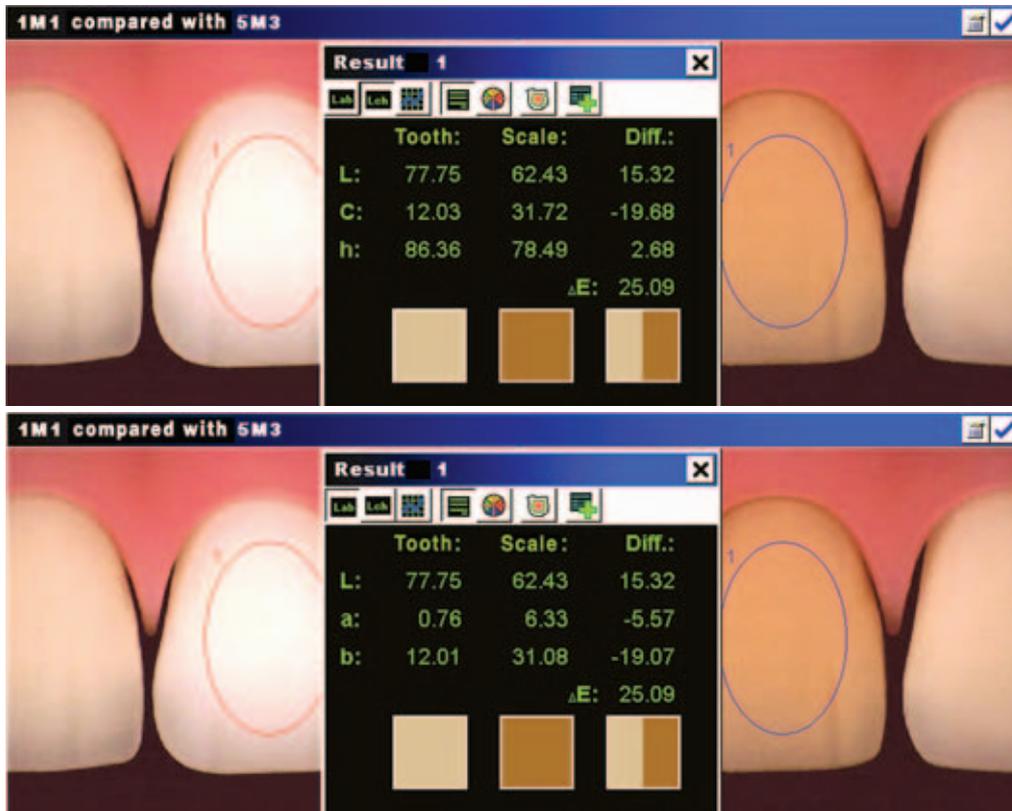


Figure 9 et 10 les valeurs $L^* c^* h^*$ ou $L^* a^* b^*$ de la dent la plus claire comparées à celles de la dent la plus foncée. Les différences chromatiques $L^* a^* b^*$ donnent les valeurs $\Delta L = 15.32$, $\Delta a = -5.75$ et $\Delta b = 19.07$. La formule ΔE désigne la différence perçue entre les deux échantillons colorés et correspond à la distance entre les deux emplacements de couleur au sein de l'espace de couleurs.

et de 62/6/31 (Ill. 10). Dans le système $L^* c^* h^*$, elles sont de 78/12/86 et de 62/33/78 (Ill. 9).

La transposition des valeurs $L^* c^* h^*$ dans le diagramme de l'espace de couleurs met bien en évidence l'emplacement de l'espace de couleurs des dents (banane) (ill. 11).

La pointe claire de la banane se situe au niveau de luminosité (L) = 78 (value), elle est peu saturée $C = 12$ (chroma) et avec son angle $h = 86$ (hue) elle est bien loin de l'axe du rouge $+a$, presque sur l'axe du jaune $+b$. La pointe foncée de la banane est bien dessous sur l'axe de luminosité $L = 62$ (value), elle est trois fois plus saturée $C = 33$ et s'approche de l'axe du rouge $+a$ avec son angle $h = 78$. Dans l'espace de couleurs, comme le montre la figure 11, la banane se situe dans une zone claire comprise entre 78 et 62. Dans sa longueur, la partie supérieure est dirigée vers l'axe de la luminosité et la partie inférieure vers l'axe jaune.

En partant de la position de l'espace de couleurs des dents dans l'espace de couleurs psychométrique, on peut en déduire sur le plan colorimétrique ce que tous les prothésistes et dentistes savent:

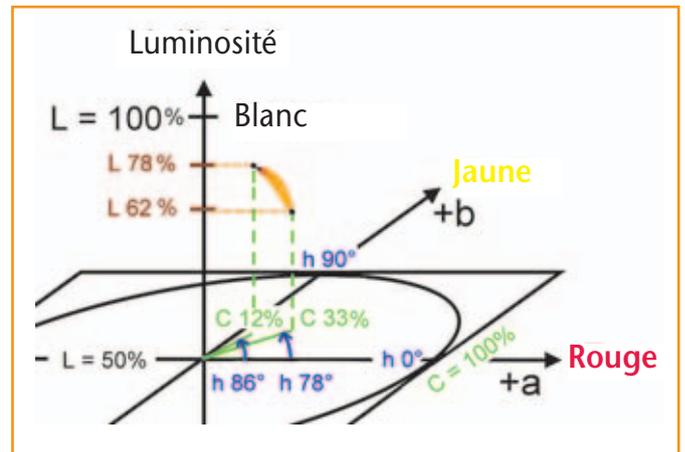


Figure 11 L'emplacement de l'espace de couleurs des dents au sein de l'espace de couleurs $L^* a^* b^*$.

DEFINITION DE LA COULEUR

- Les dents claires sont moins saturées et présentent une proportion de jaune plus élevée
- Plus les dents foncent, plus elles sont saturées et rouges.

La valeur ΔE La différence perceptible entre la teinte de dent la plus claire et celle la plus foncée ($L^*a^*b^* 78/1/12$ et $L^*a^*b^* 62/6/31$) est concrétisée sous la forme d'une distance entre les deux emplacements de couleur, que l'on désigne par le symbole ΔE . Le symbole " Δ " représente la différence et "E" est l'abréviation de sensation. ΔE se calcule par la formule de Pythagore pour les diagonales spatiales.

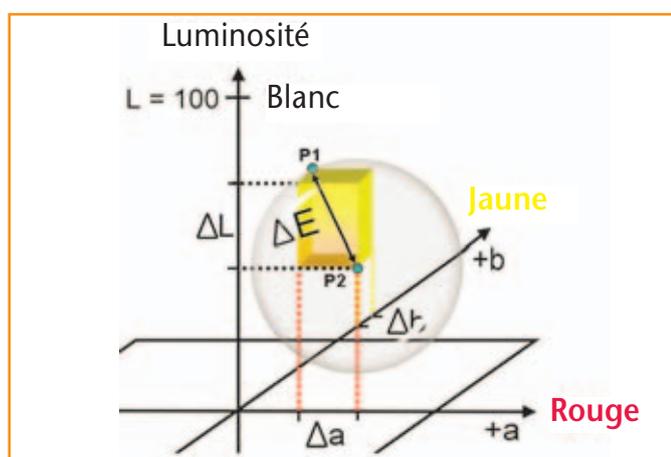


Figure 12 La diagonale spatiale entre les points P2 et P1 correspond à la distance chromatique et s'exprime par ΔE . ΔE traduit la différence perçue par l'œil humain entre les couleurs aux points P1 et P2. Des valeurs ΔE inférieures à 2 sont difficilement perceptibles par l'œil humain. La plus grande distance au sein de l'espace $L^*a^*b^*$ est de $\Delta E = 387$.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

La figure 12 explique ce mode de calcul de ΔE .

A partir de cette formule de calcul, ΔE représente donc la grandeur absolue de la distance chromatique entre la couleur de référence et la couleur vérifiée. Rien n'indique dans quelle direction cette teinte vérifiée s'écarte de la couleur de référence. La valeur ΔE ne dit pas non plus ce qui distingue la couleur vérifiée de la couleur de référence, par exemple est elle moins claire ou plus saturée? Cette observation est illustrée graphiquement à la figure 12. Autour de la couleur de référence P2, il y a une infinité de couleurs à vérifier qui possèdent la même valeur ΔE . Elles se situent toutes à la surface de la sphère avec P2 pour centre et ΔE pour rayon. Dans le domaine des teintes de dent, où les valeurs ΔE sont vraiment infimes, cela compte beaucoup. Souvent sous un éclairage donné (par ex. un scyaltique), l'œil humain établit une concordance des teintes supposée bonne entre deux dents alors qu'une des deux dents est plus foncée et donc d'une couleur moins vive. A

l'extérieur, sur le pas de la porte, les déceptions sont fréquentes. Pour prévenir de telles déceptions, un appareil numérique de mesure de la teinte est bien utile car il est capable non seulement d'enregistrer les valeurs DE approximatives mais aussi les écarts précis en matière de luminosité, de saturation et de teinte⁷. Dans une prochaine édition de Quintessenz, un article sera consacré au mode de fonctionnement de ce type d'appareils et à leur intérêt en tant qu'auxiliaire pour le relevé de la teinte des dents.

La définition d'une teinte de dent

Identifier une teinte de dent pose un problème, à savoir comment localiser correctement la dent dans l'espace de couleurs en forme de banane. Pour ce faire, on compare en bouche les échantillons du teintier avec la dent de référence. C'est ainsi que l'on définit la teinte de cette dent par un code du teintier. Dans cette procédure, tout le dilemme repose sur le nombre de teintes échantillons du teintier. Plus il y en a, plus il y a de comparaisons à établir. L'œil humain fatigue à la longue et les appréciations perdent de leur fiabilité. Toutefois, moins le teintier comporte de teintes échantillons, plus la prise de teinte est aléatoire car entre quelques échantillons, il existe de grosses différences (les distances chromatiques au sein de l'espace de couleurs). Sur presque tous les teintiers, les échan-

DEFINITION DE LA COULEUR



Figure 13 Sur les teintiers classiques, les échantillons de teinte sont la plupart du temps répartis de manière irrégulière dans l'espace de couleurs des dents. Conséquence: des entassements et des zones sans échantillons exploitables. Certains échantillons se situent même à l'extérieur de l'espace de couleurs des dents naturelles.

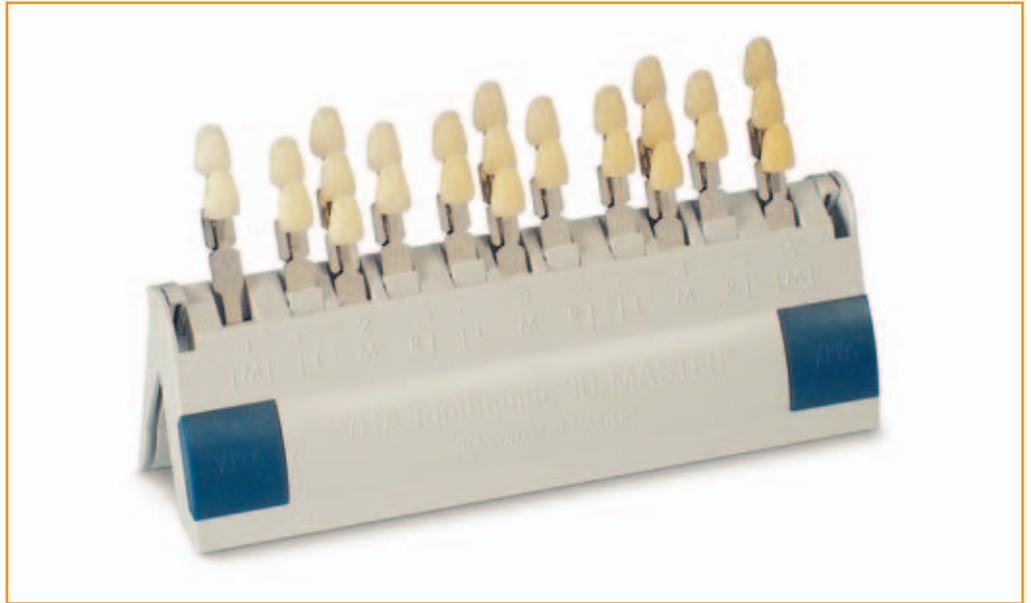


Figure 14 VITA SYSTEM 3D-MASTER: le teintier se divise en cinq groupes de luminosité. Dans chacun de ces groupes, il y a une dent centrale M2 avec autour 6 dents servant à définir les écarts de saturation et de teinte.

tillons sont répartis assez arbitrairement dans l'espace de couleurs, avec pour conséquence des entassements inutiles ou des distances trop importantes. De même, de nombreux teintiers sont composés d'échantillons qui ne figurent pas dans l'espace de couleurs des dents et compliquent inutilement la comparaison des teintes (ill. 13).

Avec le teintier VITA SYSTEM 3D-MASTER, de tels problèmes sont minimes. Les teintes échantillons sont réparties selon des principes scientifiques et à des distances toujours constantes au sein de l'espace de couleurs. C'est là où il est très utile de comprendre l'espace de couleurs $L^*a^*b^*$ ou $L^*c^*h^*$. Le teintier VITA SYSTEM 3D-MASTER propose cinq groupes de luminosité, toujours à la même distance les uns des autres dans l'espace de couleurs ($\Delta L = 4$). Les dents échantillons de chacun des groupes de luminosité possèdent une luminosité identique (L) et se différencient par leur saturation (C) et leur teinte (h) (Ill. 14).

C'est à partir de cet agencement dans l'espace de couleurs qu'a été établie la procédure de relevé de la teinte.

La sélection de la teinte avec VITA SYSTEM 3D-MASTER

DEFINITION DE LA COULEUR



Figure 15 Pour une bonne définition de la luminosité d'une dent, on peut comparer la dent avec les valeurs moyennes M2 des cinq groupes de luminosité.

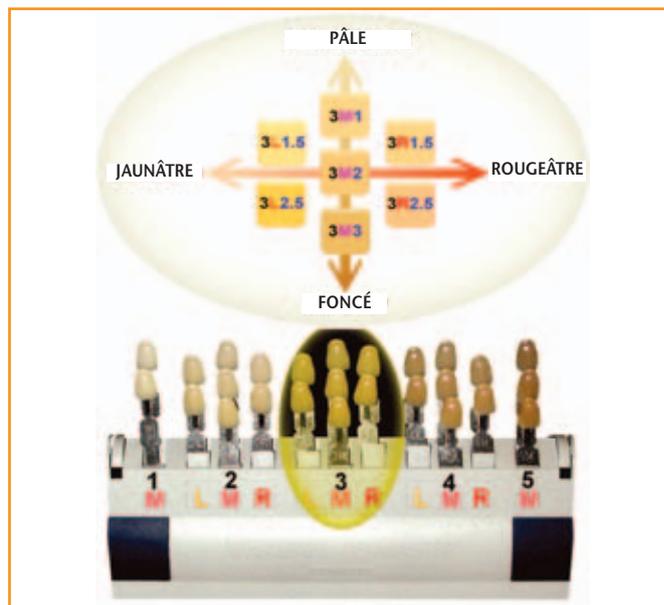


Figure 16 Fonctionnement du VITA SYSTEM 3D-MASTER: on commence par définir le groupe de luminosité (de 1 à 5) puis ensuite la saturation (pâle à foncé) et on termine par la teinte (tendance rougeâtre ou jaunâtre)

Définition de la luminosité (L)

Il s'agit pour commencer de sélectionner le groupe de luminosité correspondant. Dans chaque groupe de luminosité, il y a une dent centrale M2. Si l'on classe la série des cinq dents M2 par ordre de luminosité décroissante et que l'on compare ces cinq dents avec la dent de référence, il est quasiment impossible de se tromper sur la luminosité de celle-ci (VITA, à juste titre, conseille de définir la luminosité à l'aide des dents M1⁸). Il est possible d'être encore plus performant sur la définition de la luminosité en déployant les cinq échantillons M2 du centre sans dents adjacentes (Ill. 15) et en les comparant en bouche avec la dent concernée. La comparaison doit débuter avec l'échantillon central 3M2. Il est plus facile de se décider sur une base plus claire ou plus foncée que sur deux bases foncées. Il faut prendre en compte la fatigue oculaire se manifestant à un certain moment et donc faire un choix sans tergiverser.

Lorsque le groupe de luminosité a été sélectionné, il est conseillé d'écarter aussitôt les groupes non concernés. L'expérience a prouvé que lorsque l'on définit ensuite la saturation, on a tendance à douter du choix effectué en matière de luminosité. Ce phénomène est identique à celui observé lorsque l'on manipule le teintier complet devant la dent concernée, en passant d'une teinte à l'autre. Le relevé de la teinte s'apparente alors à l'aiguille qui tourne sur une roue de loterie.

Définition de la saturation (C)

Le relevé de la teinte doit donc toujours se poursuivre en ne conservant que le groupe de luminosité précédemment sélectionné (Ill. 16).

DEFINITION DE LA COULEUR

On commence donc par comparer la dent de référence avec l'échantillon central M2 du groupe de luminosité retenu. L'échantillon est-il plus saturé ou moins saturé que la dent? S'il est plus saturé, les trois échantillons situés dans le demi-cercle inférieur seront retirés et s'il est moins saturé, ce seront les échantillons du demi-cercle supérieur.

La troisième et dernière décision concerne la teinte et sera basée sur les quatre échantillons conservés: les trois échantillons supérieurs (valeur de saturation 1 et 1.5) ou les trois échantillons inférieurs (valeur de saturation 2.5 et 3) ainsi que l'échantillon central (valeur de saturation 2). Il s'agit de déterminer si la dent de référence est plus jaunâtre (Teinte L, à gauche) ou plus rougeâtre (Teinte R, à droite). Il est possible qu'il n'y ait aucune différence et l'échantillon M sera alors retenu (Ill. 17).

Définition de la teinte (h)

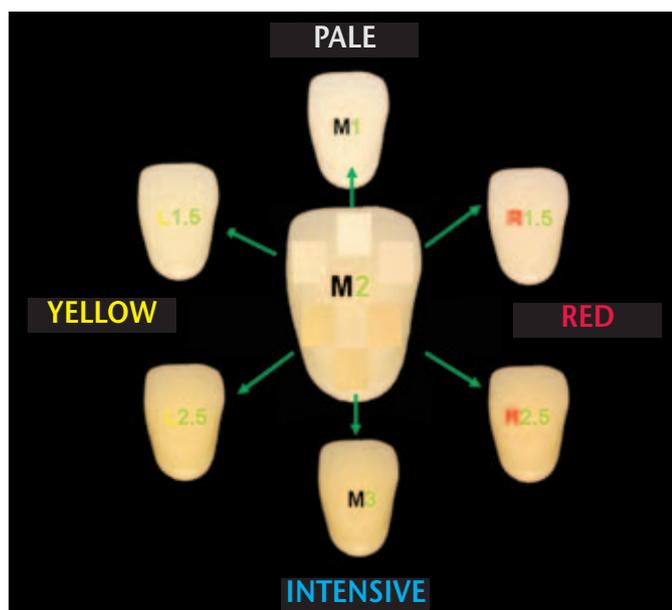


Figure 17 L'hexagone autour de la valeur centrale M2: comparativement à la valeur centrale M2, les trois échantillons du haut sont plus pâles que les trois du bas. L'échantillon à droite de M2 est plus rouge et celui à gauche plus jaune.

Procédure	Sélection
1. Détermination de la luminosité (Value): La dent de référence est soit plus claire soit plus foncée que l'échantillon central (3M2) dans le groupe de luminosité 3	Groupe de luminosité 3
2. Détermination de la saturation (Chroma): La dent de référence est un peu plus pâle que l'échantillon central (3M2) dans le groupe de luminosité 3	Saturation 1 ou 1.5
3. Détermination de la teinte (Hue) La dent de référence est un peu plus rouge que l'échantillon central (3M2) dans le groupe de luminosité 3	Teinte R
Résultat: VITA SYSTEM 3D-MASTER®	3 R 1.5

Schéma 1 : exemple de relevé de teinte.

La prise de teinte avec le VITA SYSTEM 3D-MASTER s'effectue donc conformément à la procédure reprise au schéma 1.

Exemple

Une méthode visuelle de prise de teinte plus précise et plus rapide est difficilement possible. La conception modulaire du teintier et la sélection basée sur un procédé d'exclusion constituent une méthode efficace et fiable que l'on assimile rapidement. En présence de dents extrêmement claires ou extrêmement foncées, les écarts vers le rouge ou le jaune sont presque exclus. C'est pourquoi, on aboutit quasiment toujours à la teinte moyenne M pour définir la teinte à partir des groupes de luminosité 1 et 5.

DEFINITION DE LA COULEUR

La répartition des teintes de dent dans l'espace de couleurs

La fréquence de répartition des teintes de dent au sein de l'espace de couleurs est éloquent. Au niveau des pointes de la banane, les plans chromatiques des groupes de luminosité 1 et 5 sont relativement petits. Conformément au principe de l'équidistance, les ensembles de 6 dents ne trouvent plus leur place dans ces plans. De plus, les dents appartenant aux groupes de luminosité 1 et 5 sont extrêmement rares. La moitié environ des dents humaines se situe au centre, c'est-à-dire dans le groupe de luminosité 3. Lorsque l'on commence par déterminer le groupe de luminosité, il est donc statistiquement conseillé de partir du milieu pour ensuite définir si la dent de référence est plus claire ou plus foncée ou si elle fait bien partie du groupe 3 (Ill. 18)⁹.

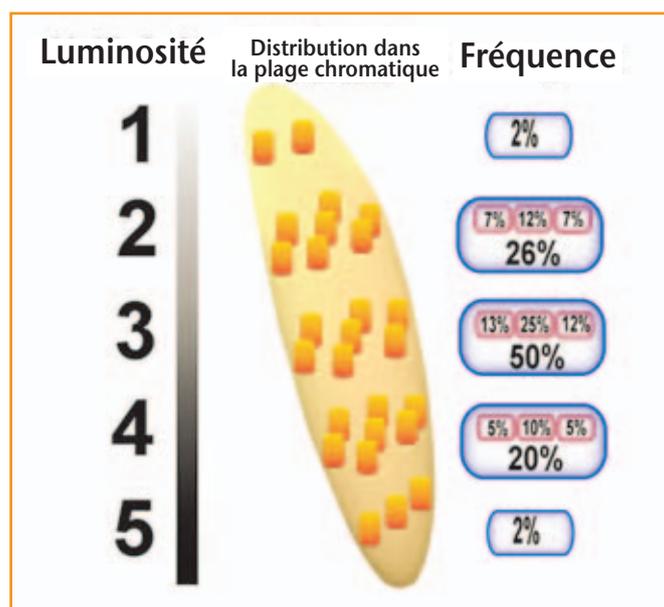


Figure 18 la répartition quantitative des teintes de dent naturelles dans l'espace de couleurs. 50% de toutes les dents naturelles sont situées dans la plage chromatique du groupe de luminosité moyen n°3. Pour déterminer le groupe de luminosité, il est donc conseillé de partir de ce groupe pour établir une comparaison.

Le mélange des teintes principales 3D-MASTER

En prothèse dentaire, les restaurations en céramo-céramique ont le vent en poupe. En regard des autres techniques, leur pourcentage augmente vertigineusement et les exigences esthétiques elles aussi. De plus en plus, il faudra reproduire fidèlement l'exemple vivant et les céramiques d'infrastructure et cosmétiques joueront un rôle capital. La brillance, la translucidité et l'opalescence participent à la perception de la couleur et donc à sa définition. Il est cependant crucial de choisir avant tout la bonne teinte de base. Des restaurations antérieures avec des écarts chromatiques de ΔE 4 à ΔE 6 sont aujourd'hui considérés comme des résultats imparfaits. Des valeurs ΔE de 1 à 3 sont exigées et il faut

DEFINITION DE LA COULEUR

1M1	1.5M1	2M1	2.5M1	3M1	3.5M1	4M1	4.5M1	5M1
1M1.5	1.5M1.5	2M1.5	2.5M1.5	3M1.5	3.5M1.5	4M1.5	4.5M1.5	5M1.5
1M2	1.5M2	2M2	2.5M2	3M2	3.5M2	4M2	4.5M2	5M2
	1.5M2.5	2M2.5	2.5M2.5	3M2.5	3.5M2.5	4M2.5	4.5M2.5	5M2.5
		2M3	2.5M3	3M3	3.5M3	4M3	4.5M3	5M3

A partir des 14 teintes principales M, on obtient 23 autres teintes composées exactement définies

	2R1.5	2.5R1.5	3R1.5	3.5R1.5	4R1.5	
	2.5R2	2.5R2	3R2	3.5R2	4R2	
	2R2.5	2.5R2.5	3R2.5	3.5R2.5	4R2.5	

A partir des 6 teintes principales R, on obtient 9 autres teintes composées exactement définies

	2L1.5	2.5L1.5	3L1.5	3.5L1.5	4L1.5	
	2L2	2.5L2	3L2	3.5L2	4L2	
	2L2.5	2.5L2.5	3L2.5	3.5L2.5	4L2.5	

A partir des 6 teintes principales L, on obtient 9 autres teintes composées exactement définies

Schéma 2 : les 29 teintes du VITA SYSTEM 3D-MASTER.

le souligner, elles ne peuvent être obtenues qu'avec des infrastructures en céramo-céramique et à la condition que la teinte soit soigneusement définie et qu'il y ait une bonne collaboration entre le dentiste et le prothésiste.

Le VITA SYSTEM 3D-MASTER réunit pour cela les meilleures conditions. La conception colorimétrique du teintier permet de mélanger les couleurs avec un résultat exactement prédictible ce qui est impossible lorsque l'on mélange A2 et C1. A partir des 29 teintes du teintier VITA SYSTEM 3D-MASTER, il est possible de concevoir toutes les teintes composées possibles (Schéma 2).

On peut aussi imaginer d'innombrables autres teintes composées en mélangeant les teintes M avec les teintes L ou R. Des possibilités insoupçonnées nous sont offertes pour concevoir la teinte de base. Les écarts chromatiques sont d'emblée limités et le prothésiste a une plus grande latitude pour caractériser les dents avec les masses transparentes et les masses Effet. Les valeurs ΔE se réduisent à une grandeur quasiment non perceptible par l'œil humain. Le recours parallèle à des instruments numériques de mesure de la couleur peuvent s'avérer utiles dans ce domaine, à la condition que ceux-ci englobent l'ensemble des données spectrales à l'instar du Vita Easyshade récemment commercialisé. Il en sera question dans une prochaine édition de Quintessenz Zahntechnik.

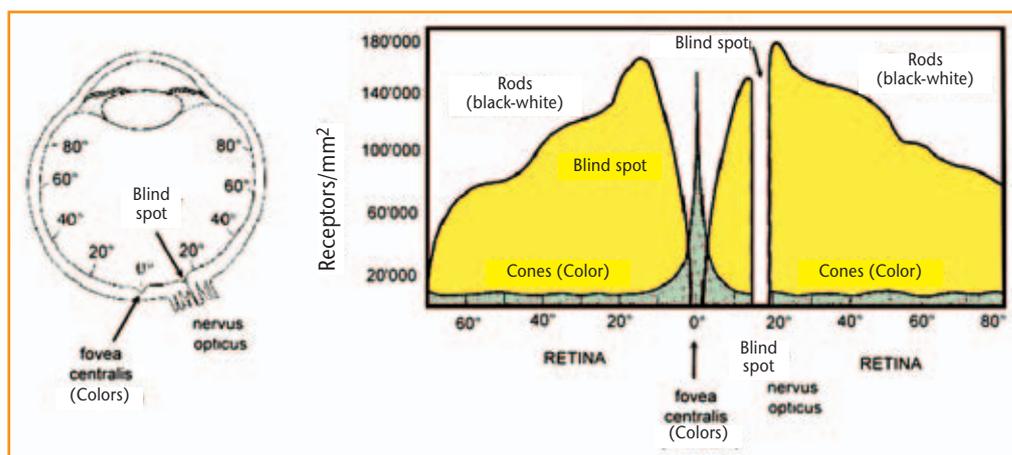
Dr. med. Dent. Andres Baltzer
Gartenweg 12, CH-4310 Rheinfelden, Switzerland
Email: andres@baltzer.ch

Adresse des auteurs

Master Dental Technician Vanik Kaufmann-Jinoian
Cera-Tech GmbH, Poststrasse 13, Ch-4410 Liestal, Switzerland
Email: vjinoian@aol.com

DEFINITION DE LA COULEUR

Annexe ¹L'observateur dont la vue est normale perçoit la couleur de la lumière visible dans une plage d'ondes de 380 nm à 720 nm. Les photorécepteurs de l'œil humain se concentrent au centre de la rétine (fovea centralis). Lors d'une comparaison de couleurs, la taille de la zone entourant la fovea centralis (champ visuel) est importante. Des champs visuels assez larges amènent à une perception des couleurs différente de celle de champs visuels plus petits. Le champ visuel de l'observateur est définie par l'angle que le champ visuel englobe (Ill. 19).



Ill. 19 Perception des couleurs au niveau de la fovea centralis: les cellules sensibles à la lumière mais pas aux couleurs se situent à l'extérieur de la fovea centralis et se répartissent sur tout le reste de la rétine. Le CIE en 1931 a défini l'observateur normal avec un champ visuel de 2° (Observateur à 2°). En 1964 le champ visuel a été élargi à 10°.

²Selon une loi physique, la lumière qu'émet un corps noir, est associée à sa température. Lorsque par ex. du charbon incandescent devient plus chaud, sa couleur change. La température peut donc s'exprimer sous la forme d'une température en ° Kelvin.

Source et type de lumière	Description	Température de couleur (° Kelvin)
A	Ampoule Wolfram	2'856
B	Lumière du soleil de midi	4'870
	Soleil levant	1'800
D65	Lumière normalisée du spectrophotomètre VITA Easyshade ou MHT SpectroShade (Lumière du jour moyenne)	6'500

³L'œil humain identifie les objets en fonction de ses propres informations chromatiques. En fonction de celles-ci, la perception peut être tronquée lorsqu'une source lumineuse complémentaire se réfléchit sur l'objet. Lors de toute comparaison de couleurs, il faut donc exclure un tel effet d'éblouissement. Bien sûr, la brillance, la transparence et l'opalescence d'une dent ne sont pas sans influencer la perception de la couleur. Avant tout, il s'agit cependant de bien définir la couleur de base. C'est seulement ensuite que les facteurs influençant la couleur doivent être pris en compte.

⁴Le système CIE 1931 a reformulé mathématiquement les anciennes valeurs RGB de *Maxwell* sous la forme de trois nouvelles valeurs dites tristimulus values, à savoir X, Y et Z. Des valeurs X, Y et Z identiques donnent le blanc. À l'aide d'autres conversions, ces variables (proportions de couleur) sont transposées en x, y et z, en divisant chaque valeur mesurée par la somme des trois valeurs. Donc $x = X/(X+Y+Z)$ et ainsi de suite. Dans cette conversion, il est important de noter que la somme des proportions de couleur donne 1 ($x+y+z = 1$). On peut ainsi ne garder finalement que deux d'entre elles et donc les présenter dans un tableau à deux dimensions (voir Ill. 4).

DEFINITION DE LA COULEUR

⁵Pour parvenir au CIE-L*a*b*, les trois coordonnées colorimétriques (valeurs chromatiques) x, y et z du tableau de couleurs normalisé CIE se voient attribuer trois nouvelles grandeurs, à savoir L, a et b. X et Y se fondent par une méthode assez compliquée en a, et de la même façon Y et Z donnent naissance à b et Y lui seul est transposé en L. La valeur L (luminosité) représente en quelque sorte une "luminosité psychométrique" (ou "légèreté"), définie en fonction d'une grandeur psychophysique (ou valeur chromatique) choisie de façon à rendre compte d'intervalles égaux entre les couleurs liés à cette "légèreté". Les valeurs de L s'échelonnent entre 0 pour le noir et 100 pour le blanc.

⁶L'angle h se situe entre 0° et 90° pour les couleurs entre le jaune et le vert. L'angle h se situe entre 90° et 180° pour les couleurs entre le vert et le bleu. L'angle h se situe entre 180° et 270° pour les couleurs entre le bleu et le rouge. L'angle h se situe entre 270° et 360° pour les couleurs entre le vert et le rouge. Les formules données ici pour le calcul de l'angle h reposent sur la trigonométrie du triangle avec un angle de 90°. Pour les couleurs pures et composées au delà du côté rouge (+a) et jaune (+b), nous n'avons plus de triangle équilatéral et c'est pourquoi le calcul de l'angle h fait appel à une formule plus complexe.

⁷Le mode de calcul de DE présenté jauge les facteurs luminosité, saturation et teinte d'une manière ne permettant pas de mesurer l'importance de l'écart chromatique perçu. La mesure ΔE originale peut être améliorée par diverses corrections de la formule. ΔE_{CMC} , ΔE_{94} , ΔE_{2000} , ΔE_{LC} , ΔE_{MHT} etc. constituent des mesures correctives de l'irrégularité de l'écart chromatique de l'espace de couleurs L*a*b*. Notamment en dentisterie, le choix proposé pour le calcul de ΔE n'est pas très heureux. Il faut tenir davantage compte de la luminosité car celle-ci est la plus importante pour évaluer la teinte de la dent. Si la luminosité d'une restauration est juste, les autres éventuelles erreurs de teinte n'auront pas autant d'importance.

⁸La façon de déterminer la luminosité avec les dents M2 n'est pas celle préconisée par VITA. Dans le VITA SYSTEM 3D-MASTER, il est prévu de définir la luminosité avec les dents M1. Cela est judicieux car les dents M1 sont celles situées en haut du teintier et sont donc exploitables sans avoir à les extraire. Le choix des dents M2 est une variante plus compliquée mais plus efficace d'après notre expérience.

⁹Depuis quelques années, le blanchiment des dents rencontre les faveurs du public, qu'il s'agisse d'un symbole de jeunesse éternelle ou d'une évolution culturelle de la maxime "citius, altius, fortius" – "plus vite, plus haut, plus fort". Tant que de tels écarts de luminosité se situent dans l'espace de couleurs des dents naturelles, rien ne s'oppose à cette mode. Là où l'on pourrait se poser des questions, c'est si ces écarts devaient franchir le groupe de luminosité 1 et qu'il devienne nécessaire de créer un groupe de luminosité 0. Les tendances et les extravagances nous laissent toutefois assez désemparés. Le VITA SYSTEM 3D-MASTER a déjà réagi à de telles tendances et comporte maintenant un groupe 0. Aux Etats-Unis, ce qui n'est pas naturel est particulièrement apprécié. Il reste à savoir si cette tendance aux dents blanches influencera la répartition statistique des teintes de dent au sein de l'espace de couleurs des dents...