UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019 N°38

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 29 mai 2019

par

HAMPE-KAUTZ Vincent
Né le 04/05/1993 à STRASBOURG

LE RELEVE DE COULEUR : EVALUATION CLINIQUE COMPARATIVE DES METHODES VISUELLES ET ELECTRONIQUES

Président :	Professeur WALTER Béatrice
Assesseurs :	Docteur ETIENNE Olivier
	Docteur JUNG Sophie
	Docteur SALEHI Ali

A Madame le Professeur Béatrice WALTER, Présidente de thèse

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse. Je vous remercie pour votre enseignement transmis durant ces années au service de prothèse.

A Monsieur le Docteur Olivier ETIENNE, Co-directeur de thèse

Je vous remercie d'avoir co-dirigé ce travail, c'est un réel honneur de vous avoir vu superviser cette thèse. Veuillez accepter ma gratitude pour vos enseignements transmis à la faculté et ailleurs, et mon profond respect pour l'ensemble de votre travail.

A Madame le Docteur Sophie JUNG, Jury de thèse

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger à ce jury, et également pour la qualité des enseignements dispensés et de l'encadrement pédagogique que vous avez eu au sein du service d'odontologie pédiatrique.

A Monsieur le Docteur Ali SALEHI, Co-directeur de thèse

Je vous remercie de d'avoir co-dirigé ce travail. Vous avez fait preuve de beaucoup d'intérêt et m'avez apporté une précieuse aide. Merci pour votre écoute et pédagogie durant l'élaboration de cette thèse, et durant les moments passés avec vous en clinique. La qualité de vos travaux restera des exemples à suivre.

Aux partenaires commerciaux et à leurs correspondants

VITA : Joelle Panter et Oona Caboz pour votre aide et le prêt de l'Easyshade V

Borea : Pierre François Crenier pour le Rayplicker et votre aide pour le logiciel

BDS : pour le prêt de l'Omnicam et à Paul pour ton aide à l'installation

3 Shape : pour la caméra Trios disponible à la faculté

Au Docteur Paul Germain, merci pour cette année et ces moments passés avec toi. Ce fut un réel plaisir de venir découvrir chaque semaine de nouveaux aspects de ta pratique, et ton parcours professionnel est un exemple pour moi.

Au Docteur Pascal Sohn, qui a su apporter l'étincelle allumant le feu d'une grande passion.

Au Docteur Aziza Pomies-Chaffaï, ainsi qu'à Brigitte et Solange pour votre accueil. Merci pour ta confiance et pour ce que tu m'as appris durant ces quelques mois, et pour cette ambiance de travail inoubliable.

A mon père, pour toutes les valeurs que tu m'as transmises, et me transmettras encore, et pour me rendre fier chaque jour de te ressembler.

A ma mère, qui a toujours su être là pour me soutenir, je ne pourrais jamais assez te remercier pour tout ce que tu as su me donner.

A mon frère, pour avoir ouvert la voie durant de nombreuses années et m'avoir transmis tant de choses, et toute mon admiration pour le beau combat que tu as mené, aux côtés de Juliane.

A Bastien Chevigny, dont la présence a largement contribué à faire de ces années les plus belles de ma vie. J'espère que tu me supporteras encore un bon moment.

A Pierre Ferrand, pour ta sympathie, ta franchise et ta générosité, pout tous ces moments passés et à venir.

A Noémie, pour avoir été la meilleure compagnonne de voyage jamais croisée, en espérant reparcourir ensemble d'autres kilomètres.

A ma grand-mère, pour ton soutien, ta gentillesse et tes encouragements

A toute ma famille, ici ou plus haut.

Aux membres du QG, Julien, William, Enrique, Pierre, mais aussi Pierre, Fanny, Sophie, Raph, Arnaud, Osman, Maxime, Geoffrey, Liloye… la liste est longue, comme celle des bons moments avec vous.

A Alexandre, pour tant de choses, dont ce voyage à Rome, début d'une passion croissante pour les voyages et la photo.

A Florianne, Sophie, Margaux, pour être restées toujours aussi proches, même si les chemins se sont éloignés

A Thomas Tristan et Mehmet, pour ces années passées ensemble, à trouver quoi faire pour occuper le temps.

A Paul, François, Marie, Stéphane, Charlotte, Vincent, Lucie pour ces moments passés avec vous.

A Caro et Marion, partenaires de virée à Mulhouse.

Au bureau UNECD 2017-2018 pour cette année extraordinaire que nous avons passée ensemble, et particulièrement à Lucie pour m’avoir donné la chance de faire partie de l’aventure, et à Léa pour m’avoir supporté.

A Clémence, pour avoir eu la folie de me faire confiance… deux fois.

A Maxime, pour m’avoir fait découvrir Kundera, et pour ta bonne humeur permanente

A Nicolas Dupré, pour ces discussions qui j’aimerais ne finissent jamais, ton accueil et tes bons gouts musicaux.

A Matthieu et Stéphanie, pour avoir été des collègues en or, avec une mention spéciale à Alexandre qui fut le meilleur des colocs.

A Simon, pour cette année passer à tes côtés, qui fut bien plus que supportable grâce à toi.

A l’équipe Maroc 2016, Aurore, Maïna, Youcef pour ce voyage inoubliable à vos côtés.

A l’équipe Maroc 2018, Alana, Elise, Ferdinand, Marion, Nada pour le travail que vous avez fourni et pour ces bons souvenirs.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019 N°38

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 29 mai 2019

par

HAMPE-KAUTZ Vincent
Né le 04/05/1993 à STRASBOURG

LE RELEVE DE COULEUR : EVALUATION CLINIQUE COMPARATIVE DES METHODES VISUELLES ET ELECTRONIQUES

Président :	Professeur WALTER Béatrice
Assesseurs :	Docteur ETIENNE Olivier
	Docteur JUNG Sophie
	Docteur SALEHI Ali

Table des matières

INTRODUCTION 2
CHAPITRE I : La couleur 4
I. Définitions 5
a. La couleur 5
b. L'effet coloré 7
c. Les trois dimensions fondamentales de la couleur 10
d. La triade optique 12
e. Les caractérisations des dents 13
CHAPITRE II : Les méthodes de relevé de la couleur 14
I. L'acquisition par photographie et teintier 15
a. Principes 15
b. Le matériel 18
c. Le teintier 20
d. Enregistrement de la couleur 24
e. Le post – traitement 25
f. Limite : 26
II. L'acquisition par spectrophotomètres 27
a. Principe 27
b. Limite 30
c. Protocole 31
III. L'acquisition par caméras optiques 32
CHAPITRE III : Etude in vivo comparant les resultats de relevés de couleur par teintiers, spectrophotomètres et caméras optiques 36
I. Matériels et méthodes 37
a. Les coordonnées d'une couleur 37
b. La distance chromatique ΔE 38
c. Le palier 39
d. Les critères d'inclusion : 39
e. Enregistrement de la couleur 40
f. Le test statistique 41
II. Résultats 43
CONCLUSIONS 57
REFERENCES 60
ANNEXES 68

INTRODUCTION

Le relevé de la couleur d'une dent, à défaut appelé « prise de teinte », est un sujet majeur de la dentisterie esthétique.

La réalisation d'une pièce prothétique est un travail d'équipe entre prothésiste et chirurgien-dentiste. Toute l'énergie et le travail déployés au cours du plan de traitement, la préparation, l'empreinte ou encore la conception seront perdus si à la fin le patient n'est pas satisfait de la couleur. L'analyse et le choix de la couleur sont une étape cruciale du traitement, spécialement quand celui-ci est limité à une dent[1].

Les traitements esthétiques sont une demande croissante dans la société actuelle. Les patients sont de plus en plus exigeants[2,3] et la couleur est une des principales raisons de consultation[4–6] . Le sourire est un élément crucial dans l'harmonie du visage et de la vie de relation[7,8] et lors d'une réhabilitation prothétique esthétique, bien que de nombreux autres facteurs entrent en jeux[9], la couleur des restaurations est un critère majeur de l'intégration esthétique.

La couleur et l'apparence de la dent sont le résultat de phénomènes complexes, tributaires de nombreux facteurs[10,11]. Il existe aujourd'hui, de par les nombreuses avancées technologiques, différentes méthodes d'acquisition colorimétrique[5,10]. Afin de satisfaire au mieux la demande des patients, il convient de connaitre les principes de ces différentes méthodes ainsi que leurs limites, mais également d'évaluer leur efficacité[12].

Le développement de l'empreinte numérique et de la conception et fabrication assistées par ordinateur (*CFAO* ou *CAD-CAM*) entrainent avec eux l'émergence de nombreux outils numériques pour améliorer la qualité des restaurations : mise en articulateur, digital smile design, enregistrement de la couleur... Ces outils sont

désormais des atouts pour la mise en place d’une communication de meilleure qualité et donc d’un résultat esthétique amélioré.

L’objectif de ce travail est de comparer les résultats de l’acquisition de la couleur avec un procédé visuel par deux praticiens et quatre procédés instrumentaux.

CHAPITRE I :

LA COULEUR

I. Définitions

Les définitions et attributs de la couleur en dentisterie sont décrits dans de nombreux ouvrages et ont fait l'objet d'études dont les éléments les plus importants sont détaillés dans cette partie[1,10,13–24].

a. La couleur

Bien qu'elle soit généralement perçue comme une forme de l'art, la couleur découle de phénomènes physiques connus : c'est une conséquence de l'interaction de la lumière avec la matière. L'être humain interprète cette interaction par la perception d'un spectre de rayonnement électromagnétique de longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nanomètres. C'est le caractère polychromatique, démontré par I. Newton, qui permet alors, par absorption d'une partie du spectre, et réflexion d'une autre, de définir la couleur d'un objet. En d'autres termes, c'est l'interaction d'une source lumineuse avec un objet qui rend possible la perception des couleurs.

La couleur est définie par un modèle tridimensionnel de 3 couleurs fondamentales (couleurs primaires) permettant d'obtenir toutes les autres couleurs. Ce modèle est retrouvé au niveau de l'œil humain.

Différents types de construction de la lumière sont à distinguer.

La synthèse additive ou mode RVB

C'est le principe de création de lumière des écrans. La couleur est obtenue par la somme de lumière émise. Des trois couleurs primaires additives, en les mélangeant deux à deux, il est possible d'obtenir de nouveaux rayonnements appelés couleurs secondaires additives.

La synthèse soustractive par mélange de pigments ou mode JRB

Lorsque la lumière émise entre en interaction avec un objet, celui-ci absorbe à ce moment-là une partie du rayon incident. La couleur perçue correspondant alors à la lumière résiduelle réfléchie. C'est l'opacité et la transparence de l'objet qui jouent un rôle dans l'effet de couleur.

En dentisterie, c'est le travail des couleurs soustractives qui est utilisé : les caractéristiques colorimétriques des reconstructions prothétiques sont obtenues par mélange de pigments.

L'œil

L'œil permet à l'être humain l'accommodation, la focalisation et la régulation d'un flux lumineux, ainsi que sa transmission au niveau cérébral pour son interprétation.

L'image rétinienne inversée en deux dimensions va permettre à l'homme, par l'intermédiaire de processus cognitifs, d'interpréter de nombreux paramètres tels que la distance, la transparence, le relief, le mouvement et la couleur.

La rétine de l'œil contient trois types de cellules « cônes » (environs 6 millions) responsables de la perception de la couleur. Chaque type est responsable d'un spectre de longueurs d'ondes correspondant aux 3 couleurs primaires : c'est une vision trichromatique. Selon sa longueur d'onde, un rayonnement va donc stimuler un type de cône en particulier.

Il existe également des cellules « bâtonnets » (75 millions) responsables de la perception de la luminosité, c'est-à-dire l'évaluation de l'intensité des rayons atteignant l'œil.

b. L’effet coloré

Chaque couleur a une dimension physique propre, définie par sa longueur d’onde et ses coordonnées trichromatiques (luminosité, saturation, tonalité chromatique), mais l’effet qu’elle produit est relatif et dépend de son environnement immédiat.

Les couleurs voisines, la forme ou la surface de l’objet peuvent modifier la sensation colorée perçue. Cette modification provient de ce qui est appelé les contrastes, au nombre de sept :

Les contrastes

Le contraste de la couleur en soi :

Lorsque des couleurs différentes sont juxtaposées, elles s’intensifient mutuellement. Plus l’écart en termes de longueur d’onde entre ces couleurs sera important, plus l’effet sera marqué.

Le contraste clair/obscur ou contraste de valeur

Il repose sur les différences de luminosité ou de brillance entre les couleurs juxtaposées. La couleur n’intervient que peu dans cet effet clair/obscur.

En intensité lumineuse faible c’est le contraste de valeur que l’œil aperçoit par le biais des bâtonnets. C’est ce contraste qui fera apparaitre une dent dépulpée plus sombre ou une caractérisation blanche plus marquée sur une dent saturée.

Ce contraste peut se retrouver lors d’utilisation de contrasteur : le noir a tendance à atténuer les différences entre les dents qui paraissent plus lumineuses, alors que le blanc fait apparaitre les dents plus colorées et accentue les erreurs de nuances de gris.

Le contraste de ton chaud / froid

Les couleurs de longueurs d'ondes courtes correspondent aux tons froids, les longueurs d'ondes longues aux couleurs chaudes. Le rapprochement de tons opposés donnera une plénitude à la couleur, c'est le contraste le plus éclatant.

Lors de la détermination de la tonalité chromatique, cette variation de tons chaud/froid compte parmi les éléments les plus importants à choisir.

Les contrastes complémentaires

C'est un cas particulier du contraste chaud/froid par rapprochement de couleurs parfaitement opposées dans le cercle chromatique. Leur rapprochement provoque une sensation d'équilibre. Ce phénomène relève de la biochimie des cellules rétiniennes qui secrètent automatiquement la complémentaire pour rechercher l'équilibre au gris. C'est pourquoi lors de l'étape de relevé colorimétrique il est conseillé aux praticiens de reposer leur vision en fixant un fond neutre entre l'essai de deux échantillons de couleur.

Le contraste simultané

Ce contraste découle de l'influence qu'une couleur vive peut avoir sur les couleurs voisines. Cet effet de contraste simultané peut perturber le choix de la couleur lorsque par exemple une patiente porte un rouge à lèvre vif, qui accentuera la luminosité des dents et orientera leur tonalité chromatique.

Le contraste de qualité

Il est relatif à la pureté de la couleur, à sa saturation en pigment. La désaturation peut se faire par le noir (couleurs obscurcies) ou par le blanc (couleurs éclaircies). Ces couleurs paraissent ternes comparées à la couleur pure.

Cet effet de saturation est reconnaissable sur dents naturelles, notamment avec les incisives et les canines qui sont généralement plus saturées. Cette notion de saturation se retrouve aussi sur une dent de son bord libre au collet.

Le contraste de quantité

Il concerne le rapport de proportionnalité entre deux couleurs juxtaposées. Ce rapport dépend de la surface et de la luminosité d'une couleur par rapport à l'autre.

Ce contraste de quantité peut apparaitre en bouche lorsque le patient possède des bijoux de type piercing par exemple, ou également sur les caractérisations colorées retrouvées sur les pièces prothétiques (sillons colorés, accentuation de zones vestibulaires).

L'œil, sensible à l'environnement dans l'ensemble de son champ de vision, est soumis à ces contrastes lors d'un relevé colorimétrique. Il convient de réduire ces contrastes en adoptant un environnement de travail avec le maximum de couleur neutres.

En plus de ces contrastes il existe d'autres éléments modifiant la perception de la couleur :

La situation spatiale de la dent

Un objet à courte distance de l'observateur peut apparaitre plus grand et lumineux qu'un même objet éloigné. Ce phénomène peut être observé en bouche par exemple dans le cadre de malposition où les dents en retrait paraissent plus sombres. Le corridor buccal illustre également parfaitement ce phénomène, les dents postérieures ayant un rendu plus sombre, accentué par l'ombre des joues.

Ce facteur est important à connaitre et explique que lors d'un enregistrement colorimétrique, il faut mettre l'échantillon du teintier dans le même plan que la dent de référence, en bord à bord.

Tons avancés tons reculés

Tout comme la situation spatiale d'une dent peut influencer sa couleur, celle-ci peut influencer sa perception spatiale. C'est le principe des tons avancés et reculés :

- Les noirs et les tons sombres reculent
- Le blanc et les tons lumineux avancent

Ce contraste peut être avantageux lors de la réalisation de deux incisives centrales plus claires que les latérales qui aura comme effet de projeter le sourire en avant.

Ce même phénomène existe avec les tons froids et chauds, mais son application a peu d'intérêt en dentisterie.

c. Les trois dimensions fondamentales de la couleur

La Luminosité

C'est le premier facteur de réussite de la couleur d'une pièce prothétique. C'est la « quantité de blanc » contenue dans une couleur, soit la quantité de lumière réfléchie. Plus la lumière est réfléchie, plus la luminosité, ou « value » en anglais, est haute. La luminosité la plus faible correspond au noir, la plus haute au blanc. Pour l'apprécier pleinement, il vaut mieux l'évaluer dans une ambiance lumineuse de faible intensité ou seuls les bâtonnets rétiniens sont stimulés.

La saturation

C'est l'intensité ou pureté de la couleur, définie par la quantité de pigments purs contenus dans une couleur. Plus une longueur d'onde est réfléchie, plus la saturation est élevée, plus la couleur est pure. Une couleur peut être désaturée soit par adjonction de blanc ce qui l'éclaircira, soit par adjonction de noir qui rendra la nuance terne. Tous les degrés de gris intermédiaires peuvent être utilisés pour désaturer une couleur. Le terme « chroma » est utilisé par les anglo-saxons mais celui-ci prête à confusion avec la tonalité chromatique.

La tonalité chromatique

La tonalité chromatique correspond à la teinte, ton ou chromaticité de la couleur, « hue » en anglais. La teinte caractérise la longueur d'onde dominante de la lumière réfléchie par l'objet et correspond aux sensations colorées. C'est le facteur le moins important des trois dans la réussite de la couleur des restaurations.

Il existe différentes représentations d'une couleur : A. Munsell définit au début du 20ème siècle une représentation de toutes les couleurs à partir de ces trois éléments sur un nuancier, dit « nuancier ou roue de Munsell » (Fig. 1). La *Commission Internationale de l'Eclairage* définit également des coordonnées L*a*b* à une couleur, dont le procédé est détaillé dans la partie *Matériels et Méthodes*.

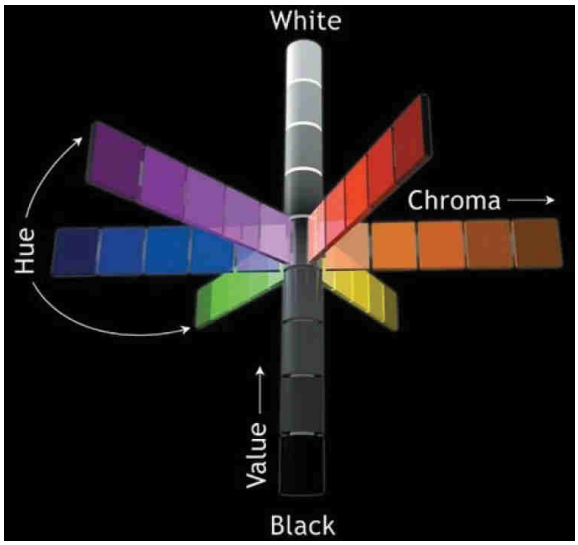


Fig. 1 Roue de Munsell, © Fundamentals of color Stephen J. CHU

Terme	**Equivalent anglo-saxon**	**Dimension de la couleur**
Luminosité	Value	Luminosité de la couleur
Saturation	Chroma	Pureté de la couleur
Tonalité Chromatique	Hue	Teinte de la couleur

Les dimensions de la couleur

d. La triade optique

La translucidité

La translucidité dépend du pourcentage de lumière transmise par rapport à la quantité absorbée. Le taux de translucidité le plus élevé correspond à la transparence, où toute la lumière est transmise. Le taux le plus bas correspond à l'opacité où toute la lumière est absorbée. C'est un point important dans la réussite esthétique des restaurations. La dentine est translucide à 40% et l'émail à 70%. La dentine sera donc en majeure partie responsable de la tonalité chromatique tandis que la coque d'émail des effets lumineux. La luminosité d'une dent est inversement proportionnelle à sa translucidité, la lumière pénétrant plus à l'intérieur de la dent avec une haute translucidité.

L'opalescence

C'est l'habilité d'un objet translucide d'apparaitre bleuté en réflexion, et de transmettre une lumière orange rouge en transmission. Cet effet optique, appelé également l'effet Tyndall, doit son nom à la pierre d'opale, dont la taille très fine des cristaux de dioxyde de silice provoque principalement une réflexion des longueurs d'ondes courtes (bleu) et une transmission des longueurs d'ondes longues (rouge-orangé). Cet effet se retrouve avec l'émail, notamment pour les dents très jeunes, dû aux différences d'indice de réfraction entre les différents composants (hydroxyapatite et eau).

La fluorescence

C'est la capacité d'un corps récepteur d'un rayonnement UV non visible de réémettre un rayonnement dans le spectre du visible. La partie organique de la dent est responsable de cette caractéristique. C'est la dentine en particulier qui a la propriété d'être fluorescente.

A la lumière UV, les restaurations et les dents naturelles peuvent paraitre très différentes. C'est un facteur important des restaurations céramiques et les nouveaux matériaux peuvent intégrer des agents fluorescents pour un rendu plus naturel tout en diminuant l'effet métamérique (variation d'une couleur perçue selon la source lumineuse).

e. Les caractérisations des dents

Au sein de la population, nombreuses sont les particularités remarquables sur les dents (Fig. 2) : taches blanches, zones opaques, fissures d'émail, acquises ou congénitales. Ce genre de détails reproduits sur les restaurations les rendra plus naturelles. Ce type d'informations doit absolument être transmis au laboratoire de prothèse.

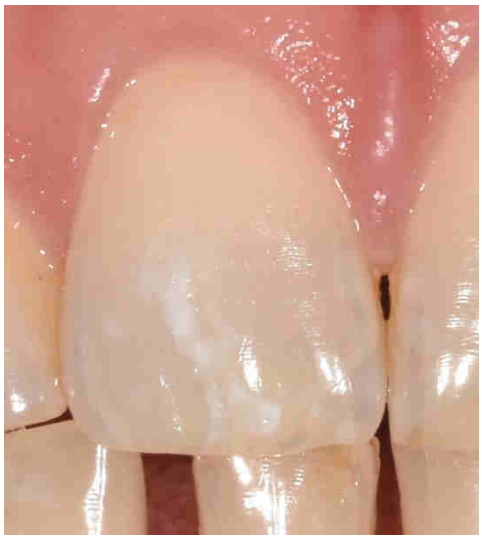


Fig. 2 : Forte caractérisation d'une dent naturelle 11 : présence d'une tache blanche centrale et de deux fortes zones translucides en mésial et distal. Courtoisie du Dr Ferrand

CHAPITRE II :

LES METHODES DE RELEVE DE LA COULEUR

I. L’acquisition par photographie et teintier

a. Principes

La photographie clinique est un élément essentiel dans le domaine de l’esthétique et de la dentisterie restauratrice[22]. Elle est devenue indispensable dans la pratique de l’art dentaire[25].

L’examen esthétique est rarement complet sans analyse des photographies intrabuccales, et il n’est pas rare de poser le diagnostic seulement après une étude précise des clichés.

Le protocole d’enregistrement de la couleur par photographie est désormais devenu incontournable. Sa systématisation et l’accès à la photographie numérique ont permis une démocratisation de son utilisation[21,26]. Cette méthode est aujourd’hui la plus utilisée[27] et présente de bons résultats[28–30].

La couleur de la dent à restaurer ainsi que celle des dents adjacentes et antagonistes doivent être déterminées avant que le traitement soit initié. Cette analyse préopératoire offre aux techniciens et praticiens des informations non négligeables pour les aider dans le choix des matériaux.

Les informations de couleur détaillées et les caractéristiques anatomo-morphologiques peuvent être objectivées sur une vue macro. La photo gros plan peut offrir de minutieux détails de couleur, particulièrement au niveau du bord incisif où il est régulièrement retrouvé de fortes caractérisations.

En plus de la couleur, la photographie dans les différentes positions du sourire et sous différents angles, permet un diagnostic précis et apporte des informations importantes pour la planification et la conception des futures restaurations. Ces images permettent une évaluation poussée des éléments telles que la dimension de la couronne, l’architecture gingivale, la hauteur de gencive découverte et la ligne du sourire.

La photographie du substrat dentaire sous-jacent peut apporter au céramiste des informations permettant une stratification plus poussée, comme par exemple la présence d'une dyschromie sous-jacente à masquer. La restauration aura alors un effet plus naturel.

Une photographie en noir et blanc (ou transformée) renseigne les différences de luminosité des dents naturelles, mais aussi des restaurations déjà en place. Elle permet également de mieux distinguer les états de surface. Il est également possible de réaliser un cliché avec filtres polarisants permet l'analyse plus poussée des nuances couleurs[31].

Fig. 3 : Cliché classique d'une dent naturelle 11, avec filtres polarisants, et modifié noir et blanc. Courtoisie du Dr Ali Salehi

Les états de surface, facteurs extrêmement variables chez les patients et au cours de la vie, jouent aussi sur la perception de la couleur des dents. L'effet de surface laquée d'une dent (effet gloss) influence son apparence, son effet naturel et le choix des matériaux. Une micro-géographie caractérisée donne une réflexion diffuse (réflexion par une multitude de rayon), tandis que les surfaces lisses donnent une réflexion spéculaire (réflexion avec un rayon unique). Cette dispersion optique de la lumière a un effet sur la perception de la couleur et est à prendre en compte durant la détermination de celle-ci. Ainsi l'état de surface est aussi une information capitale à transmettre.

De même, la macro-géographie, par les courbes et formes concaves des dents, a une influence sur les axes de la réflexion et ainsi dans la perception de la couleur.

En plus d'être un moyen efficace de communication avec le prothésiste et d'élaboration du plan de traitement, la photographie numérique reste également un moyen rapide pour présenter les résultats aux patients[1], mais aussi pour d'autres applications tel que le Digital Smile Design[32]. Les archives photographiques peuvent également permettre au praticien et aux techniciens d'évaluer le travail en vue d'une amélioration, ou de le présenter dans un cadre professionnel

De ces clichés il est également possible de développer un diagramme de couleur du cliché (Fig. 4). Il consiste en un croquis où sont notées les zones de translucidité, les transitions de couleur, les colorations de sillons. Le diagramme peut être plus développé encore, en détaillant les zones plus opaques, les sillons et rainures, la forme des embrasures aussi bien que les contours, les proéminences, les convexités et surfaces planes.

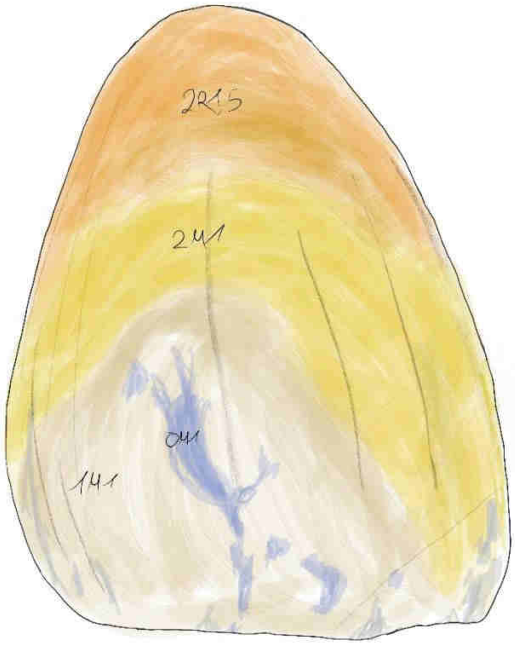


Fig. 4 : Diagramme de couleur simple d'une 11, photo personnelle

b. Le matériel

Démocratisé à la fin des années 1990, la photo numérique est aujourd'hui accessible à tous. Néanmoins, pour un usage professionnel, les cabinets actuels s'équipent d'appareil haut de gamme, de type reflex[17,26,33].

Les appareils photos numériques utilisent la lumière pour activer un capteur à la suite d'une réaction électrique. L'image est convertie en points digitaux d'informations colorimétriques qui, combinés, créent l'image final. Chacun de ces points est appelé *Pictures Elements* ou *pixel*, l'unité de base visible de l'image numérique. Plus grand est le nombre d'éléments, meilleurs sont le détail et la qualité de la photo enregistrée. La résolution du convertisseur analogique / numérique indique le nombre de niveaux de lumière pouvant être distingués et par conséquent le nombre de possibilités de combinaisons de couleurs possibles pour chaque pixel.

Afin d'obtenir une image de haute qualité il faut utiliser l'équipement adéquat. Les composants des systèmes d'appareil photo numérique sont : le boitier qui coordonne les fonctions de la capture d'image, le flash pour la lumière et l'objectif pour le grossissement la mise au point. Les systèmes *Digital Single Lens Reflex* ont l'avantage d'utiliser un objectif pour la composition et la capture de l'image. Cette configuration permet de voir et de mettre au point sans erreur de parallaxe, elle est idéale pour la photographie dentaire.

Boitier

Equivalent au tableau de bord d'une voiture, il permet la gestion de tous les paramètres relatifs au cliché.

Les éléments les plus importants à prendre en compte lors du choix d'un boitier sont le contrôle de l'exposition, c'est-à-dire la gestion de la quantité de lumière reçue, ainsi que l'ouverture, correspondant à la taille du diamètre du diaphragme par lequel entre la lumière. Elle définit la profondeur de champ qui correspond à l'étendue d'image nette à l'œil.

La surface du capteur photo du boitier est également un élément important qui joue sur la qualité de l'image. Un capteur plus grand permet d'obtenir des images de meilleure qualité, mais en dentisterie la plus-value n'est pas significative.

Ce boîtier permet le calibrage optimal pour les photographies intraorales[17,34,35]. Les réglages les plus importants sont la balance des blancs, la profondeur de champ et l'exposition.

L'exposition est le fruit de la focale et de l'ISO (la sensibilité). Ce dernier doit être réglé au minimum (plus forte sensibilité). La vitesse réglée autour de 1/160. L'ouverture entre f22 et f25 permet d'avoir une profondeur de champ adéquate.
La balance des blancs évite des clichés orangés ou bleuis. La méthode la plus juste est d'utiliser un gris à 18% comme chez les photographes professionnels. Dans la pratique dentaire, utiliser la balance des blancs d'un flash ou sélectionner une température de 5 600°K est suffisant pour reproduire fidèlement la couleur.

Objectif

Il doit permettre au praticien de pouvoir enregistrer les vues intraorales de façon simple et en restant à distance du patient. Les objectifs macros sont capables de capturer une image large avec une mise au point sur un petite distance. Les objectifs macros avec une focale fixe entre 100 et 105 mm proposent les meilleures combinaisons en dentisterie esthétique. Le rapport de grossissement doit lui être de 1 :1 (image très proche) à 1 :10 (visage) pour assurer une prise d'image utile.

La qualité de l'objectif n'est pas à négliger car elle a une influence significative sur la clarté et la qualité finale de l'image[34,36]

Flash

Une illumination de qualité est un facteur non négligeable pour un cliché réussi. La lumière ambiante est inadéquate pour éclairer les ombres dans la plupart des photos intraorales. De plus, avec les paramétrages décrits précédemment, la réalisation d'un cliché exploitable est impossible sans la présence d'une supplémentation lumineuse.

La source lumineuse la plus pratique est celle apportée par un flash orienté dans l'axe de l'objectif, apportant une lumière de température neutre durant le temps de la photographie avec un haut rendu lumineux.

Les effets lumineux pour la photographie dépendent de la forme et de l'arrangement du flash. Il existe deux possibilités : *ring flash*, et *twin flash*. Le flash annulaire (*ring flash*) est considéré comme le favori pour la photographie dentaire et la photographie macro en général, pour sa simplicité et les bons résultats qu'il procure[37]. Néanmoins il écrase la photo donnant un aspect aplati. Le *twin flash* offre la meilleure combinaison de rendu[38], mais il nécessite plus d'expérience et de savoir-faire.

Selon le flash, sa puissance doit être réglée entre la moitié et le quart du maximum en manuel. En mode TTL (*Through The Lens*), le paramétrage étant automatique, aucun ajustement n'est nécessaire.

Par ordre d'importance, les éléments du matériel photographiques sont le flash, l'objectif et enfin le boitier.

c. Le teintier

Les teintiers tiennent compte des différents paramètres de la couleur afin de proposer une gamme dans laquelle le praticien sélectionne un ou plusieurs échantillons pour définir la couleur de la dent à restaurer.

Il existe de nombreux teintiers, les plus courants étant ceux pour la céramique. Il en existe également pour les dents prothétiques en résine, ou pour les fausses gencives largement utilisées lors de la confection de prothèses supra-implantaires[18].

Les premiers teintiers sont apparus dans les années 1930. Sont décrits ci-après les plus développés dans la littérature.

Le teintier VITA Classical®

En 1956 apparait le teintier Lumin Vacuum® de VITA en référence à l'effet « Lumin » (alternance lumière naturelle / artificielle), qui fût par la suite rebaptisé Vita Classical® lors de la sortie, en 1998, du teintier Vita 3D Master®.

Conçu de manière empirique, c'est le premier à avoir intégré la luminosité dans ses échantillons. Du fait de sa primeur, les fabricants de céramique proposent quasiment tous des références de céramique en lien avec ce teintier.

Les échantillons y sont repartis en 4 groupes de tonalité chromatique commune (groupe A, B, C et D), avec dans chaque groupe, une luminosité et une saturation variant sur 4 niveaux (1 à 4).

Ce teintier inspirera le teintier commun à de nombreuses marques (Ivoclar – Vivadent, Heraeus Kulzer, Dentaurum...) : le *shade guide®*.

Le teintier Chromascop® d'Ivoclar-Vivadent

Divisé en 5 groupes de teintes : blanc, jaune, brun clair, gris, brun foncé et un groupe bleach pour les cas d'éclaircissements.

Ces groupes de teintes se déclinent en 4 échantillons du plus au moins saturé et lumineux. Chaque échantillon est alors caractérisé par trois chiffres : le premier la teinte (1 à 5), le deuxième la saturation et le troisième la luminosité.

Il n'existe aucune correspondance entre les références des teintiers VITA et Ivoclar, c'est pourquoi la céramique Ivoclar existe en version « VITA ».

Le guide Vita Lumin Vacuum®, introduit il y a 50 ans, et le guide chromatoscop® introduit en 90 peuvent être considérés comme des guides " traditionnels ".

Vita 3D master®

Commercialisé depuis 1998, le teintier 3D Master® de VITA est le seul teintier construit par familles de luminosité et non par familles de nuances chromatiques comme les

autres teintiers. Il est conçu pour définir très vite et en premier ordre le groupe d'appartenance de luminosité de la dent observée[18].

Par rapport au Classical, cette version de teintier présente un autre arrangement : 26 échantillons de couleurs plus 3 bleach (pour l'éclaircissement) repartis selon le système de Munsell L*C*h ; et donc une autre méthodologie d'enregistrement, afin de faciliter le relevé colorimétrique. Il existe en deux formats : le *toothguide* et *linearguide* (Fig.5).

Dans le *toothguide*, les échantillons sont repartis en cinq groupe de luminosité croissant de 4% entres eux. Au sein du même groupe, ils sont classés en fonction de leur teinte et de leur saturation.

Avec le *linearguide*, l'enregistrement se fait en deux étapes : le praticien choisi en premier la luminosité, puis sur une autre tablette il choisit entre les différentes variations de saturation et teinte pour la même luminosité. Le *linearguide* est dorénavant la seule version actuellement commercialisée car présente de meilleurs résultats que le toothguide[39].

Fig. 5 : Teintier VITA 3D Master® Linearguide VITA

En s'inspirant du système de classification des couleurs de Munsell, les échantillons de dent sont référencés en portant :

- Le numéro du groupe de luminosité (1 à 5)
- La saturation décroissante de 1 à 3
- La teinte : L = light (jaune), M = medium (orange) ou R = Red (rouge)

Le relevé de la couleur avec ce teintier se fait en trois étapes en définissant :

- La luminosité : le paramètre le plus important de la restauration qui se fait par la sélection d'une barrette,
- La saturation : par comparaison des 3 échantillons au sein d'un groupe de luminosité,
- La teinte : contrairement aux autres teintiers, étant le facteur le moins déterminant qui est évalué en dernier[40]. Des teintes M à dominante orangée il est possible de se diriger vers le groupe L plus jaunes, ou le sous-groupe plus rouge, R.

Le Vita 3D master® présente une gamme de couleurs plus étendue permettant de couvrir un spectre coloré beaucoup plus large se rapprochant de la diversité existant au niveau des dents naturelles[41]. De plus, la distribution de la luminosité, de la saturation et de la teinte est mieux organisée que dans les teintiers traditionnelles[42,43].

Son utilisation a tendance à réduire les erreurs liées à l'inexpérience chez les jeunes praticiens[44] et permet aux cliniciens une meilleure appréhension des caractéristiques de la couleur[45].

En termes d'utilisation, le teintier Vita 3D master® présente une cohérence et une répétabilité supérieures aux précédents teintiers[46]. Il se trouve être le plus fiable et montre les meilleurs résultats d'enregistrement de la couleur[39,45,47–49]

C'est le teintier choisi dans le protocole de ce travail pour ses qualités citées ainsi que sa large utilisation dans les cabinets dentaires[50].

d. Enregistrement de la couleur

Afin de transmettre les informations les plus fiables au technicien de laboratoire, le praticien se doit de suivre quelques règles pour un cliché exploitable. De nombreuses méthodes et aides existent pour réaliser les meilleurs clichés possibles selon les éléments iconographiques recherchés[22].

Les paramètres avec lesquels la situation est enregistrée vont influencer la perception visuelle de la couleur et sa détermination.

Afin d'obtenir le meilleur résultat, l'échantillon du teintier doit être positionné de façon à recevoir la lumière de la même manière que la dent de référence. Il peut être placé à côté de la dent naturelle, mais il est recommandé de le placer bord à bord afin d'être sur le même plan que cette dernière.

La dent et l'échantillon doivent être parallèles au plan de l'appareil photographique et à la même distance de l'objectif et du flash. L'appareil est positionné pour créer une image horizontale avec l'objectif perpendiculaire à la face du patient. Le praticien en face du patient et le boitier parallèle à l'horizon. Le patient est droit, la tête perpendiculaire au sol, sur l'appuie-tête.

Fig. 6 : Recherche du facteur luminosité avec le Vita 3D Master® Linearguide, courtoisie du Dr Ali Salehi

Pour prévenir la réflexion du flash sur le bord incisif, l'appareil peut être incliné pour induire une position cervico-incisal. Ce mouvement permet une réflexion du flash sur différentes zones de la dent sans masquer les caractérisations sous-jacentes, mais entraîne des parallaxes de visée à prendre en compte lors de l'exploitation du cliché.

L'utilisation de rétracteur est recommandée pour éviter d'avoir les lèvres sur la composition photographique.

L'utilisation d'un contrasteur gris neutre durant l'analyse de la couleur réduit de façon significative l'influence de l'entourage et minimise les erreurs et les imprécisions. De plus, le patient ne doit porter aucun accessoire buccal ni de maquillage. Un contrasteur noir pour un arrière-plan noir est particulièrement recommandé si les régions translucides des dents sont à mettre en avant.

e. Le post – traitement

Bien que correctement enregistré, un cliché peut avoir à subir des modifications par la suite[51]. De nombreux logiciels permettent d'analyser les images, notamment celles enregistrées au format RAW. Ces modifications sont apportées uniquement dans un but d'amélioration de l'image et non pour modifier les éléments cliniques qu'elle transmet et fausser la réalité.

Il existe différentes possibilités de modification :

- Rééchantillonnage : changement du nombre d'information de l'image, pour une publication par exemple ;
- Recadrage : pour changer le format ;
- Niveaux : en cas de sous ou sur exposition de l'image ;
- Variante de couleur : pour nuancer les tons ;
- Balance des blancs : qui conditionne le rendu coloré.

Enfin, d'autres logiciels et application permettront de parvenir à un bon résultat et de guider le praticien dans le plan de traitement[32,52].

f. Limite :

Ce mode de détermination est subjectif : il dépend du praticien ou du céramiste relevant la couleur et des capacités visuelles. Il existe de nombreux facteurs influençant les résultats[17] :

Répartition au sein des teintiers :

Bien que la distribution et les paliers des 3 paramètres de couleur sur le nuancier 3D Master® soient mieux organisés que sur les teintiers conventionnels, il reste néanmoins au sein des guides un intervalle de progression entre les échantillons adjacents qui n'est pas uniforme[43] et reste illogique[53,54] ce qui peut influencer la perception visuelle de la couleur[55]. Les guides gagneraient à être mieux arrangés. De plus ils ne présentent pas une couverture constante de toutes les couleurs retrouvées sur les dents naturelles, ce qui entrainent des erreurs d'évaluation[42,56].

Enfin, l'évaluation visuelle des guides de teinte a été jugée comme inconstante[57].

Il est possible d'obtenir de meilleurs résultats du relevé de couleur avec la création de teintier personnalisé[58] dont l'utilité concerne surtout les restaurations directes[59]

La lecture de l'information par les techniciens

Selon les matériaux utilisés, le résultat final de la céramique pourra différer de celui recherché[60]. De plus, il est nécessaire de communiquer la couleur selon les mêmes références. En effet certaines marques de céramiques ne proposant pas de poudres sous certaines références, et on peut parfois trouver deux poudres différentes sous la même référence de teintier ce qui donne des rendus de couleur remarquablement différents[61].

Les contrastes et l'environnement

Comme vu précédemment, de nombreux contrastes existent et pourront modifier la perception du praticien, notamment lors d'utilisation de rouge à lèvre, bijoux, ou dans le cas de peaux mates[62]. Ces erreurs[63] peuvent être diminuées par l'utilisation de contrasteur.

Bien que pouvant être négligée dans certains cabinets[64], la lumière environnante ayant un rôle prépondérant[54,65–70], il faut choisir une lumière constante neutre. Pour cela, l'utilisation de plafonniers spéciaux et d'un flash spécifique reste une des meilleures façons d'enregistrer correctement la couleur.

Enfin, le moment du choix de la couleur est primordial. Par exemple, après une déshydratation de la dent, la couleur s'en voit changée. C'est pourquoi il est judicieux de relever la couleur en début de séance avant les travaux[71].

La perception du praticien

De nombreux facteurs liés au praticien se révèlent déterminant dans la qualité du relevé de couleur et les résultats inter praticiens peuvent différer[72] pour différentes raisons. La fatigue, le sexe[73,74], l'expérience mais aussi la vision influeront sur son choix. Il existe de nombreuses pathologies chez l'homme affectant la perception des couleurs que l'on peut déceler avec des tests simples[75]. Malgré différents moyens de compensation, les praticiens atteints de ces pathologies présentent des différences de perception notables [66]

L'expérience, la spécialité, mais surtout la formation jouent énormément sur le résultat[65,76–78], mais celle-ci étant inconstante[50] il est retrouvé sur un échantillon de praticiens libéraux une méthodologie ainsi que des critères majeurs de réussite non respectés lors du protocole[79].

Ces différents paramètres soulignent des lacunes dans la méthode d'enregistrement de la couleur par la méthode de teintier et photographie

II. L'acquisition par spectrophotomètres

a. Principe

Le spectrophotomètre mesure l'énergie lumineuse, réfléchie ou transmise par un objet, de 1 à 25 nm dans le domaine du visible, dont il est la propre source (donc indépendante de l'environnement). Il converti ensuite ces mesures en coordonnées

colorimétriques (CIELAB, CIELCH…) ou en valeur de teintier[5,17,18]. La mesure peut se faire en un point ou en enregistrant une cartographie complète de la dent. Il existe différents modèles avec des design et des utilisations variés.

En terme de précision et de répétabilité, ils présentent des résultats égaux ou supérieurs aux méthodes visuelles conventionnelles[80–88].

Il existe des procédés semblables : les colorimètres. Bien que ceux-ci soient fiables[89–91], les spectrophotomètres sont plus répandus et supérieurs en terme de résultats[88]. C'est un moyen efficace et rapide apprécié des praticiens, mais également des patients[92]. Il s'en trouve d'autant plus apprécié chez les jeunes praticiens[92,93].

Le spectrophotomètre nécessite un étalonnage régulier. Il existe différents modèles de spectrophotomètres sur le marché, dont quelques exemples sont présentés ci-dessous :

Le Vita Easyshade V® de VITA

Avec une première version développée en 2004, ce spectrophotomètre ne cartographie pas entièrement la dent mais permet une mesure précise de trois points pour donner leur référence Vita Classical, Vita 3D master® ou en coordonnées CIELch. Il présente d'autres options comme la mesure moyenne, la mesure d'une restauration ou le choix du bloc VITA correspondant. Il est possible de coupler l'Easyshade V® avec une application pour smartphone.

Fig. 7 : VITA Easyshade V® vu de profil et du bas © VITA

Le spectrophotomètre Easyshade® montre une excellente répétabilité intra observateur ainsi qu'une reproductibilité inter observateur satisfaisante[82,94–97], voir supérieures aux autres spectrophotomètres[82].

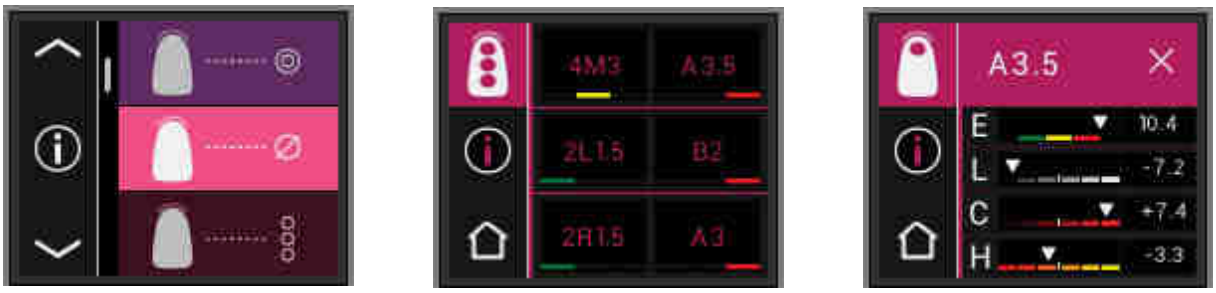


Fig. 8 : Exemple de l'interface du VITA Easyshade V® VITA

Le Rayplicker® de Borea

Ce spectrophotomètre est commercialisé depuis avril 2017 par la société française Borea. Il fonctionne avec des embouts de positionnement stérilisables qui servent également de référence chromatique permettant un auto-calibrage de l'appareil. Ce spectrophotomètre enregistre en une fois la cartographie de couleur complète de la dent, ou encore la translucidité. Ces informations sont tout de suite accessibles au praticien sur l'écran LCD du spectrophotomètre.

Fig. 9 : Spectrophotomètre Rayplicker® Borea

Il est utilisable avec un logiciel de stockage et de partage d'informations avec le laboratoire. Ce logiciel permet une analyse très poussée du cliché : cartographie, mesure des coordonnées L*a*b* (cf *Matériels et méthodes*), différences de couleurs, schéma de translucidité… et permet un stockage rapide et organisé des différents cas clinique. Ces outils sont de véritables atouts afin de permettre aux prothésistes la conception de restauration fidèle à la couleur naturelle.

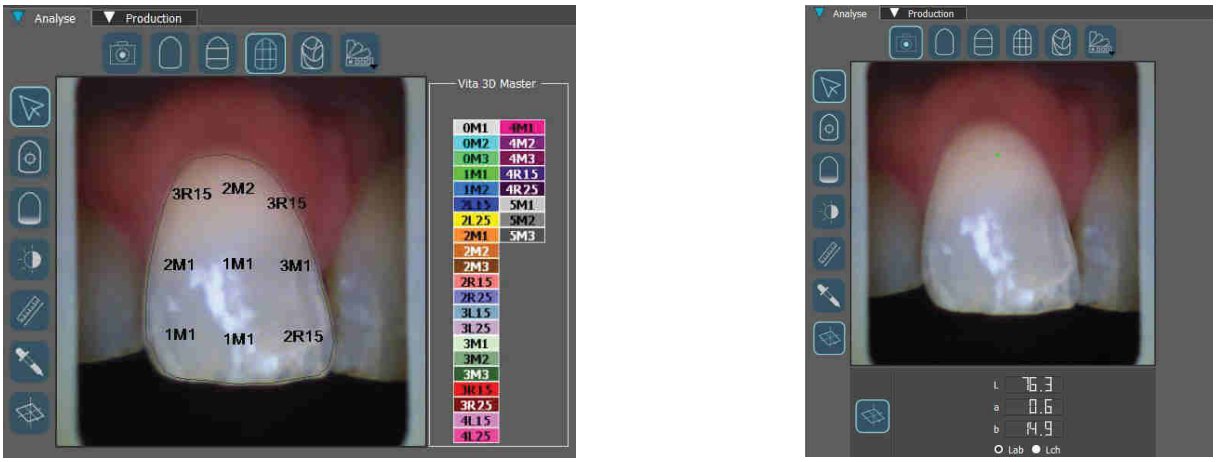


Fig. 10 : Exemple de l'interface du logiciel Rayplicker® Borea

b. Limite

Bien qu'efficace, le Vita Easyshade V®, et les spectrophotomètres en général ont leur limite dans le relevé colorimétrique. Ils présentent des erreurs dues à l'étroitesse de la fenêtre d'enregistrement[94,98], et également lors de la mesure de surface courbes ou translucides[90,99,100], retrouvées au niveau des lignes de transition ou sur les bords incisifs.

Du fait d'être en contact avec la dent, l'apparition de buée peut engendrer des différences et le patient peut se retrouver dérangé lors du relevé de la couleur, notamment si l'embout est proche de la gencive[100].

Sa cartographie en 2D ne permet pas de communiquer au prothésiste les états de surface[83], données importantes dans la confection de la future restauration.

c. Protocole

Le spectrophotomètre Easyshade V® présente un protocole relativement simple :

- Prendre l'instrument de sa dock station et allumage ;
- Etalonnage (automatique ou manuel) ;
- Choix du programme (3 zones) ;
- Patient assis la tête en appui ;
- Aligner l'embout sur la surface à analyser. Veillez à rester à distance de la gencive, l'embout touche la dent (Fig. 11) ;
- Placer au centre, droit, parallèle à la surface ;
- Activer l'appareil, maintenir le capteur jusqu'à la fin de l'enregistrement ;
- Répéter ces étapes pour les deux autres zones à enregistrer

Fig. 11 : Enregistrement de la couleur du bord libre de la 11 par l'Easyshade V®, courtoisie du Dr Ali Salehi

Le spectrophotomètre Rayplicker® présente quasiment les mêmes étapes :

- Prendre l'instrument de sa dock station et allumage
- Patient assis la tête en appui ;
- Tête de mesure en appui sur la dent de référence, centrée sur l'écran (Fig. 12) ;
- Déclencher la mesure

Fig. 12 : Enregistrement de la couleur de la 11 par le Rayplicker® courtoisie du Dr Ali Salehi

III. L'acquisition par caméras optiques

De nouveaux systèmes de mesure de la couleur en dentisterie sont apparus au fil des années montrant de bons résultats[94,101,102]. Avec l'avènement de l'empreinte optique et de la CFAO, les constructeurs, toujours à la recherche de nouveautés, ont incorporé à leur camera optique un système d'enregistrement de la couleur. Ces scanners intraoraux scannent la dent et une lumière LED couvrant le spectre lumineux permet au logiciel de calculer les mesures colorimétriques automatiquement en combinant les images enregistrées en 3D obtenues par des prises de vues sous de multiples angles. Première à intégrer cette option en 2014, la Trios 3® de 3shape a rapidement été rejoint par l'Omnicam® de Dentsply Sirona ou encore la CS3600® de Carestream.

Ces systèmes permettent d'enregistrer en même temps que la prise d'empreinte les paramètres colorimétriques des dents.

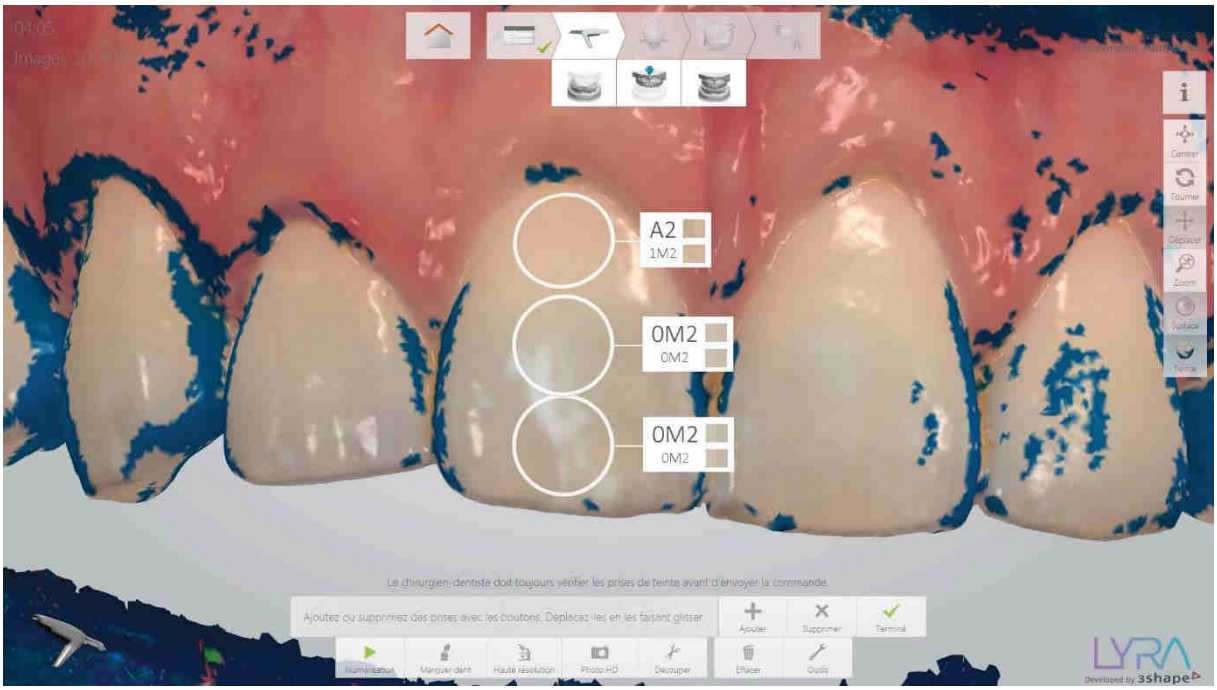


Fig. 13 : Interface pour l'enregistrement de la couleur du logiciel LYRA

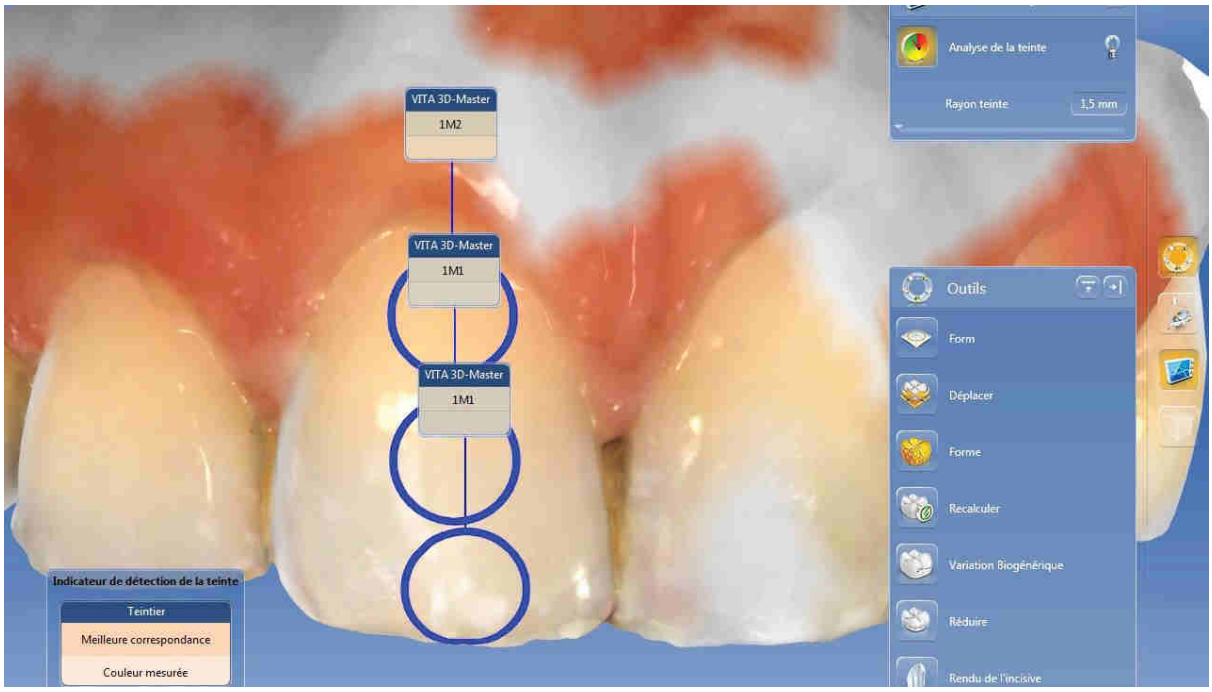


Fig. 14 : Interface pour l'enregistrement de la couleur du logiciel CEREC

Pour la Trios®, il faut un scanner intraoral avec prise de la couleur (à partir de la Trios 3®), une version du logiciel 1.3.2.0 ou plus récente et un kit de calibration. Pour l'Omnicam®, il faut une caméra équipée d'un capteur, un logiciel CEREC de version 4.5 ou supérieur et un kit de calibration.

Très peu référencée pour le moment, la détermination de la couleur par un système d'imagerie est en plein développement et semble prometteuse. Une étude pilote indique que la caméra Trios® de 3shape présente une efficacité égale à une méthode visuelle et aux précédentes méthodes instrumentales[103].

En terme d'avantages, les jeunes praticiens ont tendance à préférer le relevé de couleur par technique digitale[104]. L'étape de relevé colorimétrique est incorporée à l'empreinte, évitant son oubli ou son manque de rigueur par soucis de temps. Il est possible sur ces logiciels de faire des empreintes de la situation initiale et d'enregistrer en même la couleur. Enfin, cette empreinte avec l'information colorimétrique est directement communiquée au prothésiste si la fabrication se fait en « lab-side ». Il est aussi possible d'y ajouter des clichés en Haute Définitions pris avec la caméra.

Néanmoins à l'heure actuelle il n'existe qu'une étude concernant la caméra Trios®, soutenue par le fabricant, et aucune sur les résultats de la camera Omnicam®. C'est pourquoi ce sont les deux modèles utilisés pour cette étude.

Protocole :

- Scan de l'arcade classique ;
- Validation de l'empreinte et création du modèle numérique ;
- Sélection des zones pour connaitre leur couleur.

Fig. 15 : Prise d'empreinte de la dent 11 par la caméra Trios® courtoisie du Dr Ali Salehi

Fig. 16 : Prise d'empreinte de la dent 11 par la caméra Omnicam® courtoisie du Dr Ali Salehi

CHAPITRE III :

ETUDE *IN VIVO* COMPARANT LES RESULTATS DE RELEVES DE COULEUR PAR TEINTIERS, SPECTROPHOTOMETRES ET CAMERAS OPTIQUES

I. Matériels et méthodes

Le but de cette étude est de comparer entre eux les résultats des relevés colorimétriques réalisés par :

- L'utilisation du teintier VITA 3D Master® Linearguide par un praticien d'une expérience clinique de moins de cinq ans ;
- L'utilisation du teintier VITA 3D Master® Linearguide par un praticien expert spécialisé dans les restaurations prothétiques antérieures ;
- Le spectrophotomètre Easyshade V® de VITA ;
- Le spectrophotomètre Rayplicker® de Borea ;
- La caméra optique Trios® de 3shape ;
- La caméra optique Omnicam® de Dentsply Sirona

a. Les coordonnées d'une couleur

En 1976, la *Commission Internationale de l'Eclairage* CIE propose un modèle tridimensionnel pour définir la couleur (Fig. 17). C'est le modèle CIE L*a*b* à trois coordonnées L* a* et b*, où L* correspond à la luminosité, et a* et b* à l'écart de la couleur par rapport au gris sur un axe vert / rouge et bleu / jaune, respectivement. Chaque couleur est définie par cette triade de coordonnées qui lui est propre.

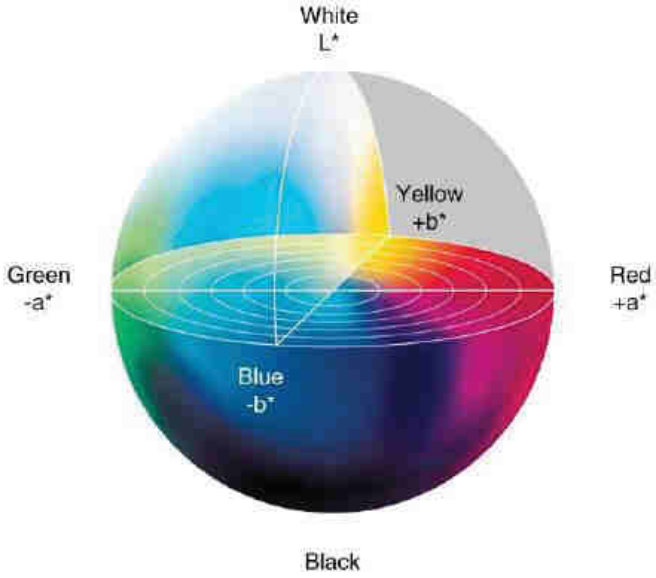


*Fig. 17 :Représentation de la couleur selon le système CIE L*a*b* © Pedro J. Pardo*[105]

Une équivalence de ce modèle existe dans le système L*C*h pour la luminosité, la saturation et la teinte. Toutefois, les coordonnées L*a*b* sont celles nécessaires aux calculs de la distance chromatique.

b. La distance chromatique ΔE

Il existe différents moyens de quantifier l'écart entre deux couleurs[106], la plupart décrits par la *Commission Internationale de l'Eclairage* CIE ou le *Color Measurement Committee CMC*[107]. Cet écart est appelé « distance chromatique » représenté par ΔE.

La formule CIELAB a largement été utilisée[61,108,109], mais la formule CIEDE2000 datant de 2001, appliquant des facteurs de correction et s'inspirant des travaux de Munsell, est plus pertinente que les versions antérieures de calcul pour la dentisterie[110,111].
A partir de l'enregistrement des trois paramètres L*, a* et b* de deux objets, il est possible de définir leur écart de couleur par la formule[112–114] :

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T\left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)\left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)}$$

Où :
ΔE représente l'écart entre les deux couleurs ;
$\Delta L'$ la différence de luminosité entre les deux couleurs (*L* pour lightness) ;
$\Delta C'$ la différence de saturation (*C* pour chroma) ;
$\Delta H'$ la différence de teinte (*H* pour hue) ;
$\Delta L'$, $\Delta C'$, $\Delta H'$ sont obtenus à partir des valeurs L*, a* et b*, les calculs correspondants sont décrits en annexe 1
k_L, k_C, k_H représentent les paramètres de pondération choisis en fonction des domaines d'application de la formule (art, textile…). Pour les calculs relatifs à la dentisterie, les plus pertinents sont k_L = 2, k_C = 1, k_H = 1 [115,116] ;
S_L, S_C, S_H sont des fonctions qui prennent en compte l'importance relative des facteurs luminosité, saturation et teinte, variables selon les couleurs à analyser.
R_T représente la fonction de rotation réduisant les erreurs trouvées dans les précédentes formules de la CIE.

c. Le palier

De nombreuses études se sont intéressées au palier critique où la différence de couleur est perceptible par les chirurgiens-dentistes[116–118] et celui où la différence de couleur est trop importante pour être tolérée esthétiquement[119].

Une revue de 48 études a été réalisée par Khashayar et al.[120], et conclut que plus de la moitié des études définissaient un seuil de perceptibilité ΔE = 1, pour lequel les praticiens percevaient deux couleurs différentes, et un tiers des études fixent à ΔE = 3.7 la valeur pour laquelle 50% des chirurgiens-dentistes toléraient cette différence de couleur et acceptaient la restauration.

Les normes DIN 5033-1 définissent les paliers de ΔE applicables à l'œil humain :

ΔE	Evaluation
0,0 – 0,5	Pas de différence
0,5 – 1,5	Presque pas détectable
1,5 – 2,0	Petite différence de couleur
2,0 – 4,0	Différence de couleur notable
4,0 – 5,0	Différence de couleur non tolérable

DIN 5033-1, paragraphe 18

d. Les critères d'inclusion :

Les relevés colorimétriques sont effectués au niveau de l'incisive centrale droite (dent n° 11) sur 40 sujets (*n* = 40) âgés de 20 à 25 ans.

Les sujets doivent présenter l'ensemble des dents antérieures maxillaires et mandibulaires. La prise de couleur se fait sur dents non pathologiques sans restaurations ou traitement orthodontique. Il est demandé aux sujets de ne porter ni rouge à lèvre ni maquillage au moment des relevés colorimétriques.

Les sujets présentent une hygiène bucco-dentaire satisfaisante, et aucune parodontopathie.

e. Enregistrement de la couleur

Le praticien débutant a reçu une formation approfondie sur le relevé colorimétrique. Il est formé à la prise de couleur par les différentes méthodes et a précédemment évalué sa répétabilité avec l'utilisation du teintier, avec les spectrophotomètres et les caméras.

Le praticien débutant et le praticien expert enregistrant les couleurs ont passé les tests pour vérifier leur capacité à voir les couleurs et les tests d'Ishihara. Lors de l'utilisation du teintier, ils ne sont pas équipés de dispositifs de correction visuelle munis de filtre anti-lumière bleue.

Les mesures sont prises dans les mêmes conditions pour chaque patient (position, lumière…). Les relevés de couleur sont réalisés à la lumière du jour. L'environnement ainsi que les tenues des sujets et des opérateurs présentent des couleurs neutres n'augmentant pas les contrastes.

Les relevés colorimétriques sont réalisés dans la même journée. Les sujets commencent par le relevé subjectif chez le praticien débutant puis chez le praticien expert. Ces derniers ne communiquent pas sur les résultats obtenus jusqu'à la fin des tests.

Une fois les relevés par teintiers réalisés, les relevés par spectrophotomètres puis par caméras optiques sont effectués. Les relevés colorimétriques sont effectués selon les protocoles décrits dans les parties précédentes.

Les relevés par les méthodes visuelles se font au centre de la dent. Pour les quatre autres méthodes instrumentales l'enregistrement se fait au collet, au centre et au bord libre de la dent.

Le teintier Vita 3D Master® Linearguide, les caméras Trios® et Omnicam® ne fournissant pas les coordonnées colorimétriques des couleurs enregistrées, il est nécessaire de convertir les résultats donnés en référence 3D master® sous forme CIE L* a* b*. Différents travaux ont déjà été réalisés sur le sujet [42,58,121]. La correspondance 3D Master® / CIELab choisie est celle donnée par Bayindir et al[42] (annexe 2) car effectuée sur teintier directement et comportant le moins de biais.

f. Le test statistique

Une fois les relevés colorimétriques effectués, les valeurs sont retranscrites dans les coordonnées L*a*b*, puis les calculs de ΔE sont effectués pour chaque sujet. Différentes combinaisons sont envisagées :

$\Delta E_{tj\text{-}t}$ pour la distance chromatique entre le relevé par teintier du praticien débutant et du praticien expert ;

$\Delta E_{tj\text{-}sE}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien débutant et le spectrophotomètre Easyshade V® ;

$\Delta E_{tj\text{-}sR}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien débutant et le spectrophotomètre Rayplicker® ;

$\Delta E_{tj\text{-}ct}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien débutant et la caméra Trios® ;

$\Delta E_{tj\text{-}co}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien débutant et la caméra Omnicam® ;

$\Delta E_{t\text{-}sE}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien expert et le spectrophotomètre Easyshade V® ;

$\Delta E_{t\text{-}sR}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien expert et le spectrophotomètre Rayplicker® ;

$\Delta E_{t\text{-}ct}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien expert et la caméra Trios® ;

$\Delta E_{t\text{-}co}$ pour la distance chromatique entre la méthode visuelle par teintier réalisée par le praticien expert et la caméra Omnicam® ;

$\Delta E_{sE\text{-}sR}$ pour la distance chromatique entre la méthode par le spectrophotomètre Easyshade V® et le Rayplicker® ;

$\Delta E_{sE\text{-}ct}$ pour la distance chromatique entre la méthode par le spectrophotomètre Easyshade V® et la caméra Trios® ;

$\Delta E_{sE\text{-}co}$ pour la distance chromatique entre la méthode par le spectrophotomètre Easyshade V® et la caméra Omnicam® ;

$\Delta E_{sR\text{-}ct}$ pour la distance chromatique entre la méthode par le spectrophotomètre Rayplicker® et la caméra Trios® ;

$\Delta E_{sR\text{-}co}$ pour la distance chromatique entre la méthode par le spectrophotomètre Rayplicker® et la caméra Omnicam® ;

$\Delta E_{co\text{-}ct}$ pour la distance chromatique entre la méthode par la caméra Omnicam® et la caméra Trios® ;

Les calculs de ΔE se font sur 40 sujets (n = 40). Les résultats sont analysés et les tests statistiques sont réalisés à l'aide du logiciel SPSS Statistics version 23 d'IBM.

Dans la présentation des résultats, les abréviations suivantes sont utilisées :

- tj pour le relevé par teintier par le praticien débutant
- t pour le relevé par teintier par le praticien expert
- sE pour le relevé par l'Easyshade V®
- sR pour le relevé par le Rayplicker®
- ct pour le relevé par la caméra Trios®
- co pour le relevé par la caméra Omnicam®

II. Résultats

Moyennes des ΔE

Les moyennes et les erreurs sur la moyenne des distances chromatiques entre les différentes méthodes d'enregistrement sont répertoriées dans les tableaux suivants pour respectivement les mesures au collet, au centre et au bord libre :

Moyenne des ΔE entre les différentes méthodes d'enregistrement au collet

	sR	*ct*	*co*
sE	2,31 ± 0,19	3,04 ± 0,23	2,83 ± 0,24
sR		2,54 ± 0,26	2,15 ± 0,24
ct			2,22 ± 0,29

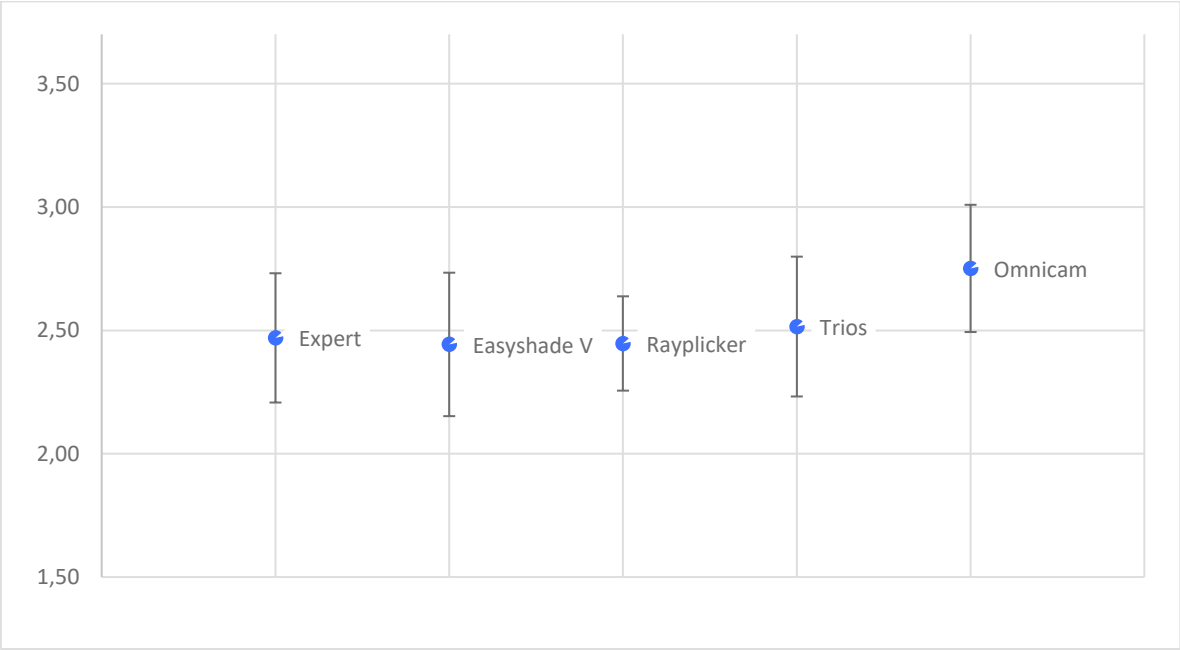
Moyenne des ΔE entre les différentes méthodes d'enregistrement au centre

	t	*sE*	*sR*	*ct*	*co*
tj	2,47 ± 0,26	2,44 ± 0,29	2,45 ± 0,19	2,52 ± 0,28	2,75 ± 0,26
t		2,26 ± 0,20	2,25 ± 0,23	3,36 ± 0,16	2,66 ± 0,24
sE			1,85 ± 0,26	3,05 ± 0,27	2,75 ± 0,23
sR				2,42 ± 0,19	2,21 ± 0,24
ct					2,57 ± 0,30

Moyenne des ΔE entre les différentes méthodes d'enregistrement au bord libre

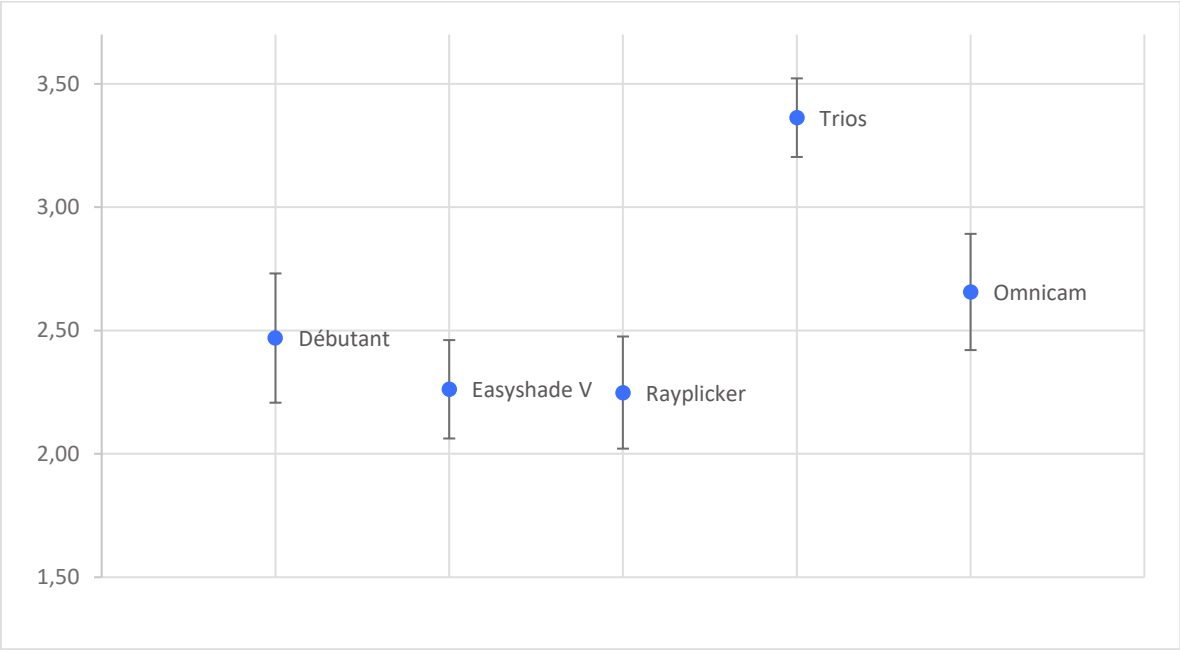
	sR	*ct*	*co*
sE	2,23 ± 0,23	2,40 ± 0,21	2,46 ± 0,22
sR		1,59 ± 0,22	2,29 ± 0,22
ct			2,35 ± 0,22

La comparaison des moyennes permet d'analyser les distances chromatiques entres les différentes méthodes. Pour gagner en clarté de présentation, sont représentées ci-dessous les moyennes des ΔE entres les couleurs enregistrées au centre entre les différentes approches. Chaque graphique comparant une méthode aux autres, les barres d'erreurs correspondent à l'erreur sur la moyenne :



Moyennes des ΔE au centre entre les relevés par teintier par le praticien débutant et les relevés (respectivement de gauche à droite) par teintier par le praticien expert, l'Easyshade V, le Rayplicker, la caméra optique Trios et l'Omnicam.

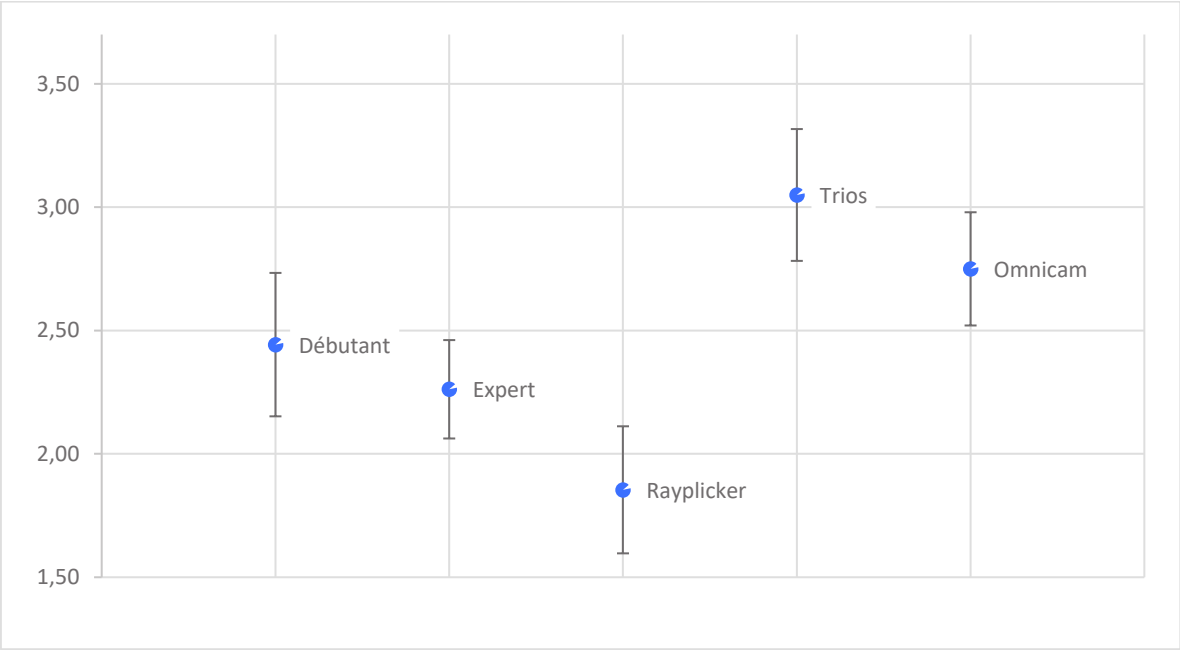
Il est observé que les valeurs des ΔE varient peu entre le relevé par praticien débutant et les différentes autres approches, avec néanmoins des valeurs plus élevées pour les cameras optiques.



Moyennes des ΔE au centre entre les relevés par teintier par le praticien expert et les relevés (respectivement de gauche à droite) par teintier par le praticien débutant, l'Easyshade V, le Rayplicker, la caméra optique Trios et l'Omnicam.

Le relevé visuel par le praticien expert présente des moyennes de ΔE les plus faibles avec les deux spectrophotomètres, suivi par le relevé par le praticien débutant, et des valeurs plus importantes avec les caméras optiques.

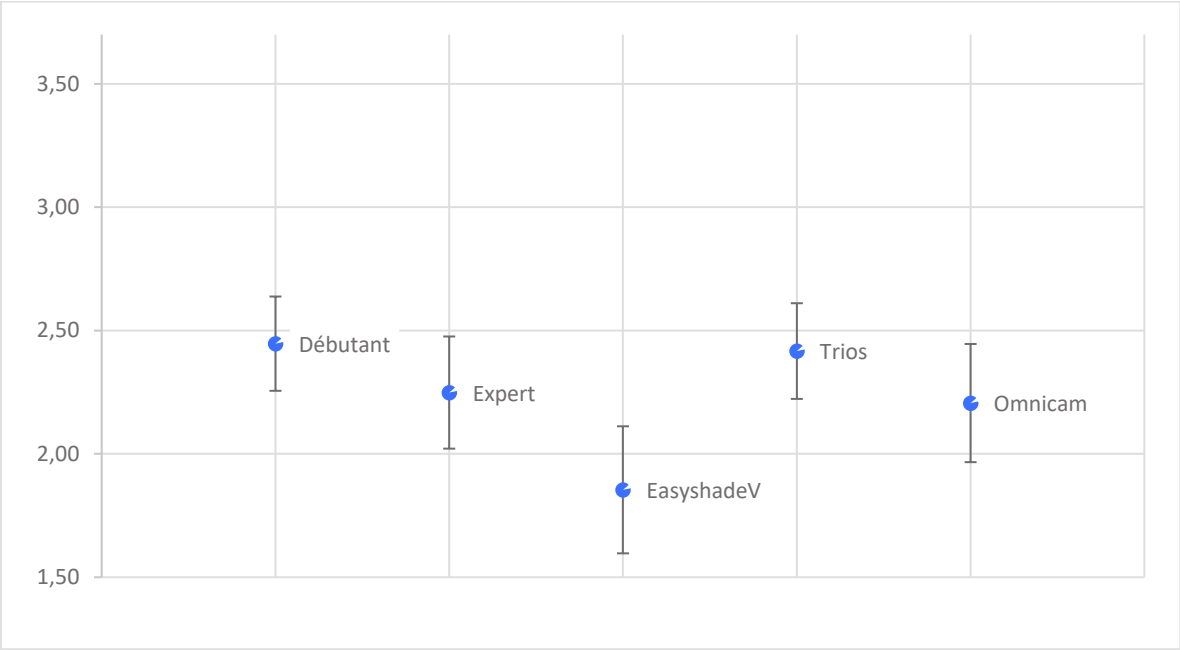
Les couleurs enregistrées par le praticien expert sont plus proches de celles enregistrées par les spectrophotomètres que celles par les caméras optiques.



Moyennes des ΔE entre les relevés par l'Easyshade V et les relevés (respectivement de gauche à droite) par teintier par le praticien débutant, par le praticien expert, le Rayplicker, la caméra optique Trios et l'Omnicam.

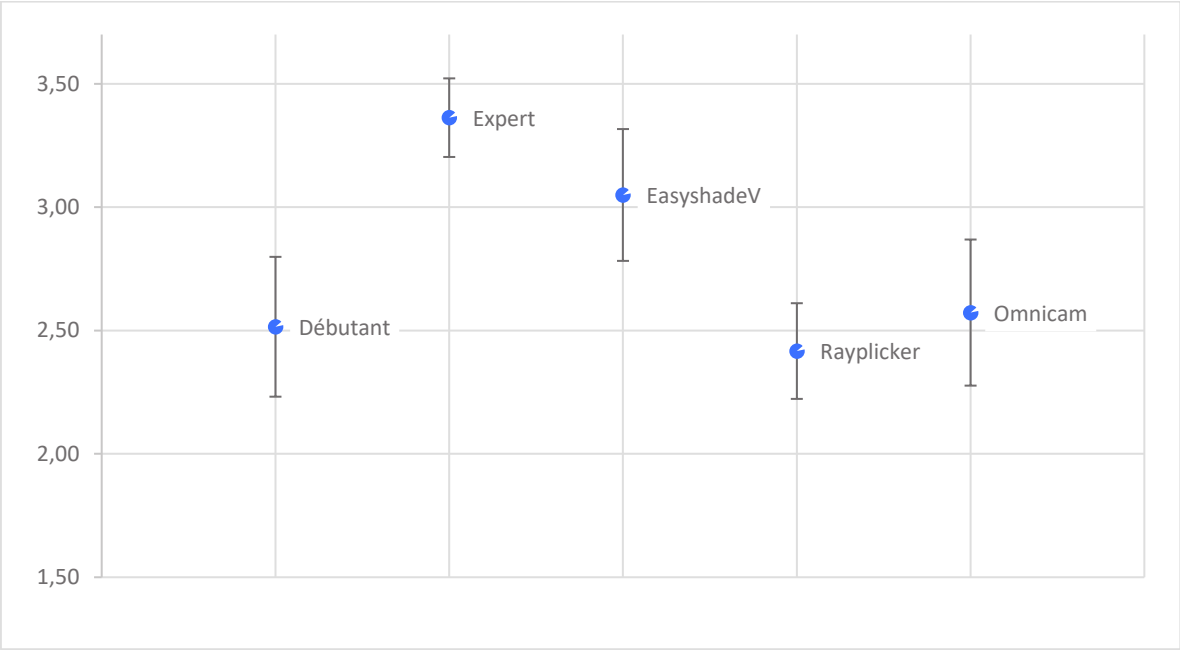
Les couleurs enregistrées par l'Easyshade V présentent le moins de différences avec celles enregistrées par le spectrophotomètre Rayplicker, puis par celles enregistrées par le praticien expert puis débutant.

Les couleurs enregistrées par les caméras sont celles les plus éloignées.

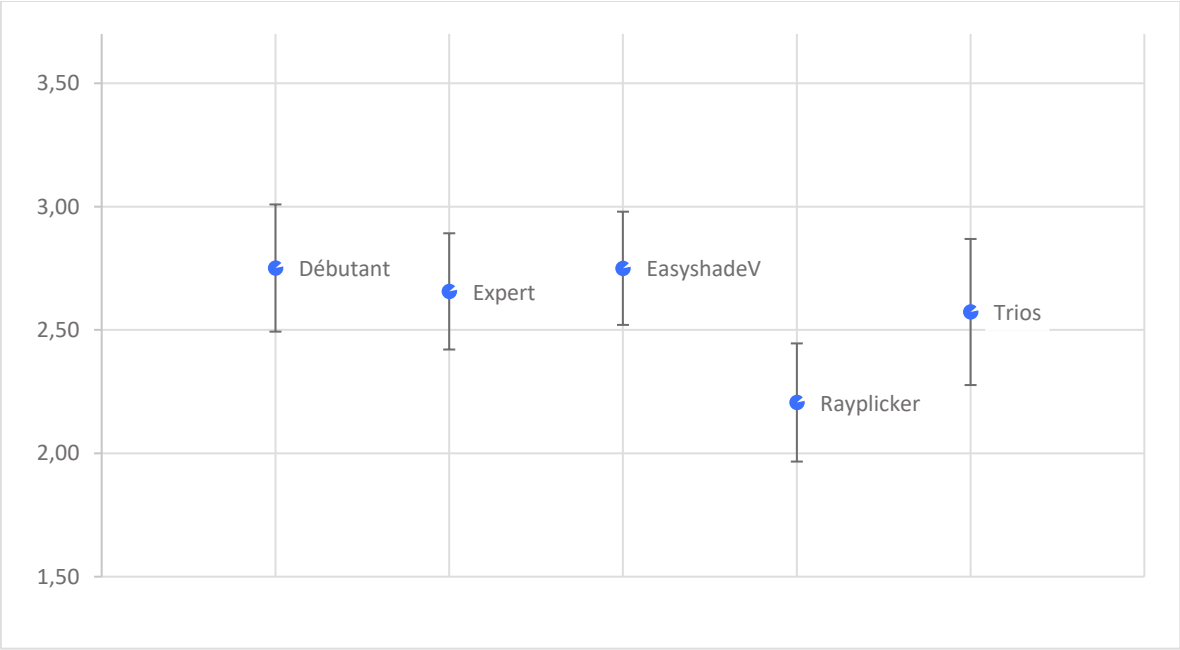


Moyennes des ΔE entre les relevés par le Rayplicker et les relevés (respectivement de gauche à droite) par teintier par le praticien débutant, par le praticien expert, l'Easyshade V, la caméra optique Trios et l'Omnicam.

Comme cité précédemment, la moindre différence de couleurs enregistrées avec le Rayplicker se retrouve avec celle de l'Easyshade V. Néanmoins les couleurs sont moins éloignées des deux caméras optiques que les couleurs enregistrées par l'Easyshade V.



Moyennes des ΔE entre les relevés par la caméra Trios et les relevés (respectivement de gauche à droite) par teintier par le praticien débutant, par le praticien expert, l'Easyshade V, le Rayplicker et la caméra optique Omnicam.



Moyennes des ΔE entre les relevés par la caméra Omnicam et les relevés (respectivement de gauche à droite) par teintier par le praticien débutant, par le praticien expert, l'Easyshade V, le Rayplicker et la caméra optique Trios.

Les caméras optiques présentent des valeurs de ΔE avec les autres approches plus élevées que celles retrouvées précédemment.

L'analyse de ces graphiques indique que les relevés par les deux spectrophotomètres sont ceux présentant les différences les plus faibles. Le relevé par le praticien expert est également proche de ceux des spectrophotomètres. Le praticien débutant en est plus éloigné.

Les caméras optiques sont les méthodes présentant les ΔE les plus importants avec les autres approches, les couleurs enregistrées sont donc plus les éloignés.

Les valeurs de $\Delta\mathrm{E}$ varient énormément et ne sont pas distribuées de manière normale, empêchant la réalisation des tests statistiques classiques. Il est néanmoins possible d'évaluer la distribution de ces valeurs par rapport à une norme.

Distribution des ΔE

Le nombre de valeurs de ΔE sous les normes 3 et 2 entre chaque méthode d'enregistrement, noté *k*, présenté dans les tableaux suivants, permet d'analyser de quelle manière est distribué ΔE pour les différentes combinaisons de méthodes d'enregistrement :

Nombre de valeurs de $\Delta\mathrm{E}$ inférieures à 3 et à 2 au collet. Les valeurs dans les cases bleu foncé correspondent aux nombres de valeurs obtenues sous 3, dans les cases bleu clair celles sous 2

	sE	*sR*	*ct*	*co*
sE	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	31	18	25
sR	11	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	22	31
ct	8	9	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	16
co	9	15	16	

Nombre de valeurs de ΔE inférieures à 3 et à 2 au centre. Les valeurs dans les cases bleu foncé correspondent aux nombres de valeurs obtenues sous 3, dans les cases bleu clair celles sous 2

	tj	*t*	*sE*	*sR*	*ct*	*co*
tj	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	26	21	26	18	17
t	15	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	29	28	9	21
sE	14	11	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	27	19	21
sR	10	14	15	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	25	25
ct	14	3	6	7	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	13
co	12	14	10	15	13	

Nombre de valeurs de ΔE inférieures à 3 et à 2 au bord libre, les valeurs dans les cases bleu foncé correspondent aux nombres de valeurs obtenues sous 3, dans les cases bleu clair celles sous 2

	sE	*sR*	*ct*	*co*
sE	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	29	26	25
sR	14	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	32	26
ct	12	21	k ≤ 2↓ | k ≤ 3→	25
co	12	13	12	

La problématique statistique ici se traduit par la question : « y a-t-il significativement plus de valeurs en-dessous de la norme qu'au-dessus de la norme ? »

Cette question se modélise par le jeu du « pile ou face », avec comme hypothèse nulle H_0 que "pile" et "face" ont la même probabilité (P = 0.5) d'apparaître à chaque lancer. S'il est observé k fois « pile » en n lancers, la probabilité d'observer moins de k valeurs plus petites que la norme est donnée par la loi binomiale :

$$P(n, i \leq k-1) = \frac{1}{2^n}\sum_{i=0}^{k-1} C_n^i \equiv \frac{1}{2^n}\sum_{i=0}^{k-1}\binom{n}{i} \equiv \frac{1}{2^n}\sum_{i=0}^{k-1}\frac{n!}{i!\,(n-i)!}$$

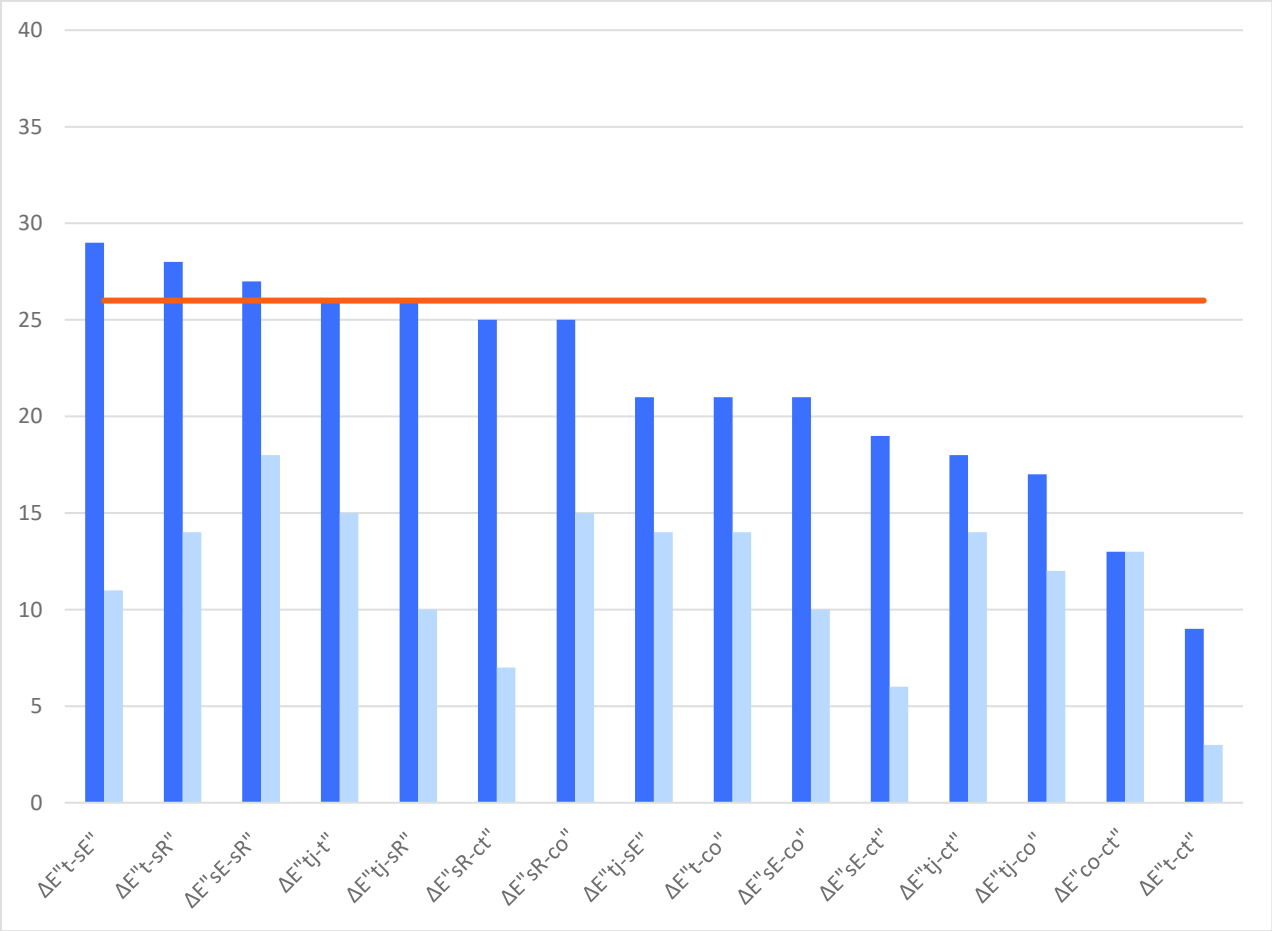
La probabilité complémentaire est celle d'observer *k* valeurs (ou plus) inférieures à la norme :

$$P(n, i \geq k) = \frac{1}{2^n}\sum_{i=k}^{n} C_n^i \equiv \frac{1}{2^n}\sum_{i=k}^{n}\binom{n}{i} \equiv \frac{1}{2^n}\sum_{i=k}^{n}\frac{n!}{i!\,(n-i)!}$$

Si $P(n, i \geq k)$ est petite, observer k valeurs (ou plus) inférieures à la norme est un événement rare (probabilité inférieure à 0.05). Par conséquent l'hypothèse nulle est rejetée. Ceci signifie que l'idée que les valeurs mesurées tombent indifféremment en-dessous ou au-dessus de la norme est rejetée.

Avec l'échantillon *n* = 40, et un risque de première espèce α = 0.05, il est cherché k supérieur ou égal à 26 (k = nombre de valeurs sous la norme).

Les valeurs retrouvées dans le tableau précédent avec ΔE < 3 et ΔE < 2 pour le centre de la dent sont représentées sur le graphique suivant, la courbe linéaire présente la limite k = 26.



Nombre de valeurs de ΔE inférieures à 3 et à 2 au centre de la dent entre les différentes approches (les barres en bleu foncé représentent les valeurs inferieures à 3, celle en bleu clair inferieures à 2)

Apres analyse statistiques des différentes séries, avec un risque α = 0,05 il est observé :

Aucune des valeurs de ΔE n'est significativement distribuées sous la norme ΔE = 2

Avec une norme à ΔE = 3

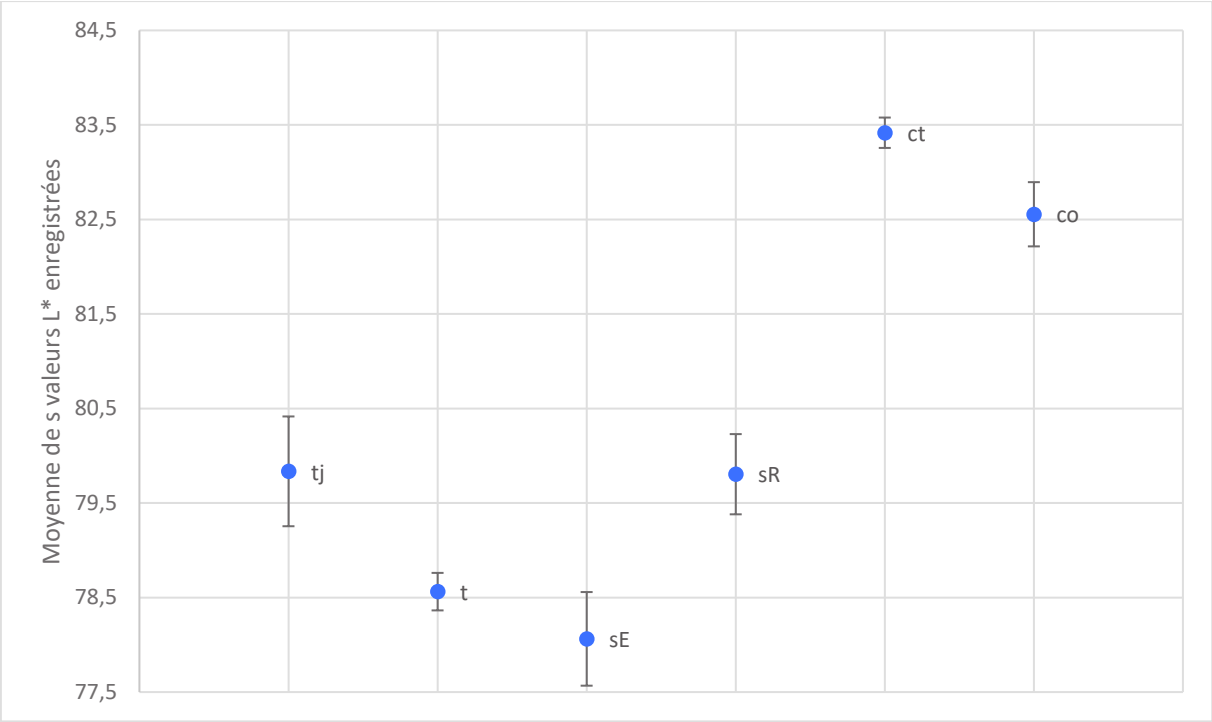
- Au collet : $\Delta E_{sE\text{-}sR}$ et $\Delta E_{sR\text{-}co}$ ont des valeurs distribuées de façon significativement inférieures à la norme ;
- Au centre :$\Delta E_{tj\text{-}t}$; $\Delta E_{tj\text{-}sR}$; $\Delta E_{t\text{-}sE}$; $\Delta E_{t\text{-}sR}$; $\Delta E_{sE\text{-}sR}$; ont des valeurs distribuées de façon significativement inférieures à la norme ;
- Au bord libre :$\Delta E_{sE\text{-}sR}$; $\Delta E_{sE\text{-}ct}$; $\Delta E_{sR\text{-}co}$; $\Delta E_{sR\text{-}ct}$; $\Delta E_{co\text{-}ct}$ ont des valeurs distribuées de façon significativement inférieures à la norme ;

De ces observations, il est déduit que les spectrophotomètres Rayplicker® et l'Easyshade V® présentent peu de différences entre eux lors du relevé de couleurs. Le praticien spécialisé relève des couleurs plus proches de celles des spectrophotomètres que le praticien débutant.
Les caméras, cependant, affichent des résultats de relevé de couleur très différents de ceux des deux spectrophotomètres ou des praticiens.

Les valeurs des ΔE au collet et bord libre de la dent sont très disparates et ne permettent pas l'apport d'informations pertinentes car les valeurs n'ont pas été enregistrées avec l'approche visuelle.

*Valeurs de L**

Les valeurs de L* enregistrées transposent la luminosité des couleurs perçues par les différentes méthodes, dont les moyennes sont reportées sur ce graphique, les barres d'erreurs correspondants aux erreurs sur la moyenne :



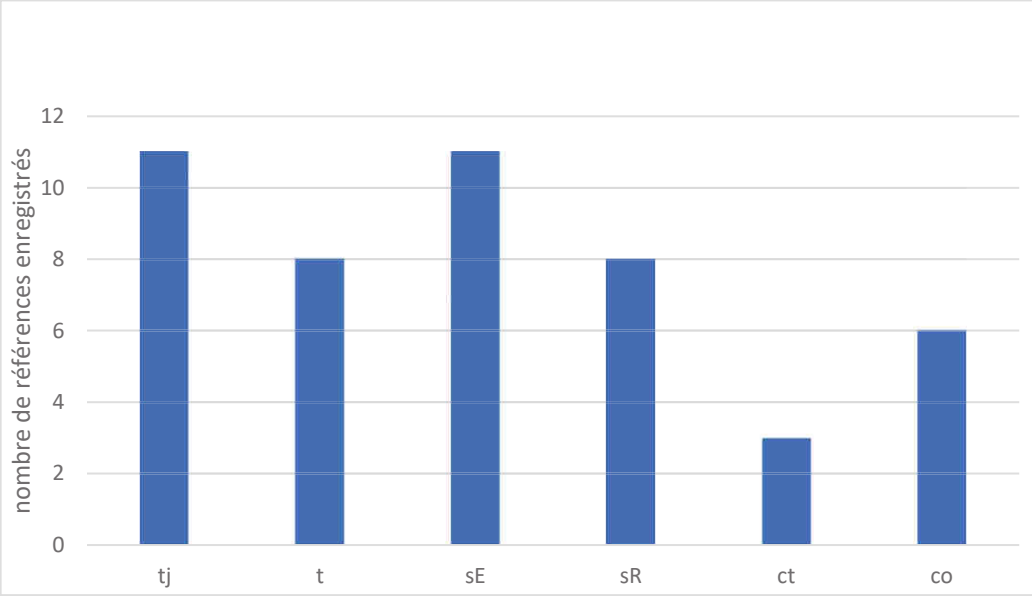
Moyennes des L enregistrées par les différentes méthodes*

Après analyse statistique (test anova sur les rangs, α = 0,05), les valeurs de L* enregistrées par le praticien débutant, le praticien expert, l'Easyshade V® et le Rayplicker® ne sont pas significativement différentes entres elles. Les valeurs de L* enregistrées par la Trios® et l'Omnicam® sont significativement supérieures à celles enregistrés par le praticien débutant, le praticien expert, l'Easyshade V® et le Rayplicker®. Les médianes des valeurs de L* enregistrées par la caméra Trios® et Omnicam® ne sont pas significativement différentes entres elles.

Ces résultats indiquent que les caméras optiques Trios® et Omnicam® enregistrent des références de couleur plus lumineuses que les autres approches.

Références enregistrées

Enfin, le nombre de références 3D Master® de couleurs enregistrées par les différentes méthodes sur l'échantillon de 40 sujets est représentée sur le diagramme ci-dessous :



Nombre de références 3D Master® enregistrées par les différentes méthodes au centre de la dent

Sur cet échantillon de 40 sujets, la méthode par teintier par le praticien débutant et par le spectrophotomètre Easyshade V® sont les deux approches ayant enregistré le plus de références de couleurs différentes (11 références de teintier 3D Master® différentes). Les caméras optiques sont les méthodes ayant enregistrés le moins de références comparés aux autres approches (3 et 6 références pour les caméras Trios® et Omnicam®, respectivement). Les caméras optiques semblent percevoir une diversité de couleur moins importante que les autres méthodes.

Discussion

La principale limitation de cette étude est la conversion des couleurs enregistrées en références 3D Master® en valeurs L*a*b* pour les calculs de ΔE. En effet, la valeur ΔE entre deux couleurs adjacentes sur le teintier 3D Master® étant déjà élevée[42] (moyenne des ΔE = 3.93, à la limite de la norme DIN 5033-1 « différence de couleur non tolérable »), les distances chromatiques retrouvées lorsque les couleurs

enregistrées sont différentes, seront systématiquement supérieures à la norme « différence de couleur perceptible ».

Cette conversion a tendance à accentuer les écarts entre les valeurs enregistrées et c'est pourquoi des valeurs de normes de ΔE relativement élevées sont choisies pour conclure à des différences entre les appareils. De plus, les valeurs L*a*b* données par Bayindir et al [42] sont définies par une méthode empirique et peuvent être légèrement différentes de celles prévues par le fabricant.

De même, il est retrouvé également différentes valeurs de ΔE admises selon les auteurs[122] et les formules utilisées[111], et la norme n'est pas fixé clairement.

Les relevés de couleur par teintier par le praticien débutant et expert se sont déroulés lors d'une journée complète. L'éclairage ayant pu varier entre les différents moments de la journée, la qualité des relevés, extrêmement sensible à l'environnement, peut différer selon le moment de son enregistrement.

Enfin, cette étude est réalisée *in vivo*, et la véritable couleur des dents des sujets à enregistrer reste une inconnue. S'il est admis que les spectrophotomètres sont les appareils les plus fidèles à la couleur réelle[88], il est impossible d'affirmer dans ces travaux que les résultats des relevés sont totalement conformes à la réalité clinique.

Conclusion

Avec les limitations de cette étude, les travaux réalisés permettent de conclure :

- Le Rayplicker® et l'Easyshade V® présentent peu de différences entre eux dans le relevé de couleurs ;
- Le praticien expert et spécialisé dans la réhabilitation prothétique présente des résultats de relevés de couleur plus proches de ceux des spectrophotomètres que les praticiens avec peu d'expérience ;
- Les caméras optiques présentent des résultats de relevés de couleur notablement différents de ceux des spectrophotomètres ;

- Les caméras optiques présentent des résultats de relevés de couleur notablement différents de ceux des praticiens expert et débutant ;
- Les caméras optiques enregistrent des références plus lumineuses que les praticiens et les spectrophotomètres ;
- Les caméras optiques relèvent moins de variété de couleurs que les praticiens et les spectrophotomètres.

CONCLUSIONS

La couleur est un facteur extrêmement important pour la réussite d'un traitement prothétique. Son enregistrement et sa communication au laboratoire de prothèses est une étape cruciale du traitement.

Différentes approches existent aujourd'hui pour permettre aux praticiens de réussir cette étape.

Cette étude *in vivo* comparant plusieurs méthodes de détermination de la couleur entres elles permet d'aboutir à différentes conclusions :

Les spectrophotomètres Rayplicker® et Easyshade V® présentent peu de différences de couleur dans leurs relevés. Le choix entre les deux appareils repose plus sur des questions d'ergonomie, de facilité d'utilisation et de communication. Le Rayplicker® couplé à son logiciel présentent de nombreux outils comme le stockage des cas et des photos et la communication facilitée avec le laboratoire. Les nombreuses cartographies possibles de la dent à analyser permettent de transmettre au prothésiste des informations pertinentes pour la confection de restauration esthétique.

Cette étude conforte les résultats de précédents travaux concluant que les praticiens avec expérience et spécialisés dans les reconstructions prothétiques ont un résultat de relevé de couleur plus précis que les praticiens débutants, mais que l'utilisation du teintier 3D Master® réduit l'écart du relevé entre les praticiens avec et sans expérience. Néanmoins ces teintiers ne sont pas aussi précis que les spectrophotomètres et fortement dépendant du praticien, les résultats des relevés étant aléatoires selon l'environnement et la situation.

Les caméras optiques, dont l'utilisation est de plus en plus répandue dans les cabinets dentaires, présentent des relevés de couleurs significativement différents que ceux des spectrophotomètres ou avec l'utilisation d'un teintier. L'utilisation d'analyse colorimétrique des logiciels de CFAO ne doit pour l'instant être qu'une aide supplémentaire pour la sélection de la couleur mais n'est pas la méthode de choix recommandée, celle-ci enregistrant des couleurs significativement plus lumineuses que les autres approches et une plage de références de couleur moins large.

Les spectrophotomètres apparaissent actuellement comme les approches les plus fiables pour l'enregistrement de la couleur des dents, car débarrassées du coté subjectif, et aboutissent à des résultats précis et complets pour la conception d'une restauration fidèle aux dents naturelles.

Il ne faut également pas oublier que même si la couleur est correctement enregistrée, le praticien se doit de prendre en compte de nombreux facteurs pouvant modifier l'intégration de la couleur comme la colle ou le ciment d'assemblage[123], ou l'épaisseur et le choix des materiaux[124].

La principale limitation pour communiquer la couleur reste la transmission d'informations utilisée. Bien qu'enregistrant les valeurs CIELab ou CIELch, les spectrophotomètres réalisent une conversion en valeurs de teintier (Vita Classical ou Vita 3D Master®) afin de transmettre cette information au prothésiste. C'est lors de cette conversion qu'il y a une perte d'informations et de précision.

De nouveaux procédés tentent de s'affranchir de cette conversion et des protocoles comme elab[125] remettent la photographie au centre de l'analyse de la couleur. D'une photographie avec filtres polarisants, le logiciel elab calcule les valeurs L*a*b* et guide le prothésiste dans la confection de poudre de céramique spécifique à utiliser pour obtenir la couleur correspondante à ces valeurs.

REFERENCES

1. Banerjee A. Minimally Invasive Esthetics: Essentials in Esthetic Dentistry Series. 1st edition. Mosby Ltd.; 2015. 344 p.

2. Goldstein RE, Lancaster JS. Survey of patient attitudes toward current esthetic procedures. J Prosthet Dent. 1984 Dec;52(6):775–80.

3. Samorodnitzky-Naveh GR, Geiger SB, Levin L. Patients' satisfaction with dental esthetics. J Am Dent Assoc. 2007 Jun;138(6):805–8.

4. Dudea D, Lasserre J-F, Alb C, Culic B, Pop Ciutrila IS, Colosi H. Patients' perspective on dental aesthetics in a South-Eastern European community. J Dent. 2012 Jul;40 Suppl 1:e72-81.

5. Joiner A, Luo W. Tooth colour and whiteness: A review. J Dent. 2017 Dec;67S:S3–10.

6. Tin-Oo MM, Saddki N, Hassan N. Factors influencing patient satisfaction with dental appearance and treatments they desire to improve aesthetics. BMC Oral Health. 2011 Feb 23;11:6.

7. Henson ST, Lindauer SJ, Gardner WG, Shroff B, Tufekci E, Best AM. Influence of dental esthetics on social perceptions of adolescents judged by peers. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2011 Sep 1;140(3):389–95.

8. A Zebrowitz L. Reading Faces: Window to the Soul? 1997.

9. Dodds M, Laborde G, Devictor A, Maille G, Sette A, Margossian P. Les références esthétiques : la pertinence du diagnostic au traitement. 2014;14:8.

10. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. J Dent. 2004;32 Suppl 1:3–12.

11. Eimar H, Marelli B, Nazhat SN, Abi Nader S, Amin WM, Torres J, et al. The role of enamel crystallography on tooth shade. J Dent. 2011 Dec;39 Suppl 3:e3-10.

12. Johnston WM. Color measurement in dentistry. J Dent. 2009;37 Suppl 1:e2-6.

13. Max Schmeling DDS MS. Color Selection and Reproduction in Dentistry. Part 1: Fundamentals of Color. Odovtos - International Journal of Dental Sciences. 2016 Mar 17;18(1):23–32.

14. Lasserre J-F. Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles. Clinic. 2007;28: 417-430:14.

15. Bhat V, Prasad DK, Sood S, Bhat A. Role of colors in prosthodontics: application of color science in restorative dentistry. Indian J Dent Res. 2011 Dec;22(6):804–9.

16. D'Incau E, Pia J-P, Pivet J. Esthétique en odontologie. CdP. Berteretche M-V, editor. JPIO; 2014. 240 p.

17. Stephen J. Chu, Devigus A, Paravina R, Mieleszko AJ. Fundamentals of Color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry. Second Edition. Read M, editor. 2010.

18. Pignoly C, Aubut V, Baixe S, Barthelemy H, Etienne O, Girard J-L, et al. Prise de teintes, des techniques conventionnelles aux techniques électroniques. 2010. (Dossier ADF).

19. Etienne O, Anckenmann L. Restaurations esthétiques en céramique collée. Editions CdP; 2017. 368 p. (JPIO).

20. Vanini L, Mangani FM. Determination and communication of color using the five color dimensions of teeth. Pract Proced Aesthet Dent. 2001 Feb;13(1):19–26; quiz 28.

21. Brokos Y, Stavridakis M, Krejci I. Digital Photographic Procedure for Comprehensive Two-Dimensional Tooth Shade Analysis. Compend Contin Educ Dent. 2017 Sep;38(8):e1–4.

22. Bajomo B. Esthetic and restorative dentistry: material selection and technique, 2nd edition. Bdj. 2014 Feb 21;216:150.

23. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. The determination of the tooth colors. Vol. 30. 2004.

24. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. Int J Periodontics Restorative Dent. 2003 Oct;23(5):467–79.

25. Touati B, Nathonson D, Miara P, editors. Esthetic Dentistry and Ceramic Restoration. 1 edition. London; New York, NY: Martin Dunitz Publishers; 1998. 344 p.

26. Emmanuel D. Manuel de photographie dentaire. 2016.

27. Olms C, Klinke T, Pirek P, Hannak WB. Randomized multi-centre study on the effect of training on tooth shade matching. J Dent. 2013 Dec;41(12):1259–63.

28. Miyajiwala JS, Kheur MG, Patankar AH, Lakha TA. Comparison of photographic and conventional methods for tooth shade selection: A clinical evaluation. J Indian Prosthodont Soc. 2017 Sep;17(3):273–81.

29. Vafaii F, Soltani F, Kadkhodaza M, Moshiri Z, Khoshhal M. Evaluation of Color and Contour Matching Accuracy with Digital Photography and Direct Vision. Research Journal of Medical Sciences. 2012 Feb 1;6(2):46–50.

30. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. Dent Mater. 2006 Jun;22(6):553–9.

31. Kim E, Son T, Lee Y, Jung B. Development of polarization dental imaging modality and evaluation of its clinical feasibility. J Dent. 2012 Jul;40 Suppl 1:e18-25.

32. Coachman C, Calamita MA, Sesma N. Dynamic Documentation of the Smile and the 2D/3D Digital Smile Design Process. Int J Periodontics Restorative Dent. 2017 Apr;37(2):183–93.

33. Emmanuel D. Photographie dentaire : le matériel. Vol. 88. 2006. 2243 p.

34. Ahmad I. Digital dental photography. Br Dent J. 2009 Jun 13;206(11):575–81.

35. Emmanuel D. Paramétrer son matériel. L'Information Dentaire. 2010 Jan 1;92.

36. Bengel W. Mastering digital dental photography. London; Chicago: Quintessence; 2006.

37. Freeman M. The Photographer's Handbook: Be your best photographer. Ilex Press; 2017. 240 p.

38. Wander P, Gordon P. Specific applications of dental photography. Br Dent J. 1987 May 23;162(10):393–403.

39. Paravina RD. Performance assessment of dental shade guides. J Dent. 2009;37 Suppl 1:e15-20.

40. Powers JM, Sakaguchi RL. Restorative Dental Materials. 12th ed. Elsevier Health Sciences; 2012. 417 p.

41. Paravina RD, Powers JM, Fay R-M. Color comparison of two shade guides. Int J Prosthodont. 2002 Feb;15(1):73–8.

42. Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG. Coverage Error of Three Conceptually Different Shade Guide Systems to Vital Unrestored Dentition. The Journal of prosthetic dentistry. 2007 Sep;98(3):175.

43. Ahn J-S, Lee Y-K. Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. J Prosthet Dent. 2008 Jul;100(1):18–28.

44. Nakhaei M, Ghanbarzadeh J, Amirinejad S, Alavi S, Rajatihaghi H. The Influence of Dental Shade Guides and Experience on the Accuracy of Shade Matching. J Contemp Dent Pract. 2016 Jan 1;17(1):22–6.

45. Hassel AJ, Koke U, Schmitter M, Beck J, Rammelsberg P. Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic-veneered restorations. Int J Prosthodont. 2005 Oct;18(5):422–6.

46. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. J Prosthet Dent. 2003 Jan;89(1):50–3.

47. Wee AG, Kang EY, Jere D, Beck FM. Clinical color match of porcelain visual shade-matching systems. J Esthet Restor Dent. 2005;17(6):351–7; discussion 358.

48. Corciolani G, Vichi A, Goracci C, Ferrari M. Colour correspondence of a ceramic system in two different shade guides. J Dent. 2009 Feb;37(2):98–101.

49. Öngül D, Şermet B, Balkaya MC. Visual and instrumental evaluation of color match ability of 2 shade guides on a ceramic system. J Prosthet Dent. 2012 Jul;108(1):9–14.

50. Paravina RD, O'Neill PN, Swift EJ, Nathanson D, Goodacre CJ. Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 2009. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e34-40.

51. Emmanuel D, Barthélémy H, Etienne O. La photographie numérique dentaire 2 e partie : le post-traitement informatique. 2012. 20 p.

52. Mclaren E, A Garber D, Figueira J. The Photoshop Smile Design technique (part 1): digital dental photography. Vol. 34. 2013. 772 p.

53. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Dental color standards: shade tab arrangement. J Esthet Restor Dent. 2001;13(4):254–63.

54. Park J-H, Lee Y-K, Lim B-S. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. J Prosthet Dent. 2006 Dec;96(6):402–11.

55. Lagouvardos PE, Diamanti H, Polyzois G. Effect of individual shades on reliability and validity of observers in colour matching. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2004 Jun;12(2):51–6.

56. Yuan JC-C, Brewer JD, Monaco EA, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. J Prosthet Dent. 2007 Aug;98(2):110–9.

57. Pecho OE, Pérez MM, Ghinea R, Della Bona A. Lightness, chroma and hue differences on visual shade matching. Dent Mater. 2016;32(11):1362–73.

58. Analoui M, Papkosta E, Cochran M, Matis B. Designing visually optimal shade guides. J Prosthet Dent. 2004 Oct;92(4):371–6.

59. Nabiha D. apport du teintier personnalisé Reflectys dans la réussite d'un composite antérieur. 2018;

60. Wee AG, Monaghan P, Johnston WM. Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain. J Prosthet Dent. 2002 Jun;87(6):657–66.

61. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. J Prosthet Dent. 1986 Jul;56(1):35–40.

62. Sabherwal RS, Gonzalez J, Naini FB. Assessing the influence of skin color and tooth shade value on perceived smile attractiveness. J Am Dent Assoc. 2009 Jun;140(6):696–705.

63. Najafi-Abrandabadi S, Vahidi F, Janal MN. Effects of a shade-matching light and background color on reliability in tooth shade selection. Int J Esthet Dent. 2018;13(2):198–206.

64. Wee AG, Meyer A, Wu W, Wichman CS. Lighting conditions used during visual shade matching in private dental offices. J Prosthet Dent. 2016 Apr;115(4):469–74.

65. Clary JA, Ontiveros JC, Cron SG, Paravina RD. Influence of light source, polarization, education, and training on shade matching quality. J Prosthet Dent. 2016 Jul;116(1):91–7.

66. Gokce HS, Piskin B, Ceyhan D, Gokce SM, Arisan V. Shade matching performance of normal and color vision-deficient dental professionals with standard daylight and tungsten illuminants. J Prosthet Dent. 2010 Mar;103(3):139–47.

67. Curd FM, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. J Prosthet Dent. 2006 Dec;96(6):391–6.

68. Dagg H, O'Connell B, Claffey N, Byrne D, Gorman C. The influence of some different factors on the accuracy of shade selection. J Oral Rehabil. 2004 Sep;31(9):900–4.

69. Lee Y-K, Yu B, Lim JI, Lim H-N. Perceived color shift of a shade guide according to the change of illuminant. J Prosthet Dent. 2011 Feb;105(2):91–9.

70. Roodgarian R, Jafari T, Khafri S, Abolghasemzadeh F. Influence of different light sources on visual shade matching performance. Caspian Journal of Dental Research. 2016 Sep 15;5(2):30–6.

71. Burki Z, Watkins S, Wilson R, Fenlon M. A randomised controlled trial to investigate the effects of dehydration on tooth colour. J Dent. 2013 Mar;41(3):250–7.

72. Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. J Prosthet Dent. 1970 Aug;24(2):166–73.

73. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H, et al. Does gender and experience influence shade matching quality? J Dent. 2009;37 Suppl 1:e40-44.

74. Pohlen B, Hawlina M, Šober K, Kopač I. Tooth Shade-Matching Ability Between Groups of Students with Different Color Knowledge. Int J Prosthodont. 2016 Oct;29(5):487–92.

75. Borbély J, Varsányi B, Fejérdy P, Hermann P, Jakstat HA. Toothguide Trainer tests with color vision deficiency simulation monitor. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e41-49.

76. Della Bona A, Barrett AA, Rosa V, Pinzetta C. Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. Dent Mater. 2009 Feb;25(2):276–81.

77. Capa N, Malkondu O, Kazazoglu E, Calikkocaoglu S. Effects of individual factors and the training process of the shade-matching ability of dental students. Journal of Dental Sciences. 2011 Sep 1;6(3):147–52.

78. Capa N, Malkondu O, Kazazoglu E, Calikkocaoglu S. Evaluating factors that affect the shade-matching ability of dentists, dental staff members and laypeople. J Am Dent Assoc. 2010 Jan;141(1):71–6.

79. Shooriabi M, Gilavand A, Yazan M. Studying the Necessity for Presenting the Science of Determining the Tooth shade Course in Educational Curriculum in Dentistry Faculties Based on the Evaluation of the Amount of Knowledge and Performance of General Dentists. Der Pharmacia Lettre 8(13):298-304.

80. Judeh A, Al-Wahadni A. A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection. Quintessence Int. 2009 Oct;40(9):e69-79.

81. Al-Dwairi Z, Shaweesh A, Kamkarfar S, Kamkarfar S, Borzabadi-Farahani A, Lynch E. Tooth shade measurements under standard and nonstandard illumination and their agreement with skin color. Int J Prosthodont. 2014 Oct;27(5):458–60.

82. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. J Prosthet Dent. 2009 Mar;101(3):193–9.

83. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e2-16.

84. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. J Endod. 1998 Dec;24(12):786–90.

85. Alsaleh S, Labban M, AlHariri M, Tashkandi E. Evaluation of self shade matching ability of dental students using visual and instrumental means. J Dent. 2012 Jul;40 Suppl 1:e82-87.

86. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. J Dent. 2014 Jan;42(1):48–52.

87. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CHF. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. J Dent Res. 2002 Aug;81(8):578–82.

88. Chen H, Huang J, Dong X, Qian J, He J, Qu X, et al. A systematic review of visual and instrumental measurements for tooth shade matching. Quintessence Int. 2012 Sep;43(8):649–59.

89. Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. J Prosthet Dent. 2002 Dec;88(6):585–90.

90. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. J Prosthet Dent. 1998 Dec;80(6):642–8.

91. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res. 1989 May;68(5):819–22.

92. Ballard E, Metz MJ, Harris BT, Metz CJ, Chou J-C, Morton D, et al. Satisfaction of Dental Students, Faculty, and Patients with Tooth Shade-Matching Using a Spectrophotometer. J Dent Educ. 2017 May;81(5):545–53.

93. Alshiddi IF, Richards LC. A comparison of conventional visual and spectrophotometric shade taking by trained and untrained dental students. Aust Dent J. 2015 Jun;60(2):176–81.

94. Pop IS, D'Incau E, Lasserre J-F. Détermination de la couleur à l'aide de la camera Sopro 717 ® - 2e partie: étude comparative. Les Cahiers de prothèse. 2006 Sep;135:135:41-50.

95. Knezović D, Zlatarić D, Illeš IŽ, Alajbeg M, Žagar. In Vivo and in Vitro Evaluations of Repeatability and Accuracy of VITA Easyshade® Advance 4.0 Dental Shade-Matching Device. Acta Stomatologica Croatica. 2015 Jun;49(2):112.

96. Llena C, Lozano E, Amengual J, Forner L. Reliability of two color selection devices in matching and measuring tooth color. J Contemp Dent Pract. 2011 Jan 1;12(1):19–23.

97. Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA, Polyzois GL. Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. J Prosthet Dent. 2009 Jan;101(1):40–5.

98. Bolt RA, Bosch JJ, Coops JC. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. Phys Med Biol. 1994 Jul;39(7):1133–42.

99. Guan YH, Lath DL, Lilley TH, Willmot DR, Marlow I, Brook AH. The measurement of tooth whiteness by image analysis and spectrophotometry: a comparison. J Oral Rehabil. 2005 Jan;32(1):7–15.

100. Chu SJ. Use of a reflectance spectrophotometer in evaluating shade change resulting from tooth-whitening products. J Esthet Restor Dent. 2003;15 Suppl 1:S42-48.

101. Luo W, Naeeni M, Platten S, Wang J, Sun JN, Westland S, et al. The in vitro and in vivo reproducibility of a video-based digital imaging system for tooth colour measurement. J Dent. 2017 Dec;67S:S15–9.

102. Kristiansen J, Sakai M, Da Silva JD, Gil M, Ishikawa-Nagai S. Assessment of a prototype computer colour matching system to reproduce natural tooth colour on ceramic restorations. J Dent. 2011 Dec;39 Suppl 3:e45-51.

103. Gotfredsen K, Gram M, Brahem Ben E, Hosseini M, Petkov M, Sitorovic M. Effectiveness of Shade Measurements Using a Scanning and Computer Software System: a Pilot Study. International Journal of Oral and Dental Health. 2016 Dec 14;2016;25. 3.

104. Dozic A, Kharbanda AK, Kamell H, Brand HS. European dental students' opinions about visual and digital tooth colour determination systems. J Dent. 2011 Dec;39 Suppl 3:e23-28.

105. Pardo P, Agudo JE, Sánchez H, A.L.Perez, M.I.Suero. A Low-Cost Real Color Picker Based on Arduino. Vol. 14. 2014. 11943 p.

106. Habekost M. Which color differencing equation should be used? International Circular of Graphic Education and Research, No 6, 2013. 2013;(6):7.

107. Clarke FJJ, McDonald R, Rigg B. Modification to the JPC79 Colour–difference Formula. Journal of the Society of Dyers and Colourists. 1984 Apr 1;100(4):128–32.

108. International Commission on Illumination. CIE 15: Technical Report: Colorimetry, 3rd edition [Internet]. 2004 [cited 2018 Nov 7]. Available from: http://archive.org/details/gov.law.cie.15.2004

109. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. J Dent. 2008;36 Suppl 1:S2-7.

110. Ghinea R, Pérez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD. Color difference thresholds in dental ceramics. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e57-64.

111. Pérez M del M, Saleh A, Yebra A, Pulgar R. Study of the variation between CIELAB delta E* and CIEDE2000 color-differences of resin composites. Dent Mater J. 2007 Jan;26(1):21–8.

112. Luo MR, Cui G, Rigg B. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. Color Research & Application. 2001 Oct;26(5):340–50.

113. Sharma G, Wu W, Dalal EN. The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. Color Research & Application. 2005 Feb;30(1):21–30.

114. Illumination IC on. Improvement to Industrial Colour-Difference Evaluation. Vienna, Austria: CIE; 2001. 14 p.

115. Pecho OE, Ghinea R, Alessandretti R, Pérez MM, Della Bona A. Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. Dent Mater. 2016 Jan;32(1):82–92.

116. Perez MDM, Ghinea R, Herrera LJ, Ionescu AM, Pomares H, Pulgar R, et al. Dental ceramics: a CIEDE2000 acceptability thresholds for lightness, chroma and hue differences. J Dent. 2011 Dec;39 Suppl 3:e37-44.

117. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. J Prosthet Dent. 2007 Apr;97(4):200–8.

118. Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Sakai M, Kristiansen J, Da Silva JD. Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns. J Dent. 2009;37 Suppl 1:e57-63.

119. Ragain JC, Johnston WM. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. Color Research & Application. 2000 Aug 1;25(4):278–85.

120. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. J Dent. 2014 Jun;42(6):637–44.

121. Gómez-Polo C, Gómez-Polo M, Parga JAMVD, Celemin-Viñuela A. 3D Master Toothguide according to L*, C*, and h* coordinates. Color Research & Application. 2015 Oct 1;40(5):518–24.

122. Ramesh AS, Sharma A, Rijesh K, Prakash R, Devi L, Raja E. Assessment of perceptibility and acceptability of color variations between matched teeth among trainee dentist and lay person. J Pharm Bioallied Sci. 2015 Aug;7(Suppl 2):S632–5.

123. Xing W, Jiang T, Ma X, Liang S, Wang Z, Sa Y, et al. Evaluation of the esthetic effect of resin cements and try-in pastes on ceromer veneers. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e87-94.

124. Son H-J, Kim W-C, Jun S-H, Kim Y-S, Ju S-W, Ahn J-S. Influence of dentin porcelain thickness on layered all-ceramic restoration color. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e71-77.

125. Hein S, Tapia J, Bazos P. eLABor_aid: a new approach to digital shade management. Int J Esthet Dent. 2017;12(2):186–202.

ANNEXES

Annexe 1 : calcul complet de la formule CIEDE2000[113]

$$\Delta L' = L_2^* - L_1^*$$

$$\bar{L} = \frac{L_1^* + L_2^*}{2}$$

$$\bar{C} = \frac{C_1^* + C_2^*}{2}$$

$$a_1' = a_1^* + \frac{a_1^*}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) \qquad a_2' = a_2^* + \frac{a_2^*}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right)$$

$$\overline{C'} = \frac{C_1' + C_2'}{2}$$

$$\Delta C' = C_2' - C_1'$$

$$C_1' = \sqrt{{a_1'}^2 + {b_1^*}^2} \qquad C_2' = \sqrt{{a_2'}^2 + {b_2^*}^2}$$

$$\Delta h_1' = \operatorname{atan}2(b_1^*, a_1') \bmod 360° \qquad \Delta h_2' = \operatorname{atan}2(b_2^*, a_2') \bmod 360°$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h_2' - h_1' & |h_1' - h_2'| \leq 180° \\ h_2' - h_1' + 360° & |h_1' - h_2'| > 180°, h_2' \leq h_1' \\ h_2' - h_1' - 360° & |h_1' - h_2'| > 180°, h_2' > h_1' \end{cases}$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C_1' C_2'}\sin(\Delta h' / 2)$$

$$H' = \begin{cases} (h_1' + h_2' + 360°)/2 & |h_1' - h_2'| > 180° \\ (h_1' + h_2')/2 & |h_1' - h_2'| \leq 180° \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17\cos(\bar{H}' - 30°) + 0.24\cos(2\bar{H}') + 0.32\cos(3\bar{H}' + 6°) - 0.20\cos(4\bar{H}' - 63°)$$

$$S_L = \frac{1 + 0.015(\bar{L} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50)^2}}$$

$$S_C = 1 + 0.045\bar{C}'$$

$$S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T$$

$$R_T = -2\sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\sin\left[60° \cdot \exp\left(-\left[\frac{\bar{\mathrm{H}} - 275°}{25°}\right]^2\right)\right]$$

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T\left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)\left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)}$$

Annexe 2 : Valeur L*a*b* des références 3D Master® selon Bayindir et al[42]

Références 3D Master®	L*	a*	b*
1M1	83,10	-0,10	12,50
1M2	84,00	-0,20	18,80
2L1,5	79,00	0,00	18,50
2L2,5	79,50	0,20	24,50
2M1	78,00	0,80	14,00
2M2	78,70	0,90	19,90
2M3	79,20	0,70	25,30
2R1,5	77,80	1,50	16,30
2R2,5	79,50	1,70	23,30
3L1,5	73,11	1,50	20,30
3L2,5	73,90	1,90	26,20
3M1	73,40	1,80	15,40
3M2	74,60	2,00	21,50
3M3	75,00	2,60	27,90
3R1,5	73,40	2,70	17,90
3R2,5	73,60	3,50	25,90
4L1,5	69,20	2,80	21,70
4L2,5	69,10	3,70	28,50
4M1	68,30	2,90	17,00
4M2	70,10	3,70	23,70
4M3	69,50	4,80	30,70
4R1,5	69,60	4,30	20,80
4R2,5	69,20	5,10	26,30
5M1	64,40	4,20	19,40
5M2	65,10	5,70	26,30
5M3	65,90	7,00	33,40

HAMPE-KAUTZ (Vincent) – Le relevé de couleur : évaluation clinique comparative des méthodes visuelles et électroniques.
(Thèse : 3ème cycle Sci. Odontol. : Strasbourg : 2019 ; N°38).

N°43.22.19.38

Résumé :

Analyser et reproduire correctement la couleur d'une dent en prothèse fixée est un défi majeur pour le chirurgien-dentiste et le prothésiste dentaire alors même qu'il s'agit de l'un des paramètres les plus importants en matière d'esthétique.

Il existe aujourd'hui sur le marché de nombreux moyens permettant de transmettre cette information chromatique de manière plus ou moins précise au prothésiste. Depuis l'utilisation d'un teintier de référence, aux méthodes plus avancées faisant appel à des outils comme les spectrophotomètres ou les scanners intra-oraux.

Dans un premier temps ce travail a pour but de décrire les outils permettant la communication de la couleur, disponibles dans l'arsenal du chirurgien-dentiste et du prothésiste, d'en exposer leurs avantages et limites, ainsi que leurs protocoles.

Dans un second temps, une étude originale a été réalisée afin de comparer les relevés de couleur obtenus par caméras intra orales Trios (3Shape) et Omnicam (Dentsply Sirona), par les spectrophotomètres Easyshade V (VITA) et Rayplicker (Borea) et par approches visuelles par un praticien débutant et un expert par l'utilisation du teintier 3D Master Linearguide (VITA).

Rubrique de classement : PROTHESES

Mots clés : Couleur, enregistrement, teintier, caméra optique, spectrophotomètre

Me SH : Shade matching, shade guide, intra-oral scanner, spectrophotometer

Jury :

Président :	Professeur WALTER Béatrice
Assesseurs :	Docteur ETIENNE Olivier
	Docteur JUNG Sophie
	Docteur SALEHI Ali

Coordonnées de l'auteur :

Adresse postale :
Mr Vincent HAMPE-KAUTZ
12, rue de Gerstheim
67100 STRASBOURG

Adresse de messagerie :
vincehk@sfr.fr