

UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2019

N° 3592

**UTILISATION DE eLABor_aid®
DANS LA DÉTERMINATION DE LA COULEUR
EN DENTISTERIE ESTHÉTIQUE**

THÈSE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Lisa DRUGEON
Née le 23 février 1993

Le 19/12/2019 devant le jury ci-dessous :

Président : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Assesseur : Monsieur le Docteur Alexis GAUDIN

Assesseur : Monsieur le Docteur Pierre OUVRARD

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur François BODIC

UNIVERSITE DE NANTES	
<u>Président</u> Pr LABOUX Olivier	
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE	
<u>Doyen</u> Pr GIUMELLI Bernard <u>Assesseurs</u> Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre	
PROFESSEURS DES UNIVERSITES	
PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte	M. LESCLOUS Philippe
M. AMOURIQ Yves	Mme PEREZ Fabienne
M. BADRAN Zahi	M. SOUEIDAN Assem
M. GIUMELLI Bernard	M. WEISS Pierre
M. LE GUEHENNEC Laurent	
PROFESSEURS DES UNIVERSITES	
M. BOULER Jean-Michel	
MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES	
Mme VINATIER Claire	
PROFESSEURS EMERITES	
M. BOHNE Wolf	M. JEAN Alain
ENSEIGNANTS ASSOCIES	
M. GUIHARD Pierre (Professeur Associé)	Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)
MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.	ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES DES C.S.E.R.D.
M. AMADOR DEL VALLE Gilles	M. ALLIOT Charles
Mme ARMENGOL Valérie	M. AUBEUX Davy
Mme BLERY Pauline	Mme BARON Charlotte
M. BODIC François	Mme BEURAIN-ASQUIER Mathilde
Mme CLOITRE Alexandra	M. BOUCHET Xavier
Mme DAJEAN-TRUTAUD Sylvie	M. FREUCHET Erwan
M. DENIS Frédéric	M. GUIAS Charles
Mme ENKEL Bénédicte	Mme HASCOET Emilie
M. GAUDIN Alexis	M. HIBON Charles
M. HOORNAERT Alain	M. HUGUET Grégoire
Mme HOUCHMAND-CUNY Madline	M. KERIBIN Pierre
Mme JORDANA Fabienne	M. OUVRARD Pierre
M. KIMAKHE Saïd	M. RETHORE Gildas
M. LE BARS Pierre	M. SARKISSIAN Louis-Emmanuel
Mme LOPEZ-CAZAUX Serena	M. SERISIER Samuel
M. NIVET Marc-Henri	
M. PRUD'HOMME Tony	
Mme RENARD Emmanuelle	
M. RENAUDIN Stéphane	
Mme ROY Elisabeth	
M. STRUILLOU Xavier	
M. VERNER Christian	
PRATICIENS HOSPITALIERS	
Mme DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier)	Mme QUINSAT Victoire (Praticien Hospitalier Attaché)
Mme LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier)	Mme RICHARD Catherine (Praticien Hospitalier Attaché)
	Mme HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel)

Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

À Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes

Habilité à diriger les Recherches

Département de Prothèses

Chef de Service d'Odontologie Restauratrice et Chirurgicale

- Nantes -

Pour avoir accepté la présidence de ce jury de thèse,

Pour avoir accompagné mes premiers pas dans la pratique clinique de la prothèse,

Pour votre enseignement,

Veillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

À Monsieur le Docteur François BODIC

Maître de Conférence des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes

Département de Prothèses

- Nantes -

Pour avoir accepté de diriger ce sujet,

Pour vos enseignements qui m'ont beaucoup apporté,

Pour avoir participé à ma formation clinique en prothèse,

Veillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

À Monsieur le Docteur Alexis GAUDIN

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes

Ancien Interne des Hôpitaux de Toulouse

Département Odontologie Conservatrice - Endodontie

- Nantes -

Pour avoir accepté de siéger dans ce jury,

Pour avoir guidé mes premiers pas dans la pratique de l'Odontologie Conservatrice,

Pour vos conseils avisés,

Veillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

À Monsieur le Docteur Pierre OUVRARD

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de
Recherche Dentaires

Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie

- Nantes -

*Pour avoir accepté de siéger dans ce jury,
Pour avoir été un parrain hors pair lors de ma dernière année d'étude,
Pour tes précieux conseils et ton enthousiasme,
Je te remercie sincèrement et te témoigne mon profond respect.*

À Monsieur le Docteur Edouard LANOISELÉE

Docteur en Chirurgie Dentaire

- Nantes -

Pour avoir accepté de co-diriger ce travail,

Pour vos corrections rigoureuses et pertinentes,

Pour le temps que vous m'avez accordé,

Pour votre aide précieuse,

Veillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

TABLE DES MATIÈRES

I – INTRODUCTION	10
II – ÉTUDE ET ANALYSE DU PROTOCOLE eLABOR_aid®.....	12
1- Objectif de l'étude.....	12
2- Analyse du protocole	13
a) Photographie.....	13
- Matériel nécessaire.....	13
- Réglages de l'appareil photo.....	14
- Carte de balance des blancs	15
- Prise de la photo.....	16
b) Logiciels : Adobe LightRoom®, ClassicColorMeter et eLAB_pilot®.....	18
- Introduction au CIE L*a*b	18
- Utilisation des logiciels.....	19
1 – Utilisation avant la réalisation de la prothèse	19
2 – Utilisation après la réalisation de la prothèse	21
- Cartographie de la dent	22
- eLAB_pilot®	23
- Tableaux de correspondances	24
3- Résultats de l'étude	24
4- Limites du système eLABor_aid®	25
III- TRAVAIL AVEC LE PROTHÉSISTE.....	26
1- Fonctionnement du système céramique au laboratoire	27
a) Différents types de poudres.....	27
b) Gestion des matériaux et de leurs épaisseurs	28
c) Interprétation du CIE L*a*b	32
d) Tableaux de correspondances CIE L*a*b/teintier	35
e) Transmission du dossier au prothésiste	36
f) Avantages et inconvénients pour le prothésiste	36
g) Expérience du prothésiste	37
h) Le spectrophotomètre.....	38
IV- MISE EN PRATIQUE CLINIQUE	41
1- Présentation du cas clinique.....	41
2- Photographies.....	43
a) Méthode eLABor_aid®.....	44
b) Méthode classique avec teintier VITA 3D MASTER.....	49
3- Travail prothétique.....	50
4- Résultats.....	59
V- CONCLUSION.....	64
VI- BIBLIOGRAPHIE	68

I – INTRODUCTION

Il est connu que le choix de la couleur d'une dent dans la pratique dentaire est une tâche importante mais complexe^{12, 18, 19}. Il devrait être une procédure simple, rapide et reproductible permettant d'obtenir un résultat optimum nécessaire à l'intégration esthétique de la pièce prothétique au sourire du patient.

Les attentes des patients en dentisterie sont toujours plus élevées et ils exigent des restaurations esthétiques. Ils souhaitent à juste titre « porter » une prothèse qui reproduit au mieux toutes les propriétés optiques des dents naturelles.

La recherche de la juste couleur est un défi quotidien pour les chirurgiens dentistes. La perception des couleurs est fonction de nombreux paramètres difficiles à maîtriser, tels que l'œil du dentiste^{14, 44}, l'environnement lumineux et l'éclairage dans lequel s'effectue cet acte clinique³⁹.

Pour cela, les praticiens et prothésistes sont tenus de développer de nouvelles méthodes qui augmentent la précision et l'objectivité de l'analyse ainsi que de l'estimation de la couleur, tout en restant pratique.

Les progrès en technologie numérique n'ont cessé de croître ces vingt dernières années, la photographie numérique en avant plan²¹. L'imagerie numérique utilisée pour l'appariement des couleurs se développe continuellement, celle-ci a eu un impact conséquent sur la dentisterie esthétique.

Sascha HEIN et al. développent eLABor_aid®, un protocole qui permet de standardiser la prise de couleur d'une dent par le chirurgien dentiste. Grâce à la photographie et à un logiciel de traitement photo adapté, ce protocole permet de produire une restauration la plus esthétique et objective possible sans l'utilisation des guides de teinte (teintiers)³⁰.

Ce protocole utilise la photographie numérique à lumière polarisée croisée avec une carte de référence de balance des blancs normalisée servant de référence connue, en conjonction avec un profil de camera numérique reflex mono objectif et un logiciel de

traitement photographique numérique fonctionnant dans le système CIE L*a*b afin d'obtenir une acquisition d'image standardisée et une analyse d'image objective.

Dans ce travail, nous définirons et expliquerons dans un premier temps le protocole eLABor_aid®. Dans un second temps nous nous intéresserons au travail du prothésiste dentaire dans ce protocole.

Nous finirons par réaliser un cas clinique en utilisant le système eLABor_aid® pour le choix de la couleur de notre restauration, que nous comparerons à cette même restauration réalisée par méthode classique avec teintier.

II – ETUDE ET ANALYSE DU PROTOCOLE eLABor_aid®

1- Objectif de l'étude

La détermination de la couleur dentaire par les praticiens et sa transmission aux prothésistes restent techniquement des actes délicats à réaliser en raison de la complexité des structures dentaires, de la variabilité du facteur opérateur et de l'environnement lumineux dans lequel s'effectue cette procédure clinique.

Les couleurs des dents peuvent être analysées par deux méthodes : visuelle et instrumentale^{3, 20}. Les instruments pour déterminer cliniquement les couleurs sont le spectrophotomètre, le colorimètre et la camera digitale avec le logiciel correspondant^{1, 48}.

La technique la plus utilisée par les dentistes et prothésistes reste visuelle avec l'utilisation des teintiers. Le teintier VITA classique est le plus utilisé chez les dentistes et laboratoires à l'échelle mondiale²¹.

Ces derniers, qu'ils soient simples ou plus évolués, anciens ou plus récents, permettent une évaluation rapide et simple mais trop approximative et subjective de la « couleur » d'une dent⁴¹.

Des colorimètres informatisés et des spectrophotomètres destinés à la dentisterie sont disponibles depuis plusieurs années. Ils se sont avérés produire des résultats stables mais ne sont pas associés à une plus grande précision. L'imagerie numérique utilisée pour l'appariement des couleurs se développe continuellement et est actuellement un sujet de grand intérêt en dentisterie esthétique^{5, 11}.

Le protocole eLABor_aid® a pour but d'enregistrer en détail les nombreux facteurs/paramètres concourant à la couleur dentaire. Ce afin de simplifier la tâche du praticien dans le choix de la couleur et sa transmission aux prothésistes.

L'objectif de cette approche eLABor_aid® est donc d'identifier les moyens les plus efficaces et efficaces pour générer une intégration visuelle cohérente et optimale. Le but étant de réaliser une restauration la plus esthétique et reproductible possible, le tout grâce à la quantification numérique, permettant aux praticiens et prothésistes de

travailler de manière prévisible même lorsqu'ils travaillent dans des endroits géographiques différents.

2- Analyse du protocole

a) Photographie

- Matériel nécessaire

Un grand nombre de cabinets dentaires sont aujourd'hui équipés d'un reflex numérique avec objectif macro et flash⁴⁶ (Figure 1). Pour ces raisons, les appareils photo numériques sont considérés comme dispositifs cibles pour le choix de la couleur en dentisterie esthétique. Le chemin qui a été choisi par les auteurs de eLABor_aid® était de fabriquer des composants complémentaires pertinents autour de la technologie d'imagerie de base^{4, 6, 10, 40, 43, 45, 50, 52}.



Figure 1. Reflex numérique avec flash macro et filtre polarisant

Il faudra donc, pour réaliser ce protocole, une camera numérique reflex mono-objectif (appareil photo reflex numérique) avec un objectif macro, un flash macro et un filtre de polarisation (*polar_eyes®*). Ce filtre de polarisation améliore la visualisation des caractéristiques de surface de l'émail car il atténue la majorité des reflets^{14, 17, 23, 24}.

Il nous faudra aussi une carte de balance des blancs (*White_balance card®*) qui servira de référence connue.

Il y a quelques années, les professionnels des spécialités médicales d'ophtalmologie^{16, 53} et de dermatologie^{30, 31, 35-37} ont commencé à utiliser avec succès la photographie avec filtre de polarisation. Cette pratique a lentement été adoptée au domaine dentaire, permettant de visualiser plus précisément l'histoanatomie de la dent⁹.

- Réglages de l'appareil photo

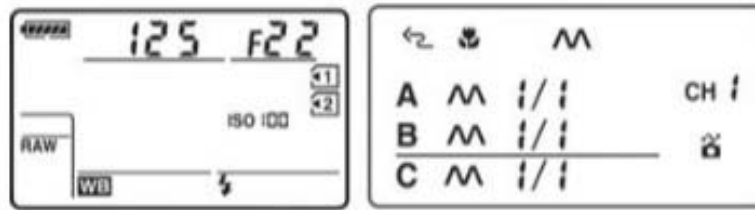


Figure 2. Réglages du reflex numérique : pour atténuer l'influence de la lumière ambiante et pour assurer la synchronisation du flash, la vitesse d'obturation doit être réglée sur 1/125sec, avec une ouverture de f22 pour une acquisition appropriée

Les informations de couleur reçues des appareils photo numériques sont dépendantes de l'appareil, c'est à dire que les informations de couleur réelles diffèrent entre les différents appareils¹¹. Un calibrage correct et un ajustement des couleurs entre appareils numériques sont nécessaires pour une gestion précise des couleurs.

Les réglages sont définis par le protocole (Figure 2). En effet pour obtenir une quantification des couleurs de dents, il est nécessaire de procéder à une normalisation de l'appareil photo. Nous choisirons donc une vitesse d'obturation de 1/125sec, avec une ouverture de F22. Quant à la sensibilité du capteur elle doit être de 100 ISO, le tout en mode manuel (RAW).

- Carte de balance des blancs³³

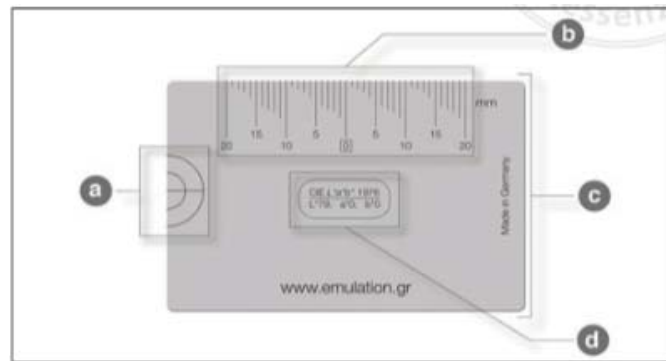


Figure 3. Carte de balance des blancs

L'équilibrage des blancs s'effectue à l'aide d'un objet achromatique : la carte de balance des blancs^{49, 51}. C'est un dénominateur commun avec des références de couleur CIE L*a*b connues. Cette carte a les caractéristiques suivantes (Figure 3) :

- a) Un réticule gris qui facilite l'alignement vertical et l'étalonnage des distances.
Le petit cercle correspond à la grille du viseur de la plupart des appareils reflex, tandis que la plus grande correspond à celle des cameras plein écran.
- b) Une échelle millimétrique pour l'évaluation des proportions.
- c) La largeur de la carte est égale à la distance inter-canine moyenne des adultes de type caucasien afin d'aider dans les cas où un appareil photo ne posséderait pas de grille de viseur.
- d) Cette carte utilise le système CIE L*a*b et possède une valeur de luminosité connue (L*79) avec une tolérance de fabrication faible afin de coordonner une couleur particulière du modèle de l'appareil photo.

Ainsi, cette carte va nous servir de guide. Elle sera placée au niveau incisif pour réaliser la photographie et sera ensuite notre référence connue. Il n'y aura plus qu'à sélectionner un des quatre segments gris de l'image pour corriger la balance des blancs avec les valeurs connues de la carte (L*79 a*0 b*0) lors de la manipulation sur logiciel.

- Prise de la photo³²

La prise de la photo est la première étape clé de ce protocole. Il faut au préalable se munir du matériel nécessaire et faire les réglages de l'appareil photo numérique comme expliqués ci-dessus.

Le patient doit être assis sur une chaise, la tête droite. Nous avons alors besoin de deux écartes-joues, que nous allons placer et faire tenir par le patient. Pour cela, nous demandons au patient de tenir les écartes-joues en bout de manche avec deux doigts, l'index coté oreilles du patient et le pouce vers nous. Cette position permet au patient d'incliner les écarteurs comme nous le souhaitons. Le patient baisse légèrement la tête (Figure 4).



Figure 4. Position du patient pour la prise de photo



Figure 5. Placement de la carte de balance des blancs

Le patient doit se mettre en occlusion avant de se mettre en bout à bout incisif. Nous pouvons alors positionner la carte de référence des blancs en plaçant la ligne du milieu de la carte des blancs au niveau du milieu inter-incisif (Figure 4). Il est

impératif de placer cette dernière parallèlement à l'axe labial et non à l'axe dentaire, au risque d'induire une erreur de luminosité pouvant aller jusqu'à 3%.



Figure 6. Position de l'appareil photo numérique

L'axe de l'objectif doit être perpendiculaire à celui de la carte de référence des blancs (Figure 6). Il faut garder un point d'appui sur le menton du patient tout en tenant la carte afin de rester bien stable et placer l'objectif de l'appareil photo à 20 cm environ.

Nous pouvons prendre quatre photos :

- Une avec la carte de balance des blancs
- Une avec la carte de balance des blancs et le filtre de polarisation croisée
- Une sans la carte de balance des blancs avec le filtre de polarisation croisée
- Une sans carte de balance des blancs et sans filtre de polarisation croisée

Ces quatre photos seront faites avant et après la réalisation de la préparation périphérique de la dent.

Par la suite, le prothésiste prendra d'autres photos pour suivre l'évolution de la fabrication de la prothèse (selon le protocole : une photo du montage de céramique sur le maître modèle et une photo finale) avec les mêmes réglages qu'indiqués précédemment.

Une fois cette étape réalisée, nous passons au traitement des photos sur logiciel.

- b) Logiciels : Adobe Lightroom®, ClassicColorMeter et eLAB_pilot®²⁹
- Introduction au système CIE L*a*b

Le système CIE L*a*b est celui que l'on va utiliser pour le choix de la couleur dans ce protocole.

Les couleurs peuvent être perçues différemment selon les individus et peuvent être affichées différemment selon les périphériques d'affichage.

La *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) a donc établi des standards permettant de définir une couleur indépendamment des périphériques utilisés. A cette fin, la CIE a défini des critères basés sur la perception de la couleur par l'oeil humain, grâce à un triple stimulus. En 1976, la CIE développe donc le modèle colorimétrique L*a*b* (aussi connu sous le nom de *CIELab*), dans lequel une couleur est repérée par trois valeurs :

- *L*, la luminosité, exprimée en pourcentage (0 pour le noir à 100 pour le blanc)
- *a* et *b* deux gammes de couleurs allant respectivement du vert au rouge et du bleu au jaune avec des valeurs allant de -120 à +120.

Le mode *Lab* couvre ainsi l'intégralité du spectre visible par l'oeil humain et le représente de manière uniforme. Il permet donc de décrire l'ensemble des couleurs visibles indépendamment de toute technologie graphique.

Les modèles de la CIE ne sont pas intuitifs, toutefois le fait de les utiliser garantit qu'une couleur créée selon ces modèles sera vue de la même façon par tous.

Le logiciel nous donnant les données CIE L*a*b est installé d'office dans la partie « applications » de tous les Macintosh® sous le nom de *Digital Color Meter*. Il existe des logiciels équivalents à installer sur Windows® (*Digital Colorimeter*).

- Utilisation des logiciels³⁸

Cette partie du protocole est réalisée par le prothésiste à qui nous avons envoyé au préalable les photos.

Il y a deux temps dans l'utilisation des logiciels : avant la réalisation de la prothèse et après.

1 - Utilisation avant la réalisation de la prothèse

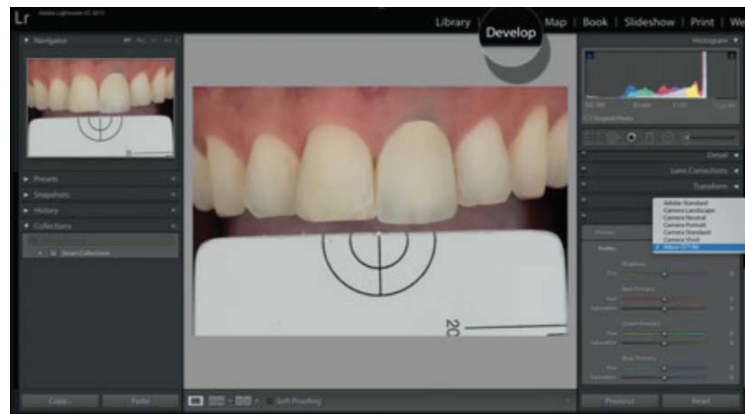


Figure 7. Utilisation du logiciel Adobe Lightroom®

Une fois les photos réceptionnées par le prothésiste, il va les importer dans le logiciel Adobe Lightroom® (Figure 7). Le but sera de faire les réglages nécessaires à l'utilisation de l'application colorimétrique.

Les informations de couleur reçues des appareils photo numériques sont dépendantes de l'appareil, c'est à dire que les informations de couleur réelles diffèrent entre les appareils. Un calibrage correct et un ajustement des couleurs entre les appareils numériques sont nécessaires pour une gestion précise des couleurs.

Voici les différentes étapes :

- Importer le fichier en choisissant notre modèle d'appareil photo numérique dans la partie « développer ».
- Choisir les quatre photos du cas qui nous intéresse puis les importer dans la librairie. Nous commencerons par travailler sur la photo prise avec la carte de référence des blancs sans filtre de polarisation croisé.
- Le but va être de gérer la balance des blancs : choisir l'outil « sélection balance des blancs » et cliquer sur un des quatre segments gris de la carte. Lorsque l'on fait glisser l'outil sur la carte nous voyons dans le diagramme en haut à droite du logiciel les valeurs L^*a^*b qui apparaissent. Il va falloir corriger ces valeurs jusqu'à obtenir les valeurs connues de la carte $L^*79 a^*0 b^*0$. Nous changeons alors progressivement les valeurs de l'exposition « Exposure » (sur la bande de données à droite du logiciel) jusqu'à avoir les valeurs les plus proches possible des données de la carte.
- Synchroniser l'autre photo sans carte de référence des blancs avec cette première photo, les réglages se feront alors automatiquement sur celle-ci.
- Refaire ensuite la même manipulation sur les photos prises avec le filtre de polarisation croisé.

Une fois cette étape réalisée, nous avons fait la balance des blancs et nous allons pouvoir exploiter la photo dans le système colorimétrique CIE L^*a^*b .

L'application colorimétrique de base utilisée dans ce protocole est ClassicColorMeter® (ou DigitalColoriMeter®) (Figure 8).

- Ouvrir l'application et aller sur la photo, la mettre en mode « CIE L^*a^*b », les valeurs colorimétriques de chaque pixel apparaissent lorsque l'on a le curseur dessus. Il suffit alors de faire une cartographie de la dent. Les auteurs de l'article nous conseillent de mettre le curseur au maximum de sa taille pour plus de facilité dans les valeurs CIE L^*a^*b .

Une application eLAB_pilot® créée depuis peu par les auteurs du protocole eLABor_aid® va intégrer le calcul du CIE L*a*b. Il va calculer directement les rapports de poudres céramique en fonction des données CIE L*a*b pour faciliter le travail du prothésiste dans le montage de la restauration. A ce jour, cette application est développée seulement pour trois systèmes de poudres céramique.

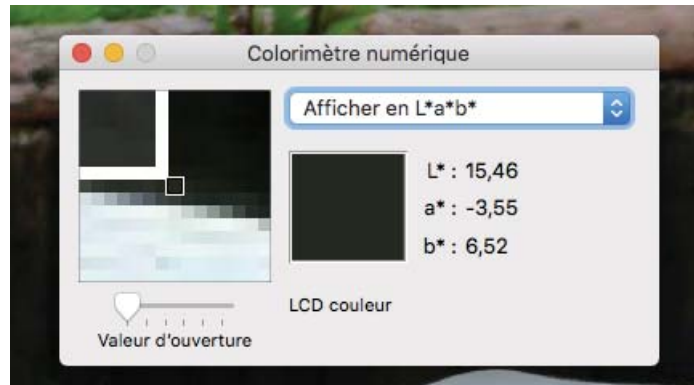


Figure 8. Application ClassicColorMeter® permettant d'obtenir les coordonnées de la couleur de la dent cible dans l'espace colorimétrique

Suite à cette étape et en fonction des résultats obtenus, le prothésiste choisira la couleur des poudres céramique afin de réaliser la prothèse. Cette étape peut être facilitée grâce à l'utilisation du logiciel eLAB_pilot® (cf. ci dessous)

2- Après la fabrication de la prothèse

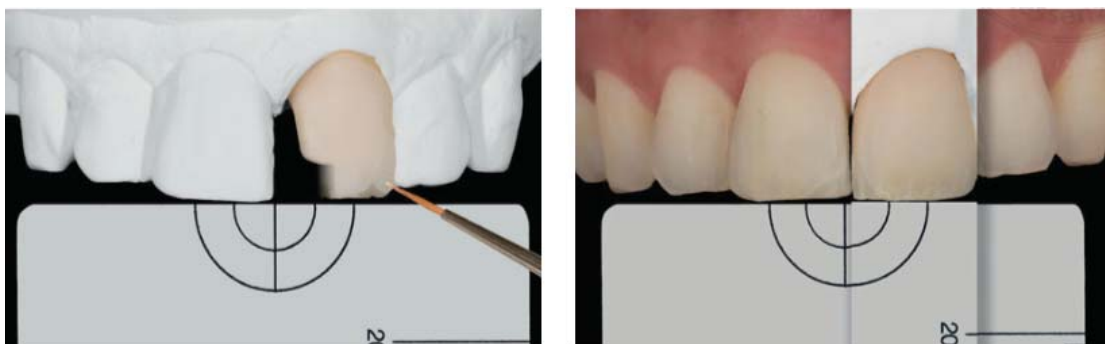


Figure 9. Photo de la restauration pendant sa réalisation : à gauche sur le maître modèle en plâtre et à droite en superposition avec la photo initiale

Avant le glaçage de la céramique, l'idéal est de faire une photo de la prothèse sur plâtre et de l'introduire à la photo avec carte de référence des blancs (Figure 9). Le prothésiste va utiliser un liquide à indice de réfraction élevé non toxique pour prévisualiser la couleur de la céramique non frittée. Ainsi il va pouvoir vérifier la précision du mélange de poudre en tenant compte des variations d'épaisseur de matériaux (zircone, metal ...) ^{7, 10, 13, 42}.

Les caractéristiques incisales et d'autres détails peuvent alors être vérifiés par comparaison visuelle numérique.

Pour ce faire l'image numérique de la restauration sur le maître modèle est superposée à l'image clinique obtenue lors de la chirurgie dentaire à l'aide du logiciel Adobe Lightroom®.

- Cartographie de la dent



Figure 10. Prise de couleur à différents endroits

Le prothésiste commencera par prendre la couleur moyenne de la dent, qui se trouve dans le tiers cervical de celle-ci. Il pourra ensuite utiliser les parties moyennes et incisives pour les cas les plus simples, et rajouter des zones pour les cas plus complexes.

Il obtient alors une cartographie de la dent (Figure 10) avec les valeurs CIE L*a*b qu'il lui faudra exploiter soit avec le logiciel eLAB_pilot®, soit avec des tableaux de correspondances.

- eLAB_Pilot®



Figure 11. Utilisation du logiciel eLAB_pilot®

Le logiciel eLAB_pilot® (Figure 11) a pour but de générer facilement et rapidement une formulation de mélange pour une « couleur de dentine personnalisée du patient ». Ce logiciel a été créé spécialement pour suivre ce protocole. Il inclut le CIE L*a*b et fait le rapprochement direct avec les poudres de céramique correspondantes.

Actuellement, le logiciel eLAB_pilot® n'est conçu que pour trois systèmes de céramique :

- Creation ZiCT
- GC Initial LiSi
- IPS e.max ceram

- Tableaux de correspondances



Figure 12. Tableaux de correspondance & portionneurs de céramique

Afin de transférer concrètement la couleur de la dent cible dans un mélange céramique-dentine individuel, le modèle statistique a été utilisé pour créer des diagrammes d'interpolations (tableaux de correspondance) dans les cas où il n'est pas possible d'utiliser eLAB_pilot® (Figure 12). Ces tableaux sont basés sur des coordonnées de couleur CIE L*a*b des systèmes céramiques les plus courants, en supposant des valeurs standards pour l'épaisseur de la face vestibulaire de la restauration (1,35mm) et la couleur de fond. Le tableau permet d'identifier la couleur dentinaire la plus proche du système céramique respectif et offre des rapports de mélange pour augmenter individuellement a* et b* et diminuer la luminosité, si nécessaire en utilisant un ensemble de portionneurs de céramique.

Après avoir déterminé la couleur dentinaire la plus proche du système céramique respectif, un jeu de colorants céramiques est utilisé pour ajuster la saturation et la luminosité. Alors que les deux colorants E22 et E21 servent à augmenter la saturation, le colorant brun E10 peut être utilisé pour abaisser la luminosité sans affecter la saturation⁵⁴ (Figure 12). Les auteurs de eLABor_aid® ont créé le coffret eLAB_copilot®, avec le matériel nécessaire et le protocole pour réaliser les modifications de saturation et de luminosité²⁷.

3- Résultats de l'étude

Au cours d'une période de 3 ans de mise en œuvre pratique du système eLABor_aid®, les auteurs et d'autres membres de la communauté des restaurateurs dentaires ont observé un certain nombre de résultats encourageants.

Un groupe Facebook a été créé (eLAB_group), avec environ 10000 membres du monde entier. Le réseau social permet aux membres de poser des questions, publier des résultats et des photos de cas cliniques. Depuis peu, un groupe Facebook français a été créé. A ce jour, plus de 1000 téléchargements de l'application eLAB_pilot® ont été réalisés.

Alors que l'indication initiale du protocole eLABor_aid® était limitée aux prothèses traditionnelles utilisant des restaurations en céramique ou en zircone, l'approche semble montrer du potentiel pour des restaurations translucides tels que le disclate de lithium ou même les facettes feldspathiques. Le protocole commence donc à s'étendre à d'autres restaurations : facettes, restaurations stratifiées antérieures...

N'ayant à ce jour pas suffisamment de recul quant à l'utilisation du protocole, il est difficile de parler de résultat. De plus, même si nous savons que le protocole de base fonctionne, il se développe encore jour après jour pour l'utilisation de nouveaux matériaux, la création de nouveaux logiciels (eLAB_pilot® par exemple)...

Sascha HEIN cherche constamment à faire évoluer son protocole pour qu'il soit plus simple et accessible à tous. Il travaille actuellement sur un nouveau logiciel intitulé Prime® qui permet un traitement automatique des photographies afin de s'affranchir complètement du logiciel Adobe Ligthroom®. Il parle également de la création d'une application sur smartphone qui permettrait de prendre les photos directement avec ce dernier et de les envoyer au prothésiste via l'application.

4- Limites du système eLABor_aid®

Aujourd'hui le logiciel eLAB_pilot® n'est valable que pour trois systèmes de céramique. Les prothésistes qui ne travaillent pas avec ces systèmes de poudre doivent :

- soit créer leurs propres pastilles de couleur en photographiant chaque pastilles avec la carte de référence des blancs pour obtenir les valeurs CIE L*a*b correspondantes

- soit transformer les valeurs de teintiers en valeurs CIE L*a*b pour créer des mélanges de poudre.

Nous pouvons imaginer que le temps nécessaire à cette démarche et la complexité de l'analyse rebute beaucoup de dentistes et surtout prothésistes. Un apprentissage des logiciels et la formation aux bases de la colorimétrie deviennent indispensables pour réaliser ce protocole.

Une initiation à la prise de photographie dentaire devient nécessaire aux praticiens souhaitant réaliser cette technique. Lors de l'introduction d'une nouvelle technique, la phase initiale de mise en place s'accompagne souvent d'une diminution de l'efficacité. C'est la courbe d'apprentissage. Cette phase critique plus ou moins longue est souvent vécue comme un frein à la mise en place de nouvelles techniques pour le dentiste, les premiers cas cliniques n'étant pas toujours une réussite.

III – TRAVAIL AVEC LE PROTHESISTE

Une fois le protocole étudié, nous cherchons un prothésiste qui accepte d'échanger sur ce mode de travail. Une grande difficulté étant donné que le protocole est peu connu en France. Stevie PASQUIER, prothésiste français qui réalise des restaurations avec eLABor_aid® depuis 2 ans accepte d'échanger avec nous. Il travaille en collaboration directe avec Sascha HEIN et réalise plusieurs cas cliniques avec ce dernier.

1- Fonctionnement du système céramique au laboratoire

a) Différents types de poudres

A ce jour, le protocole eLABor_aid® est adapté à dix types de poudres céramique, les plus connues et utilisées par les prothésistes. Cependant le logiciel eLAB_pilot® fonctionne avec seulement trois types de céramique déjà mentionnées ci-dessus.



Figure 13. Fabrication de pastilles de céramique avec les données CIE L*a*b et la carte de référence des blancs

Stevie PASQUIER travaille avec la céramique Willi Geller CREATION (ZI-CT pour la zircone, CC pour le métal) pour les couronnes et avec l'IPS e.max ceram d'Ivoclar Vivadent pour la réalisation de facettes. Il peut donc utiliser le logiciel eLAB_pilot®. Il a de plus créé ses propres tableaux de correspondances. En effet il travaille à partir de pastilles de dentine qu'il a fait avec ses propres mélanges de poudres, qu'il a ensuite photographié avec la carte de référence des blancs pour calculer le CIE L*a*b de chaque mélange (Figure 13). Il a alors un catalogue direct de ses propres couleurs afin d'être plus précis et plus rapide dans le montage de sa restauration.

Dans le protocole eLABor_aid®, seule la couche « dentine » est calculée. Les couches « incisales » et « transparentes » sont à adapter par le prothésiste en tenant compte de la photographie, de la transparence de la dent et de sa luminosité.

Le logiciel eLAB_pilot® guide le prothésiste dans le montage dentine en donnant les rapports de poudre pour obtenir la couleur CIE L*a*b souhaitée. Cependant le logiciel ne permet pas de réaliser la restauration dans sa totalité, les finitions sont entièrement dépendantes du prothésiste.

Un réajustement permanent doit être réalisé pour avoir un résultat optimal. Le prothésiste prend régulièrement des photos de la restauration sur le maître modèle, qu'il superpose à la photo initiale « dent préparée » pour avoir un aperçu du résultat final. Il fait alors les modifications nécessaires pour obtenir le résultat escompté. Ces modifications seront abordées dans la partie suivante.

b) Gestion des matériaux et de leurs épaisseurs

L'eLAB_pilot® part de l'hypothèse que l'espace disponible est suffisant pour satisfaire les recommandations d'épaisseur minimale des fabricants pour la structure. Cette épaisseur minimale est généralement de 0,5mm. Ensuite, il suppose que l'espace restant est suffisant pour y mettre une couche de dentine d'1mm et une fine couche de revêtement en email de 0,5mm. Cette valeur supposée de l'épaisseur de la dentine est bien en dessous des échantillons de couleurs en céramique fournis par les fabricants qui s'étalent généralement de 1,2mm à 1,8mm (Figure 14).

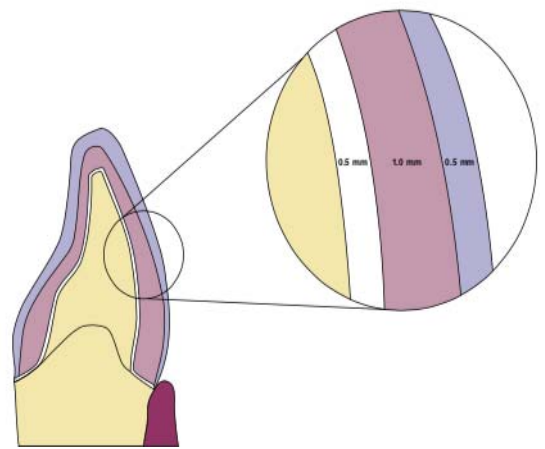


Figure 13. Epaisseur des couches d'après le fabricant : 0,5mm structure, 1mm dentine et 0,5mm revêtement email

De nombreuses variables existent lorsque l'on procède à une restauration telles que :

- La couleur du substrat (variations naturelles ou pathologiques)
- La couleur et l'épaisseur de la structure
- L'épaisseur de la couche dentine
- L'épaisseur du revêtement en email
- L'espace disponible
- L'épaisseur de la couche de colle ou du ciment
- Les erreurs de four ou de cuisson
- Les variables dépendantes de l'opérateur, telle que la façon de superposer les couches

D'après le protocole eLABor_aid®, ces variables ne jouent qu'un rôle mineur dans des circonstances normales et n'influeront pas notre restauration. Il vaut mieux se concentrer sur des variables plus importantes. Pour cela, le protocole donne des « interventions » à réaliser, conçues pour s'ajuster aux valeurs L^*a^*b après cuisson afin de compenser les effets des variables les plus importantes.

Le type de complication le plus courant intervient à cause des contraintes d'espace. En diminuant l'épaisseur de la couche dentine, il y aura des modifications du L*a*b nous obligeant à intervenir. Ces effets sont faciles à corriger à l'aide des interventions suggérées par le protocole ci-dessous (Figure 15) :

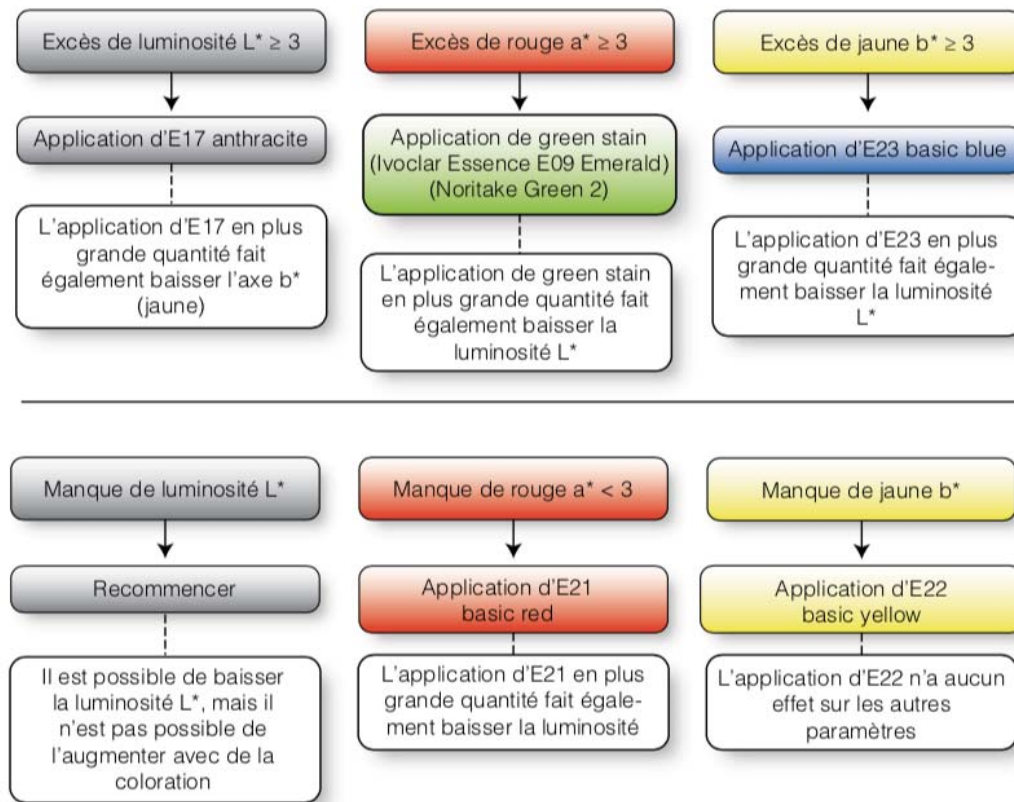


Figure 15. Interventions suggérées par eLABor_aid®

Il est donc possible de jouer avec les épaisseurs des matériaux et l'espace disponible et de réadapter ensuite grâce aux interventions eLABor_aid®.

Il existe deux stratégies de base pour superposer la restauration :

- la technique Cross-Fire en plusieurs cuissons, dentine puis émaux
- la technique de tout en une seule cuisson (One-Bake)

La technique Cross-Fire est recommandée pour les personnes qui débutent dans le protocole. Cette technique en deux cuissons permet la mesure des données L*a*b en deux fois, et donc un réajustement de celles-ci à deux reprises. Cette méthode est plus sûre.

Les auteurs de eLABor_aid® ont réalisé deux organigrammes (Figures 16 & 17) pour les deux stratégies de superposition afin de guider le prothésiste dans les interventions qu'il doit réaliser :

Stratégies de superposition générales: Cuissons Multiples des dentine et émaux

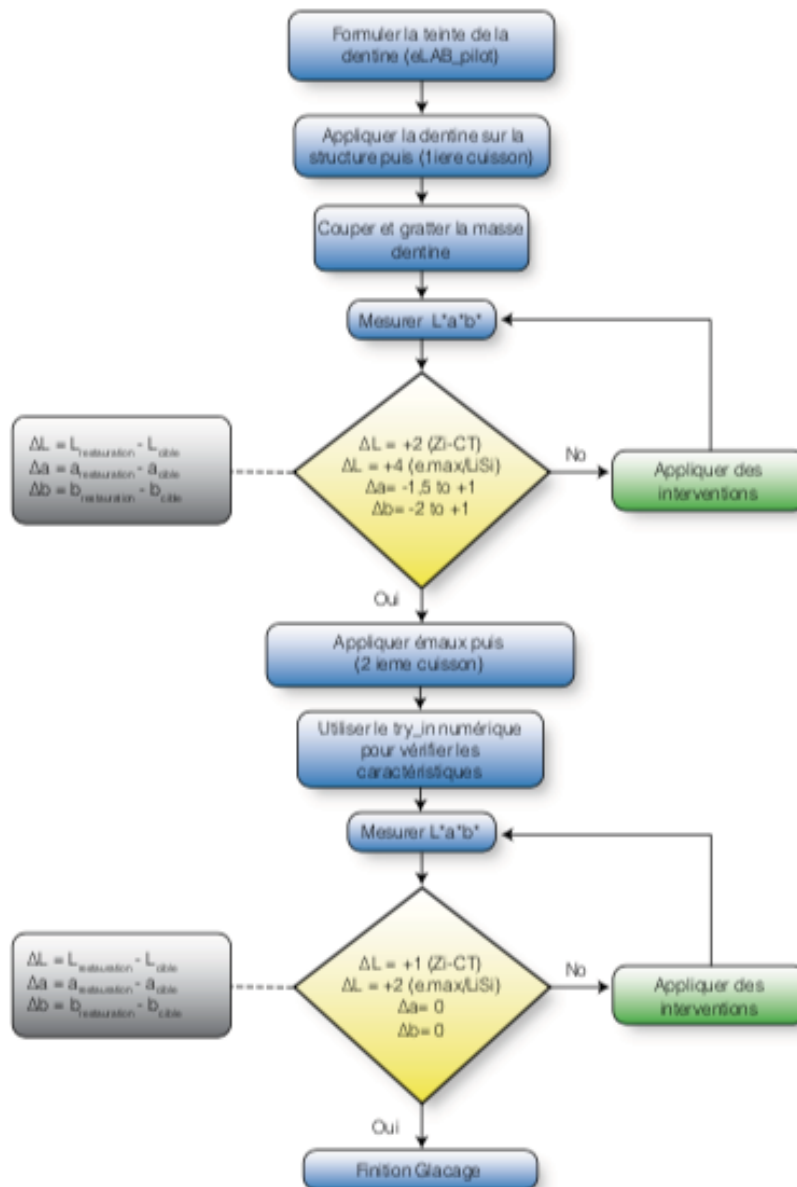


Figure 16. Stratégie de superposition pour la technique en cuisson multiple

Stratégies de superposition générales : Une Seule Cuisson (One-Bake)

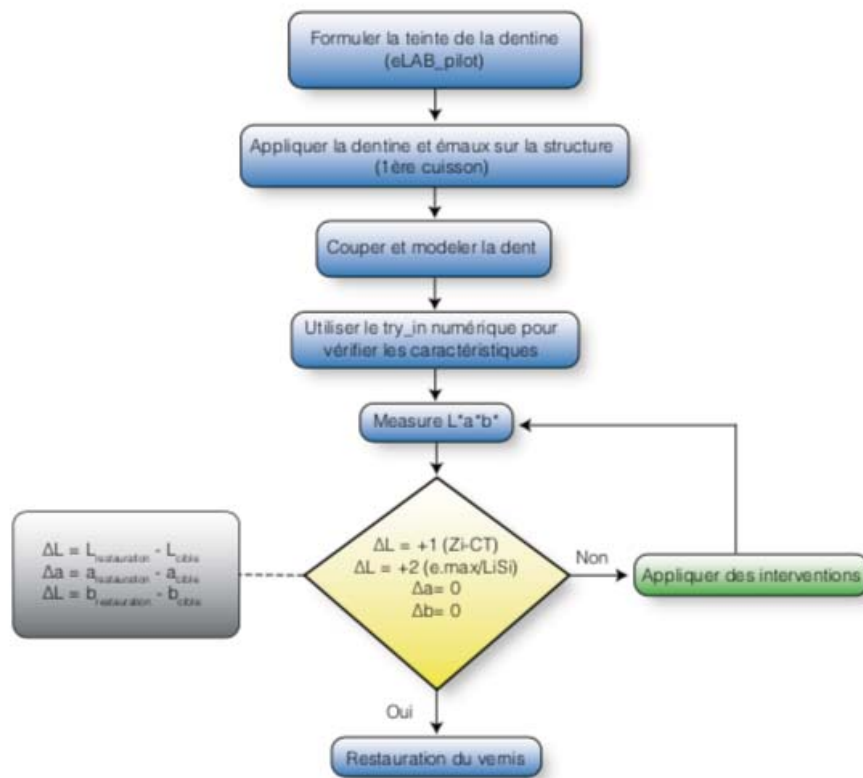


Figure 17. Stratégie de superposition pour la technique en une seule cuisson

c) Interprétation du CIE L*a*b

Avec eLAB_pilot® :

Le logiciel eLAB_pilot® (Figure 18) permet la prise de couleur de la dent dans une zone choisie et crée instantanément le mélange correspondant au CIE L*a*b donné.

Ce logiciel repose sur une interface utilisateur familière, en effet il est semblable au logiciel ColorDigitalMeter vu ci-dessus.



Figure 14. Logiciel eLAB_pilot®

Il suffit de choisir le grossissement x1 pour obtenir une moyenne suffisamment grande et pouvoir représenter la véritable couleur de la dent.

Il est ensuite important de mesurer dans la bonne zone de la dent. La couleur de la dent est influencée par le reflet des tissus mous (gencive) au niveau cervical et par le fond noir de la cavité orale au niveau incisal. Il est primordial d'intégrer une fausse gencive au maître modèle lors de la réalisation de la restauration pour reproduire au mieux la couleur dentaire.

L'endroit idéal pour prendre la couleur de référence de la dent est situé à quelques millimètres du tissu mou et sous l'équateur, la où se trouve la valeur L^* la plus élevée (Figure 19). Cet endroit devrait représenter la couleur d'origine des dents indépendamment de l'influence des tissus mous ou du fond noir de la cavité orale. Il suffit de sélectionner cette zone et le logiciel eLAB_pilot® génère une formule de mélange pour le système céramique sélectionné, à partir des données CIE $L^*a^*b^*$.

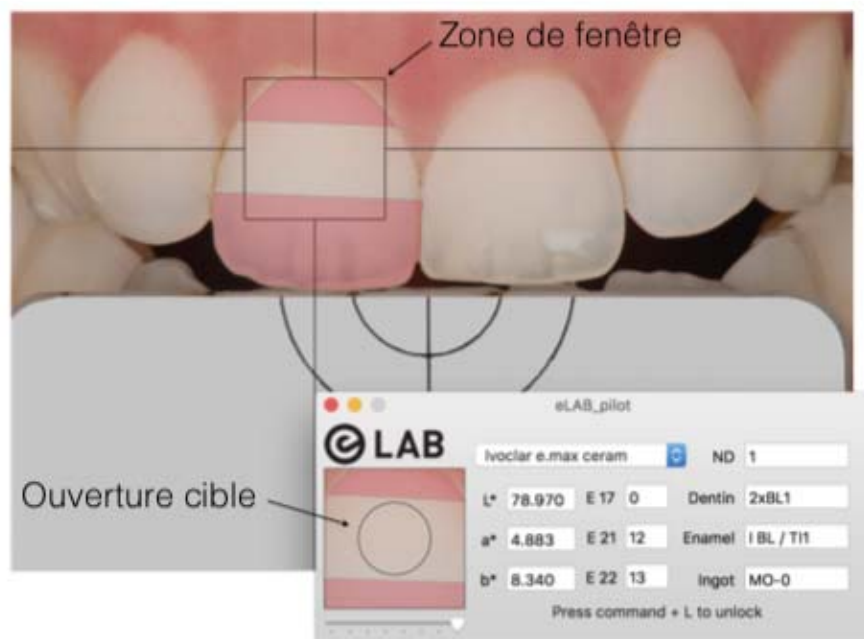


Figure 15. Fenêtre de prise de couleur

Sans eLAB_pilot® :

Pour les prothésistes qui n'utilisent pas le logiciel eLAB_pilot®, le principe est le même, avec le logiciel ClassicColorMeter pour obtenir le CIE L*a*b. Ils se réfèrent ensuite aux tableaux de correspondances pour transformer ces valeurs en couleurs, ou alors à leur catalogue de pastilles d'échantillons s'ils en ont réalisé un.

Pendant la réalisation de cette thèse, une deuxième application est apparue sur le marché, nommée Intuition® de MixCeram. Réalisée par Denis ELKAIM et Christian CLAVERIE, deux prothésistes travaillant dans le système L*a*b depuis de nombreuses années. Nous détaillerons cette application dans la dernière partie de cette étude.

d) Tableaux de correspondance CIE L*a*b/teintier

Avant la création du logiciel eLAB_pilot®, les auteurs du protocole ont créé des tableaux de correspondances valeurs CIE L*a*b – couleur (de nombreux teintiers, tel que A1, A2...). Pour chaque couleur, les valeurs L*a*b sont enregistrées comme ci-dessous (Figure 20) :

Shade	L*	a*	b*
B1	74,659	1,300	10,404
B2	73,292	3,091	15,262
A2	73,151	4,036	16,220
A1	72,969	1,965	10,128
A3	69,726	5,073	20,445
B3	69,066	3,794	21,214
C1	68,810	3,121	13,136
D2	68,726	2,832	11,827
D3	66,821	4,085	17,259
A3.5	66,239	6,041	26,004
B4	66,224	4,373	25,356
C2	66,176	4,538	18,090
D4	64,062	3,501	20,938
C3	63,709	5,294	21,044
A4	60,035	5,981	25,428
C4	56,451	5,985	23,292

Figure 20. Tableau de correspondance teintier Vita Classic 2016

Ces tableaux ont été créés pour guider le prothésiste dans ses couleurs de poudre, pour que le protocole devienne accessible à tous.

Cependant l'utilisation de ces tableaux ne correspond pas au protocole de base, qui consiste à se défaire complètement des guides de teinte, réaliser les mélanges de poudre en fonction du CIE L*a*b et ajuster sans cesse en prenant des photos jusqu'à avoir la restauration optimale.

L'utilisation de tableaux de correspondance exclut en partie le prothésiste du protocole. En effet le prothésiste prend les couleurs des teintiers qui sont moins

précises, mais en réalisant les ajustements nécessaires avec la prise de photographie régulière, le résultat est en général bon.

Ces tableaux de correspondances tendent à disparaître depuis la création du logiciel eLAB_pilot®.

e) Transmission du dossier au prothésiste

Le travail du dentiste est simple : il doit seulement prendre les photographies nécessaires au protocole, en respectant rigoureusement les réglages. Il transmet ensuite le fichier photo au prothésiste sous format RAW, qui n'a plus qu'à réaliser la restauration avec le protocole eLABor_aid® avant d'envoyer le travail fini au dentiste.

f) Avantages et inconvénients pour le prothésiste

Le travail pour réaliser une couronne avec le protocole eLABor_aid® est considérable par rapport à la technique classique qui consiste à se référer aux teintiers. Se pose alors la question des avantages et des inconvénients liés à ce protocole pour le prothésiste.

Avantages :

Les résultats sont très bons d'après Stevie PASQUIER. Ils sont positifs à 70% dans son laboratoire.

De plus, il n'y a pas de problème dans le choix de la couleur de la dent : il ne dépend plus de l'œil de l'opérateur, la question des variables de couleur entre teintiers de même fabricant ne se pose plus. Il n'y a pas d'erreur sur le choix de la couleur de la dent, avec une photo surexposée par exemple.

Nous obtenons quelque chose de reproductible et non œil dépendant.

Inconvénients :

L'inconvénient majeur pour le prothésiste est économique. Il faut compter environ 7 heures de travail pour réaliser une restauration avec le protocole eLABor_aid® versus 4 heures pour une couronne réalisée avec le protocole classique. Ce n'est pas

économiquement viable de réaliser toutes les restaurations avec ce protocole, il n'est donc pas opportun d'être prestataire unique eLABor_aid®.

A ce jour les protocoles classiques avec teintiers constituent la majorité des restaurations. Celui créé par eLABor_aid® se fait seulement dans quelques cas bien spécifiques : une demande esthétique forte et une capacité financière plus élevée du patient.

Ce protocole eLABor_aid® est difficilement applicable avec les tarifs moyens français. Il a été créé par des Allemands et il faut savoir que leur système de soins dentaire est très différent du nôtre.

Aujourd'hui, le laboratoire de prothèse facture environ 500€ TTC pièce ce genre de restauration au dentiste.

g) Expérience du prothésiste

La réalisation d'une restauration avec le protocole eLABor_aid® dépend énormément de l'expérience du prothésiste.

Chez un prothésiste avec peu d'expérience, le protocole eLABor_aid® est un bon système pour réaliser de jolies restaurations. En effet, si ce prothésiste suit scrupuleusement toutes les étapes et les « interventions » données par le protocole, il réalisera des restaurations bien plus esthétiques que celles réalisées avec le protocole classique.

Chez un prothésiste expérimenté, ce protocole va le guider pour avoir la restauration optimale et ce, sans déplacement du patient au laboratoire pour prise de couleur de dent.

Beaucoup de prothésistes réalisent des restaurations très esthétiques avec une couleur idéale en faisant une prise de couleur au laboratoire, en direct avec le patient qui s'est déplacé pour cela.

L'idée pour les prothésistes utilisant le protocole eLABor_aid® est de réaliser une prise de couleur idéale à distance.

h) Le spectrophotomètre

Le spectrophotomètre analyse les longueurs d'onde réfléchies d'une lumière incidente polychromatique visible.

L'appareil scanne la surface à étudier et le spectre réfléchi est mesuré en de très nombreux points, à intervalles faibles.

En fonction des systèmes, nous aurons des valeurs de teintiers (1 à 3 zones), voire même une cartographie de la dent très détaillée pour le prothésiste.

Ces appareils de prise de couleur dentaire électroniques ont pour but une communication standardisée avec le laboratoire. Ceci permet d'éviter les erreurs de prise de couleur causées par un mauvais éclairage ou une mauvaise analyse chromatique du praticien, tout comme le protocole eLABor_aid®.

Avantages :

- La prise de couleur par le spectrophotomètre est standardisée, reproductible, rapide et sécurisée.
- Les résultats sont positifs à plus de 80%³.

Inconvénients :

- Le spectrophotomètre est un élément coûteux. Cependant en comparaison au coût d'une restauration par système eLABor_aid® son prix est divisé par deux, et la machine est donc amortie en quelques séances.
- Il ne donne pas de notion d'état de surface et macrographie de la dent, une photo en supplément est donc indispensable pour renseigner le laboratoire à ce sujet.
- Il a un temps de chauffe qui varie entre 10 à 30 secondes pour certains, et jusqu'à 10 minutes pour d'autres. Il est important de bien choisir son spectrophotomètre pour éviter cette contrainte, dans le cas contraire il faut anticiper son utilisation.
- Comme pour le système eLABor_aid® un apprentissage dentiste/prothésiste à la manipulation du matériel, du logiciel et l'introduction aux bases de la colorimétrie est nécessaire. La complexité de l'analyse rebute beaucoup de praticiens et prothésistes.
- Certains modèles donne une cartographie de la dent en valeurs teintier, la couleur doit alors être systématiquement vérifiée visuellement.

Les chercheurs en médecine dentaire pensent souvent que les spectrophotomètres sont meilleurs ou plus précis que les appareils photo numériques pour les applications colorimétriques⁴⁵. C'est en fait incorrect. La littérature standard dans le domaine de la science des couleurs (et non de la dentisterie) reconnaît depuis longtemps l'utilité des appareils photo numériques pour les applications colorimétriques^{8, 34}.

Auteur	Année de publication	Type d'étude	Méthodologie	Résultats
Dhruv et al ⁴⁵	2016	In vitro	Image numérique vs Spectrophotomètre	On peut conclure que l'image numérique obtenue par appareil photo numérique associée au logiciel Adobe Photoshop CS5.1 peut être une alternative au spectrophotomètre.
Bhandari et al ⁴⁰	2014	In vivo	Image numérique vs Spectrophotomètre	Il n'y a pas de différence significative entre l'appareil photo numérique et le spectrophotomètre.
Carney an Jonston ²	2016	In vitro	Image numérique vs Spectoradiomètre	Les informations de couleurs provenant d'une image numérique sont pertinentes pour un large choix de nuances de couleur de la dent, pouvant être utilisées pour traduire avec précision les informations de couleurs en dentisterie restauratrice et esthétique.
Elter et al ⁵⁰	2005	In vitro	Image numérique vs Spectoradiomètre vs évaluation visuelle	La résolution de l'appareil photo numérique peut augmenter la fiabilité du choix de la couleur.
Jarrad et al ⁵²	2005	In vitro	Image numérique vs évaluation visuelle	L'appareil photo numérique peut être un moyen de mesurer la couleur en dentisterie.
Lakhanpal and Neelima ⁴	2016	In vitro	Image numérique vs Spectrophotomètre	Il n'y a pas de différence significative entre les valeurs L*a*b du spectrophotomètre et de l'image dentaire polarisée.
Oh et al ²⁵	2010	In vivo	Image numérique vs évaluation visuelle	La méthode numérique est valide pour la gamme de dents humaines basées sur le teintier Vita Classic.
Perkersoy et al ⁴⁷	2014	In vitro	Image numérique vs Spectoradiomètre	L'analyse des données du spectrophotomètre et du logiciel de photo numérique permet une évaluation numérique et objective des résultats, aussi les données peuvent être enregistrées.
Schropp ⁴³	2009	In vitro	Image numérique vs évaluation visuelle	Le choix de la couleur par image numérique et logiciel adapté est significativement plus fiable que la méthode visuelle conventionnelle.
Wee et al ¹¹	2006	In vitro	Image numérique vs Spectoradiomètre	L'utilisation d'appareil photo numérique avec un protocole approprié a du potentiel dans le choix de la couleur en dentisterie.
Yamanel et al ⁶	2010	In vitro	Image numérique vs Colorimètre	La méthode numérique peut être utilisée dans l'évaluation de la couleur.

Tableau 1. Tableau des études comparant l'imagerie numérique avec une autre méthode

La méthode utilisée dans la plupart des études modernes concernant la colorimétrie combine photographies numériques, analyse par spectrophotomètre et analyse des données par informatique. Ce type d'instruments a le potentiel de réduire au maximum les facteurs de subjectivité lors du relevé de couleur.

L'utilisation du système eLABor_aid® permet d'obtenir les mêmes résultats, sans utilisation du spectrophotomètre⁴.

IV- MISE EN PRATIQUE CLINIQUE

Pour cette dernière partie, nous réalisons un cas pratique clinique afin de mettre en application la méthode eLABor_aid®. Nous faisons en parallèle chez ce même patient et pour la même dent, une couronne par méthode classique avec teintier chez notre prothésiste habituel. Le but final étant de comparer ces deux couronnes d'un point de vue esthétique.

C'est le prothésiste Jacques Antoine TRIBAULT, du laboratoire Dental Studio à Aix-en-Provence qui réalise la restauration avec la technique eLABor_aid®.

Quant à la couronne réalisée par méthode classique, nous faisons appel à notre laboratoire habituel, Cérazur à Tours.

1- Présentation du cas clinique

Monsieur Patrick P., 67 ans, consulte pour une restauration de sa dent numéro 11, celle-ci se cassant à de nombreuses reprises. Des restaurations par composites et par facettes ont été réalisées plusieurs fois, mais un échec de collage s'est avéré, malgré un respect strict du protocole de collage.

Monsieur P. à un bruxisme important, et une probable consommation acide, ce qui pourrait expliquer les difficultés de collage.

Une couronne sur cette dent est donc indiquée.

L'anamnèse ne met en évidence aucun problème de santé, aucun traitement médicamenteux. Monsieur P. est non fumeur.



Figure 21. Sourire de Monsieur P.



Figure 22. Occlusion de Monsieur P.

- Sur cette photo, nous constatons que Monsieur P. à une occlusion en bout à bout ainsi que les traces d'un bruxisme important.
- Des soins de lésions cervicales d'usures sont à refaire secteur 1 et 4.
- La facette sur la dent numéro 11 est tombée à nouveau.

2- Photographies

La première étape du protocole consiste à réaliser les photographies nécessaires pour le protocole eLABor_aid®.

Pour ce faire, nous utilisons un appareil photo reflex Nikon D90 avec les réglages pour la standardisation de celui-ci (F22, 1/125s, ISO100 et RAW), ainsi qu'un flash annulaire Metz 15MS-1 digital (Fig. 23).



Figure 23. Appareil photo numérique Nikon avec flash annulaire

Nous nous sommes fournis une carte de référence des blancs white_balance® de Bioemulation (Fig. 24), ainsi qu'un filtre de polarisation croisée CROSS-POLAR® (Fig. 25).



Figure 24. Carte de référence des blancs White_balance®



Figure 25. Filtre de polarisation Cross Polar®

Le patient est assis, il tient ses écarteurs comme indiqué dans le protocole. Nous respectons la distance de 20cm entre l'appareil photo et le patient. Nous pouvons alors réaliser la première série de photographies.

a) Méthode eLABor_aid®

Nous veillons, lors de la prise de photos, à plusieurs points sur lesquels le prothésiste a attiré notre attention :

- Le patient doit boire entre chaque photo pour éviter la déshydratation des dents, qui peut créer une erreur de couleur
- Nous devons faire attention à avoir les tissus mous à distance des dents pour qu'ils n'influencent pas la couleur de la dent. Nous devons bien écarter les lèvres, et le patient doit mettre sa langue à distance des dents concernées
- Le moignon dentaire ne doit pas être en métal (pas d'inlay core).

Nous prenons, avant réalisation de la préparation périphérique de la dent, quatre photos :



Figure 26. Photo sans carte de référence des blancs et sans filtre de polarisation



Figure 27. Photo sans carte de référence des blancs, avec filtre de polarisation

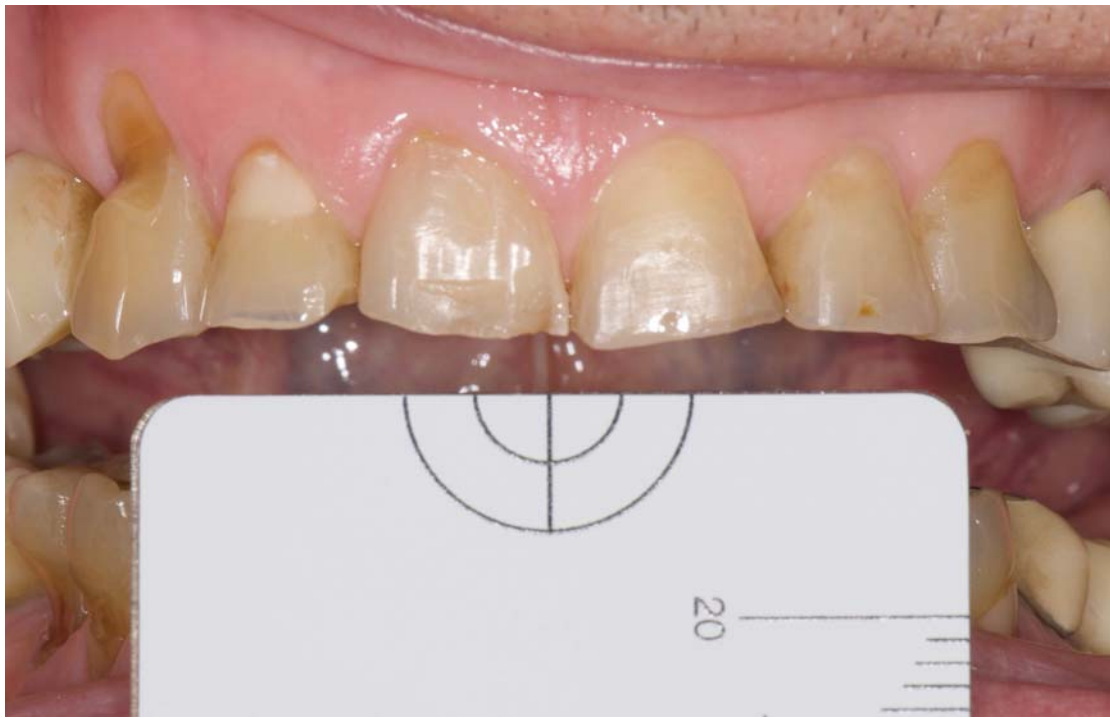


Figure 28. Photo avec carte de référence des blancs et sans filtre de polarisation



Figure 29. Photo avec carte de référence des blancs et avec filtre de polarisation

Une fois cette série de photos réalisées, nous prenons une première empreinte en silicone (Putty), avant préparation de la dent. Nous réalisons la préparation périphérique de la dent numéro 11 puis prenons les empreintes à envoyer au prothésiste (Impregum® maxillaire et alginate mandibulaire).

A noter que nous fournirons également une photo avec teintier, à la demande du prothésiste. Même s'il ne s'en servira pas dans son protocole, cela lui permet d'avoir une indication de couleur de base. Nous enverrons cette même photo au laboratoire Cératur, qui réalisera la couronne par méthode classique avec teintier VITA 3D master.

Nous pouvons alors prendre une deuxième série de photos. Ces photos serviront à la superposition de la photo de la couronne faite sur le maître modèle par le prothésiste, sur la photo initiale afin d'avoir un aperçu final de la restauration en bouche. Elles serviront également à faire les réglages nécessaires sur la restauration en cours de fabrication.

Voici les photographies prises après préparation périphérique de la dent :



Figure 30. Photo préparation périphérique sans carte de référence des blancs, sans filtre de polarisation



Figure 31. Photo préparation périphérique sans carte de référence des blancs, avec filtre de polarisation



Figure 32. Photo préparation périphérique avec carte de référence des blancs, sans filtre de polarisation



Figure 33. Photo préparation périphérique avec carte de référence des blancs, avec filtre de polarisation

Tout ce travail est envoyé au laboratoire Dental Studio à Aix-en-Provence, M. TRIBAULT réalisera la couronne avec la méthode eLABor_aid®.

b) Méthode classique avec teintier VITA 3D Master

Pour la réalisation de la deuxième couronne nous procéderons comme à notre habitude au cabinet c'est-à-dire :

- Prise de la couleur avec teintier VITA 3D Master
- Prise de photo teintier en place
- Envoi au prothésiste de la photo en parallèle des empreintes dentaires



Figure 34. Photo avec indication de couleur par le teintier Vita 3D Master.

Nous pouvons critiquer cette photographie. La couleur prise est trop « grise ». De plus le teintier n'est pas mis exactement en bout à bout avec les dents, ce qui peut créer des erreurs de couleur. La photo est surexposée, entraînant également une erreur dans la prise de couleur.

Nous aurions dû prendre d'autres photos avec d'autres couleurs de teintier pour aider le laboratoire dans la fabrication de la couronne. Une couleur supplémentaire au niveau du collet était nécessaire dans ce cas.

3- Travail prothétique

Après réception des photos en format .NEF (RAW), le prothésiste peut commencer à les traiter. Il va alors faire les manipulations logiciels comme vues dans la première partie de cette thèse.

Pour ce cas, M. TRIBAULT me confie qu'il ne s'est presque pas servi du logiciel eLAB_pilot®. Il réalise la couronne avec la méthode eLAB_aid® en utilisant un nouveau logiciel créé par un ami prothésiste, Denis ELKAÏM et son co-fondateur

Christian CLAVERIE. Ce logiciel nommé « Intuition » est plus facile d'utilisation d'après M. TRIBAULT.

Selon M. TRIBAULT, le logiciel eLAB_pilot® est très bien réalisé et extrêmement précis. Il donne la couleur dentine puis le prothésiste augmente les pigments rouges ou jaunes pour obtenir le résultat final. Cependant son utilisation est très délicate, si le prothésiste met légèrement trop de pigment, la couleur de la couronne n'est plus du tout celle recherchée. Il faut être très rigoureux dans la réalisation au risque de devoir refaire la couronne.

Le logiciel Intuition® de MixCeram, accessible depuis peu, est une application facile à utiliser, qui permet au prothésiste de trouver des formules de montage par stratification, uniquement en mélangeant les poudres des pots céramique présents dans chaque coffret du marché.

Application Intuition® :

A partir d'une photo traitée par ordinateur, le prothésiste doit utiliser les valeurs "L", "a" et "b" de la dent naturelle à reproduire.

Utilisation de l'application :

- 1 – Ouvrir l'application (application disponible sur mobile également)
 - 2 - Choisir le coffret céramique
 - 3 - Sélectionner les dentines si l'on recherche la formule d'une dentine puis sélectionner mélange à « parts égales » ou mélange « libre » qui sera plus précis
 - 4- Sélectionner le « L », le « a » et le « b » à l'aide de la roue ou en saisie clavier
- Puis cliquer sur rechercher (icône de loupe)

L'application délivre tout d'abord au prothésiste la poudre la plus approchante, puis trois formules avec deux, trois et quatre poudres.

Si le prothésiste ne possède pas l'une des poudres il peut l'indiquer et l'application recalcule une formule sans cette poudre.

L'application calcule la recette sur armature pour le $L*a*b$ de la dentine et la recette sur la partie émail pour la zone translucide.

Tout le reste est intuitif.



Figure 35. Choix coffret céramique

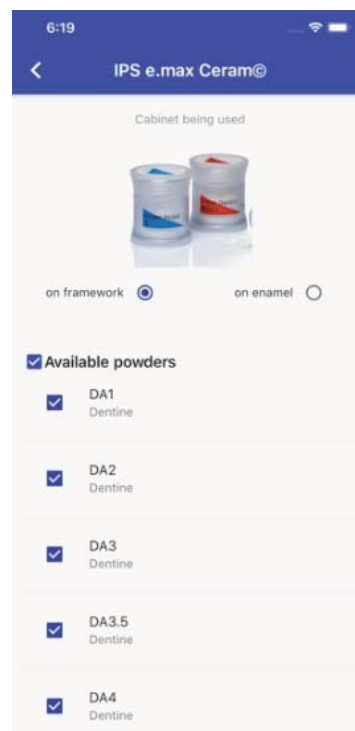


Figure 36. Sélection des poudres dentines



Figure 37. Indication de L*a*b



Figure 38. Mélange de poudres

M. TRIBAULT traite nos photos sur Adobe Photoshop Lightroom® puis cherche les valeurs L^*a^*b de la dent. Le prothésiste fait le choix de réaliser la couronne en IPS e.max céram®.

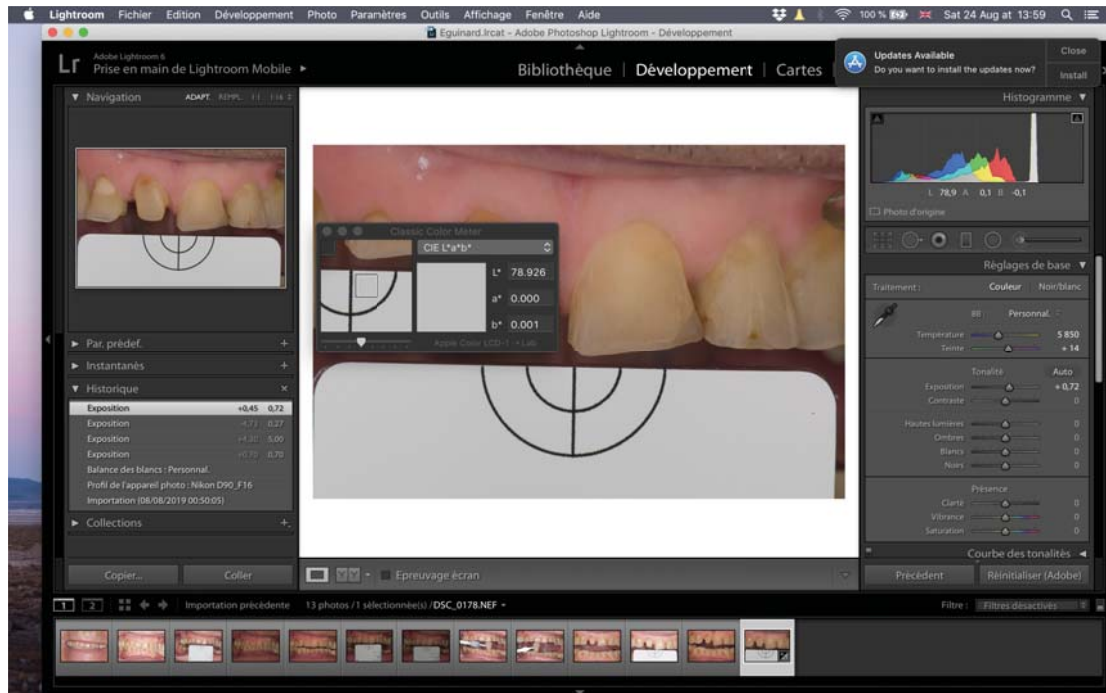


Figure 39. Balance des blancs

M. TRIBAULT peut exploiter les photos comme suit :

- Calibrage de la photo grâce à la carte des blancs avec le $L^*70 a^*0 b^*0$ sur le logiciel Lightroom®
- Synchronisation de toutes les photos : la balance des blancs est faite
- Exploitation des photos dans le système CIE L^*a^*b :
 - Partie moyenne de la dent homologue
 - Bord libre de la dent homologue
 - Bord cervical de la dent homologue
 - Moignon de la dent préparée

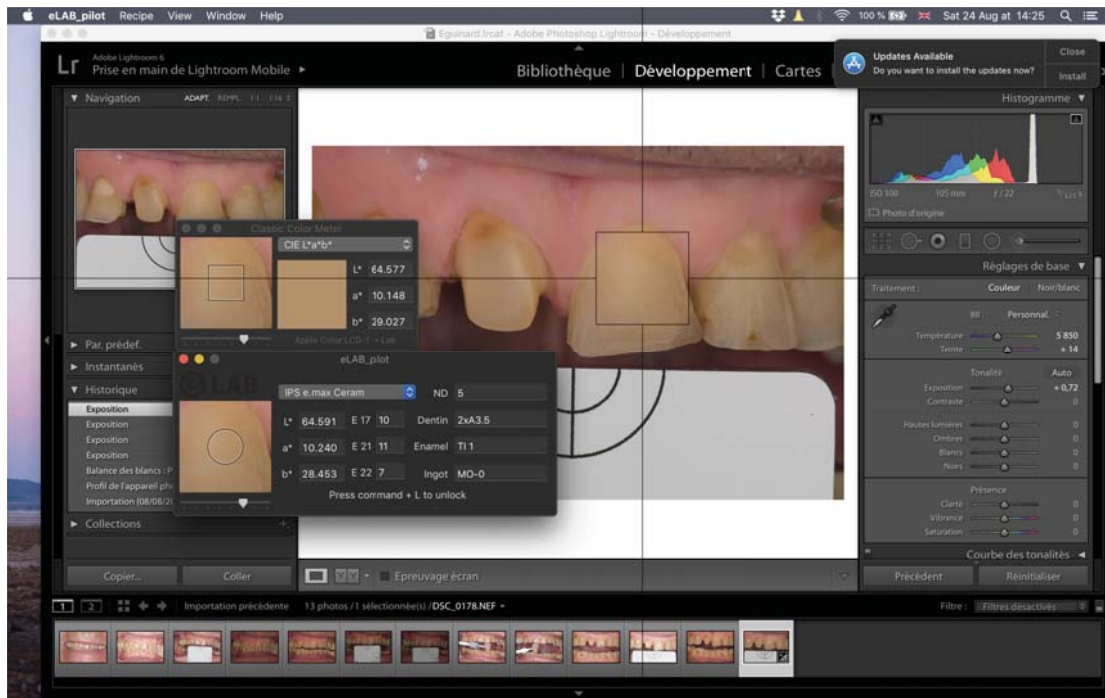


Figure 40. CIE L*a*b dans la partie moyenne de la dent

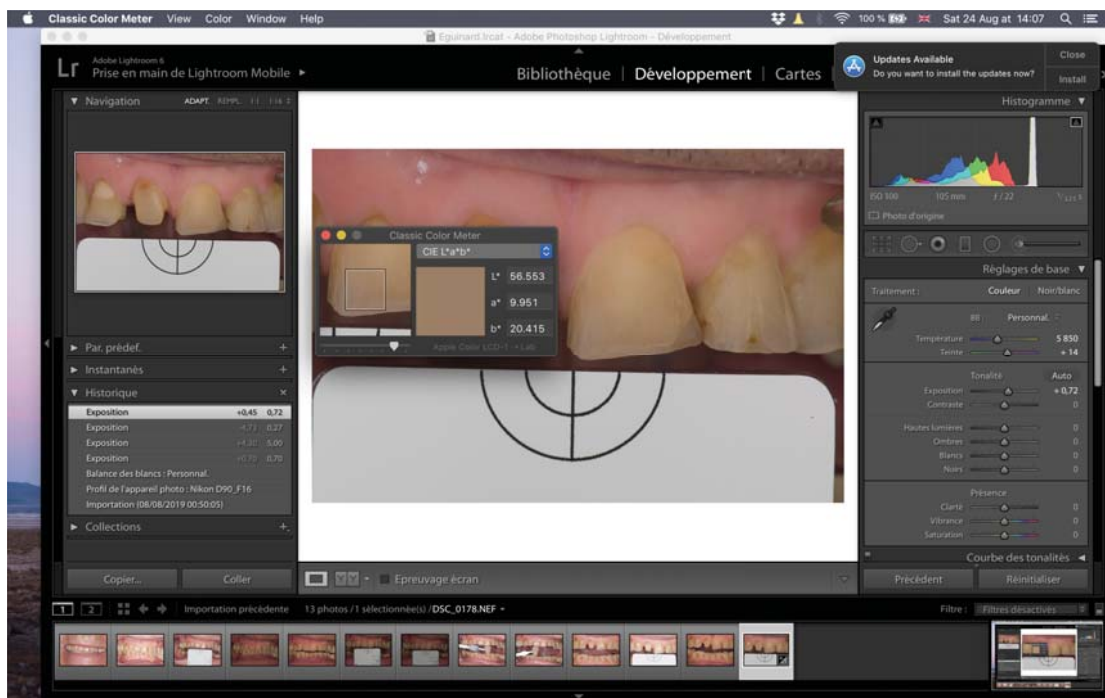


Figure 41. CIE L*a*b du bord libre de la dent

Il est recommandé au prothésiste de créer ses propres pastilles de couleur avec ses poudres céramiques avant la réalisation de chaque nouveau cas clinique.

M. TRIBAULT fait ses pastilles et calcule le L*a*b de chacune sur fond blanc pour simuler l'armature en zircone et sur fond noir pour simuler le noir de la cavité buccale.

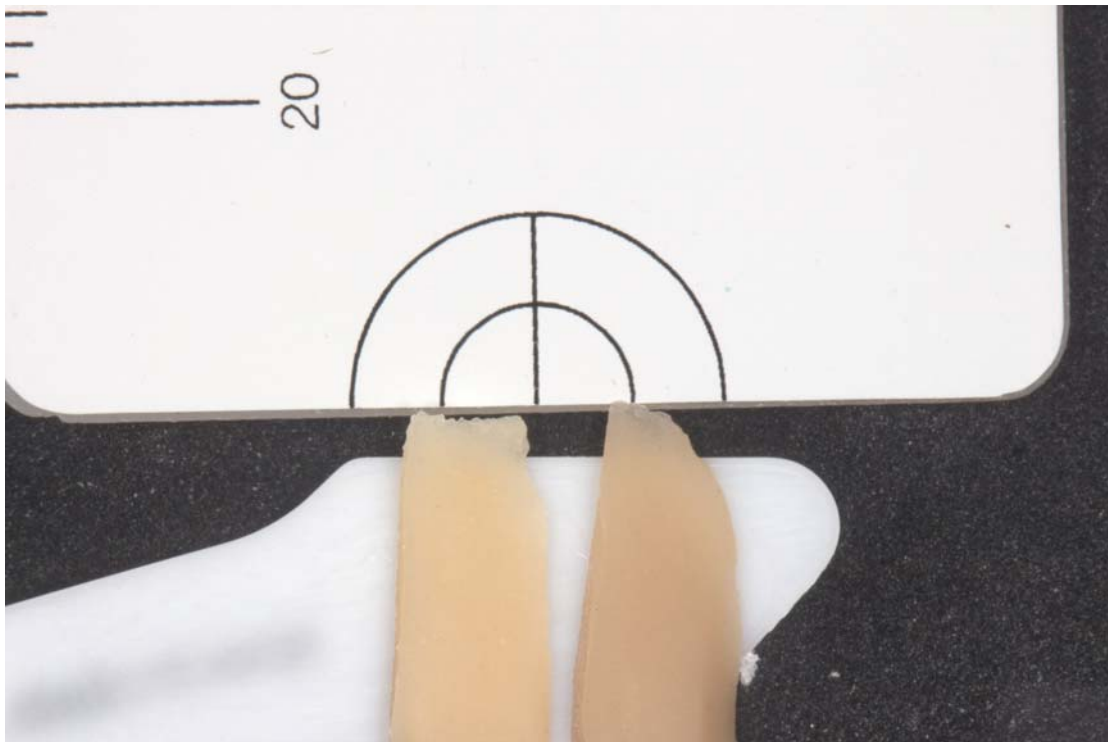


Figure 42. Pastille de céramiques

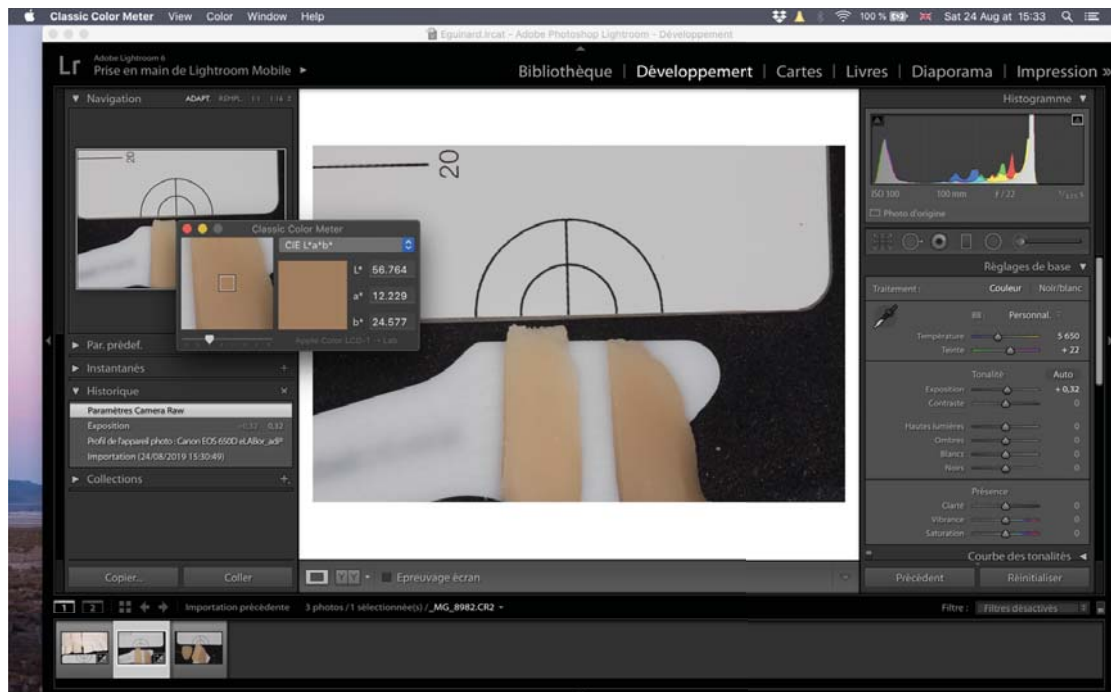


Figure 43. Vérification du L^*a^*b des pastilles de céramique

M. TRIBAULT choisit ensuite le coffret céramique qu'il souhaite utiliser. Il sélectionne les poudres qu'il possède et entre les valeurs CIE L^*a^*b de la dent dans l'application Intuition®. Il obtient les mélanges de poudre. Il réalise alors sa couronne comme suit :

- Montage de la couche dentine en additionnant les poudres céramiques comme l'indique l'application. La poudre dentine de base utilisée est A3,5
- Cuisson
- Photo avec carte de référence des blancs
- Comparaison des données L^*a^*b avec le résultat escompté
- Ajout de poudre/pigments si nécessaire (E21, E22 et E17 Ivocolor par exemple pour les pigments), puis prise de photos et mesures des données L^*a^*b à nouveau jusqu'à obtenir le L^*a^*b souhaité. Dans notre cas clinique, la valeur de a^* était trop basse de environ 1, M. TRIBAULT à alors rajouté une valeur de pigments rouges Ivocolor E21 Basic Red.
- Montage de la couche email
- Photo avec la carte de référence des blancs
- Mesure des données L^*a^*b
- Glaçage
- Photo avec carte de référence des blancs
- Mesure des données L^*a^*b

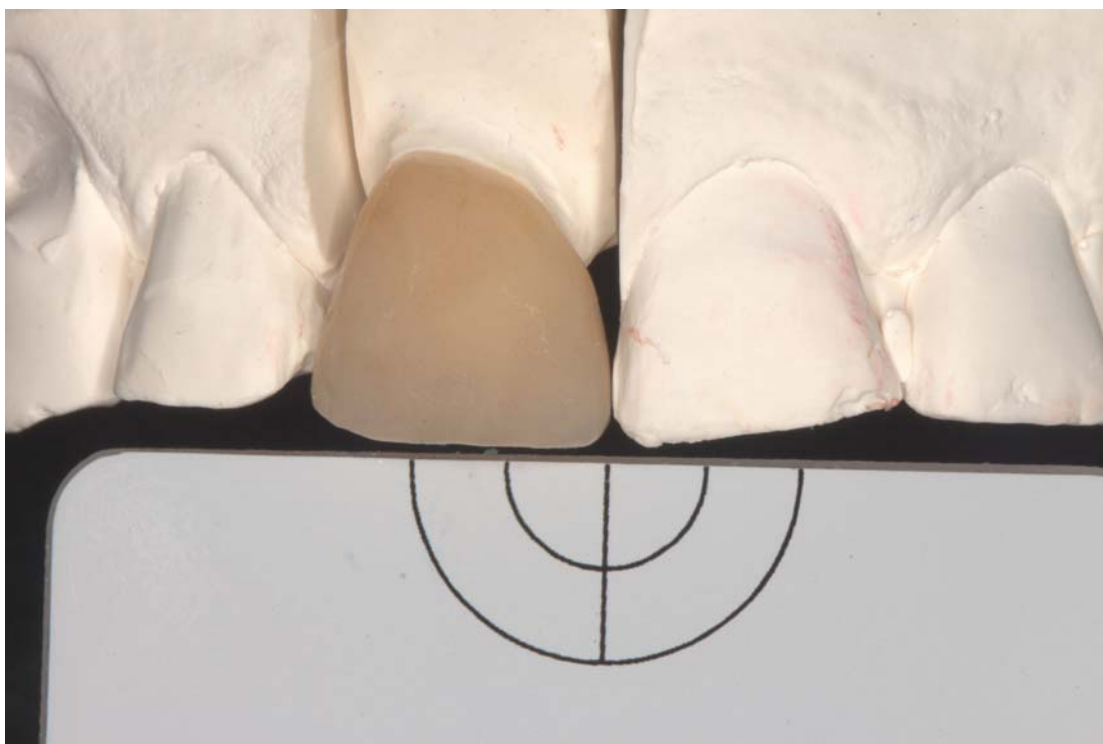


Figure 44. Photo de la couronne terminée sur maître modèle avec filtre de polarisation



Figure 45. Couronne terminée sur maître modèle sans filtre de polarisation

Une fois la couronne terminée, les valeurs CIE L*a*b vérifiées et correctes, le prothésiste peut réaliser un montage photo pour simuler cette nouvelle couronne en bouche et prévisualiser le résultat avant de l'envoyer au praticien.



Figure 46. Montage photo sans filtre de polarisation pour simuler la nouvelle couronne en bouche

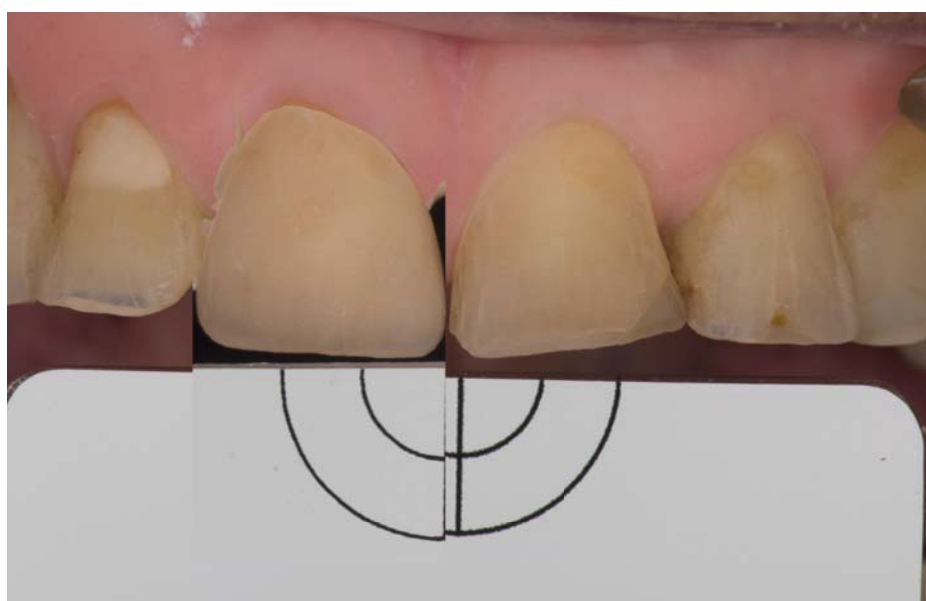


Figure 47. Photo avec filtre de polarisation pour simuler la couronne en bouche

Notre prothésiste procède à l'envoi de la couronne, il ne reste plus qu'à l'essayer en bouche de Monsieur P. après réception.

4- Résultats

Un mois plus tard, nous recevons les couronnes venant de chacun des laboratoires.



Figure 48. Présentation des deux couronnes : à gauche la couronne réalisée par méthode classique, à droite celle réalisée avec eLABor_aid®

Nous pouvons constater dans un premier temps que la couronne de gauche, réalisée par méthode classique avec teintier est un peu plus « grise » que celle de droite réalisée par le protocole eLABor_aid®.

Nous allons procéder à l'essayage de chacune des couronnes sur Monsieur P. afin de décider de celle qui aura le meilleur rendu esthétique. Pour ce faire, nous utilisons une pâte d'essai de couleur A3,5.



Figure 49. Couronne réalisée par méthode classique avec teintier

Voici la première couronne, réalisée par méthode classique avec teintier. Cette couronne est légèrement trop grise par rapport à son homologue. Sa forme est cependant très satisfaisante.



Figure 50. Couronne réalisée avec eLABor_aid®

On remarque pour cette couronne réalisée avec le protocole eLABor_aid® que sa couleur est très semblable à son homologue et donc beaucoup plus esthétique que la précédente.



Figure 51. Sourire de Monsieur P. avec la couronne réalisée par méthode classique avec teintier



Figure 52. Sourire de Monsieur P. avec la couronne réalisée avec eLABor_aid®

Analyse critique de M. TRIBAULT :

La réalisation d'une couronne unitaire antérieure est toujours un acte complexe pour le prothésiste. Monsieur P. a de nombreuses restaurations en bouche, avec de nombreuses couleurs différentes, ce qui rend ce cas particulièrement délicat.

La couleur de la restauration se rapproche de celle de la dent homologue. L'ajout de pigments donnant un aspect plus « orangé » à certains endroits aurait pu être réalisé.

L'angle distal de la couronne aurait pu être travaillé autrement pour être plus semblable à celui de la dent numéro 21.

Sur ces photos, l'angle de vue est légèrement trop bas. Cette mauvaise orientation peut influencer la couleur de la dent.

De plus, la dent doit être en bouche depuis plusieurs jours pour se réhydrater afin d'obtenir sa couleur définitive. Nous reverrons donc Monsieur P. ultérieurement pour refaire des photos une fois la couronne bien intégrée.

Après comparaison des deux couronnes, notre choix se porte sur celle réalisée avec eLABor_aid®. La couleur est plus proche de son homologue (dent numéro 21) et le rendu est plus esthétique.

Nous revoyons Monsieur P. huit semaines après la pose de la couronne pour refaire des photos après intégration de la couronne.



Figure 53. Photo couronne en bouche depuis huit semaines sans filtre de polarisation



Figure 54. Photo couronne en bouche depuis huit semaines avec filtre de polarisation

Analyse critique :

Pour commencer, les photos sont de meilleure qualité que le jour de la pose. L'angle de prise de vue est correct.

Ensuite, M. TRIBAULT trouve que la couronne est bien intégrée. Celle-ci est réhydratée et la gencive se régénère autour de la restauration.

Monsieur P. semble satisfait de « sa nouvelle dent ».

V- CONCLUSION

Aujourd'hui le choix de la couleur en dentisterie est un acte quotidien et difficile. Il doit être simple, rapide, objectif, reproductible et surtout facile à réaliser par le praticien.

L'efficacité de la technique de prise de couleur de la dent est essentielle à la conception de la pièce prothétique pour répondre à l'exigence esthétique du patient et du praticien.

Les teintiers dits « manuels » et les systèmes numériques sont les deux techniques principales utilisées par les dentistes pour la prise de couleur des dents. Ces deux systèmes présentent des avantages et inconvénients.

Les teintiers classiques permettent une évaluation rapide et simple mais trop approximative et subjective de la « couleur ».

Les systèmes numériques présentent deux avantages majeurs, à savoir :

- la réduction de l'influence de l'environnement lumineux et des paramètres d'éclairages
- l'affranchissement total de la variabilité de l'opérateur

Cependant aucune de ces deux familles de systèmes ne permet actuellement d'obtenir des résultats « parfaits » pour la totalité des situations cliniques, même si la supériorité des systèmes numériques dans la fiabilité de l'enregistrement de la couleur des dents a été validée scientifiquement.

La volonté de trouver un système de prise de couleur pour avoir des résultats esthétiques « parfaits » à chaque cas clinique a poussé Sascha HEIN à créer le protocole eLABor_aid®.

Notre travail s'est fixé pour but d'étudier la méthode eLABor_aid® dans le choix de la couleur en dentisterie esthétique puis de la comparer, grâce à un cas clinique, à la méthode la plus utilisée actuellement en cabinet dentaire : la prise de couleur visuelle avec teintier.

Voici un tableau comparatif des deux méthodes réalisées dans cette étude :

	Méthode Classique	Méthode eLABor_aid®
Temps de réalisation – praticien	1 ^{er} RDV - 50 minutes de préparation de la couronne 2 nd RDV - 30 minutes de pose de la couronne	1 ^{er} RDV - 1h30 de préparation de la couronne et prise de photos 2 nd RDV - 40 minutes de pose de couronne et prise de photos
Temps de réalisation – prothésiste	4 heures	7 heures
Prix laboratoire	181€ TTC	500€ TTC
Matériel	- Teintier Vita 3D Master (60€ TTC) - Appareil photo numérique + flash macro (environ 1500€ TTC)	- Appareil photo numérique + flash macro (environ 1500€ TTC) - Carte de référence des blancs (65€ TTC) - Filtre de polarisation croisée (300€ TTC)
Délais de fabrication prothésiste	3 semaines	4 semaines

Tableau 2. Tableau comparatif des deux méthodes : eLABor_aid® vs teintier

Les résultats principaux de notre étude sont :

- La couronne réalisée avec la méthode eLABor_aid® à une couleur qui convient visuellement au patient et au praticien.
- La couronne réalisée avec la méthode classique à une couleur un peu trop grise par rapport aux autres dents de Monsieur P.

Nous pouvons mettre en évidence que le choix de la couleur avec le teintier est source d'erreur, il dépend de l'œil de l'opérateur ainsi que de l'éclairage du milieu dans lequel on se trouve géographiquement. Les teintiers VITA ont été créés il y a 70 ans, ils diffèrent d'une fabrication à l'autre et leur couleur se modifie en vieillissant. Dans le cas de la couronne de Monsieur P., notre prise de couleur avec le teintier n'est pas bonne : notre œil et l'environnement nous trompe et nous choisissons la mauvaise couleur.

La méthode eLABor_aid® a pour avantage de s'affranchir complètement de ces éléments grâce à des réglages communs à tous et des références connues telles que la carte de référence des blancs. Il y a donc moins de risque d'erreur dans la réalisation de la couronne. C'est le cas dans notre étude : nous obtenons une couronne esthétique car sa couleur est semblable à la dent homologue. Cependant, la conception de la prothèse est opérateur dépendante et la courbe d'apprentissage pour le dentiste et le prothésiste est longue.

La méthode dite « classique » de prise de couleur par le dentiste avec le teintier n'est pas une méthode qui nous permet un bon rendu esthétique car trop subjective et multifactorielle. Le spectrophotomètre n'a pas été utilisé dans ce cas clinique, la prise de couleur n'est pas standardisée. Pour obtenir ce type de restauration, il est primordial d'associer cette méthode « classique » avec une méthode avec prise de couleur objective de la dent tel que l'utilisation d'un spectrophotomètre ou de la photographie numérique avec un protocole standardisé.

Les résultats obtenus dans cette étude sont naturellement influencés par les différentes conditions expérimentales qui la caractérisent.

Pour pouvoir étudier leur influence d'autres expérimentations doivent pouvoir faire l'objet d'études complémentaires.

La méthode eLABor_aid® s'avère efficace mais délicate à appliquer au quotidien dans tous les cabinets dentaires. Même si cette méthode est assez simple de réalisation pour le praticien, elle nécessite :

- Une initiation/formation à la photographie dentaire. Lors de la réalisation du cas clinique, de nombreuses photos ont été réalisées et beaucoup sont inexploitable.
- Une courbe d'apprentissage longue, surtout pour le prothésiste. Cette technique reste opérateur dépendante : une erreur pendant la conception est très vite arrivée.
- L'achat de matériel supplémentaire.
- La collaboration avec un laboratoire qui sait utiliser ce protocole (peu de prothésistes savent utiliser le protocole eLABor_aid® en France, et beaucoup sont réfractaires à se former à cette nouvelle méthode), ou qui accepte de se former à ce protocole.
- Une durée de rendez-vous plus élevée : 50 minutes supplémentaires environ sur les deux rendez-vous pour réaliser les nombreuses séries de photographies nécessaires au protocole.
- Un patient ayant la capacité financière pour la restauration d'une dent : le laboratoire passant plus de temps à réaliser cette couronne, il la facture au praticien à un coût plus élevé. Le praticien doit donc à son tour augmenter le prix de la couronne au patient.

L'évolution de l'imagerie numérique ces dernières années pousse les chirurgiens dentistes et prothésistes à chercher de nouvelles techniques permettant d'être plus précis dans la transmission du travail et dans la réalisation de celui-ci.

Nous pouvons imaginer dans les années à venir, un protocole bien calé avec notre prothésiste, simple, rapide, objectif et reproductif qui nous permettrait de nous affranchir complètement du teintier et donc des erreurs liées à celui-ci.

VI – BIBLIOGRAPHIE

1. Van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Kortsmits WJPM. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent.* févr 1990;63(2):155-62.
2. Carney MN, Johnston WM. A novel regression model from RGB image data to spectroradiometric correlates optimized for tooth colored shades. *J Dent.* 2016;51:45-8.
3. 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.* sept 2012;43(8):649-59.
4. Lakhanpal S, Neelima MS. Accuracy of three shade-matching devices in replicating the shade of metal ceramic restorations: an in vitro study. *J Contemp Dent Pract.* déc 2016;17(12):1003-8.
5. Sagel PA, Gerlach RW. Application of digital imaging in tooth whitening randomized controlled trials. *Am J Dent.* sept 2007;20 (Spec No A):7A-14A.
6. Yamanel K, Caglar A, Özcan M, Gulsah K, Bagis B. Assessment of color parameters of composite resin shade guides using digital imaging versus colorimeter. *J Esthet Restor Dent.* déc 2010;22(6):379-88.
7. Hein S, Bazos P. Beyond visible: exploring shade interpretation. *Quintessence of Dental Technology.* 2014;37:199-211.
8. Berns RS. Billmeyer and Saltzman's principles of color technology. New York : John Wiley & Sons, 2019.
9. Bazos P, Magne P. Bio-Emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histo- anatomic approach; visual synthesis. *Clin Res.* 2014;9(3):24.
10. Riley EJ, Filipancic JM. Ceramic shade determination: current technique for a direct approach. *Int J Prosthodont.* avr 1989;2(2):131-7.
11. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater.* juin 2006;22(6):553-9.
12. Sproull RC. Color matching in dentistry. 3. Color control. *J Prosthet Dent.* févr 1974;31(2):146-54.
13. Riley EJ, Sozio RB, Amdur BH, Sanderson IR. Color visualization during porcelain buildup using an organic liquid binder. *Quintessence Dent Technol.* déc 1985;9(10):637-41.
14. Westland S, Luo W, Ellwood R, Brunton P, Pretty I. Colour assessment in Dentistry. *Annals of the BMVA Vol.* 2007, (No. 4), pp 1–10 (2007)
15. Edwards N. Cross-polarisation, making it practical. *J Vis Commun Med.* déc 2011;34(4):165-72.

16. Sommer A, Kues HA, D'Anna SA, Arkell S, Robin A, Quigley HA. Cross-polarization photography of the nerve fiber layer. *Arch Ophthalmol.* juin 1984;102(6):864-9.
17. Robertson AJ, Toumba KJ. Cross-polarized photography in the study of enamel defects in dental paediatrics. *J Audiov Media Med.* juin 1999;22(2):63-70.
18. Stevenson B. Current methods of shade matching in dentistry: a review of the supporting literature. *Dent Update.* juin 2009;36(5):270-2, 274-6.
19. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int.* janv 1985;16(1):47-58.
20. 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.
21. Igiel C, Weyhrauch M, Wentaschek S, Scheller H, Lehmann KM. Dental color matching: A comparison between visual and instrumental methods. *Dent Mater J.* 2016;35(1):63-9.
22. Tam WK, Lee HJ. Dental shade matching using a digital camera. *J Dent.* déc 2012;40 (Suppl. 2):e3-10.
23. Vanini L, Mangani FM. Determination and communication of color using the five color dimensions of teeth. *Pract Proced Aesthet Dent.* févr 2001;13(1):19-26; quiz 28.
24. Kim E, Son T, Lee Y, Jung B. Development of polarization dental imaging modality and evaluation of its clinical feasibility. *J Dent.* juill 2012;40 (Suppl. 1):e18-25.
25. Won-suk O, John P, J. O'Brien W. Digital computer matching of tooth color. *Materials.* juin 2010;3. 3694-3699
26. Hein S. Digital workflow - YouTube [Internet]. [cité 10 juin 2019]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=3i5M1ClWl9I&list=PLvZcLumYjVaXChtrDPP-sR3TInBw6B7x&index=3>
27. Hein S. eLAB_copilot: Users manual! Copyright © by Sascha Hein 2018 - YouTube [Internet]. [cité 10 juin 2019]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=YK1a9IU0Uhc>
28. Hein S. eLAB® | NOTE: Adobe has renamed this software Adobe Lightroom CLASSIC CC". - YouTube [Internet]. [cité 10 juin 2019]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=A5tzS_nxqX0&list=PLvZcLumYjVaXChtrDPP-sR3TInBw6B7x&index=5
29. Hein S, Tapia J, Bazos P. eLABor_aid: a new approach to digital shade management. *Int J Esthet Dent.* 2017;12(2):186-202.

30. Jacques SL, Ramella-Roman JC, Lee K. Imaging skin pathology with polarized light. *J Biomed Opt.* juill 2002;7(3):329-40.
31. Jacques SL, Roman JR, Lee K. Imaging superficial tissues with polarized light. *Lasers Surg Med.* 2000;26(2):119-29.
32. Hein S. Intraoral images - YouTube [Internet]. [cité 10 juin 2019]. Disponible sur:
<https://www.youtube.com/watch?v=g35SwEnRy7I&list=PLvZcLumYjVaXChTurDPP-sR3TInBw6B7x&index=2>
33. Hein S. Introduction - YouTube [Internet]. [cité 10 juin 2019]. Disponible sur:
<https://www.youtube.com/watch?v=JtRt-GaF7ng&list=PLvZcLumYjVaXChTurDPP-sR3TInBw6B7x>
34. Hunt RWG, Pointer MR. *Measuring Colour*. Wiley: 4th ed., 2011:493.
35. McFall K. Photography of dermatological conditions using polarized light. *J Audiov Media Med.* mars 1996;19(1):5-9.
36. Jacques SL, Samatham R, Isenhath S, Lee K. Polarized light camera to guide surgical excision of skin cancers. In 2008 [cité 15 janv 2019]. p. 68420I. Disponible sur: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2008SPIE.6842E..12J>
37. Anderson RR. Polarized light examination and photography of the skin. *Arch Dermatol.* juill 1991;127(7):1000-5.
38. Hein S. Practical application - YouTube [Internet]. [cité 10 juin 2019]. Disponible sur:
<https://www.youtube.com/watch?v=n96-GfCTi18&list=PLvZcLumYjVaXChTurDPP-sR3TInBw6B7x&index=4>
39. Todorovic A, Gostovic A, Lazic V, Milicic B, Djuriscic S. Reliability of conventional shade guides in teeth color determination. *Vojnosanit Pregl.* 2013 Oct;70(10):929-34.
40. Bhandari V, Singla A, Mahajan V, Jaj HS, Saini SS. Reliability of digital camera over spectrophotometer in measuring the optical properties of orthodontic elastomeric ligatures. *J Indian Orthod Soc.* janv 2014;48(4):239.
41. Lee Y-K, Yu B, Lee S-H, Cho M-S, Lee C-Y, Lim H-N. Shade compatibility of esthetic restorative materials--A review. *Dent Mater.* déc 2010;26(12):1119-26.
42. Riley EJ, Sanderson IR, Sozio RB. Shade determination, communication, and realization: a novel approach. *Quintessence Int.* nov 1986;17(11):739-44.
43. Schropp L. Shade matching assisted by digital photography and computer software. *J Prosthodont.* avr 2009;18(3):235-41.
44. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. *J Dent.* janv 2014;42(1):48-52.

45. Dhruv A, Surendra K, Devanshi Yadav A, Manoj Kumar S, Rahul S, Amit G. Shade selection : spectrophotometer vs digital camera – A comparative in-vitro study. [cité 13 avr 2019]; Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/309308311_Shade_Selection_Spectrophotometer_vs_Digital_camera_-_A_comparative_in-vitro_study
46. Gordon P, Wander P. Specialised equipment for dental photography. *Br Dent J*. mai 1987;162(9):346-59.
47. Peskersoy C, Tetik A, Ozturk VO, Gokay N. Spectrophotometric and computerized evaluation of tooth bleaching employing 10 different home-bleaching procedures: In-vitro study. *Eur J Dent*. 2014;8(4):538-45.
48. Lim H-N, Yu B, Lee Y-K. Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *J Prosthet Dent*. oct 2010;104(4):239-46.
49. Sangwine SJ, Horne REN, éditeurs. The colour image processing handbook [Internet]. Springer US; 1998 [cité 13 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.springer.com/us/book/9780412806209>
50. Elter A, Caniklioğlu B, Değer S, Ozen J. The reliability of digital cameras for color selection. *Int J Prosthodont*. oct 2005;18(5):438-40.
51. Hein S, Zangl M. The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth. *Int J Esthet Dent*. 2016;11(2):246-59.
52. Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br Dent J*. juill 2005;199(1):43-9; discussion 33.
53. Fariza E, O'Day T, Jalkh AE, Medina A. Use of cross-polarized light in anterior segment photography. *Arch Ophthalmol*. avr 1989;107(4):608-10.
54. Ishikawa-Nagai S, Sawafuji F, Tsuchittoi H, Sato RR, Ishibashi K. Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 2: Color reproduction of stratiform-layered porcelain samples. *Int J Prosthodont*. déc 1993;6(6):522-7.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Reflex numérique avec flash macro et filtre polarisant.....	13
Figure 2. Réglages du reflex numérique : pour atténuer l'influence de la lumière ambiante et pour assurer la synchronisation du flash, la vitesse d'obturation doit être réglée sur 1/125sec, avec une ouverture de f22 pour une acquisition appropriée	14
Figure 3. Carte de balance des blancs	15
Figure 4. Position du patient pour la prise de photo	16
Figure 5. Placement de la carte de balance des blancs	16
Figure 6. Position de l'appareil photo numérique.....	17
Figure 7. Utilisation du logiciel Adobe Lightroom®	19
Figure 8. Application ClassicColorMeter® permettant d'obtenir les coordonnées de la couleur de la dent cible dans l'espace colorimétrique	21
Figure 9. Photo de la restauration pendant sa réalisation : à gauche sur le maître modèle en plâtre et à droite en superposition avec la photo initiale	21
Figure 10. Prise de couleur à différents endroits	22
Figure 11. Utilisation du logiciel eLAB_pilot®	23
Figure 12. Tableau de correspondance et portionneurs de céramique.....	24
Figure 13. Fabrication de pastilles de céramique avec les données CIE L*a*b	27
Figure 14. Epaisseur des couches d'après le fabricant : 0.5mm structure, 1mm dentine et 0.5mm revêtement email.....	28
Figure 15. Interventions suggérées par eLABor_aid®	30
Figure 16. Stratégie de superposition pour la technique en cuisson multiple.....	31
Figure 17. Stratégie de superposition pour la technique en une seule cuisson	32
Figure 18. Logiciel eLAB_pilot®.....	32
Figure 19. Fenêtre de prise de couleur	33
Figure 20. Tableau de correspondance teintier Vita Classic 2016.....	35
Figure 21. Sourire de Monsieur P.	42
Figure 22. Occlusion de Monsieur P.....	42
Figure 23. Appareil photo numérique Nikon avec flash annulaire.....	43
Figure 24. Carte de référence des blancs White_balance®	43
Figure 25. Filtre de polarisation Cross Polar® et filtre polarisant.....	43
Figure 26. Photo sans carte de référence des blancs et sans filtre de polarisation.....	45
Figure 27. Photo sans carte de référence des blancs, avec filtre de polarisation	45
Figure 28. Photo avec carte de référence des blancs et sans filtre de polarisation	46
Figure 29. Photo avec carte de référence des blancs, avec filtre de polarisation.....	46
Figure 30. Photo préparation périphérique sans carte de référence des blancs, sans filtre de polarisation	47
Figure 31. Photo préparation périphérique sans carte de référence des blancs, avec filtre de polarisation	48
Figure 32. Photo préparation périphérique avec carte de référence des blancs, sans filtre de polarisation	48
Figure 33. Photo préparation périphérique avec carte de référence des blancs, avec filtre de polarisation	49
Figure 34. Photo avec indication de couleur par le teintier Vita 3D Master	50
Figure 35. Choix coffret céramique	52
Figure 36. Sélection des poudres dentines	52
Figure 37. Indication de L*a*b	52
Figure 38. Mélange de poudre	52
Figure 39. Balance des blancs.....	53
Figure 40. CIE L*a*b dans la partie moyenne de la dent.....	54

Figure 41. CIE L*a*b du bord libre de la dent	54
Figure 42. Pastille de céramique	55
Figure 43. Vérification du L*a*b des pastilles de céramique.....	55
Figure 44. Photo de la couronne terminée sur maître modèle avec filtre de polarisation.....	57
Figure 45. Couronne terminée sur maître modèle sans filtre de polarisation	57
Figure 46. Montage photo sans filtre de polarisation pour simuler la nouvelle couronne en bouche	58
Figure 47. Photo avec filtre de polarisation pour simuler la couronne en bouche.....	58
Figure 48. Présentation des deux couronnes : à gauche la couronne réalisée par méthode classique, à droite celle réalisée par eLABor_aid®	59
Figure 49. Couronne réalisée par méthode classique avec teintier	60
Figure 50. Couronne réalisée avec eLABor_aid®	60
Figure 51. Sourire de Monsieur P. avec la couronne réalisée par méthode classique avec teintier	61
Figure 52. Sourire de Monsieur P. avec la couronne réalisée par méthode eLABor_aid®.....	61
Figure 53. Photo couronne en bouche depuis huit semaines sans filtre de polarisation	63
Figure 54. Photo couronne en bouche depuis huit semaines avec filtre de polarisation	63
 Tableau 1. Tableau des études comparant l'imagerie numérique avec une autre méthode.....	40
Tableau 2. Tableau comparatif des deux méthode : eLABor_aid® vs teintier.....	65

DRUGEON (Lisa). – Utilisation de eLABor_aid® dans la détermination de la couleur en dentisterie esthétique : Étude de cas. – 77f. ; 54 ref. 54 ill. ; 2 tabl. ; 30cm ; (Thèse : Chir Dent. ; Nantes ; 2019)

RÉSUMÉ

Le choix de la couleur dans la pratique dentaire et sa transmission au prothésiste est un acte important et délicat. Il devrait être une procédure simple, rapide et reproductible permettant d'obtenir un résultat optimum.

Les attentes des patients en dentisterie sont toujours plus élevées et ils exigent à juste titre « porter » des restaurations qui reproduisent au mieux toutes les propriétés optiques des dents naturelles.

La recherche de la juste couleur est un défi quotidien pour les chirurgiens dentistes. La technique la plus utilisée par les praticiens est la prise de couleur manuelle avec teintier. Cette technique permet une évaluation rapide et simple mais trop approximative et subjective de la «couleur» d'une dent.

Sascha HEIN et al. créés eLABor_aid®, un protocole qui permet de standardiser la prise de couleur d'une dent.

Ce protocole utilise la photographie à lumière polarisée croisée, avec une carte de balance des blancs normalisée servant de référence connue, en conjonction avec un/des logiciel(s) de traitement de photographie numérique fonctionnant dans le système CIE L*a*b.

Dans ce travail, nous définissons et expliquons le protocole eLABor_aid®. Nous nous intéressons également au travail du prothésiste dans la réalisation d'une restauration avec eLABor_aid®. Nous comparons enfin cette méthode avec la méthode dite « classique » de prise de couleur avec teintier, à travers la réalisation d'un cas clinique.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Ondotologie restauratrice

MOTS CLÉS MESH

Dentisterie esthétique – Esthetics, dental

Couleur - Color

Restauration dentaire permanente – Dental restoration permanent

Imagerie numérique – digital imaging

Photographie dentaire – Photographes, dental

JURY

Président : Professeur Yves AMOURIQ

Assesseur : Docteur Alexis Gaudin

Assesseur : Docteur Pierre Ouvrard

Directeur : Docteur François BODIC

ADRESSE DE L'AUTEUR

51A Boulevard Pasteur – 44100 Nantes

lisa-drugeon@orange.fr