

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2022

N° 12

THESE

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

le 02/03/2022

par

SCHWOB Thibault

né le 12/03/1995 à THANN

La couleur en Odontologie : étude comparative *in vivo* de la fiabilité intra-opérateur de trois spectrophotomètres

Président : Professeur WALTER Béatrice
Asseseurs : Docteur ETIENNE Olivier
Docteur OFFNER Damien
Docteur HAMPE-KAUTZ Vincent

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG

Doyen : Professeur Corinne TADDEI-GROSS

Doyens honoraires : Professeur Robert FRANK

Professeur Maurice LEIZE

Professeur Youssef HAIKEL

Professeur émérite : Professeur Henri TENENBAUM

Responsable des Services Administratifs : Mme Marie-Renée MASSON

Professeurs des Universités

Vincent BALL	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
Agnès BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
François CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
Jean-Luc DAVIDEAU	Parodontologie
Youssef HAÏKEL	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier HUCK	Parodontologie
Marie-Cécile MANIERE	Odontologie Pédiatrique
Florent MEYER	Sciences Biologiques
Maryline MINOUX	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Anne-Marie MUSSET	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Corinne TADDEI-GROSS	Prothèses
Béatrice WALTER	Prothèses
Matthieu SCHMITTBUHL	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie

Délégation (Juin 2024)

Maîtres de Conférences

Youri ARNTZ	Biophysique moléculaire
Sophie BAHI-GROSS	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Yves BOLENDER	Orthopédie Dento-Faciale
Fabien BORNERT	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Claire EHLINGER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier ETIENNE	Prothèses
Gabriel FERNANDEZ DE GRADO	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Florence FIORETTI	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Catherine-Isabelle GROS	Sciences Anatomiques et Physiologiques - Biophysique - Radiologie
Sophie JUNG	Sciences Biologiques
Nadia LADHARI	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique
<i>Disponibilité (Déc. 2021)</i>	
Davide MANCINO	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Damien OFFNER	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Catherine PETIT	Parodontologie
François REITZER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Martine SOELL	Parodontologie
Marion STRUB	Odontologie Pédiatrique
Xavier VAN BELLINGHEN	Prothèses
Delphine WAGNER	Orthopédie Dento-Faciale
Etienne WALTMANN	Prothèses

Equipes de Recherche

Nadia JESSEL	INSERM / Directeur de Recherche/Directrice d'UMR
Philippe LAVALLE	INSERM / Directeur de Recherche
Pierre SCHAFF	UdS / Professeur des Universités / Directeur d'UMR
Bernard SENGER	INSERM / Directeur de Recherche

Pr Béatrice WALTER

Docteur en Chirurgie Dentaire

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

Enseignante à la faculté de Strasbourg

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse. Merci pour votre disponibilité sans faille et votre enseignement. Veuillez recevoir par ce travail le témoignage de ma gratitude et de mes sincères remerciements.

Dr Olivier ETIENNE

Docteur en Chirurgie Dentaire

Praticien Hospitalier

Maitre de Conférences des Universités

Enseignant à la faculté de Strasbourg

Vous me faites l'honneur de diriger ce travail. Merci pour votre enseignement et cette année d'apprentissage que j'ai eu la chance de passer à vos côtés. Votre vision de l'art dentaire aura un véritable impact sur mes choix en tant que futur praticien. Je vous adresse mes sincères remerciements et vous exprime toute ma gratitude.

Dr Damien OFFNER

Docteur en Chirurgie Dentaire

Praticien Hospitalier

Enseignant à la faculté de Strasbourg

Vous me faites l'honneur de participer à ce jury de thèse. Je vous remercie pour la qualité de votre enseignement théorique et pratique au sein du service des urgences de la Clinique dentaire de Strasbourg.

Dr Vincent HAMPE-KAUTZ

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assistant Hospitalier Universitaire

Enseignant à la faculté de Strasbourg

Vous me faites l'honneur de codiriger cette thèse.

Merci pour votre accompagnement dans ce travail et votre disponibilité. Je vous adresse mes amitiés et sincères remerciements.

A mes parents, pour m'avoir accompagné et soutenu dans tous mes choix, merci pour votre confiance.

A mes sœurs, Caroline et Lilou le sang, je vous souhaite du bonheur et de la réussite.

A mes grands-parents, pour leur suivi, leur écoute et leur dévouement.

A Nico, pour m'avoir supporté en colocation durant ces années que je n'oublierai jamais.

A Hugo, Pépère et Jacob, pour ces soirées, ces fous rires, pour cette amitié sans faille.

A Ludo, pour ta transmission.

A la LYB, Gaëtan Alexia et Louise-Line, pour cette amitié très importante pour moi.

Aux « dentistes en mousses », une belle page se tourne, en espérant vous revoir.

A Thibaut, Polo et Augustin. Je vous aime bien mais pas tout le temps.

A Marine, merci pour ton amour, ton soutien, ton réconfort.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2022

N° 12

THESE

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

le 02/03/2022

par

SCHWOB Thibault

né le 12/03/1995 à THANN

La couleur en Odontologie : étude comparative in-vivo de la fiabilité intra-opérateur de trois spectrophotomètres

Président : Professeur WALTER Béatrice
Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier
Docteur OFFNER Damien
Docteur HAMPE-KAUTZ Vincent

Table des matières

Introduction	4
Chapitre 1 : la couleur	
I. Les bases fondamentales	6
I.1 Définition de la couleur	6
I.2 Système RGB et JRB	7
I.3 L'œil	10
I.4 Réalité des couleurs et effet coloré	10
II. Les paramètres fondamentaux	13
II.1 La luminosité	14
II.2 La saturation	14
II.3 La tonalité chromatique	15
III. Les paramètres complémentaires	15
III.1 Translucidité et opacité	16
III.2 Fluorescence	16
III.3 Opalescence	17
III.4 L'état de surface	17
III.5 Les caractérisations	18
IV. La transmission des informations au prothésiste	18
IV.1 Le relevé visuel	18
IV.2 Le relevé visuel assisté	20
IV.3 Le relevé instrumental	21
IV.4 Les schémas	22

Chapitre 2 : la Spectrophotométrie en Odontologie

I.	Généralités sur la spectrophotométrie	24
	I.1 Début de la spectrophotométrie	24
	I.2 Différents domaines d'applications	25
	I.3 Coordonnées d'une couleur	26
II.	Trois exemples de spectrophotomètres dentaires	28
	II.1 Les spectrophotomètres Easyshade® IV et V	28
	II.2 Le spectrophotometer Rayplicker®	31
	II.3 Avantages et limites des spectrophotomètres	34

Chapitre 3 : étude comparative *in vivo* de la fiabilité intra-opérateur de trois spectrophotomètres

I.	Introduction	37
II.	Matériels et méthodes	38
	II.1 Critères d'inclusions	38
	II.2 Protocole	38
	II.3 Tests statistiques	39
III.	Résultats	41
	III.1 Exposition	41
	III.2 Discussion	45
	III.3 Conclusion de l'étude	49
	Conclusion	51
	Bibliographie	53

Introduction

Le relevé de la couleur est une étape cruciale dans la réalisation d'un traitement prothétique.

L'étroite collaboration entre dentistes et prothésistes est primordiale pour répondre à la demande esthétique de nos patients, devenue l'un des principaux motifs de consultation^{1,2,3}.

La réhabilitation prothétique doit donc répondre d'une part à des critères fonctionnels mais également à des impératifs esthétiques dans une société où le sourire et l'harmonie du visage sont des éléments importants de la vie relationnelle ainsi que dans la perception que les autres peuvent avoir de nous-même^{4,7}. Pour remplir ces objectifs, le praticien se doit d'être consciencieux vis à vis du choix de la couleur.

Les fabricants apportent régulièrement sur le marché de nouveaux appareils guidant les chirurgiens-dentistes. Les spectrophotomètres font partie de ces innovations et entrent dans une démarche globale de modernisation de la pratique.

Cette thèse a pour objectif d'évaluer statistiquement le degré de précision de trois spectrophotomètres : le Rayplicker® (Borea, Limoges, France), l'Easyshade® V (VitaZahnfabrik, Bad Säckingen, Allemagne) et l'Easyshade® IV.

CHAPITRE 1

La couleur

I. Les bases fondamentales

I.1 Définition de la couleur

Il existe de nombreuses publications qui décrivent la couleur^{5,6,7}.

De façon général, notre représentation du monde extérieur est étroitement liée à l'acuité de nos sens qui nous permettent de percevoir, entre autres, la couleur. Celle-ci conditionne nos plaisirs, nos émotions et nos comportements sociaux.

Elle résulte de notre perception visuelle de la répartition spectrale de la lumière. Le domaine du visible, pour l'homme, est défini par les spectres lumineux de longueurs d'ondes comprises entre 400 et 700 nanomètres (nm).

Lorsque la lumière interagit avec la matière, une partie du spectre est absorbée. En fonction des propriétés de l'objet, la couleur résulte soit de la partie réfléchi soit de la partie transmise.

Absorption : lorsqu'un rayon incident entre en contact avec un objet, une partie de celui-ci est absorbée et transformée en chaleur. Tout rayon absorbé est soustrait de la couleur apparente. Par exemple un objet qui absorbe toutes les couleurs sauf le vert apparait de couleur verte sous une lumière blanche polychromatique.

Réflexion : il existe différents types de réflexions dont vont résulter la couleur mais également l'appréciation de l'état de surface par l'œil. On parle de réflexion spéculaire lorsque le rayon incident est réfléchi par un rayon unique (surface lisse) et de réflexion diffuse dans le cas où le rayon incident est réfléchi par une multitude de rayons (surface mat).

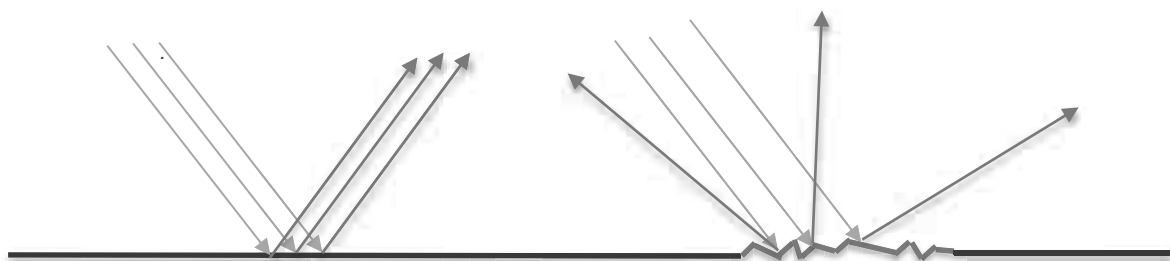


Schéma de la réflexion spéculaire et de la réflexion diffuse. Auteur, 2021

Transmission : les phénomènes de transmission du rayon incident vont caractériser la translucidité de l'objet. Plus la surface de l'objet permet la transmission de la lumière, plus il est translucide. Dans le cas contraire, il est opaque.

Si le rayon incident est transmis sans changement de direction, l'objet apparaît « totalement transparent ».

Mais si le rayon incident change de direction au contact d'une surface translucide, alors l'objet n'est pas visible de façon précise. Ce phénomène est appelé « réfraction du rayon incident ».

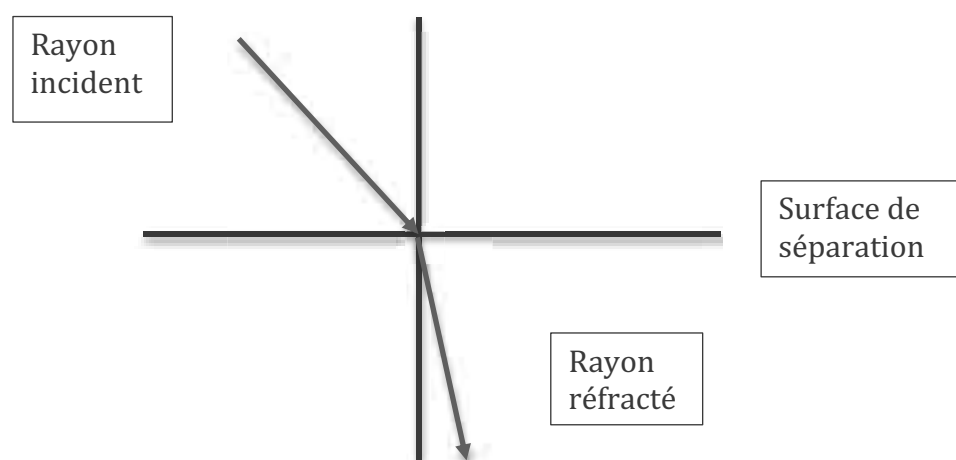


Schéma du phénomène de réfraction d'un rayon incident. Auteur, 2021.

Cette approche physique ne suffit pas à définir la couleur. Elle repose sur une étude pluridisciplinaire mêlant également physiologie et psychologie.

Au-delà de la simple interaction de la lumière avec la matière, la composante anatomique de l'œil ainsi que les phénomènes psychosensoriels propres à chacun peuvent faire varier les perceptions d'un individu à l'autre.

I.2 Système RGB et mode JRB

La synthèse additive

Selon les lois énoncées par Grassmann en 1853, toute sensation colorée peut être reproduite par un mélange additif de trois couleurs primaires convenablement choisies^{8,9}.

Ces trois couleurs fondamentales sont le rouge, le vert et le bleu, avec lesquelles il est possible d'obtenir toutes les autres couleurs par addition. C'est le principe de la

trivariance visuelle ou système RGB (Red Green Blue) découvert par Newton au XVII^{ème} siècle (1676). Il avait décomposé à l'aide d'un prisme la lumière blanche émise par le soleil, prouvant ainsi la nature ondulatoire et polychromatique de la lumière^{5,10}.

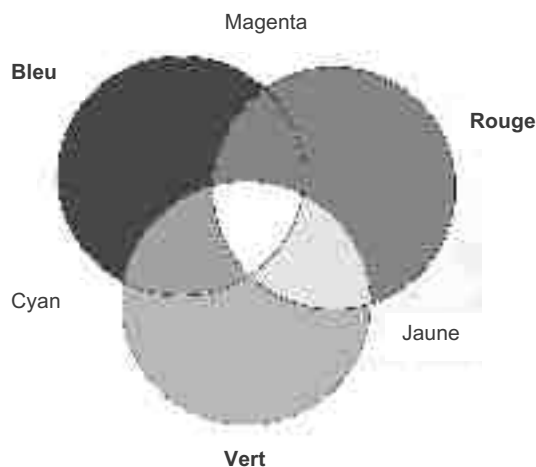


Schéma du mode RGB, principe de la synthèse additive. Auteur, 2021.

Synthèse soustractive

La synthèse soustractive ne prend pas en compte seulement une source lumineuse émise, mais également son interaction avec la matière.

Lorsqu'un rayon lumineux interagit avec un objet, celui-ci, en fonction de sa composition moléculaire absorbe une partie du rayon incident.

La couleur perçue est fonction soit de l'opacité de l'objet (absorption) soit de sa transparence (transmission)⁵.

Exemple :

Un objet opaque comme une pomme verte apparaît vert sous une lumière blanche polychromatique car il absorbe toutes les longueurs d'ondes sauf le vert.

Pour un objet transparent, la couleur perçue correspond à la lumière résiduelle transmise, ainsi un vitrail rouge d'une église apparaît rouge car il filtre toutes les longueurs d'ondes sauf le rouge.

C'est le système soustractif par mélange de pigment ou mode JRB (Jaune-Rouge-Bleu) retrouvé en dentisterie. L'opacité de la dentine s'oppose à la translucidité de l'émail sur une dent prothétique.

En 1960, L'Itten publie « l'art de la couleur »¹¹, ouvrage encore incontournable aujourd'hui qui expose « le cercle chromatique en 12 parties ».

Il se construit autour des trois couleurs primaires soustractives (Jaune, Rouge et Bleu). Les couleurs secondaires sont obtenues par mélange des couleurs primaires :

Jaune + Rouge = **Orangé**

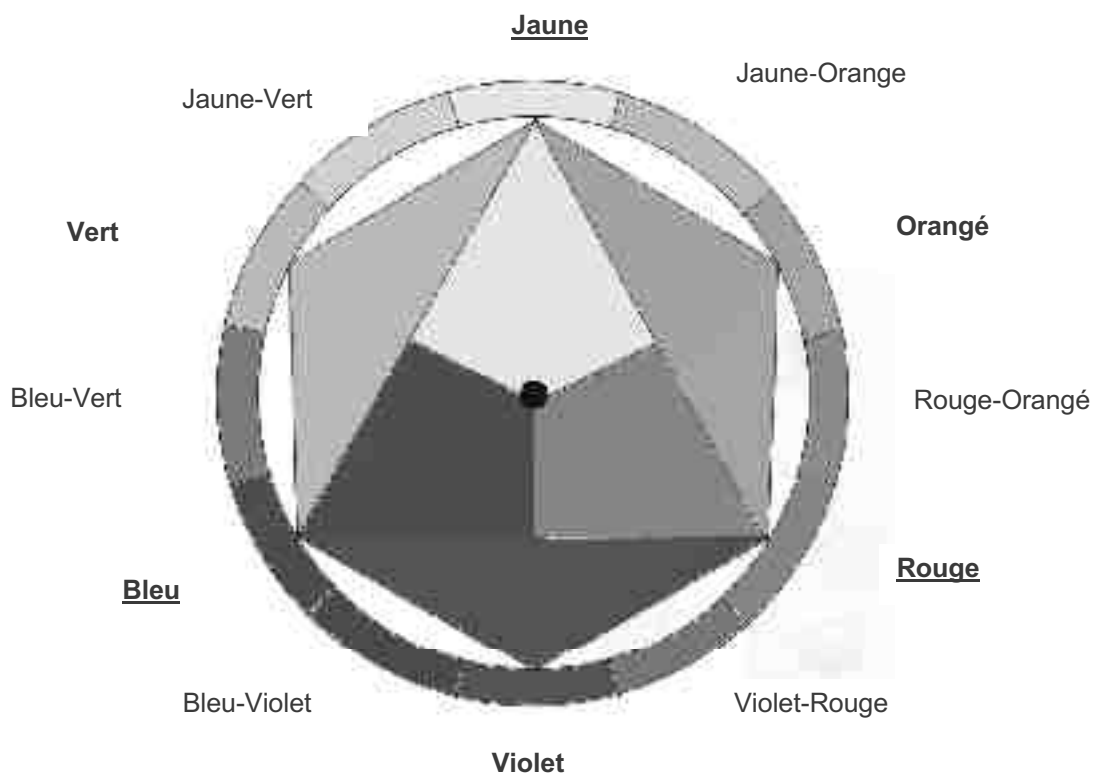
Jaune + Bleu = **Vert**

Rouge + Bleu = **Violet**

Puis les couleurs tertiaires soustractives apparaissent au niveau du cercle périphérique (Jaune orangé, Rouge orangé, Rouge violet, bleu violet, bleu vert et jaune vert), obtenues par mélange des couleurs secondaires avec les couleurs primaires les plus proches.

Ajoutons à cela que les couleurs se faisant face sont dites « complémentaires » car leur mélange donne un gris/noir neutre.

De même que le mélange des 3 couleurs primaires soustractives ou des 3 couleurs secondaires soustractives donne une absence de couleur.



Le cercle chromatique en 12 parties. Auteur, 2021.

I.3 L'œil

Il y a deux types de cellules qui permettent la perception de la couleur, les cellules dites « cônes » et les « bâtonnets ». Ce sont des photorécepteurs spécialisés situés sur la rétine. Ils sont stimulés par les longueurs d'ondes émises dans le domaine du visible.^{8,12}

Les cellules cônes : il en existe trois types, chacun plus ou moins sensible au rouge, au vert et au bleu :

- *Les cellules cônes S* : short, sensibles au bleu
- *Les cellules cônes M* : medium, sensibles au vert
- *Les cellules cônes L* : long, sensibles au rouge

Moins nombreuses et moins sensibles que les cellules bâtonnets, elles sont à l'origine de la vision diurne, c'est grâce à elles que l'être humain est capable de percevoir la couleur à proprement parler.

Les cellules bâtonnets : beaucoup plus nombreuses et sensibles, elles ont le rôle de détecter l'intensité de la lumière et sont utilisées pour la vision nocturne.

Toute couleur se résume donc à une information de chromaticité codée par les cônes et à une information d'intensité relayée par les bâtonnets.⁸

I.4 Réalité des couleurs et effet coloré

Même si une couleur est physiquement définie, la façon dont elle est perçue dépend d'autres facteurs.

Les formes, les surfaces ou encore l'environnement peuvent procurer deux effets colorés pour une même couleur^{5,10}.

Il existe 7 types de contrastes^{5,6,10,13,14} :

1 - Le contraste de la couleur en soi

La juxtaposition des couleurs modifie leurs intensités. Plus l'écart entre elles est important, plus l'effet de brillance l'est aussi. Ainsi, le jaune semble plus terne sur un fond vert que sur un fond violet.



2 - Le contraste clair/obscur

Il repose sur les différences de luminosité et permet en dentisterie de remarquer les dents dépulpées, moins lumineuses que les dents vitales.

3 - Le contraste chaud/froid

Une couleur peut être froide (longueur d'onde courte) ou chaude (longueur d'onde longue). D'un point de vue psychique, les tons froids apaisent alors que les tons chauds représentent plutôt l'excitation.

Lorsque les couleurs sont juxtaposées, les sensations peuvent changer.

Un effet de perspective est également visible, basé sur le principe que « les tons chauds avancent et les tons froids reculent », utilisé dans la peinture impressionniste.

Ce contraste est retrouvé en dentisterie. Sur le teintier VITA 3D Master®, nous pouvons par exemple nous orienter à partir du groupe M de tonalités jaunes/orangées, soit vers des jaunes plus froids nommés L, soit plus chauds nommés R.



Le pourpre est froid par rapport au rouge et chaud par rapport au bleu.

4 - Le contraste des complémentaires

Il est obtenu par deux couleurs parfaitement opposées dans le cercle chromatique. Leur rapprochement avive leurs luminosités, donnant une sensation d'équilibre. Leur

mélange détruit totalement la couleur pour donner un gris neutre. C'est un cas particulier du contraste chaud/froid.

5 - Le contraste simultané.

Il représente l'influence d'une couleur vive sur les couleurs voisines dans le sens de sa complémentarité.

Par exemple, un rouge à lèvres particulièrement vif d'une patiente accentue la blancheur des dents et dévie leurs tonalités chromatiques dans le sens de la couleur complémentaire du rouge.

6 - Le contraste de qualité.

Le contraste de qualité se réfère à la saturation de la couleur en pigment pur. Elle peut être désaturée par le noir (rabattue) ou par le blanc (pastel).

Les couleurs désaturées sont ternes en juxtaposition avec la couleur pure, réchauffées par le noir et refroidies par le blanc.

Cet effet est observable sur une dent au niveau du dégradé des collets ainsi qu'entre les incisives et les canines, souvent plus saturées.



Le bleu au centre (couleur pure) est désaturé par le noir à gauche et par le blanc à droite.

7 - Le contraste de quantité.

Il concerne le rapport de proportionnalité entre deux couleurs juxtaposées.

Une tache de couleur en petite quantité est plus attractive et brillante qu'un grand aplat. Ce phénomène est retrouvé en bouche chez des patients qui portent des bijoux ou des piercings en contraste quantitatif avec les dents. Il se retrouve également au niveau des caractérisations (sillons colorés). Il convient au dentiste de réduire ces contrastes en adoptant un environnement de travail avec un maximum de couleurs neutres.

En conclusion, l'effet coloré est dépendant de trois systèmes⁷ :

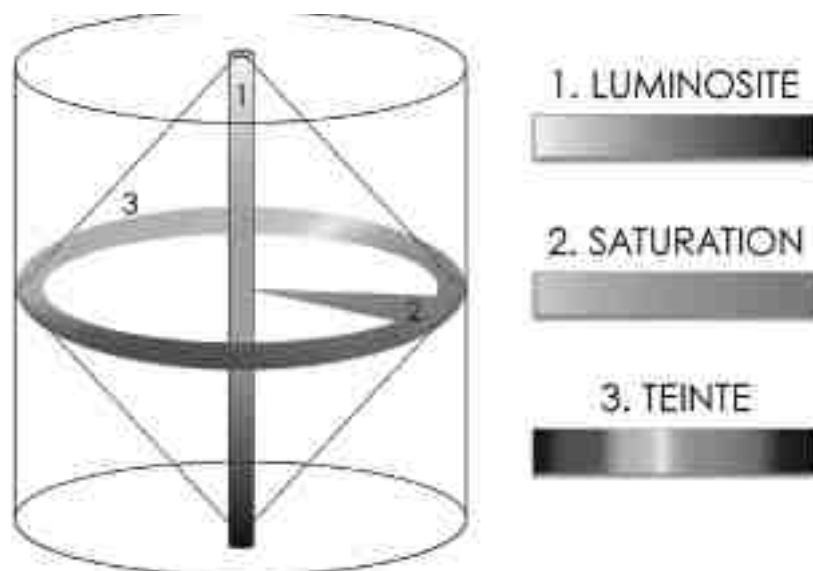
- La distribution spectrale de la source lumineuse.
- L'objet recevant le rayon lumineux.
- La subjectivité de l'œil, qui relayera les informations au cerveau.

II. Les paramètres fondamentaux.

Scientifiques, artistes ou même poètes, nombreux sont ceux qui ont essayé d'organiser la couleur de façon universelle. Au début du XIX^{ème} siècle, JG Von Goethe imagine une classification basée sur un cercle chromatique doté de six couleurs. Le peintre P.O Runge établit par la suite une sphère.

C'est un siècle plus tard, en 1905, que A.H Munsell met au point pour la première fois une organisation de la couleur selon un cylindre en trois dimensions basé sur trois paramètres : La luminosité, la saturation et la teinte^{5,8,10,15,16}

Chaque couleur est retrouvée selon un axe vertical, un axe horizontal et un point de la surface périphérique. C'est le cylindre de Munsell.



II.1 La luminosité

Également nommée valeur, brillance ou encore clarté (Value, brightness, lightness), c'est le paramètre le plus important à prendre en compte en dentisterie. Représentée par l'axe vertical du cylindre, elle correspond au degré de lumière réfléchi par la matière. Un objet qui réfléchit beaucoup la lumière paraît blanc. Il est plus sombre dans le cas contraire.

Anatomiquement, ce sont les cellules bâtonnets qui sont sensibles à la luminosité.



©D'Incau et al, Couleur et choix de la teinte en Odontologie

II.2 La saturation

La saturation (chroma) représente la quantité de pigments purs contenue dans une couleur¹⁷, c'est l'intensité de la couleur.

Elle est représentée par l'axe horizontal.

Une couleur désaturée par excès de luminosité prend un effet pastel (centre du cylindre). Elle prend un effet terne (ou rabattu) en cas de désaturation par manque de luminosité.

C'est le deuxième facteur à prendre en compte lors du relevé de la couleur.



©D'Incau et al, Couleur et choix de la teinte en Odontologie

II.3 La tonalité chromatique

Plus communément appelée « teinte » (hue), c'est la longueur d'onde réfléchiée en majorité par la matière qui est à l'origine de la sensation colorée.

Contrairement aux idées reçues, c'est le paramètre le moins important. C'est pourtant sur cette teinte que se basent les teintiers les plus répandus.



©D'Incau et al, Couleur et choix de la teinte en Odontologie

Le système tridimensionnel de Munsell est recommandé pour les dentistes qui souhaitent acquérir une connaissance pratique de la couleur. Une fois que ces termes deviennent familiers, un dentiste aura les outils nécessaires pour aborder les problèmes de couleurs de façon logique¹⁸.

III. Les paramètres complémentaires

Une dent n'est pas une surface uniforme et homogène. Sa composition est dite « stratifiée ». Elle possède de nombreuses variations d'effets colorés. Pour ces raisons, les trois paramètres fondamentaux ne suffisent pas à obtenir une intégration esthétique acceptable de la restauration prothétique.

Il existe d'autres éléments à prendre en compte qui jouent un rôle dans le comportement optique de la dent.^{5,8,10,15,20}

III.1 La translucidité et l'opacité.

Classiquement, l'opacité de la dentine est responsable de la teinte, alors que la coque amélaire influence la luminosité.

Elles sont définies comme la capacité d'un corps à laisser passer ou non la lumière. Plus celui-ci est translucide, plus il permet le passage de la lumière. Un corps qui n'absorbe aucune lumière apparaît transparent. Il est opaque dans le cas contraire. L'émail, plus translucide que la dentine, est une structure hautement minéralisée, composée à 87% de matière inorganique (cristaux d'hydroxyapatite), 11% d'eau et 2% de matière organique⁵⁶. Il influence peu la couleur de la dent.

Un effet transparent est visible au niveau du bord libre. L'opacité augmente en se rapprochant du collet. Ceci est dû à l'augmentation de l'épaisseur dentinaire et l'affinement de la coque amélaire du bord libre vers la gencive. Cet effet varie avec le temps. Les usures physiologiques amélaire font ressortir davantage la masse dentinaire, ce qui rend la dent de plus en plus opaque au fil des années.

Yamamoto (1985) propose une classification de la translucidité :

- A** : La translucidité est répartie sur toute la face vestibulaire de la dent.
- B** : La translucidité est répartie sur le bord incisif.
- C** : La translucidité est répartie sur le bord incisif et les bords proximaux.



©D'Incau et al. Couleur et choix de la teinte en Odontologie.

III.2 La fluorescence

La fluorescence est la capacité d'un corps à absorber une énergie lumineuse du domaine de l'ultra-violet, pour réémettre une nouvelle longueur d'onde dans le domaine du visible. La dent possède cette propriété en grande partie grâce à la dentine dont la partie organique est plus élevée que l'émail (30% pour la dentine contre environ

2% pour l'émail). De ce fait, sa propriété de fluorescence est en moyenne trois fois supérieure en intensité que celle de l'émail⁵⁵.

III.3 L'opalescence

Ce paramètre tient son nom de la pierre d'opale, dont les propriétés optiques se rapprochent de celles de l'émail dues à la taille très fine des cristaux de dioxyde de silicium semblables aux molécules d'hydroxyapatites.

- En réflexion lumineuse, elle réfléchit les longueurs d'ondes courtes ce qui donne un effet bleuté.
- En transmission lumineuse, elle filtre les longueurs d'ondes courtes ce qui donne plutôt un effet ambré.

Il existe un phénomène de diffusion lumineuse dans l'émail grâce aux cristaux d'hydroxyapatite⁵⁸. Ceci explique les effets bleutés et orangés qu'on observe à la surface de l'émail en particulier au niveau des bords libres⁵⁷.

Vanini propose une classification des effets d'opalescence¹⁹ :

Type 1 : Mamelons à deux sillons (Mamelon like)

Type 2 : Mamelons à trois ou quatre sillons (split mamelon)

Type 3 : En forme de peigne (Comb-like)

Type 4 : En forme de fenêtre (window-like)

Type 5 : infiltrations ou taches surtout chez les personnes âgées. (Stain-like)

©Vanini Lorenzo



Type 1

Type 2

Type 3

Type 4

Type 5

III.4 L'état de surface

La micro-géographie est un élément essentiel dans la perception de la couleur. Elle influence directement le pourcentage de réflexion et de transmission du rayon

incident. Une dent rugueuse aura tendance à réfléchir un rayon lumineux dans un grand nombre de directions (réflexion spéculaire, cf page 10). Une dent lisse aura tendance à réfléchir un rayon unique (réflexion diffuse).

III.5 Les caractérisations

Les taches blanches opaques de déminéralisation, les taches d'hyperfluoroses, les fissures amélaire d'origine à des traumatismes ou encore les sillons colorés au niveau des tables occlusales des molaires et prémolaires.

IV. La transmission des informations au prothésiste

Différents moyens existent afin de transmettre les données colorimétriques au prothésiste.^{8,10,21}

IV.1 Le relevé visuel

Les teintiers classiques

Au début du XX^{ème} siècle, Clark met au point le premier teintier composé de soixante éléments. Aujourd'hui il existe d'autres modèles basés sur la classification de Munsell. La plupart sont réunis par groupes de teintes (VITA Classical®) d'autres sont organisés par groupe de luminosité (VITA Toothguide 3D-Master®).

Leur utilisation consiste à comparer les échantillons présents sur le teintier avec les dents adjacentes à celle que l'on veut remplacer.

Le relevé visuel a l'avantage d'être facile d'utilisation, rapide, transportable et à moindre coût. Cependant la reproductibilité de cette technique reste faible, surtout pour un praticien qui manque d'expérience^{25,26}. C'est une technique subjective, dépendante de la personne qui l'utilise. Les résultats peuvent donc varier d'un praticien à l'autre²⁴ ou pour un même praticien en fonction de son humeur, de son âge, de sa fatigue, de son sexe^{22,23} et de l'environnement dans lequel il se trouve.

Le patient peut également modifier la perception du praticien par des jeux de contrastes causés par un rouge à lèvres ou une peau mate²⁷. Pour éviter cela, l'utilisation d'un contrasteur est recommandée.

Différentes règles sont à respecter pour diminuer les risques d'erreurs :

- Protocole en trois temps, dans l'ordre : luminosité, saturation et teinte.
- Enregistrement en début de rendez-vous pour éviter la déshydratation de la dent et la fatigue oculaire²⁸.
- Prendre une décision rapidement pour éviter l'adaptation chromatique.
- Placer l'échantillon bord à bord, sur le même plan.



Recherche du facteur de luminosité avec le Vita 3D Master®. Courtoisie du Dr Hampe-Kautz

Les teintiers spécifiques

Les teintiers de moignon

Ils sont très utiles lorsque la dent à reconstituer est très dyschromiée. Une coloration trop sombre de la dentine peut fausser le résultat esthétique final.

Afin d'éviter cela, ces teintiers vont servir à aiguiller le travail du céramiste (choix de l'armature, stratification) pour masquer cette particularité.

Les teintiers de gencive

Lorsque la perte osseuse ne peut pas être régénérée, une fausse gencive est ajoutée à la dent prothétique afin de combler le manque gingival induit. Ces teintiers se sont surtout développés avec l'apparition de l'implantologie. Ils permettent de mettre en place une fausse gencive aux nuances de couleurs qui se rapprochent le plus possible de la gencive existante.

Les teintiers céramiques de laboratoire

La plupart des fabricants de céramique ont développé leur propre teintier valable uniquement pour leur céramique. Ils sont le plus souvent utilisés lors des relevés de couleur chez le prothésiste.

Il existe également des teintiers permettant d'ajuster la teinte des armatures à celle du moignon. La teinte blanche des armatures réalisée souvent par défaut donne un effet trop désaturé, trop lumineux. Il y a dans cette famille¹⁰ :

- Les teintiers d'opaque
- Les teintiers de margin (proche de la gencive)
- Les teintiers dentine
- Les teintiers d'effets (opalescence)
- Les teintiers intensifs
- Les teintiers incisifs
- Les teintiers de maquillage (stade du biscuit)

Les teintiers de prothèse amovibles

Cette catégorie comprend les teintiers dentaires et les teintiers pour base résine.

IV.2 Le relevé visuel assisté

Certains fabricants ont élaboré des outils facilitant la prise de décision du praticien. Ils améliorent les conditions dans lesquelles la couleur est enregistrée sans exclure la subjectivité de l'œil du dentiste.

Les lampes calibrées

Elles fournissent une lumière calibrée et continue. La firme SmileLight® a élaboré récemment un système de lampe avec une source d'éclairage et un dispositif de grossissement. Un filtre polarisant peut également y être adjoint.

Il est possible de coupler cette lampe à un iPhone® et de prendre une photo via l'application « SmileCapture ». Le cliché peut être envoyé directement au prothésiste par internet. Elles sont d'une aide intéressante surtout lorsque l'éclairage ambiant n'est

pas adapté mais l'analyse reste néanmoins subjective et oblige la plupart du temps un travail à quatre mains.

L'appareil photographique

Il est devenu un élément incontournable dans un cabinet dentaire depuis l'avènement du numérique. Différents rôles lui sont attribués dont la transmission des données au prothésiste en photographiant en situation la barrette du teintier. Il permet d'observer et de garder en mémoire les situations cliniques des patients et peut mettre en évidence par une analyse détaillée certains éléments qui peuvent échapper au praticien²⁰. Un matériel adapté, correctement paramétré est nécessaire. Des outils supplémentaires comme le filtre polarisant peuvent être ajoutés.

La bonne utilisation d'un appareil photo n'est pas aussi simple qu'elle n'y paraît. Elle demande une certaine exigence permanente dans les réglages ainsi qu'une connaissance approfondie des logiciels d'exploitation de l'image pour permettre une totale reproduction de la dent.

IV.3 Le relevé instrumental

Pour lutter contre la subjectivité de l'œil, des instruments ont été commercialisés.

Les caméras intra-orales

Lors de l'enregistrement de l'image, la caméra optique est capable de déterminer la couleur des dents. Le résultat est disponible par le prothésiste directement via le logiciel. Elles sont simples d'utilisation et permettent une communication rapide avec le laboratoire.

Cependant, la précision de la couleur enregistrée avec une camera intra-orale possède encore une large marge de progression par rapport à d'autres systèmes⁶⁰ et leur coût est également important.

Les colorimètres

Ils fonctionnent par l'analyse du rayon lumineux réfléchi à travers trois filtres (rouge vert et bleu) qui permettent de déterminer les coordonnées trichromatiques de la couleur.

Les spectrophotomètres

Ils effectuent une mesure spectrale du rayon réfléchi sous leur propre rayon lumineux, une lumière polychromatique visible. Le résultat n'est donc pas influencé par l'éclairage ambiant²⁹.

IV.4 Les schémas

Le relevé de la couleur au cabinet doit être accompagné d'une illustration figurant sur la fiche laboratoire. Elle peut être simple ou plus élaborée selon le cas et les compétences du praticien et prothésiste.

Un schéma simplifié décrit au minimum trois zones :

1/3 cervical, souvent plus saturé

1/3 médian

1/3 incisal, plus translucide.



Photo et Schéma simple d'une dent 11, courtoisie du Dr Hampe-Kautz

Un schéma plus élaboré est constitué de beaucoup plus de détails, de caractérisations. Il est le plus souvent l'apanage des prothésistes céramistes qui requièrent un maximum d'informations pour la réalisation d'une stratification la plus naturelle possible.

CHAPITRE 2

La Spectrophotométrie en Odontologie

Pour répondre aux problématiques rencontrées face aux techniques conventionnelles, il existe aujourd'hui des méthodes électroniques comme les colorimètres, les cameras intra-orales ou encore les spectrophotomètres.

En termes de précision, les spectrophotomètres présentent des résultats égaux ou supérieurs aux méthodes visuelles.^{30,31}

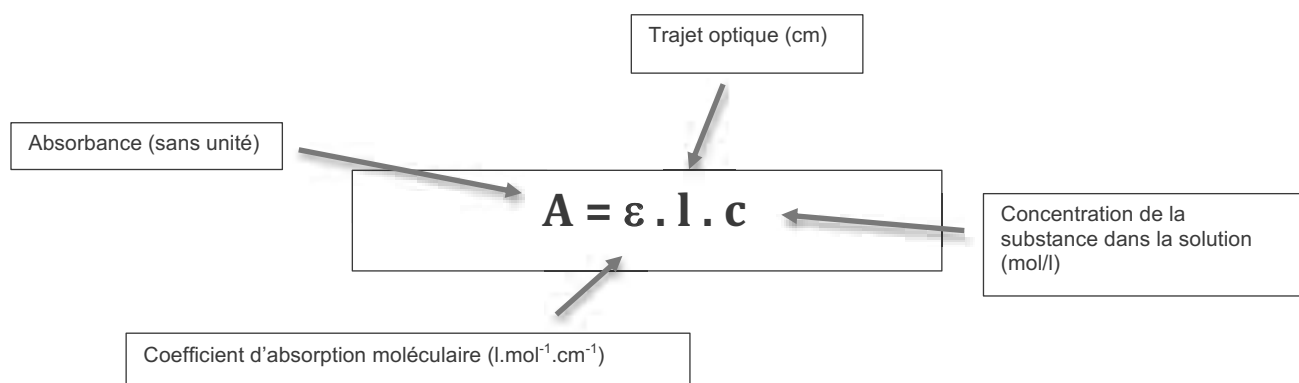
Même si les colorimètres sont également fiables^{32,33}, les spectrophotomètres sont plus répandus et plus appréciés notamment des jeunes praticiens^{34,35}.

En ce qui concerne les cameras intra-orales, une étude récente a montré que leur fiabilité pour l'enregistrement de la couleur était inférieure⁶⁰.

I. Généralités sur la spectrophotométrie

I.1 Début de la spectrophotométrie

La spectrophotométrie est avant tout utilisée en chimie afin de déterminer l'absorbance d'une substance chimique en solution. C'est à dire sa capacité à absorber la lumière qui l'a traverse. Elle permet également de calculer la concentration de la solution grâce à la loi de Beer-Lambert. Cette loi met en évidence que la concentration est proportionnelle à l'absorbance.



Si Isaac Newton est connu comme le précurseur de la Spectroscopie, ce sont les Anglais J. Hershel et W. Fox Talbot qui, au XIX^{ème} siècle, suggèrent pour la première fois l'utilisation de cette science pour l'analyse chimique des substances. En effet, si la spectroscopie est l'étude quantitative des interactions entre la lumière et la matière, la spectrophotométrie est quant à elle l'analyse de cette interaction entre un rayon et la substance qui l'absorbe³⁶.

Plus tard, la spectrophotométrie aura d'autres domaines d'applications, nous prendrons ici trois exemples : L'industrie agro-alimentaire, l'industrie automobile et la dentisterie.

I.2 Différents domaines d'applications

L'industrie agro-alimentaire

Le consommateur choisit un aliment d'abord avec ses yeux. La couleur a donc une place prépondérante dans sa perception de la qualité du produit. Les industriels utilisent des colorimètres et des spectrophotomètres pour contrôler l'aspect esthétique de l'aliment.

Aujourd'hui, il existe des technologies qui vont encore plus loin. Les caméras hyperspectrales sont capables de déterminer le degré de maturation de l'aliment en fonction de sa composition moléculaire, pour un meilleur contrôle sur la qualité de l'aliment et assurer la sécurité du consommateur^{37,39,41}.

L'industrie automobile

La multiplication des couleurs ainsi que de leurs variantes d'effets est une problématique pour les peintres et les fabricants de peinture.

Les spectrophotomètres s'inscrivent dans une démarche de digitalisation. Ils sont capables de déterminer la couleur d'une carrosserie, mais ils peuvent surtout donner la formulation exacte du mélange pour l'obtenir, ce qui représente un gain considérable de temps, de confort et de précision pour les ateliers de peintures.

Dans ce cas, l'objectif est de produire une couleur normalisée en grande quantité.^{38,40}

La dentisterie

Les premières utilisations en dentisterie datent des années 70⁴².

Plusieurs études ont montré depuis qu'ils sont plus fiables que l'œil humain^{30,45}.

En 1998, Horn et al concluent que le spectrophotomètre est plus prédictible que l'œil humain dans l'évaluation de la couleur in vitro⁴³.

En 2002, Paul et al arrivent aux mêmes conclusions dans une étude où le spectrophotomètre détermine une correspondance de teinte de 83,3% contre 26,6% pour les observateurs⁴⁴.

Ils permettent de mesurer la couleur d'une dent naturelle :

- Dans le cadre d'une restauration directe ou d'une reconstruction prothétique.
- Dans le cadre d'un traitement par éclaircissement dentaire afin de suivre son évolution.
- Ils peuvent également être utilisés par le prothésiste pour un meilleur contrôle de la stratification.

L'échange de données entre praticien et prothésiste devient rapide et précis, le but étant de produire une pièce « sur-mesure » pour un patient seul. Ils permettent de mesurer la couleur indépendamment de l'environnement afin d'obtenir le résultat le moins biaisé et subjectif possible.

I.3 Coordonnées d'une couleur

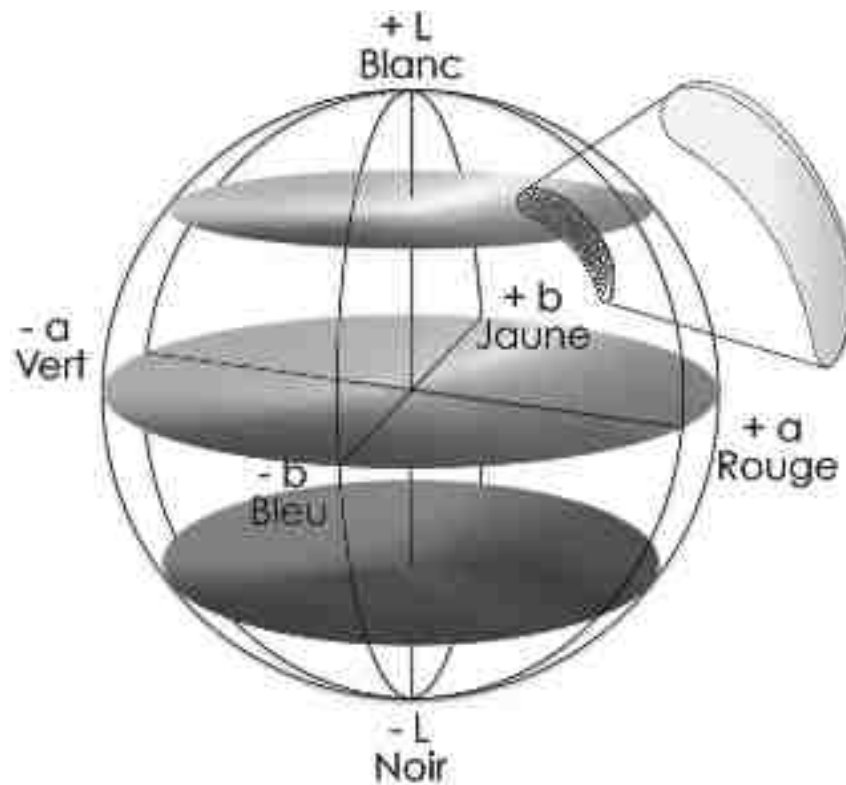
Le CIE (commission internationale de l'éclairage) est une organisation regroupant des scientifiques et ingénieurs du monde entier. Ils travaillent et traitent de l'éclairage et de la mesure des couleurs.

En 1931, il publie ses premières recommandations en ce qui concerne la colorimétrie et la mesure des couleurs. De nombreuses autres suivront et c'est en 1976 qu'il propose un modèle tridimensionnel où chaque couleur est représentée selon trois coordonnées^{5,8,10,46,47} :

L* : pour la luminosité, du blanc parfait (L=100) au noir parfait (L=0)

a* : position sur un axe Vert-Rouge

b* : position sur une axe Bleu-Jaune



©D'Incau et al. *Choix de la couleur en Odontologie. Modèle tridimensionnel du CIE*

Il existe également une équivalence en coordonnées L^* C^* et h^* correspondant respectivement à la luminosité, la saturation et la teinte. Les spectrophotomètres expriment leurs résultats en données Lab et/ou LCh.

L'espace chromatique des dents naturelles est illustré par la « banane chromatique ». Large dans le sens vertical, elle permet de constater que les dents varient surtout en fonction de leur luminosité. La saturation (sens transversal) et la teinte (sens horizontal) varient peu⁸.

II. Trois exemples de spectrophotomètres

II.1 Les spectrophotomètres Easyshade® IV et V

La première version est commercialisée en 2004. Il permet une mesure en trois points de la dent et donne une référence par rapport aux teintiers VITA Classical® et VITA3D Master® ainsi que les coordonnées CIE/LCh.



Spectrophotomètre Easyshade® V

Principe de fonctionnement

Le spectrophotomètre émet via une LED une lumière blanche calibrée polychromatique de haute intensité imitant la lumière du jour en zone tempérée. C'est ce flash lumineux qui permet à la mesure de ne pas être influencée par la lumière ambiante^{6,29,48-50}. Le rayon est émis par deux anneaux. L'anneau externe émet sur 2mm jusqu'à la dentine, alors que l'anneau interne se contente d'émettre sur le premier millimètre amélaire.

Une partie du rayon est transmise ou absorbée. La partie réfléchi sera captée par une fibre réceptrice située au centre des deux anneaux émetteurs.

En fonction du rayon réfléchi en surface et en profondeur, le système est capable de mesurer les paramètres de la couleur de la dent.

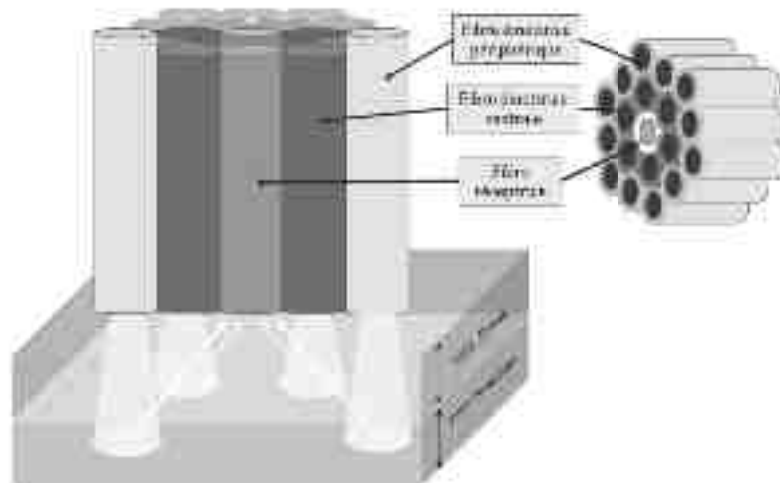


Schéma de l'extrémité de la sonde du spectrophotomètre au contact de la dent.⁶

L'appareil possède un petit écran d'interface permettant de choisir différents modes en fonction de l'objectif du praticien :

- Un mode à mesure unique
- Un mode permet d'obtenir la teinte moyenne de la dent. Le praticien doit pour cela effectuer plusieurs mesures (30 maximum) en plusieurs points de la dent.
- Un mode permet également une mesure en trois points (cervicale, centrale, incisale).
- Enfin, il existe un mode réservé aux restaurations qui permet de les comparer par rapport aux standards VITA®.



Interface de présentation des modes

Protocole d'utilisation du spectrophotomètre

- Prendre l'instrument du dock station d'allumage
- Étalonnage du système (automatique ou manuel en fonction du modèle)
- Choisir le programme
- Positionner l'embout en application totale contre la surface à enregistrer.
- Activer l'appareil et le maintenir jusqu'à la fin de l'enregistrement (deux brefs signaux sonores consécutifs).
- Répéter l'opération au niveau des autres zones à enregistrer.

Le patient doit être en position assise, la tête en appui.

Afin d'éviter l'accumulation de buée sur l'appareil, il lui est demandé de retenir son souffle pendant les quelques secondes d'enregistrement.

Des informations plus précises comme les données LCh sont accessibles directement via le petit écran.



Résultats Vita System 3D Master®.



Résultats Vita Classical® A1-D4 et données LCH

L'affichage de la couleur VITAblocs indique le matériau CFAO qu'il serait souhaitable d'utiliser pour une reproduction fidèle de la dent mesurée.



Interface de la couleur Vitablocs

Enfin, le système permet d'enregistrer l'indice de blanchiment d'après le Vita Bleachguide 3D Master®, mesure intéressante dans le cadre du suivi d'un traitement

par éclaircissement. La différence entre les indices relevés avant et après traitement permet de situer son évolution selon les recommandations de l'ADA (American Dental Association).

II.2 Le spectrophotomètre Rayplicker®

Le Rayplicker® est un appareil conçu par la société française Boréa. Basée à Limoges, cette start-up a vu le jour grâce à la collaboration entre Frederik Rougier, chirurgien-dentiste de profession, et Julien Guillot, Docteur en optique. La société est créée en 2013 et la commercialisation de ce nouveau spectrophotomètre lancée en 2017⁵².



Spectrophotomètre Rayplicker®

Principe de fonctionnement

Ce système est construit autour d'un capteur bidimensionnel et d'un appareil permettant l'acquisition de la couleur en tout point de la dent en une prise unique⁵¹.

L'embout stérilisable joue deux rôles importants :

- Un rôle ergonomique : sa taille permet un appui stable sur la dent pour une plus grande qualité d'acquisition.
- Un rôle de référence chromatique : sa couleur grise permet une auto-calibration du spectrophotomètre.

L'écran LCD permet à l'utilisateur d'observer en temps réel la zone qu'il est en train d'analyser pour une plus grande précision du positionnement de l'embout. Le praticien peut choisir directement via cet écran la poudre de céramique qu'il veut utiliser parmi les plus grandes marques comme Vita®, Ivoclar® ou encore Kuraray®.

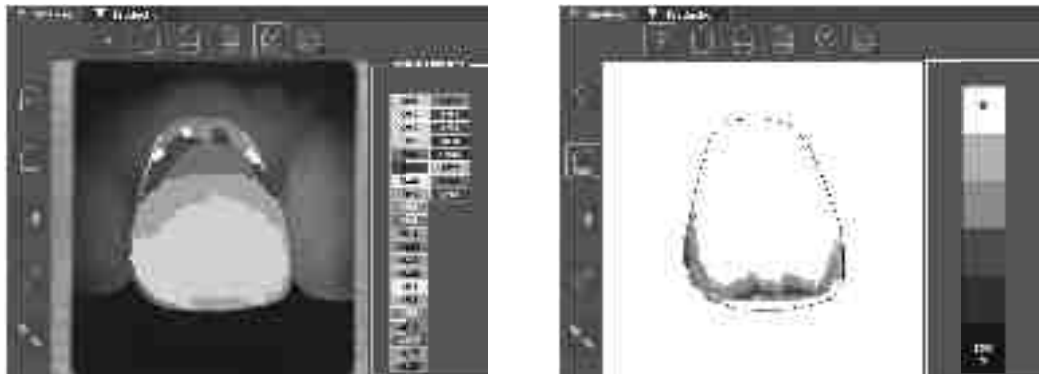


Capture d'écran du logiciel Rayplicker® d'une dent étudiée.

Une fois le cliché réalisé et le type de teintier déterminé, le système reconnaît automatiquement les contours de la dent, modifiables manuellement en cas d'imprécision. Le résultat est ensuite observable de différentes façons, soit sous forme de teinte générale, soit en plusieurs zones (cf photos ci-dessous).



Enfin, des cartographies plus nuancées de la dent et de la translucidité sont également accessibles.



Les données enregistrées peuvent être stockées dans un logiciel consultable par le laboratoire où le praticien classe directement sous forme de « dossier patient » les relevés. S'il le juge nécessaire, il peut effectuer des modifications (ajuster la translucidité, redéfinir les contours, etc ...) et écrire en commentaire toutes ses doléances concernant la restauration souhaitée. Il peut également ajouter des photos.

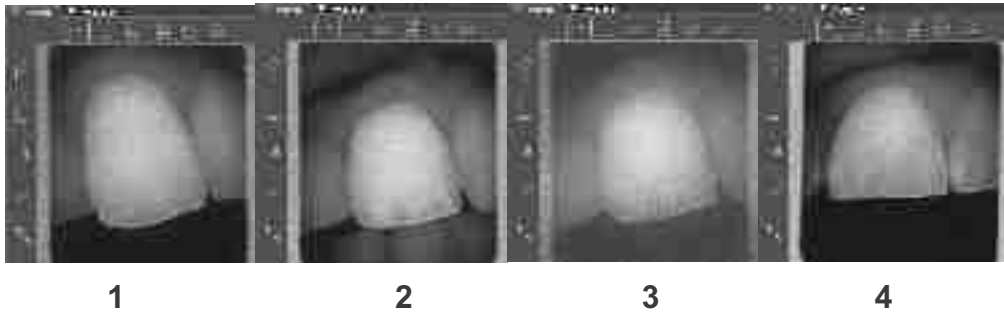
Ainsi, le bon de commande est entièrement informatisé.

Protocole d'utilisation du spectrophotomètre

- Prendre l'instrument du dock station d'allumage
- Étalonnage du système
- Fixer l'embout de l'appareil
- Choisir le programme
- Positionner l'appareil au niveau de la dent à enregistrer. L'image apparait sur l'écran pour aider au bon positionnement.
- Activer l'appareil et le maintenir jusqu'à la fin de l'enregistrement.

Le patient doit être en position assise, la tête en appui.

Il lui est demandé de retenir son souffle pendant les quelques secondes d'enregistrement pour empêcher la condensation. D'autres erreurs sont également à éviter⁶⁵ :



- Une mauvaise inclinaison : Photo 1, 2 et 3
- Dents inferieures visibles : Photo 3
- Condensation : Photo 3
- Un mauvais centrage : Photo 4

II.3 Avantages et limites des spectrophotomètres.

Avantages

Mesures objectives : les résultats sont obtenus indépendamment de l'environnement, de l'œil ou encore de l'éclairage. Ils sont plus précis que le révéle visuel, surtout pour un praticien inexpérimenté⁴³. Ils sont également d'une grande aide en cas de déficiences visuelles (dyschromatopsies¹⁰).

Communication avec le laboratoire : le système Rayplicker® est doté d'un logiciel de stockage accessible par le prothésiste. Cela engendre un travail plus précis, moins d'erreurs, moins de retours au laboratoire et donc un gain de temps pour le praticien ainsi qu'un confort supplémentaire pour le patient.

Les éclaircissements : le spectrophotomètre est très utile pour observer de façon simple et rapide l'amélioration de la couleur durant la procédure ainsi que sa conservation durant la phase de post-traitement.

Vision moderne du cabinet : montrer aux patients la recherche permanente du praticien d'améliorer sa pratique renforce sa confiance.

Limites

Coût : le prix de l'appareil est la principale raison d'un usage encore peu répandu.

L'accès au secteur postérieur parfois difficile : même si les spectrophotomètres sont de plus en plus pratiques et ergonomiques, l'accès au secteur postérieur reste pour certains patients, délicat.

Gène pour le patient : l'embout de l'Easysshade® peut légèrement blesser le patient lors de l'enregistrement de la zone cervicale de la dent.

Cartographie en 2D : la cartographie en 2D du spectrophotomètre ne prend pas en compte les états de surfaces, données importantes pour le prothésiste dans la confection de la restauration⁵³.

Condensation : la condensation peut provoquer des erreurs de mesures⁵⁴.

Lors de l'acquisition de la couleur en dentisterie, les spectrophotomètres apportent une vraie plus-value. Ils ne viennent cependant s'inscrire qu'en complément pour le praticien qui ne doit pas en être dépendant. Il s'agit d'un outil supplémentaire et complémentaire aux techniques conventionnelles.⁵⁹

CHAPITRE 3

Etude comparative *in vivo* de la fiabilité intra-opérateur de trois spectrophotomètres.

I. Introduction

L'étude de la répétabilité et de la reproductibilité, couramment appelée « étude R&R », est une méthode statistique utilisée dans le contrôle de processus pour mesurer la précision d'un appareil de mesure dans le but de contrôler son efficacité^{62,63,64}.

Comme le nom l'indique, la valeur R&R comporte deux composants :

- **La répétabilité** liée à la capacité de l'appareil proprement dit à produire des résultats homogènes lors d'essais répétitifs selon la même méthode.
- **La reproductibilité** ou capacité de l'appareil à fournir des résultats répétés, quel que soit l'opérateur réalisant l'essai (variation entre les opérateurs).

Dans cette étude, les résultats seront considérés comme répétables si les mesures prises par le même évaluateur dans les mêmes conditions montrent une variation négligeable.

Cliniquement, ce travail cherche à déterminer si l'utilisation d'un spectrophotomètre au cabinet peut être assez fiable pour un enregistrement unique lors de la prise de la couleur, ou s'il est nécessaire de toujours procéder à des enregistrements multiples.

Le coefficient de la corrélation intra-classe (ICC) est la mesure de choix pour discuter de la fiabilité intra-évaluateur.⁶¹ Le coefficient kappa de Fleiss sera ensuite calculé afin de discuter des similitudes retrouvées après la conversion des données en valeurs de teintier.

II. Matériels et méthodes

II.1 Critères d'inclusions

Les relevés colorimétriques sont effectués au niveau de l'incisive centrale droite (dent n°11) de 30 sujets (n=30) âgés de 19 à 34 ans.

Les sujets doivent présenter l'ensemble des dents antérieures maxillaires et mandibulaires, une hygiène bucco-dentaire satisfaisante ainsi qu'aucune parodontopathie.

La dent mesurée doit être saine, sans restaurations ni traitement orthodontique.

II.2 Protocole

Un seul opérateur réalise 5 mesures de la dent d'un sujet en suivant les protocoles d'utilisations des fabricants détaillés précédemment, avec chacun des trois appareils (15 mesures par patient) :

- Le Rayplicker®
- L'Easyshade® IV
- L'Easyshade® V

Les résultats sont enregistrés sur chaque fiche patient créée par l'opérateur sur les logiciels correspondants.

Les données L^* , C^* et h^* ainsi que les références du teintier 3D Master® et du VITA Classical® mesurées par les spectrophotomètres sont ensuite classées et ordonnées à l'aide du logiciel Excel (Microsoft, Redmond, USA).

Le Rayplicker®, techniquement plus exigeant, demande une vérification sur l'écran avant l'enregistrement. Le praticien doit s'assurer que le cliché est en adéquation avec les recommandations du fabricant. Si ce n'est pas le cas, la mesure doit être prise à nouveau.

Le logiciel SPSS Statistiques (IBM, Armonk, USA) est utilisé pour analyser les données et effectuer les tests statistiques nécessaires à cette étude.

II.3 Tests statistiques

Le coefficient de corrélation intra classe (ICC)

Définition

L'ICC est une méthode statistique descriptive utilisée lorsque les mesures sont quantitatives et effectuées sur des unités organisées en groupe. L'objectif est de décrire les similitudes entre les unités d'un même groupe⁶⁶.

A différencier de la corrélation inter classe, ou corrélation de Pearson, qui cherche une relation entre des groupes de données différentes (exemple : poids/taille).

L'ICC est calculé à l'aide du logiciel SPSS.

Après analyse, nous obtenons une valeur d'ICC pour les coordonnées L*, C* et h* de chaque Spectrophotomètre.

Interprétation :

Cichetti établit une première classification en 1994 pour interpréter les résultats mais nous utilisons dans ce travail une interprétation plus récente (2006) de Koo et Li^{67,68} :

Valeur de l'ICC	Niveau de concordance
< 0,5	Médiocre
0,5 – 0,75	Modéré
0,75 – 0,90	Bon
>0,90	Excellent

Un ICC de 1 représente une fiabilité absolue.

Intervalle de confiance :

L'intervalle de confiance nous permet en statistique de calculer la marge d'erreur (étendue) entre les données d'une étude (échantillon) et la population totale afin d'étendre les résultats à grande échelle.

Nous calculons un intervalle de confiance pour chaque coefficient de corrélation intra-classe obtenu, afin d'observer la variation des résultats sur la population générale.

Un intervalle de confiance à 95% signifie que la valeur vraie de l'ICC a 95% de chance de se situer dans l'étendue calculée.

On parle de limite positive pour la valeur maximale de l'étendue et de limite négative pour la valeur minimale.

Le coefficient kappa de Fleiss (Fk)

Définition

Le coefficient Kappa de Fleiss est une mesure statistique évaluant la concordance qualitative. L'objectif est d'évaluer les similitudes au sein d'une catégorie pour un certain nombre d'observateur.

Par exemple, lorsque le chef d'un service hospitalier veut s'assurer que les médecins soient cohérents entre eux, il leur demande de poser un diagnostic sur un même patient. Le coefficient de Fleiss peut déterminer le degré de concordance entre les différentes prises en charge.

Dans notre étude, on utilise ce coefficient afin de déterminer le degré de précision des spectrophotomètres sur les valeurs des teintiers 3D Master® et VITA Classical® pour conclure sur une éventuelle différence entre les deux modèles. Pour un sujet, les différents évaluateurs sont remplacés par les différents enregistrements (5 prises).

Plusieurs règles doivent être respectées pour que le test soit valide⁶⁸ :

- Les variables étudiées doivent être catégorielle (valeurs de teintier)
- Les variables doivent s'exclurent mutuellement
- Les variables doivent être identiques à tous les évaluateurs
- Les évaluateurs doivent être plusieurs (5 mesures)
- Les évaluateurs sont indépendants (la première mesure n'affecte pas la deuxième etc ...)
- Les cibles évaluées sont sélectionnées au hasard.

Le logiciel SPSS est utilisé, et les intervalles de confiance également calculés.

Interprétation :

La classification suivante est suggérée pour évaluer la qualité de l'accord d'après Altman (1999) adaptée de Landis et Koch (1977)⁶⁹ :

Valeur de k	Niveau d'accord
< 0,20	Pauvre
0,21 – 0,40	Equitable
0,41 – 0,60	Modéré
0,61 – 0,80	Bon
0,81 – 1,00	Très bon

III. Résultats

III.1 Exposition

Pour le coefficient intra-classe :

Les résultats des analyses de l'ICC pour les mesures de L*, C* et h* de chaque appareil sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

La première ligne correspond à la valeur calculée après analyse des cinq mesures des 30 sujets. La deuxième ligne correspond à l'étendue des valeurs données dans l'intervalle de confiance à 95%.

Résultats des ICC après analyse des valeurs données par le spectrophotomètre Easyshade® V

	L*	C*	h*
ICC	0,950	0,986	0,930
I_c (95%)	[0,917-0,973]	[0,976-0,992]	[0,885-0,962]

Résultats des ICC après analyse des valeurs données par le spectrophotomètre Easyshade® IV

	L*	C*	h*
ICC	0,717	0,962	0,543
I_c (95%)	[0,584-0,832]	[0,937-0,980]	[0,381-0,708]

Résultats des ICC après analyse des valeurs données par le spectrophotomètre Rayplicker®

	L*	C*	h*
ICC	0,983	0,987	0,912
I_c (95%)	[0,972-0,991]	[0,978-0,993]	[0,868-0,956]

Pour les valeurs des coordonnées L :*

Le Rayplicker® présente un ICC de 0,983 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,972-0,991].

L'Easyshade® V présente un ICC de 0,950 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,917-0,973].

L'Easyshade® IV présente un ICC de 0,717 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,584-0,832].

Pour les valeurs des coordonnées C :*

Le Rayplicker® présente un ICC de 0,987 pour un intervalle de confiance à 95% égal à [0,978-0,993].

L'Easyshade®V présente un ICC de 0,986 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,976-0,992].

L'Easyshade®IV présente un ICC de 0,962 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,937-0,980].

Pour les valeurs des coordonnées h :*

L'Easyshade® V présente un ICC de 0,930 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,885-0,962].

Le Rayplicker® présente un ICC de 0,912 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,868-0,956].

Enfin, l'Easyshade® IV présente un ICC de 0,543 dont l'intervalle de confiance à 95% est [0,381-0,708].

Pour le coefficient kappa de Fleiss :

Les résultats des analyses du coefficient kappa de Fleiss pour les teintiers 3D Master® et VITA Classical® de chaque appareil sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

La première ligne correspond à la valeur calculée après analyse des cinq mesures des 30 sujets. La deuxième ligne correspond à l'étendue des valeurs données dans l'intervalle de confiance à 95%.

Résultats des coefficients Fk après analyse des données avec le teintier VITA Classical® pour les trois appareils

	Rayplicker®	Easyshade®V	Easyshade®IV
Fk	0,791	0,780	0,955
Ic (95%)	[0,718 – 0,865]	[0,728 – 0,832]	[0,869 - 1]

Résultats des coefficients Fk après analyse des données avec le teintier 3D Master® pour les trois appareils

	Rayplicker®	Easyshade®V	Easyshade®IV
Fk	0,578	0,631	0,615
Ic (95%)	[0,496 – 0,660]	[0,575 – 0,687]	[0,548 – 0,682]

Le Rayplicker® obtient un Coefficient de de 0,791 [0,718-0,865] avec le VITA Classical® et 0,578 [0,496-0,660] avec le teintier 3D Master®.

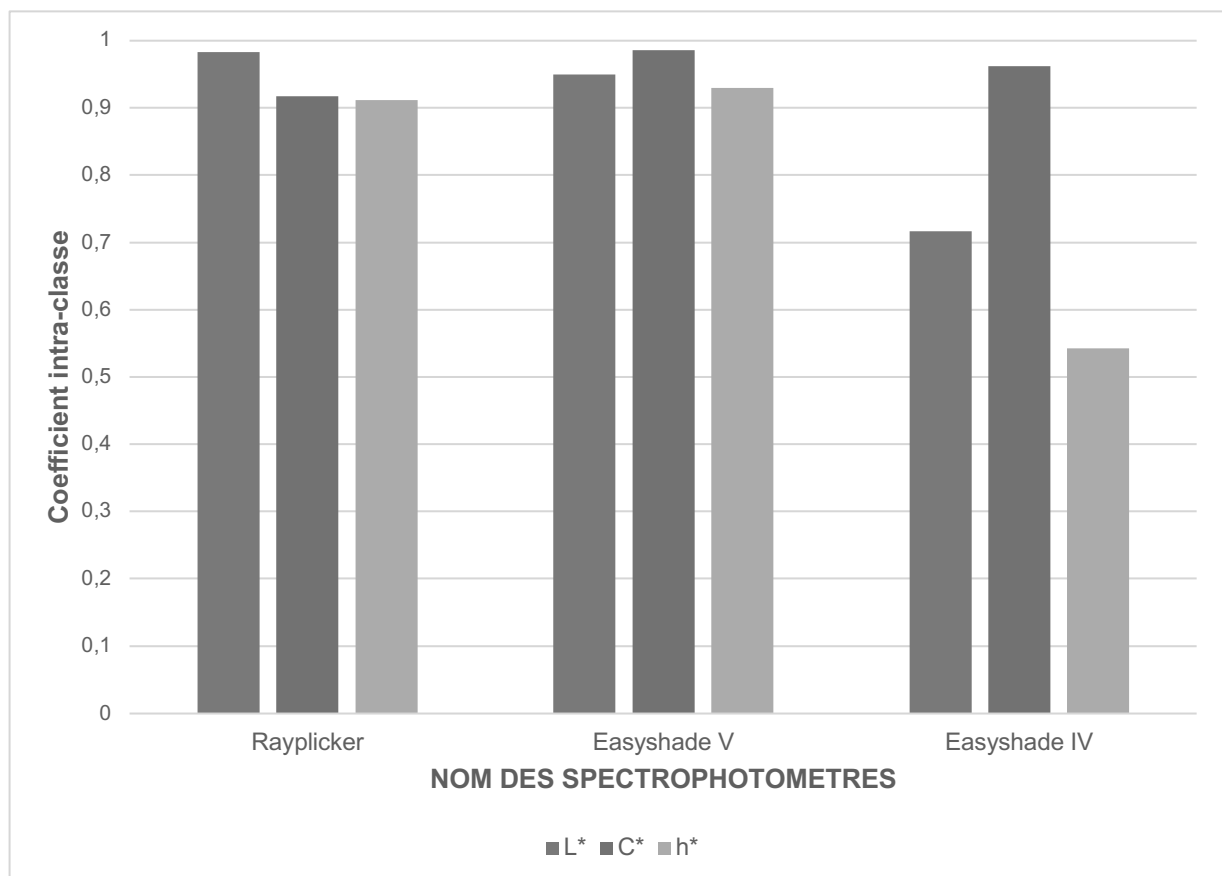
L'Easyshade® V obtient un Coefficient de 0,780 [0,728-0,832] avec le VITA Classical® et 0,631 [0,575-0,687] avec le teintier 3D Master®

L'Easyshade® IV obtient un Coefficient de 0,955 [0,869-1] avec le VITA Classical® et 0,615 [0,548-0,682].

III.2 Discussion

Pour une meilleure vision d'ensemble, des histogrammes représentant les résultats des différents coefficients sont présentés dans cette partie.

Histogramme sur les valeurs du coefficient intra-classe de chacun des spectrophotomètres pour les coordonnées L^* C^* et h^*



Pour L^ :*

En ce qui concerne les valeurs de L^* , le Rayplicker® et l'Easyshade® V présentent des résultats plus élevés que l'Easyshade® IV. D'après Koo et Li, ce dernier rentrerait dans la catégorie « modéré » en comparaison des deux autres qui sont « excellents ».

Les marges d'erreurs du Rayplicker® et de l'Easyshade® V sont étroites, ce qui montre une grande répétabilité des deux appareils pour l'évaluation de la luminosité. En revanche ce n'est pas le cas pour l'Easyshade® IV qui manifeste une importante variation de résultat.

Pour C^* :

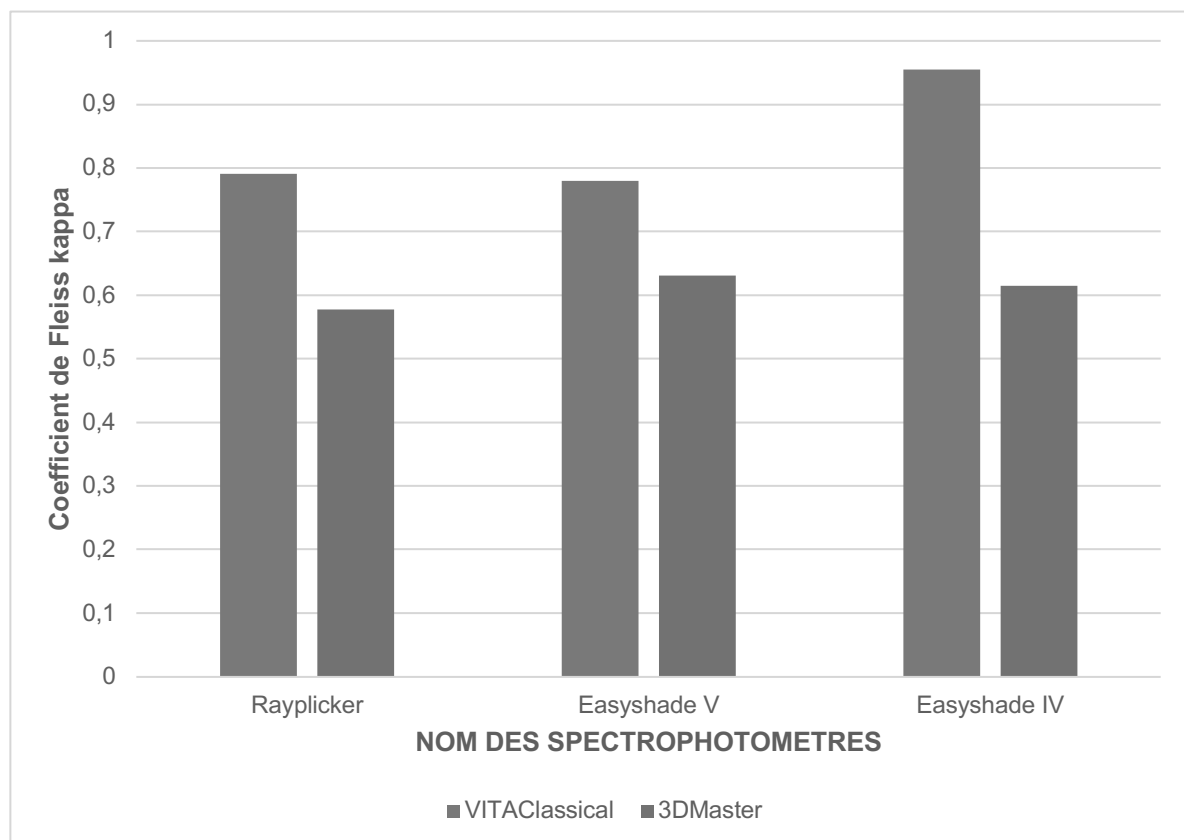
Pour les valeurs de C^* , ils ont tous les trois des résultats pouvant être qualifiés d'excellent d'après Koo et Li. La faible marge d'erreur calculée témoigne également d'une grande précision pour le relevé de la saturation.

Pour h^* :

En ce qui concerne les valeurs de h^* , le Rayplicker® et l'Easysshade® V obtiennent la encore de très bons résultats (excellent) avec un intervalle de confiance qui reste acceptable même si la limite négative est inférieure à 0,9 (bon) pour les deux appareils.

L'Easysshade® IV obtient un ICC plus bas que les deux autres instruments (modéré) et une marge d'erreur large dont la limite négative est inférieure à 0,5 (médiocre).

Histogramme sur les valeurs du coefficient Fk des trois appareils pour les teintiers VITAClassical® et 3DMaster®



Une valeur qualitative de teinte (exemple : A1) comble une certaine étendue de couleur. C'est-à-dire qu'il existe plusieurs valeurs numériques (coordonnées) pour cette unique valeur catégorielle.

En suivant cette logique, un coefficient Fk élevé indique une grande similitude dans les relevés spectrophotométriques mais signifie finalement un manque de précision de l'information.

Par exemple, deux patients sur lesquels on relève des coordonnées Lab/LCh différentes peuvent se voir attribuer la teinte A1 si leurs données Lab/LCh entrent toutes les deux dans l'étendue que comble la valeur de teintier A1. Un manque de précision de l'information est donc constaté.

L'Histogramme ci-dessus met en évidence plus de similitudes entre les mesures en utilisant le teintier VITAClassical® comparé au 3DMaster® car la classification du 3DMaster® est plus élaborées donc plus à même de détecter les variations d'une mesure à l'autre.

Cependant, le coefficient calculé reste dans les deux cas élevé ($>0,41$ pour le Rayplicker® et $>0,61$ pour les modèles Easyshade®).

Ces résultats mettent en évidence la perte de précision importante de l'information lors de la conversion des données numériques (modèle CIELab/LCh) en données catégorielles que la plupart des chirurgiens-dentistes et prothésistes utilisent lors de la confection des travaux prothétiques.

Les biais :

Plusieurs biais ont pu être relevés pendant l'étude :

- Le risque de buée sur l'écran du Rayplicker® peut générer des erreurs de mesure :

Il est possible d'observer cet effet en comparant les deux photos ci-dessous prises par le même appareil sur la même dent. Les résultats diffèrent, 1M1 pour la prise nette, 0M1 pour la prise légèrement floue. Le praticien doit donc demander au patient de retenir son souffle durant la prise.

Notons que l'image donnée par le Rayplicker® donne au praticien la possibilité de pouvoir directement évaluer la qualité de sa prise de teinte contrairement à l'Easyshade. Ainsi, il pourra si besoin réenregistrer jusqu'à obtenir une image valide.

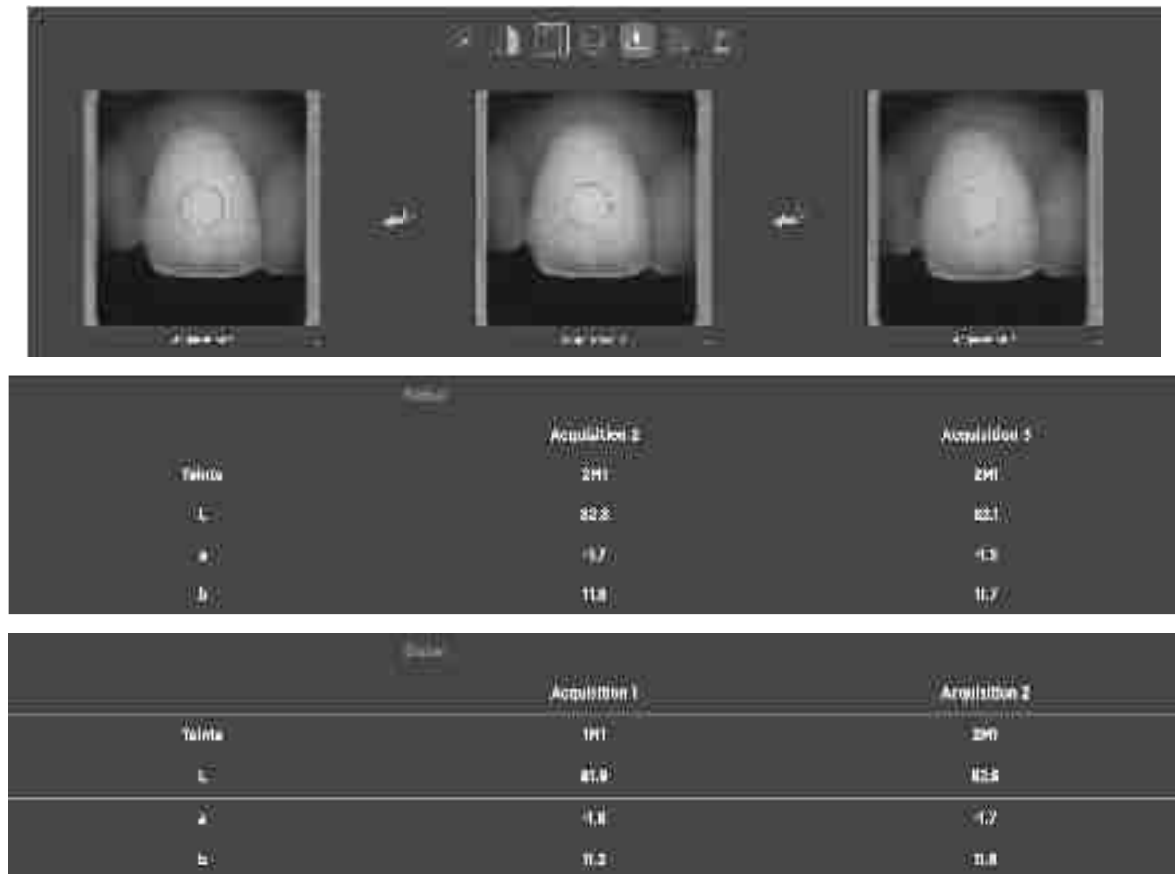


- La difficulté de reproduire le même positionnement de l'appareil d'une prise à l'autre.

Le Rayplicker® doit être retiré entre chaque mesure afin de sauvegarder les images une par une. La même méthode a été appliquée avec les deux modèles Easyshade® par soucis de comparaison. Il semble impossible de reproduire exactement à l'identique le positionnement de l'appareil d'une prise à l'autre. Des guides de positionnements auraient pu être confectionnés mais leur réalisation trop complexe à mettre en place dans le cadre de cette étude.

- Sur le logiciel Rayplicker®, la zone centrale utilisée dans le relevé des coordonnées est placée de façon « aléatoire » avec la souris de l'ordinateur.

Sur l'exemple ci-dessous, trois prises d'une même dent avec trois coordonnées différentes. Des différences causées d'une part par des photos qui ne peuvent être identiques, d'autre part par la zone qui ne peut être parfaitement repositionnable sur le logiciel.



- En reprenant l'exemple précédent, une différence de valeur de teintier est constatée (1M1 pour l'acquisition 1, 2M1 pour les deux autres) alors que les coordonnées ne diffèrent que très peu.

Ceci s'explique par l'étendue des couleurs que balaye une valeur de teintier. Nous nous situons ici à la limite entre 1M1 et 2M1, le moindre petit changement d'une coordonnée peut faire basculer le résultat d'un côté comme de l'autre. Les appareils Easyshade® possèdent un capteur plus petit qui va littéralement se positionner contre la dent. Ceci permet de diminuer le risque de condensation lors de la prise.



Enregistrement de la couleur par l'Easyshade®V à gauche et par le Rayplicker® à droite. Courtoisie du Dr Hampe-Kautz.

III.3 Conclusion de l'étude

Cette analyse comparative permet de conclure sur plusieurs points :

- Une amélioration est constatée entre les deux versions de spectrophotomètre Easyshade® en ce qui concerne la fiabilité de l'enregistrement de la couleur.
- Malgré les biais observés, le Rayplicker® présente d'excellents résultats sur la fiabilité de l'enregistrement de la luminosité, de la saturation et de la teinte. L'étendue étroite des intervalles de confiance calculés permet de constater que cette fiabilité est applicable à grande échelle. Cliniquement, l'appareil semble assez répétable pour que le praticien procède à une prise unique mais il demande une exigence particulière quant à son utilisation.
- L'Easyshade® V obtient des résultats sensiblement proches du Rayplicker®. Les mêmes conclusions peuvent être appliquées. L'utilisation de l'un ou l'autre fait appel aux préférences personnelles.
- L'Easyshade® IV obtient des résultats inférieurs aux deux autres appareils étudiés en ce qui concerne la fiabilité de l'enregistrement de la luminosité et de la teinte. L'étendue large de l'intervalle de confiance calculé permet de constater une grande variation de résultat de l'appareil à grande échelle.
- Le teintier VITA3D Master® présente une précision plus importante que le teintier VITA Classical®.
- L'utilisation des coordonnées du modèle CIELab/LCh est aujourd'hui la façon la plus précise d'enregistrer la couleur. La conversion d'une mesure en valeur de teintier diminue le degré de précision de l'information.

Conclusion

Le relevé colorimétrique d'une dent se révèle être une étape cruciale et complexe. Pour obtenir un résultat optimal des restaurations esthétiques, la transmission de la couleur du praticien à son prothésiste doit aujourd'hui dépasser le simple schéma dentaire.

Cette étude montre que les spectrophotomètres Rayplicker® et Easyshade® V permettent une transmission fiable et précise des trois paramètres fondamentaux de la couleur (luminosité, saturation et teinte). Ils se révèlent être une aide intéressante notamment pour un jeune praticien qui n'a pas encore les connaissances et l'expérience nécessaires à la compréhension de la couleur. Il est toutefois préférable d'utiliser des modèles récents de spectrophotomètres, concordant avec les dernières avancées techniques.

Le principal inconvénient dans la transmission des informations est la conversion de l'appareil des coordonnées CieLab/LCh en une valeur de teintier. Cette conversion diminue la précision des informations transmises au prothésiste. L'accès direct à l'enregistrement complet de la couleur du praticien via la fiche du patient sur le logiciel permet au prothésiste de s'affranchir de cette conversion en plus de pouvoir utiliser les cartographies détaillées qu'offre notamment le système Rayplicker®.

Néanmoins, le praticien se doit de garder une vision critique. Le rendu esthétique ne dépend pas seulement d'un bon enregistrement de la couleur. Les paramètres complémentaires, les ciments d'assemblages, l'épaisseur des matériaux ou encore la couleur du moignon sous-jacent sont autant d'exemples de facteurs influençant le résultat esthétique final.



SIGNATURE DES CONCLUSIONS

Thèse en vue du Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Nom - prénom de l'impétrant : SCHWOB Thibault

Titre de la thèse : La couleur en odontologie, étude comparative *in vivo* de la fiabilité intra-opérateur de trois spectrophotomètres

Directeurs de thèse : Docteurs Olivier ETIENNE et Vincent HAMPE-KAUTZ

VU
Strasbourg, le : 01-02-2022
Le Président du Jury,

Professeur B. WALTER

VU
Strasbourg, le : 02 FEV. 2022
Le Doyen de la Faculté
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,

Professeur C. TARDIEU-GROSS

Bibliographie

- (1) Samorodnitzky-Naveh GR, Geiger SB, Levin L. Patients' satisfaction with dental esthetics. *J Am Dent Assoc.* 2007 Jun ; 138(6) : 805–8.
- (2) Dudea D, Lasserre J-F, Alb C, Culic B, Pop Ciutrla IS, Colosi H. Patients' perspective on dental aesthetics in a South-Eastern European community. *J Dent.* 2012 Jul ; 40 Suppl 1 : e72-81.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) Lassere. Les 7 dimensions de la couleur des dents naturelles. *Clinic n°28.* Juillet 2007. 417-430
- (6) Gnanguenon. L'apport du spectrophotomètre dans la thérapeutique de l'éclaircissement dentaire : évaluation quantitative des grandeurs colorimétriques de la dent par spectrophotométrie. Thèse Université de Paris Descartes, Décembre 2019.
- (7) Joiner et Luo. Tooth colour : a review of the literature. *Journal of Dentistry.* Vol 32. 2004. 3-12
- (8) E D'Incau, J.-P. Pia, J. Pivet. Couleur et choix de la teinte en Odontologie, *JPIO Esthétique.* n° 14222. 2014. 41-55
- (9) A. Le Duff. Notions de colorimétrie. Octobre 2004.
- (10) C.Pignoly V. Aubut S. Baixe H. Barthélémy O. Etienne JL. Girard JF. Lassere S. Pineau. Prise de teinte : des techniques conventionnelles aux techniques électroniques. Novembre 2010. 72p
- (11) L'Itten. Art de la couleur. Dessain et Tolra. Edition abrégée. 2018. 96p.
- (12) Arizona state university, « light eye anatomy », 2017.
- (13) Hampe-Kautz. Le relevé de la couleur : évaluation clinique comparative des méthodes visuelles et électroniques. Thèse Université Strasbourg. 2019.
- (14) Daries. Relevé de la couleur au cabinet dentaire : connaissances et moyens d'optimisation actuels. Thèse université de Toulouse III, 2013.

- (15) E D'Incau, J-F Lassere, I-S Pop. La couleur en odontologie. Les cahiers de prothèse. Septembre 2006.
- (16) D'Incau. Paramétrer son matériel partie 2 : La couleur. Information dentaire, 2010.
- (17) Fondriest. « Shade matching in restorative dentistry : the science and strategies ». Int J Periodontics Restorative Dent. Oct 2003 ;23(5) :467-79.
- (18) Sproull. « Color Matching in Dentistry. Part I. The Three-Dimensional Nature of Color.». J Prosthet Dent. Nov 2001 ;86(5) :453-7
- (19) Vanini, Mangani. Determination and communication of color using the five colors dimensions of teeth. Practical procedures & aesthetic dentistry, january 2001 ;13(1) :19-26.
- (20) Faucher, Ortet, Camaleonte, Weisbrock, Etienne, Paris. Les composites antérieurs au quotidien : analyse de la couleur. Rev Reussir, page 10.
- (21) Lassere, Pineau. Le relevé de la couleur. Le fil dentaire n°37. Novembre 2008. 30-32.
- (22) 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.
- (23) 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.
- (24) Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. J Prosthet Dent. 1970 Aug;24(2):166–73.
- (25) 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.
- (26) 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.
- (27) 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.

- (28) 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.
- (29) Zyman, Touati. Des machines qui annoncent la couleur. *Le fil dentaire* 2010. Article consultable en ligne :
<https://www.lefildentaire.com/articles/pratique/ergonomie-materiel/des-machines-qui-annoncent-la-couleur/>
- (30) Judeh et Al-Wahadni. A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection. *Quintessence Int.* Oct 2009 ;40(9) :e69-79.
- (31) 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.
- (32) Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent.* 2002 Dec;88(6):585–90.
- (33) Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989 May;68(5):819–22.
- (34) 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.
- (35) 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.
- (36) Lecorgne. Technique d'analyses quantitatives : La spectrophotométrie. Article consultable en ligne :
<http://dlecorgnechimie.fr/wp-content/uploads/2014/06/spectrophotom%C3%A9trie.pdf>
- (37) Bauduin, Poupard, Lequere. Technologie cidricole et couleur des produits. Institut Français des Productions Cidricoles. Février 2017.
- (38) Preveraud. Spectrophotomètre pour analyser la couleur d'une surface. Janvier 2010. Consultable en ligne :
<https://www.industrie-techno.com/article/spectrophotometre-pour-analyser-la-couleur-d-une-surface.9213>
- (39) La rédaction. Sécurité alimentaire : les avancées de l'analyse hyperspectrale

- dans l'agroalimentaire. Janvier 2019. Consultable en ligne :
<https://www.agro-media.fr/analyse/securite-alimentaire-les-avancees-de-lanalyse-hyperspectrale-dans-lagroalimentaire-31597.html>
- (40) Marty. Glasurit convertit ses carrossiers au spectrophotomètre. Autoinfo. Juin 2018. Consultable en ligne :
<https://www.auto-infos.fr/article/glasurit-convertit-ses-carrossiers-au-spectrophotometre.74444>
- (41) Dupaigne. Un nouvel appareil de détermination de la couleur des produits de tomate. 1953. *Fruits* 8(6). 260-265.
- (42) Pipko et el-Sadeek. An in vitro investigation of abrasion and staining of dental resins. *J Dent Res*. May-Jun 1972 ;51(3) :689-705.
- (43) Horn, Bulan-Brady, et Hicks. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod*. Dec 1998 ;24(12) :786-90.
- (44) Paul et al. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res*. Aug 2002 ;81(8) :578-82.
- (45) Fairchild. Color appearance models and complex visual stimuli. *J of Dentistry* 38 Suppl 2 :e25-33. Dec 2010.
- (46) Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. La définition des teintes de dent. *Quintessenz Zahntechnik*. Juillet 2004. Vol 30(7) ; 726-740.
- (47) Kouakou. Comparison between conventional visual and instrumental methods for teeth shade selection : a systematic review. Université Félix Houphouët-Boigny- Abidjan (Côte d'ivoire). *Rev Col Odonto-Stomatol Afr Chir Maxillo-fac*. 2016 Vol 23(2) ; 5-13.
- (48) Vita Easyshade V. Mode d'emploi.
- (49) Gosserez. Vita Easyshade V : bien plus qu'une définition exacte de la couleur. *Le fil dentaire*. juin 2015. Consultable en ligne :
<https://www.lefildentaire.com/actualites/nouveautes-produit/vita-easyshade-v-bien-plus-qu-une-definition-exacte-de-la-couleur/>
- (50) Posavec, Prpić, et Zlatarić. Influence of light conditions and light sources on clinical measurement of natural teeth color using Vita Easyshade advance 4.0® spectrophotometer : pilot study. *Acta Stomatol Croat*. Dec 2016 ;50(4) :337-347.
- (51) Rayplicker, Manuel d'utilisation.
- (52) Mérigaud. Avec Rayplicker, Borea réinvente l'appareil dentaire de prise de teinte connecté. *L'UsineDigitale*. Février 2017. Consultable en ligne :

<https://www.usine-digitale.fr/article/avec-rayplicker-borea-reinvente-l-appareil-dentaire-de-prise-de-teinte-connecte.N507084>

- (53) 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.
- (54) 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.
- (55) Bazos et Magne. Bio-emulation : biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach : visual synthesis. Int J Esthet Dent. Autumn 2014 ;9(3) :330-52.
- (56) Simmelink. Histology of enamel. 1987.
- (57) Fondriest. The optical characteristics of natural teeth. Inside Dentistry. Nov 2012. Vol 8(11).
- (58) Vaarkamp, ten Bosch, et Verdonschot. Propagation of light through human dental enamel and dentine. Caries Res. 1995 ;29(1) :8-13.
- (59) Alexandre Richard, Louis Toussaint. Editorial : La relation dentiste-prothésiste, vers quel type de communication allons-nous ? Rev QDRP. Le duo praticien-prothésiste. Nov 2018. N°4.
- (60) Hampe-Kautz, Salehi, Etienne, Senger. A comparative in vivo of new shade machine procedures. Int J Comput Dent. 2020 ;23(4) :317-323.
- (61) Kilem Li Gwet. Intrarater Reliability. Wiley Encyclopedia of Clinical Trials. Chapter : Methods and Applications of Statistics in Clinical Trials. Septembre 2008. 473-485.
- (62) La Rédaction. Répétabilité et reproductibilité : En quoi consistent la répétabilité et la reproductibilité (R&R) ? Buehler literatur. Consultable en ligne : <https://www.buehler.fr/gage-repeatability.php#:~:text=La%20r%C3%A9p%C3%A9tabilit%C3%A9%20et%20la%20reproductibilit%C3%A9%2C%20couramment%20appel%C3%A9es%20R%26R%2C%20est%20une,utiliser%20comme%20instrument%20de%20mesure>
- (63) Arnal. Répétabilité & reproductibilité d'une méthode. Université de Bordeaux. 2017. 10p.
- (64) Loïc Desquilbet. Guide pratique de validation statistique de méthodes de mesure : répétabilité, reproductibilité, et concordance. ENVA. Juin 2021.

- (65) Borea-Dental.com, Bonnes pratiques d'utilisation du Rayplicker.
- (66) Corrélacion intraclasse. Consultable en ligne :
https://stringfixer.com/fr/Intraclass_correlation
- (67) Koo TK, Li MY (juin 2016). « Une ligne directrice de sélection et de rapport des coefficients de corrélation intraclasse pour la recherche de fiabilité ». Journal de médecine chiropratique. **15** (2) : 155–63. doi : 10.1016 / j.jcm.2016.02.012 . PMC 4913118. PMID 27330520
- (68) Cicchetti DV (1994). "Lignes directrices, critères et règles de base pour l'évaluation d'instruments d'évaluation normés et standardisés en psychologie". Évaluation psychologique. **6** (4) : 284-290. doi : 10.1037 / 1040-3590.6.4.284.
- (69) Laerd statistics. Fleiss Kappa in SPSS Statistics. Consultable en ligne :
<https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/fleiss-kappa-in-spss-statistics.php>

SCHWOB (Thibault) – La couleur en odontologie : étude comparative *in vivo* de la fiabilité intra-opérateur de trois spectrophotomètres

(Thèse : 3^{ème} cycle Sci. odontol. : Strasbourg : 2022 ; N°12)

N°43.22.22.12

Résumé :

Le relevé de la couleur est une étape cruciale dans la réalisation d'un traitement prothétique qui doit répondre d'une part à des critères fonctionnels, mais également à des impératifs esthétiques dans une société où le sourire et l'harmonie du visage sont des éléments importants dans la perception que les autres peuvent avoir de nous-même.

Pour remplir ces objectifs, les fabricants apportent régulièrement sur le marché de nouveaux appareils guidant les chirurgiens-dentistes. Les spectrophotomètres font parties de ces innovations et entrent dans une démarche globale de modernisation de la pratique. Dans un premier temps, ce travail a pour but de présenter les fondamentaux de la couleur. Une étude originale a été réalisée dans un second temps afin de comparer trois appareils en analysant statistiquement leur degré de précision :

- Le Rayplicker® (Boréa, Limoges, France).
- L'Easyshade® IV et V (VitaZahnfabrik, Bad Sackingen, Allemagne).

Les paramètres fondamentaux de la couleur (luminosité, saturation et teinte) ont été analysées via le calcul du coefficient intra classe de chacun des trois spectrophotomètres. Les valeurs des teintiers VITAClassical® et 3DMaster® ont ensuite été comparées via le calcul du coefficient kappa de Fleiss.

Rubrique de classement : Prothèses

Mots clés : couleur – teintier – spectrophotomètres

Me SH : spectrophotometer, shade matching, shade guide

Jury :

Président : Professeur WALTER Béatrice

Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier
Docteur OFFNER Damien
Docteur HAMPE-KAUTZ Vincent

Coordonnées de l'auteur :

Adresse postale :

T. SCHWOB

77 rue des Commards, 39100 DOLE

Adresse de messagerie : schwob_thibo@hotmail.fr