



HAL
open science

Réalisation de céramiques antérieures : comparaison d'un protocole d'aide informatique à la prise de teinte vs les techniques usuelles d'enregistrement

Roni Attal

► To cite this version:

Roni Attal. Réalisation de céramiques antérieures : comparaison d'un protocole d'aide informatique à la prise de teinte vs les techniques usuelles d'enregistrement. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03446329

HAL Id: dumas-03446329

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03446329v1>

Submitted on 24 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

FACULTÉ DE SANTÉ

UFR D'ODONTOLOGIE
5, Rue Garancière 75006 PARIS

Année 2020

N°

THÈSE pour le DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR
en CHIRURGIE DENTAIRE

présentée et soutenue publiquement le 08/12/2020

par **Roni ATTAL**

**REALISATION DE CERAMIQUES ANTERIEURES : COMPARAISON
D'UN PROTOCOLE D'AIDE INFORMATIQUE A LA PRISE DE
TEINTE VS LES TECHNIQUES USUELLES D'ENREGISTREMENT**

Dirigée par M. le Docteur Dov DERMAN et par M. le Docteur Benjamin
POMES

JURY

Mme la Professeure Marie Violaine BERTERETCHE	Président
M. le Docteur Stéphane ESCURE	Assesseur
M. le Docteur Jean-François NGUYEN	Assesseur
Mme. la Docteure Elisabeth SARFATI	Assesseur
M. le Docteur Hervé TARRAGANO	Assesseur
Mme. la Docteure Elisa WORTHALTER	Assesseur
M. le Docteur Dov DERMAN	Membre invité
M. le Docteur Benjamin POMES	Membre invité

UNIVERSITÉ DE PARIS

Présidente de l'Université : Mme la Professeure Christine CLERICI
Doyenne de l'U.F.R. d'Odontologie Garancière : Mme la Professeure Ariane BERDAL
Directrice Générale des Services : Madame Pascale SAINT-CYR

JURY

Mme la Professeure Marie Violaine BERTERETCHE	Président
M. le Docteur Stéphane ESCURE	Assesseur
M. le Docteur Jean-François NGUYEN	Assesseur
Mme. la Docteure Elisabeth SARFATI	Assesseur
M. le Docteur Hervé TARRAGANO	Assesseur
Mme. la Docteure Elisa WORTHALTER	Assesseur
M. le Docteur Dov DERMAN	Membre Invité
M. le Docteur Benjamin POMES	Membre invité

**Mme la Professeure M.-Violaine
BERTERETCHE**

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de prendre part au jury de cette thèse. Pour vos qualités pédagogiques, vos enseignements, votre aide et vos conseils au cours de notre formation, veuillez recevoir l'assurance de mon respect et de mes plus sincères remerciements.

M. le Docteur Stéphane ESCURE

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités - Praticien
Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse. Pour vos enseignements et vos précieux conseils, veuillez recevoir l'expression sincère de ma reconnaissance.

M. le Docteur Jean-François NGUYEN

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités - Praticien
Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de prendre part au jury de cette thèse. Pour votre pédagogie et votre transmission des connaissances, veuillez recevoir l'expression de toute mon estime.

Mme. la Docteure Elisabeth SARFATI

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités - Praticien
Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de prendre part au jury de cette thèse. Pour vos qualités pédagogiques et votre implication dans l'enseignement, veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

M. le Docteur Hervé TARRAGANO

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités - Praticien
Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse, veuillez trouver ici l'expression de mon estime.

**Mme. la Docteure Elisa
WORTHALTER**

Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistante Hospitalo-Universitaire

Pour l'honneur que vous me faites de prendre part au jury de cette thèse, veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

M. le Docteur Dov DERMAN

Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistante Hospitalo-Universitaire

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. Pour votre pédagogie, votre écoute, pour votre enseignement clinique et vos précieux conseils au cours de ma dernière année universitaire. Pour votre écoute, votre patience, votre implication et votre disponibilité, veuillez recevoir mes plus sincères remerciements et l'expression de mon respect.

M. le Docteur Benjamin POMES

Docteur en Chirurgie Dentaire
Praticien Hospitalo-Universitaire

Pour m'avoir fait l'honneur de co-diriger cette thèse. Pour votre implication, vos précieux conseils et vos enseignements, veuillez recevoir l'assurance de toute mon estime et mes plus sincères remerciements.

Introduction.....	3
1. Rappels sur la couleur et sur les techniques d'enregistrement actuelles.....	4
1.1. La couleur	4
1.1.1 Définition	4
1.1.2 Les dimensions de la couleur.....	5
1.1.3 Les autres dimensions de la couleur dentaire.....	8
1.2 Techniques d'enregistrement de la couleur	14
1.2.1 Techniques subjectives ou visuelles de la couleur	14
1.2.1.1 Les teintiers	14
1.2.1.2 Les lampes calibrées	15
1.2.1.3 Les caméras intra orales.....	17
1.2.2 Techniques objectives ou instrumentales de la couleur	18
1.2.2.1 Colorimètre.....	19
1.2.2.2 Spectrophotomètres	20
2. Le protocole eLab	21
2.1 Principe	21
2.4 Matériel nécessaire à l'application du protocole eLab	22
2.4.1 Appareil photo reflex numérique	22
2.4.2 Objectifs macros	23
2.4.3 Flash macro	24
2.4.4 Les filtres polarisants.....	26
2.4.5 Carte de balance des blancs (white_balance)	29
2.4.6 Rétracteurs (elab_retrax).....	30
2.5 Étapes du protocole	31
2.5.1 Acquisition de l'image	33
2.5.2 Importation	42
2.5.3 Flux numérique / Digital Workflow	42
2.5.4 Mesure de la teinte.....	44
2.5.5 Choix de la céramique	44
2.5.6 Seconde acquisition de l'image	45
2.5.7 Seconde mesure de teinte.....	45
2.5.8 Prévisualisation et essayage numérique / Digital try-in.....	46
2.5.9 Glaçage.....	48
2.5.10 Essayage et contrôle de la prothèse	48
2.6 Cas Clinique.....	51
2.7 Indications et contre-indications.....	55
2.8 Limites du protocole eLabor	55
2.8.1 La déshydratation	55
2.8.2 Le métamérisme	56
2.8.3 Les compétences informatiques des opérateurs	56
2.8.4 Les compétences techniques et artistiques du céramiste	56
2.8.5 Les compétences en photographie odontologique du praticien.....	57
2.8.6 Le manque de prothésiste formés à cette technique.....	57
2.8.7 Le coût.....	57
2.8.8 Le temps de fabrication	57
3. Revue de littérature des études actuelles	58
3.1 Objectifs	58
3.2 Matériels et Méthode.....	58

3.2.1 Source des données	58
3.2.2 Stratégie de recherche	58
3.2.3 Critères d'inclusion de l'étude	58
3.2.4 Critères d'exclusion de l'étude.....	59
3.3 Synthèse des données	59
3.4 Résultats des recherches	59
3.5 Résultats de la revue	77
3.5.1 Comparaison de l'enregistrement de teinte par prise photographique et des techniques visuelles par teintier.....	77
3.5.2 Comparaison de l'enregistrement de teinte par prise photographique et des techniques instrumentales par spectrophotométrie	77
4. Discussion	78
4.1 Optimisation des études	78
4.2 Aspects cliniques à améliorer	80
4.3 Place du protocole elabor parmi les techniques actuelles	82
Tableau récapitulatif des limites des différentes techniques d'enregistrement	84
Conclusion	85
Bibliographie	86

Introduction

La communication entre dentiste et prothésiste est essentielle pour l'obtention de résultats satisfaisants en prothèse fixée. L'objectif devient vraiment compliqué à atteindre dans le cadre d'un travail d'intégration au sourire du patient, et notamment dans le cas d'une incisive centrale maxillaire unitaire. De nombreux moyens de transmission de la couleur au prothésiste existent de nos jours : du teintier classique aux méthodes plus avancées comme les spectrophotomètres ou les colorimètres, en passant par les caméras intra-orales, et les lampes calibrées.

Ces méthodes présentent néanmoins des limites et sont pour certaines très opérateur dépendant. De plus, malgré l'apparition de nouvelles méthodes d'enregistrement, l'utilisation du teintier est encore à ce jour la technique la plus répandue en pratique clinique (Sampaio et al. 2018). Déjà en 1980, TG Matthews a rédigé un article intitulé « A method for shade selection » présentant cette dernière, témoignant de l'absence d'évolution majeure dans ce domaine depuis 40 ans (Matthews 1980). Sa communication restant une tâche compliquée, la couleur des restaurations demeure le premier facteur d'insatisfaction des patients (Joiner et Luo 2017). Il semble donc intéressant de trouver une méthode fiable et reproductible pour le choix de la couleur.

Depuis quelques années, une technique d'enregistrement de teinte par prise photographique commence à voir le jour. Le principe repose sur une standardisation de la prise de vues afin de supprimer toute composante subjective d'un enregistrement. Plusieurs protocoles différents d'enregistrement par photographie existent, parmi lesquelles le protocole eLab semble être le plus abouti. C'est pour cette raison, que ce dernier fera l'objet d'une étude plus approfondie. Malgré la faible quantité de littérature traitant de ce sujet de par son apparition récente, il semble pertinent de faire un point sur les données actuelles de la littérature afin de déterminer sa place actuelle parmi les techniques usuelles (Hein et al. 2017).

Dans un premier temps, nous rappellerons les notions de base sur la couleur et sur les techniques usuelles d'enregistrement. Dans une seconde partie le protocole eLab sera présenté plus en détails puis comparé aux techniques traditionnelles. Enfin, une revue de littérature tentera de déterminer si la technique d'enregistrement de teinte par photographie est une méthode fiable, et quelle est sa place parmi les techniques actuelles ?

1. Rappels sur la couleur et sur les techniques d'enregistrement actuelles

1.1. La couleur

1.1.1 Définition

La couleur est une perception visuelle de la répartition spectrale de la lumière visible. Différentes approches (artistique, physique physiologique, etc.) permettent de la décrire en utilisant des méthodes et des termes variés. L'œil visualise les couleurs par la stimulation de photorécepteurs spécialisés : les cônes (6-7 millions) et les bâtonnets (75-150 millions), situés sur la rétine. Les bâtonnets sont responsables de la vision nocturne de l'intensité lumineuse. Les cônes sont quant à eux responsables de la vision diurne et donc de la vision des couleurs. Ils peuvent être divisés en trois types. Chacun des types réagit plus ou moins au rouge, au vert ou au bleu. Toute sensation colorée peut être reproduite par un mélange additif de ces trois couleurs selon les lois de 1853 énoncées par Grassmann. On appelle ce principe le système RVB (rouge-vert-bleu), RGB en anglais (Red-Green-Blue) ou principe de trivariance visuelle de l'œil humain.

Une couleur se résume donc à une information de chromaticité codée par les cônes rétiniens et à une information d'intensité relayée quant à elle par les bâtonnets (fig. 1), pour un spectre visible par l'œil humain entre 400 et 700 nm (D'Incau E et al. 2014).

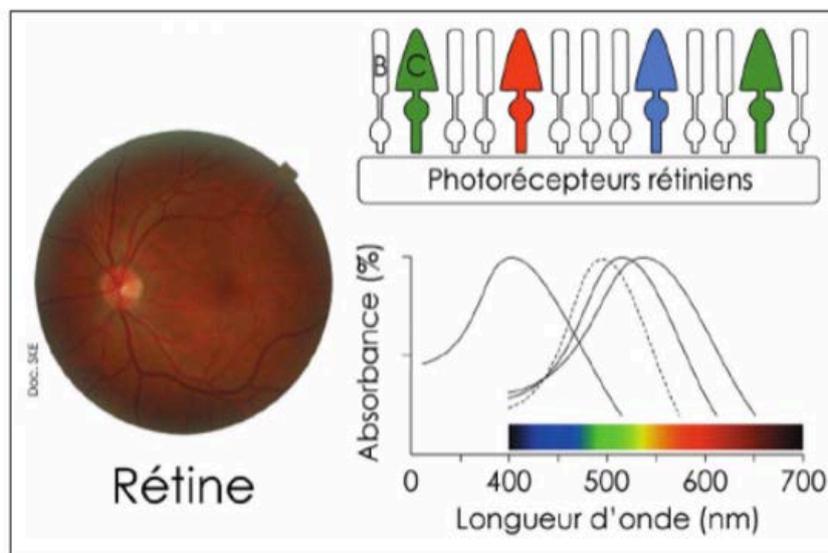


Fig. 1 : photorécepteurs rétiniens avec :

- C : les cônes responsables de la vision des couleurs et la vision diurne
- B : les bâtonnets responsables de la vision de l'intensité lumineuse et la vision nocturne (D'Incau E et al. 2014) ;

1.1.2 Les dimensions de la couleur

1.1.2.1 Historique

Classiquement, une couleur se définit par trois dimensions : la luminosité, la saturation et la teinte (Lasserre J.-F. et al. 2006). Ces dernières sont communément utilisées dans les différents systèmes de représentation des couleurs.

C'est en 1905, que le concept de caractère tridimensionnel de la couleur voit le jour. Il est alors décrit par l'artiste peintre, Munsell, qui représente alors le système LST, pour lumière, saturation et teinte (ou LCH en anglais pour « lightnesschroma-hue »). Ce dernier permet de définir physiquement toute couleur. Il est représenté dans un espace chromatique géométrique cylindrique où chaque couleur, est définie par ces trois éléments de la façon suivante :

- Un espace chromatique cylindrique dont l'axe central (ou axe blanc/noir) représente 10 degrés de luminosité.
- Les teintes pures en périphérie du cylindre, ordonnées par niveau de luminosité.
- Le rayon du cylindre représente la saturation (Lasserre JF. 2007).

En 1931, la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) propose un nouveau système de représentation des couleurs : le système Y.x.y. :

- Y symbolise la luminance ;
- x et y définissent la chromaticité de la couleur en correspondant aux coordonnées dans le plan des couleurs fondamentales RVB : rouge, vert et bleu ;

En 1976, la CIE introduit le système L*a*b* afin de simplifier et compléter le système Y.x.y. en définissant un espace chromatique comme dans la représentation de Munsell (fig. 2) avec :

- L* représentant la luminosité/clarté par un axe vertical qui va de 0 (noir) à 100 (blanc)
- a* représente une gamme de 600 niveaux sur un axe vert (-300) à rouge (+300) ;
- b* représente une gamme de 600 niveaux sur un axe bleu (-300) à jaune (+299) ;

(Lasserre J.-F. et al. 2006; Ibrahimi 2019).

L'espace chromatique des dents naturelles est fréquemment représenté dans une sphère appelée « sphère chromatique » (fig. 3). Elle s'inspire du système issu de la CIE en 1976.

L'analyse de la couleur passe obligatoirement par la connaissance du caractère trivariant de ces trois dimensions.

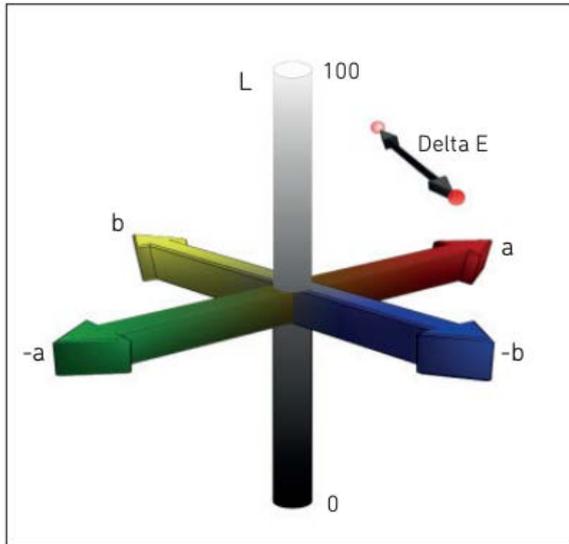


Fig. 2 : schéma de Munsell avec la luminosité, la teinte et la saturation (Ibrahimi 2019) ;

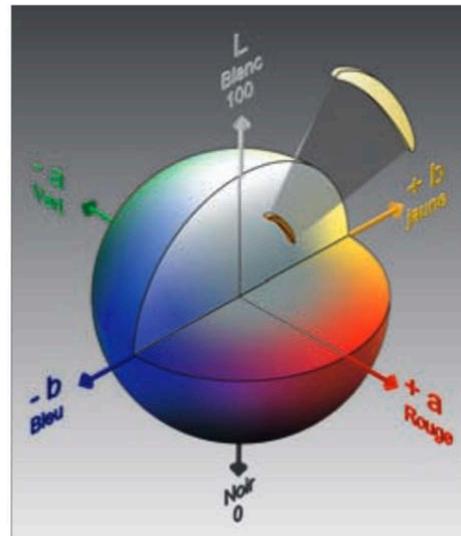


Fig. 3 : espace chromatique des dents naturelles (Lasserre J.-F. et al. 2006) ;

Chaque couleur se caractérise par un point dans un espace à trois dimensions, appelé espace de couleur. Ce dernier représente des couleurs dans un système de synthèse des couleurs. Il permet de décrire une gamme de couleurs que peut potentiellement enregistrer ou produire un appareil comme un appareil photographique par exemple.

L'espace le plus utilisé est l'Adobe RGB (Red-Green-Blue pour Rouge-Vert-Bleu). C'est l'un des espaces contenant la plus grande gamme de couleurs, et c'est ce dernier qui est conseillé pour une application lorsque l'on pratique la photographie en dentisterie. Son potentiel défaut est d'englober beaucoup de couleur qui ne peuvent pas toutes être reproduites par un système de visualisation ou d'impression courant, dont la gamme est plus étroite. Il existe également le domaine standard RGB ou sRGB, plus petit, beaucoup utilisé dans les appareils photographiques mais ayant une gamme correspondant aux moniteurs d'ordinateurs moyennement performants (Ahmad I 2009b; D'Incau Emmanuel 2016).

1.1.2.2 Luminosité

La luminosité (« lightness » en anglais) représente la quantité de lumière réfléchiée par un objet ou plus spécifiquement la quantité de blanc contenue dans une couleur. Plus la quantité de lumière transmise à un objet augmente, et plus ce dernier sera clair. La luminosité a de nombreux synonymes comme la brillance, la clarté ou encore la luminance. Elle est toujours représentée par un axe noir/blanc dans les différents systèmes de représentation des couleurs.

L'œil joue un rôle primordial dans l'évaluation de la luminosité par le biais de ses bâtonnets rétiens, spécialisés dans la perception de cette dernière. Son appréciation doit être de préférence réalisée de manière rapide, dans une ambiance lumineuse de faible intensité et en clignant des yeux (action qui favorise la mise en fonction des bâtonnets rétiens). La luminosité, est le facteur le plus important dans la réussite d'une prothèse esthétique. (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).

1.1.2.3 Saturation

La saturation (« chroma » en anglais) représente la quantité de teinte ou pigment pur contenue dans une couleur. Elle définit alors, l'intensité/la pureté de la teinte. Le terme « désaturer » signifie enlever de la couleur ou de l'éclat. Une couleur totalement désaturée devient terne, est en niveaux de gris et se dit alors couleur rabattue. Il existe deux manières de désaturer une couleur : soit par adjonction de blanc, ce qui éclaircit et donne un ton pastel/rompu à la couleur, soit par adjonction de noir, ce qui la ternit. Tous les degrés de gris intermédiaires sont également utilisables pour une désaturation. La saturation est le deuxième facteur le plus important dans le succès d'une prothèse esthétique (Lasserre J.-F. et al. 2006, 2006; Lasserre JF. 2007).

1.1.2.4 Teinte

La teinte (« hue » en anglais) caractérise la longueur d'onde dominante de la lumière réfléchiée par un objet et correspond aux différentes sensations colorées comme le rouge, le vert, le bleu ou le jaune. Le mot « couleur » est souvent utilisé, à tort, à la place du mot « teinte », alors qu'il désigne plus communément la sensation issue de la combinaison de ses trois dimensions : luminosité, saturation et teinte. Egalement appelée tonalité chromatique, ton ou chromaticité de la couleur, la teinte est le facteur le moins important dans la réussite esthétique d'une prothèse (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).

1.1.3 Les autres dimensions de la couleur dentaire

1.1.3.1 Transparence et translucidité

La translucidité d'un matériau représente sa capacité à laisser passer seulement une partie de la lumière incidente la traversant (fig. 4). Lorsque l'intégralité de cette dernière traverse entièrement le matériau on parle alors de transparence. Les dents ont une certaine translucidité qui diffère en fonction de ses couches : 40% pour la dentine alors qu'elle est de 70% pour l'émail. Yamamoto classe les dents en trois groupes en fonction de leur translucidité : soit réparti sur l'ensemble de la face vestibulaire, soit uniquement incisale, soit incisale et proximale. Le bord libre des dents étant composé uniquement d'émail, c'est donc la zone la plus translucide de la dent, contrairement au collet ou la couche d'émail à une épaisseur plus faible.

Munsell ne mentionne pas la translucidité dans son analyse de la couleur alors qu'elle est un facteur primordial dans la recherche d'un succès dans une restauration esthétique. Avec le temps, les effets de transparence et la saturation de la dent augmentent car l'émail s'affine et la dentine gagne donc en influence. La translucidité et la luminosité sont étroitement liées. En effet, à teinte et saturation égale, plus une dent est translucide, plus la pénétration de la lumière est importante, moins elle est réfléchiée et donc la dent est moins lumineuse.

Sur les coupes de dents naturelles, une sous couche transparente de nature dentinaire, sous l'émail, permet à la lumière de mieux circuler sous ce dernier. Il est intéressant de la reproduire sur les dents en céramique afin d'obtenir un effet similaire (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).



Fig. 4 : on peut objectiver sur cette image l'augmentation de la translucidité du collet vers le bord libre. Les masses dentinaires sous-jacentes sont bien visibles sur les incisives (D'Incau E et al. 2014) ;

1.1.3.2 Opalescence

L'opalescence est la capacité d'un corps à transmettre et réfléchir, quelle que soit la source d'éclairage, les mêmes longueurs d'onde. Cette notion correspond aux effets bleutés (réflexion lumineuse de longueurs d'ondes courtes) et orangés (réflexion lumineuse de longueur d'ondes longues) souvent visibles sur les bords d'émail nature. On parle « d'effet d'opale » car c'est un effet d'optique décrit par analogie à l'opale (fig. 5).

En général, des poudres d'émail à effet opalescent sont proposées par les fabricants de céramique (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).



Fig. 5 : comme pour la pierre d'opale, une couleur bleutée apparaît en réflexion lumineuse et une couleur orangé-rouge en transmission lumineuse ;

1.1.3.3 Fluorescence

La fluorescence est la capacité d'un corps soumis à un rayonnement ultraviolet non visible, de réémettre cette lumière dans le spectre de la lumière visible (fig. 6). Les dents naturelles présentent une fluorescence nette blanc bleutée, principalement due à la dentine. Plus cette dernière vieillit, plus elle s'hyperminéralise et plus son caractère de fluorescence s'amointrit. Ce phénomène peut poser certains problèmes, notamment lors de l'exposition des dents à une lumière solaire riche en ultraviolets qui activent ce phénomène de fluorescence, qui s'ajoute à la lumière visible déjà réfléchi. Les dents prothétiques manquant de fluorescence paraissent alors plus grises que les dents naturelles face à cette exposition et doivent donc être capables de reproduire ce phénomène. Pour cela, les fabricants de céramiques ont introduit des terres rares dans les poudres de céramiques, qui donnent alors une fluorescence bleutée. Il existe plusieurs types de fluorescence en fonction de la longueur d'onde de la lampe à ultraviolet.

La fluorescence, la translucidité et l'opalescence sont des notions rarement évoquées dans les problèmes du choix de la couleur des dents naturelles contrairement à la luminosité, la saturation et la teinte. Néanmoins, elles sont pourtant déterminantes dans le succès des restaurations antérieures (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).



Fig. 6 : coupe axiale d'une incisive éclairée en lumière UV : on observe la fluorescence bleutée de la dentine, plus marquée au niveau de la dentine péri pulpaire et des lignes bien visibles de croissance d'Owen (Lasserre J.-F. et al. 2006) ;

1.1.3.4 Iridescence

L'iridescence est peu citée lors de l'énumération des déterminants de la couleur dentaire. Or, c'est un phénomène important à prendre en considération lorsque l'on veut déterminer parfaitement la couleur d'une dent. L'iridescence, aussi appelée goniochromisme, est la propriété de certaines surfaces qui semblent changer de couleur selon l'angle de vue ou d'illumination (Doucet et Meadows 2009). Il est donc intéressant de noter que l'angle de vue lors de l'enregistrement de la couleur est un facteur très important à prendre en compte dans le succès des restaurations antérieures.

1.1.3.5 Texture de surface

La texture de surface, ou « microgéographie » des dents naturelles est très variable et influence la perception colorée de façon significative en conditionnant l'absorption et la réflexion du flux lumineux (fig.7). Les dents jeunes sont riches en fossettes, en périchématis (stries horizontales de croissance) et ont en général, un état de surface brillant, même lorsque la dent est sèche. Avec le temps et l'âge, l'émail s'use avec l'érosion et l'abrasion, prend un aspect lisse, avec un état de surface caractéristique « émoussé luisant », et efface petit à petit

ces irrégularités. Ce phénomène peut également se produire précocement en cas de contact prolongé avec des acides (sodas, jus de fruits, reflux gastro-oesophagiens, drogues...).

L'état de surface peut donc être brillant (ce qui baisse la luminosité) ou mat (ce qui au contraire fait apparaître la dent plus claire par le biais d'une réflexion en « halo »).

La texture de surface est en général bien visible sur les photographies numériques et doit toujours être notée sur la fiche de communication avec le laboratoire (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).



Fig 7 : différents états de surface : présence de périkymaties sur A (en général adolescent), effacement léger de l'état de surface sur B (en général adulte) et absence d'état de surface sur C (en général personne âgée) (D'Incau E et al. 2014) ;

1.1.3.6 Effet nacré

L'effet nacré (pearl effect selon Sieber) est un effet de surface opaque et de forte brillance, légèrement métallique, comparable à la brillance de la nacre (fig. 8). Il existe parfois sur des dents jeunes, notamment sur des vues obliques indirectes. Cet effet est beaucoup moins important que les autres dans la conception de dents céramique d'aspect naturel, mais mérite d'être cité. Des poudres spécifiques sont proposées par les fabricants de céramique pour le reproduire (Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).



Fig. 8 : effet nacré ou pearl effect : effet de brillance métallique de surface comparable à celui de la nacre (D'Incau E et al. 2014) ;

1.1.3.7 Caractérisations

Les caractérisations sont des aspects colorés particuliers et localisés des dents naturelles (fig. 9). Indissociables de la description d'une dent, ces aspects peuvent être acquis ou structurels. Cela peut être des taches blanches de déminéralisation, des taches d'hyperfluorose, des fissures de l'émail, des sillons des tables occlusales des dents postérieures... Certains teintiers spécifiques existent pour ces microrelevés, mais c'est la photographie numérique, qui est ici, comme bien souvent, le meilleur moyen pour communiquer ces détails au prothésiste (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre JF. 2007; D'Incau E et al. 2014).



Fig. 9 : exemples de caractérisations dentaires : tache blanche opaque de déminéralisation localisée (A), tâches blanches diffuses (B), coloration débutante de la lame dentinaire liée à l'usure de l'émail (C), importante coloration de la lame dentinaire (D), fissures verticales (E), importantes fissures et micro-craquelures (F) (D'Incau E et al. 2014) ;

1.1.3.8 Stratification histo-anatomique

La dent est composée de plusieurs couches successives entraînant de nombreuses variations d'effets colorés de la zone du collet jusqu'au bord libre. La pulpe se situe au centre de la dent, est de couleur rouge mais joue un rôle minime sur la couleur d'une dent contrairement à l'émail et la dentine, dont les rôles sont très importants (Lasserre JF. 2007).

1.1.3.8.1 L'émail

L'émail est le tissu le plus minéralisé et le plus dur de l'organisme avec 95% de substances minérales. Il forme le tissu le plus superficiel de la dent et sa coque semi translucide est responsable de sa luminosité (Piette et Goldberg 2001). La couche d'émail s'affine vers le collet, laissant une place plus importante à la dentine, et il se retrouve seul, sans dentine au niveau du bord incisal. Ce dernier s'use avec le temps et laisse de plus en plus de place à la dentine (Lasserre JF. 2007).

1.1.3.8.2 La dentine

Composition : 70% de minéraux, 20% de substances organiques et 10% d'eau. La dentine entoure la pulpe et elle est responsable en grande partie de la couleur de la dent et notamment de sa tonalité chromatique. Elle constitue un noyau dentaire opaque, dont l'opacité est due en grande partie à son degré de minéralisation plus faible par rapport à l'émail et sa forte proportion de substance organique (Piette et Goldberg 2001). Avec le temps et l'usure de l'émail, la dentine se fait de plus en plus présente, élément à prendre en compte lors de la réalisation de la prothèse (Lasserre JF. 2007).

Tableau récapitulatif :

Les dimensions de la couleur	Les autres dimensions de la couleur dentaire
Luminosité	Transparence et translucidité
	Opalescence
	Fluorescence
Saturation	Iridescence
	Texture de surface
	Effet nacré
Teinte	Caractérisations
	Stratifications histo-anatomiques (émail et dentine)

A travers tous ces descriptifs, nous pouvons alors mesurer la complexité de la notion de couleur et notamment de couleur dentaire. Transmettre cette dernière de manière fiable et reproductible au prothésiste, s'avère donc être une tâche assez complexe. De surcroît, convertir ces données en une restauration ayant une couleur cliniquement acceptable s'avère également être une tâche difficile. Différentes techniques d'enregistrement de la couleur dentaire existent à ce jour. Néanmoins, étant donné la complexité de cette étape, les recherches de techniques plus performantes ne cessent d'être approfondies.

1.2 Techniques d'enregistrement de la couleur

La détermination et la communication de la couleur sont deux étapes fondamentales en dentisterie esthétique. Beaucoup de méthodes sont à la disposition des praticiens et chacune présente des avantages et des inconvénients. Il est intéressant de s'attarder sur les différentes limites/inconvénients de chaque technique usuelle afin de comprendre les intérêts de la conception des nouvelles techniques d'enregistrement de la couleur, et des problèmes auxquels cette conception doit répondre (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre J-F 2010; D'Incau E et al. 2014).

1.2.1 Techniques subjectives ou visuelles d'enregistrement de la couleur

1.2.1.1 Les teintiers

Outil historique de sélection de la couleur, c'est encore aujourd'hui la technique la plus utilisée de nos jours. Il se présente sous la forme de dents en résine acrylique de couleurs variées associées à un code permettant de communiquer avec le laboratoire de prothèse (fig. 10).

Les plus connus sont les VITA Classical introduit dans les années 50, avec 16 échantillons organisés en 4 groupes en fonction de la teinte dominante (A rougeâtre-brun, B rougeâtre-jaunâtre, C gris et D gris-rougeâtre) auxquels s'ajoute un chiffre représentant la saturation (du moins au plus saturé, de 1 à 4). La technique de relevé de couleur se fait d'abord par le choix de la teinte dominante puis par celui de la saturation.

Le succès dans le choix d'une couleur acceptable par le patient est fortement lié à la couverture spectrale du teintier.

En 1998, est introduit le VITA 3D Master avec une organisation repensée et une augmentation du nombre de possibilités. Il présente un champ chromatique plus uniforme et une meilleure distribution des couleurs permettant ainsi une augmentation de la reproductibilité

des mesures par rapport à d'autres teintiers. Il comprend 26 échantillons répartis en 5 groupes organisés par luminosités croissantes.

Le grand avantage du teintier est sa facilité et rapidité d'utilisation, à faible coût et dont les résultats tendent à s'améliorer avec l'âge et l'expérience du praticien.

Néanmoins il présente plusieurs inconvénients :

- Des résultats inconstants et un choix subjectif avec des variations en fonction de nombreux paramètres tels que l'éclairage, l'âge ou la fatigue oculaire du praticien ;
- L'incompatibilité entre les matériaux de restauration et les teintiers ;
- Des variations entre les différents lots de teintier du même fabricant montrant des variations des paramètres basiques de la couleur ;
- Le manque d'homogénéité entre les différentes céramiques des différents fabricants ;

Les teintiers actuels ne fournissent pas une couverture spectrale suffisante et la distribution des couleurs n'est pas uniforme dans l'espace colorimétrique des dents naturelles. On obtient donc des résultats corrects pour certaines dents et mauvais pour d'autres, ce qui n'est pas acceptable par le patient (D'Incau E 2006; Lasserre J.-F. et al. 2006; Bayindir F et al. 2007; Lasserre J-F 2010).



Fig. 10 : teintiers construits par familles de teintes à gauche et par groupe de luminosité à droite (Lasserre J-F 2010) ;

1.2.1.2 Les lampes calibrées

Les lampes calibrées, sont des lampes fournissant une source de lumière calibrée et continue (fig. 11 et 12). Elles sont portatives, et l'éclairage LED est situé sur la partie avant de la lampe. Les lampes calibrées sont des aides au choix visuel, par exemple lorsque l'éclairage est défectueux ou non neutre. Elles doivent être positionnées à faible distance de la bouche, et le choix visuel s'effectue à travers le cadre ces lampes. Ce cadre illumine les dents avec une

lumière de spectre continu, avec une température de couleur située entre 5500 et 6500K et sous une forte intensité. Ces lampes permettent également, en diminuant l'intensité de la lumière et en maintenant une même température de couleur, d'analyser la luminosité de la dent et de distinguer sa texture de surface, certaines caractérisations...etc.

Les lampes calibrées présentent plusieurs avantages : utilisation simple, coût raisonnable, meilleure reproductibilité qu'avec le teintier seul et indépendance vis-à-vis de l'éclairage ambiant.

Néanmoins les lampes calibrées présentent comme inconvénients majeurs :

- Une évaluation visuelle encore une fois subjective car elle s'appuie sur un teintier ;
- Un travail à quatre mains est nécessaire (Lasserre J-F 2010; Sikri VK 2010; D'Incau E et al. 2014) ;



Fig. 11 : enregistrement de la couleur à l'aide d'une lampe calibrée Demetron Shade Light ® de Kerr et d'un teintier (D'Incau E et al. 2014) ;



Fig. 12 : enregistrement de la couleur à l'aide d'une lampe calibrée Smile Lite ® de Smile Line associée à un Iphone® avec à droite, ajout d'un filtre polarisant (D'Incau E et al. 2014) ;

1.2.1.3 Les caméras intra orales

Initialement, les caméras optiques intra orales sont utilisées pour effectuer des empreintes numériques. Néanmoins, certaines permettent également de déterminer la couleur des dents en assurant une prise de photographie de haute définition (fig. 13). Après étalonnage du scanner et la prise d'empreinte, l'enregistrement est consultable sur un écran, ou chaque zone d'intérêt peut être déterminée et enregistrée. Cependant, le choix de la couleur de la dent reste visuel et comparatif aux barrettes-échantillons des teintiers habituels, même si l'image se trouve fortement agrandie sur un moniteur. L'utilisation des caméras intra orales est donc une aide au choix visuel, qui reste comparatif, mais permet de ne plus dépendre de la lumière environnante mais uniquement de l'éclairage intégré dans la tête de la caméra. L'étalonnage sur le blanc n'est pas nécessaire, contrairement aux spectrophotomètres et colorimètres.

Les caméras intra orales présentent plusieurs avantages : indépendance de l'éclairage ambiant, conservation du teinter habituel, agrandissement de la dent sur un moniteur avec une très bonne qualité d'image, coût modéré et logiciel de communication avec le laboratoire avec saisie de photographies numériques.

Néanmoins la fidélité et l'exactitude de ce système doivent encore être évaluées et elles présentent comme inconvénients majeurs :

- Evaluation visuelle toujours subjective ;
- Accessibilité aux dents postérieures limitée ;
- Un moniteur TV ou un ordinateur est nécessaire ;
- Le choix comparatif est limité à la teinte de base de la dent (D'Incau E et al. 2014) ;



Fig. 13 : caméra orale TRIOS® de 3Shape et son utilisation : relevé de la couleur de la dent en n'importe quel point de la dent (D'Incau E et al. 2014) ;

1.2.2 Techniques objectives ou instrumentales d'enregistrement de la couleur

La subjectivité du praticien a une place majeure parmi les techniques précédentes. Avec le temps, la recherche a mis au point des instruments de mesure de la couleur, rendant son choix plus objectif et scientifique. Ces méthodes instrumentales se prêtent à l'analyse, la communication et à la vérification de la couleur au laboratoire. Elles permettent une détermination de la couleur avec une bonne répétabilité des résultats, si bien manipulés, en quelques secondes. Bien qu'ayant un principe de fonctionnement différent, ils appartiennent à la même catégorie et peuvent être classés en deux familles : les colorimètres et les spectrophotomètres (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre J-F 2010; D'Incau E et al. 2014).

1.2.2.1 Colorimètre

Les colorimètres analysent la couleur par des mesures de réflexion de la lumière source au travers de trois filtres : rouge, vert et bleu (fig. 14). Cela permet de définir une couleur par ses coordonnées trichromatiques. Ce sont les premiers systèmes instrumentaux de détermination de la couleur à avoir été utilisés en odontologie en 1998. Un étalonnage sur le blanc est nécessaire avant chaque utilisation pour compenser le vieillissement de la lampe source. Les mesures de cet appareil sont moins précises qu'avec un spectrophotomètre, et sont sensibles à l'altération et au vieillissement des trois filtres rouges, vert et bleu. Ces mesures peuvent être ponctuelles, en 3 points de la dent, ou alors fournir véritablement une cartographie 3D de la dent, tenant compte de la luminosité, de la saturation, de la teinte et parfois de la translucidité. Ils sont utilisés en cabinet pour l'enregistrement de la couleur, et en laboratoire afin de vérifier celle des prothèses.

Néanmoins, malgré une part de subjectivité qui disparaît, les colorimètres ont comme inconvénients majeurs :

- Une certaine habitude est nécessaire pour maîtriser la manipulation correcte de l'instrument lors des relevés de couleur : une modification minime de positionnement des embouts par rapport à la dent (inclinaison ou éloignement) va fausser de manière importante la mesure ;
- Pour certains appareils, l'accessibilité est mauvaise pour les dents postérieures avec un encombrement ;
- Un ordinateur avec un coût souvent élevé est nécessaire (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre J-F 2010; D'Incau E et al. 2014) ;



Fig. 14 : colorimètre, enregistrement de la couleur avec le colorimètre et fiche de rapport d'analyse destinée au laboratoire (Lasserre J-F 2010) ;

1.2.2.2 Spectrophotomètres

Les spectrophotomètres analysent les longueurs d'onde réfléchies d'une lumière incidente polychromatique visible (fig. 15). La mesure de ce spectre est réfléchi, se fait en de nombreux points, à intervalles faibles et est ensuite comparée à une base de données qui lui permet de déduire la couleur de la dent. Sur une dent, plusieurs millions de points de référence sont analysés pour une mesure optique. Comme pour les colorimètres, les mesures peuvent être ponctuelles ou en 3 points de la dent, ou alors fournir véritablement une cartographie 3D de la dent. L'étalonnage sur le blanc est, comme pour les colorimètres, nécessaire avant chaque mesure. Ces appareils sont actuellement les plus précis, ne sont pas influencés par l'éclairage ambiant et les problèmes de vieillissement de la source lumineuse ne se posent pas (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre J-F 2010; D'Incau E et al. 2014).

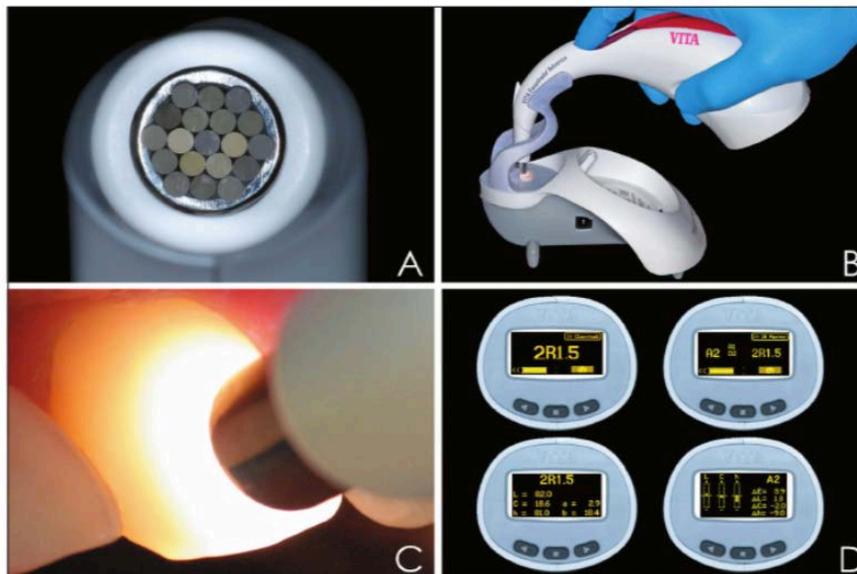


Fig. 15 : spectrophotomètre VITA Easyshade ® et enregistrement de la couleur :
A : fibres optiques permettant le relevé des couleurs / B : étalonnage sur une pastille de céramique / C : positionnement de la sonde / D : mesures obtenues (D'Incau E et al. 2014) ;

Le choix instrumental de la couleur présente plusieurs avantages grâce à un choix devenu objectif et indépendant de l'œil, de l'environnement et de l'éclairage : rapide, donne la possibilité d'analyse 3D et de cartographie couleur, possède un logiciel de communication sophistiqué avec le laboratoire pour les appareils les plus évolués et contrôles possibles au laboratoire. Néanmoins, les spectrophotomètres présentent les mêmes inconvénients que les colorimètres cités ci-dessus (Lasserre J-F 2010).

Concernant les techniques instrumentales ou visuelles, en clinique, ces deux méthodes d'évaluation sont nécessaires car elles sont finalement complémentaires. Les techniques d'enregistrement sont donc multiples, et présentent chacune avantages et inconvénients (Lasserre J.-F. et al. 2006; Lasserre J-F 2010). Inconvénients dont il serait intéressant de s'affranchir, et c'est pour cette raison que les recherches sur des protocoles d'enregistrement plus performants continuent. En effet, plusieurs protocoles d'aide informatique reposant sur la photographie dentaire ont émergés et s'annoncent prometteurs. Ce développement s'est réalisé à partir d'un constat : il est fréquent d'associer une photographie en plus de l'enregistrement de teinte afin d'y associer les caractérisations dentaires, une hésitation entre deux teintes...etc. Il semble alors judicieux de se demander si, à la place d'être associée à une technique, la prise de cliché ne peut exister en technique à part entière. Mais sans matériels et règles spécifiques, ces clichés sont assez approximatifs, trop peu précis et non reproductibles.

2. Le protocole eLab

2.1 Principe

Le protocole eLab a été mis au point et développé après plusieurs années de recherches par Sasha Hein, Javier Tapia Guadix et Panagiotis Bazos. Son objectif est de permettre une communication objective à propos de la teinte entre le laboratoire et le cabinet dentaire tout en s'affranchissant des limites géographiques. Il consiste à prendre des clichés de notre cas clinique de manière calibrée et reproductible en respectant des règles spécifiques. A partir des photographies, il est possible d'obtenir la couleur de la dent mimée de manière détaillée (via des coordonnées colorimétriques) et de convertir ces données en une combinaison de céramiques qui devrait donner une couleur supposée identique. La prise de cliché du cas clinique au cabinet, et celle de la restauration réalisée au laboratoire de prothèse permettent de faire un essai virtuel de la restauration en bouche en superposant les deux clichés.

C'est la notion de convertir une couleur en plusieurs valeurs numériques qui permet théoriquement de s'affranchir de la part subjective du choix de la teinte. La couleur sera alors définie par des coordonnées dans l'espace chromatique international L^*a^*b CIE 1976 ou CIELAB selon les 3 axes L^* , a^* et b^* décrit en introduction.

Ces valeurs numériques permettent également de calculer la différence entre deux couleurs avec le delta E ou dE ou ΔE avec la formule suivante :

$\sqrt{((L2 - L1)^2 + (a2 - a1)^2 + (b2 - b1)^2)}$ établie en 1976 par la Commission internationale de l'éclairage (CIE).

Ce principe repose sur une optimisation au maximum de la standardisation de la prise de vue. Pour cela un matériel spécifique est à utiliser au cabinet, mais également au laboratoire. Ce protocole est encore à l'heure actuelle assez méconnu et le niveau de publication sur ce dernier est assez limité (Azogui A et al. 2019; Ibrahimi 2019; Salehi A et al. 2019).

2.4 Matériel nécessaire à l'application du protocole eLab

2.4.1 Appareil photo reflex numérique

En pratique dentaire, l'essor de la technologie numérique a eu pour conséquence le développement de l'appareil photo en outil indispensable. La photographie permet de garder en mémoire ce que nous voyons chez nos patients et permet de mettre en évidence certains détails qui auraient pu nous échapper. En combinant les clichés avec l'étude clinique, radiologique et des modèles, l'approche diagnostique s'en trouve renforcée.

La photographie est également devenue un moyen de communication très puissant, notamment avec le patient (pour informer, motiver et impliquer), les différents correspondants, la communauté scientifique ou le laboratoire. Ses nombreux intérêts, ainsi que l'évolution des technologies numériques et de communication tendent à rendre son utilisation de plus en plus présente dans l'exercice du praticien à l'avenir (Camaleonte G 2015).

Le boîtier constitue l'élément de base et se décline selon cinq grandes familles :

- Les compacts ;
- Les compacts à objectifs interchangeables ;
- Les bridges ;
- Les reflex (fig. 16) ;
- Les appareils hybrides (mirrorless) ;

Parmi ces boîtiers, les reflex respectent le mieux les impératifs imposés par la macrophotographie dentaire. En effet, ils permettent de pré-visualiser le rendu final exact de la scène photographiée grâce à leur visée reflex et leur prise instantanée. De plus, ils permettent une représentation du sujet en plan rapproché avec un contrôle sur l'éclairage, la précision des détails et la déformation du visage. Plusieurs modèles sont disponibles et ont chacun des caractéristiques différentes de leur capteur, comme la taille, la densité en pixels et la sensibilité.

Ces derniers possèdent tous les réglages manuels nécessaires à la macrophotographie dentaire : vitesse d'obturation, ouverture du diaphragme, sensibilité ISO, mise en œuvre d'une optique appropriée et d'un flash externe programmable.

Les autres types de boîtiers ne sont pas adaptés à la macrophotographie dentaire de par leurs propriétés optiques, la taille limitée de leur capteur et l'impossibilité matérielle de monter un flash externe adapté à la macrophotographie (D'Incau E 2006; Barthélémy H et al. 2011). Les appareils hybrides plein format (mirrorless) semblent donner des résultats semblables aux reflex en étant plus léger et compact. Bien que prometteurs, leur prix et le manque d'accessoire associé dut à leur avènement récent, rend leur utilisation (bien que possible) difficile pour le moment.

Les appareils reflex sont donc, même si assez onéreux, les plus adéquats pour la photographie en dentisterie à condition de les utiliser avec un objectif et des flashes adéquats.



Fig. 16 : exemple d'appareil reflex équipé avec objectif et flash (Barthélémy H et al. 2011) ;

2.4.2 Objectifs macros

Le choix de l'objectif est associé à celui du boîtier. En photographie dentaire, il est nécessaire d'avoir une image géométriquement proche de la réalité, une perspective naturelle avec des déformations minimales. Pour cela, il faut disposer d'un objectif macro couplé à un boîtier réflex (fig. 17). Cela permet la projection de l'image sur le capteur selon un rapport proche de 1/1 en tournant simplement la bague de mise au point. Dans cette discipline, la zone

photographiée est assez restreinte. Si le rapport est plus petit, le photographe doit s'éloigner du sujet, élargie le cadre et donc sortir de l'environnement buccal.

Afin d'obtenir une distance focale adaptée à la macrophotographie dentaire, les objectifs de focale doivent être proches de 100mm. Il faut également combiner la focale de l'optique au coefficient de conversion propre au boîtier, qui dépend des dimensions de son capteur. Ce sont ces exigences qui définissent le choix de la distance focale séparant le capteur du point de convergence des rayons lumineux, de l'optique (D'Incau E 2006; Barthélémy H et al. 2011).



Fig. 17 : objectifs macro adaptés à la photographie dentaire avec focales 105 et 110 mm pour boîtier APS-C (Barthélémy H et al. 2011) ;

2.4.3 Flash macro

Le flash est un dispositif produisant une lumière intense pendant une durée très brève. Il en existe différents types, plus ou moins adaptés à la photographie dentaire. Dans le cas des clichés intra oraux, certaines difficultés apparaissent, en particulier dans les secteurs postérieurs par manque de luminosité, présences d'ombres, mise au point délicate ou faible profondeur de champ. Un apport annexe de lumière est alors primordial afin de contourner l'ensemble de ces problèmes. Les flashes macros sont placés au bout de l'objectif d'un appareil reflex et existent sous deux formes (D'Incau E 2006; Barthélémy H et al. 2011) :

- Les flashes annulaires (fig. 18) : ils créent un éclat lumineux uniforme, particulièrement intéressant pour le secteur postérieur, les lésions et les clichés utilisant des miroirs. Le principal inconvénient est que le flux lumineux est uniforme, créant ainsi des images plates, fades, ternes, peu naturelles et sans ombres. Pour les reconstitutions antérieures, le flash annulaire n'est pas

recommandé puisque l'image sera dépourvue des petits détails, de la translucidité et des subtiles transitions de couleurs de chaque dent. Le flash annulaire peut être utilisé en déporté, c'est à dire non fixé directement à l'appareil photographique (D'Incau E 2006; Ahmad I 2009a; Barthélémy H et al. 2011).



Fig. 18 : flash annulaire à monter sur appareil reflex (Barthélémy H et al. 2011) ;

- Les flashes bilatéraux ont 2 réflecteurs (ou cellules) déportés en périphérie, dont les têtes sont indépendantes entre elles. Ces cellules sont des unités de sources lumineuses et créent des zones d'ombre et de lumières donnant à la dent et à la gencive un aspect plus tridimensionnel avec un contraste et des détails pointilleux. La mise en évidence des détails spécifiques d'une dent permet de guider le laboratoire afin d'imiter ces caractéristiques sur la prothèse finale. Les flashes bilatéraux permettent donc des prises de vues intra buccales du secteur antérieur et du sourire de qualité (D'Incau E 2006; Barthélémy H et al. 2011).

Dans le cadre du protocole eLab, un support bilatéral des flashes est nécessaire et a été conçu afin d'éviter toute variation de positionnement des flashes et donc une diffusion lumineuse égale (fig. 19). Il permet donc de fournir un éclairage oblique fixe, linéaire et homogène, adapté aux objectifs macros, utilisés pour ce protocole. Sa disposition simule avec une excellente approximation la manière dont l'œil percevrait un échantillon ou un objet. Il est compatible avec plusieurs types d'appareils photographiques et de système de flash en utilisant une connexion à griffe. C'est un élément facilement utilisable, que ce soit pour un novice ou un photographe dentaire expérimenté.

Il existe d'autres types de Bracket qui pourrait convenir, mais l'axis est le plus optimisé pour le protocole. Le plus important est d'avoir la même source lumineuse que le prothésiste afin d'avoir une reproductibilité maximale (Ibrahimi 2019).



Fig. 19 : axis bracket (Ibrahimi 2019) ;

2.4.4 Les filtres polarisants

Lors d'une prise de cliché, la lumière du flash engendre des réflexions/reflets de surface sur l'organe dentaire. Ces réflexions vont masquer certains détails de la dent et donc poser problème lors de la communication avec le laboratoire. Les filtres polarisants permettent d'atténuer, voire d'éliminer ces dernières par le concept de polarisation croisée décrit en 1994 par Claude Sieber (Hein S et Polansky J 2011). Ils vont filtrer la lumière émise par le flash, afin que les réflexions spéculaires soient le moins importantes possible. En photographie dentaire, le principe de polarisation croisée a été lentement adopté mais restait une technique obscure et sous utilisée. La variante de la technique d'éclairage photographique numérique a plus récemment suscité un regain d'intérêt et vise à accroître la précision et l'objectivité de l'évaluation des teintes dentaires et de la communication en laboratoire grâce à l'utilisation de filtres de polarisation spécialisés. Cela permet d'améliorer la visualisation des caractéristiques de l'émail de manière non obstruée par le biais d'un mécanisme de contrastes non destructif

(fig. 23 et 24). Il devient donc plus simple de pré-visualiser spatialement l'histo-anatomie de l'émail et de la dentine et l'interprétation de la stratification peut être considérablement améliorée par les matériaux dentaires esthétiques modernes. Les filtres se fixent sur le flash macro et l'objectif par des aimants de manière très rapide et sont disponibles sur plusieurs types d'appareils (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

Les filtres utilisés pour le protocole eLab sont spécifiques et se composent de trois éléments à monter sur les deux flashes et l'objectif (fig. 20). Ces derniers absorbant 60% de la lumière, il est donc nécessaire d'avoir un flash à pleine puissance afin qu'il reste suffisamment de lumière non absorbée pour l'éclairage. Pour cela il faut désactiver l'E-TTL présent dans certains appareils en tant qu'automatismes sophistiqués, et de passer en mode manuel avec une intensité du flash réglé sur la puissance maximale 1/1.

Lorsque l'on utilise ces filtres avec l'axis, il faut les positionner sur les flashes et sur l'objectif afin qu'ils soient bien orientés à la même hauteur et perpendiculaires. En effet, la présence de polarisation ou non dépend de l'alignement et de la perpendicularité des filtres : même un écart de 5° peut donner des reflets spéculatifs en surface (fig. 21 et 22). Si angulation il y a, cela empêchera le retour correct de la lumière jusqu'à l'objectif (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

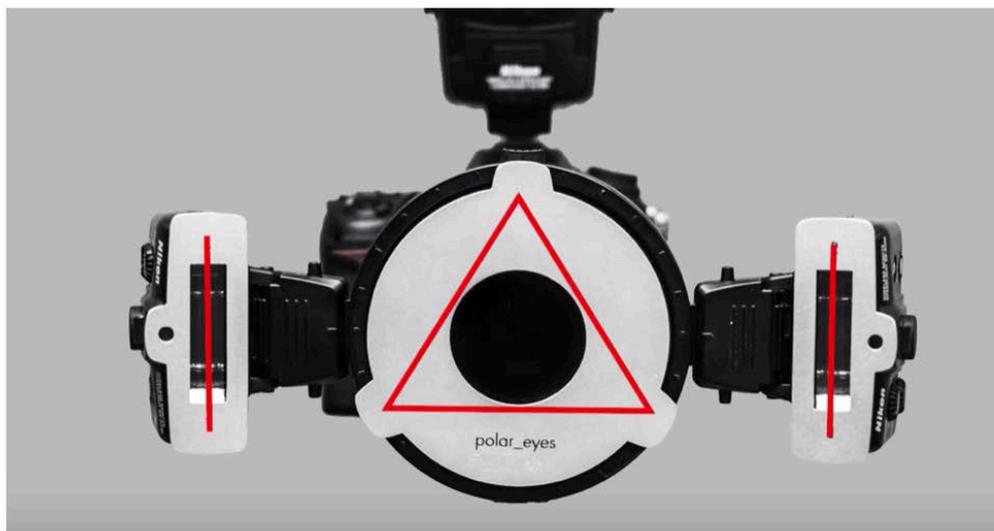


Fig. 20 : positionnement correct du filtre de polarisation croisée (Hein S 2017);

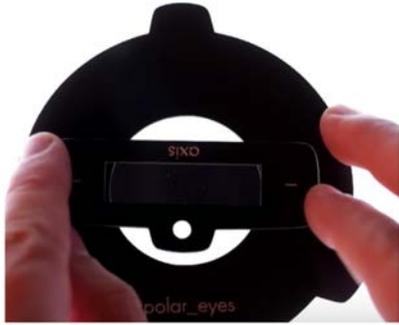


Fig. 21 : polarisation lorsque le filtre est en position horizontale (Hein S 2017);

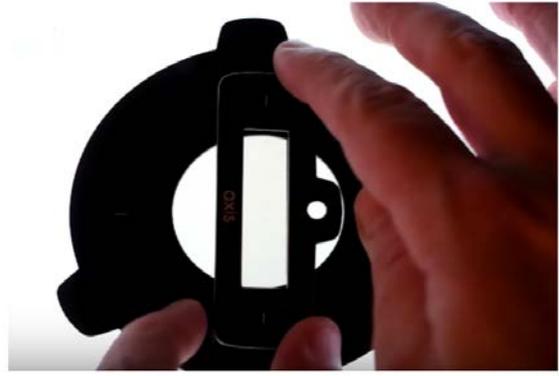


Fig. 22 : absence de polarisation lorsque le filtre est en position verticale (Hein S 2017);



Fig. 23 : exemple de résultat obtenu en polarisation non croisée (Salehi A et al. 2019);



Fig. 24 : exemple de résultat obtenu en polarisation croisée (Salehi A et al. 2019);

2.4.5 Carte de balance des blancs (white_balance)

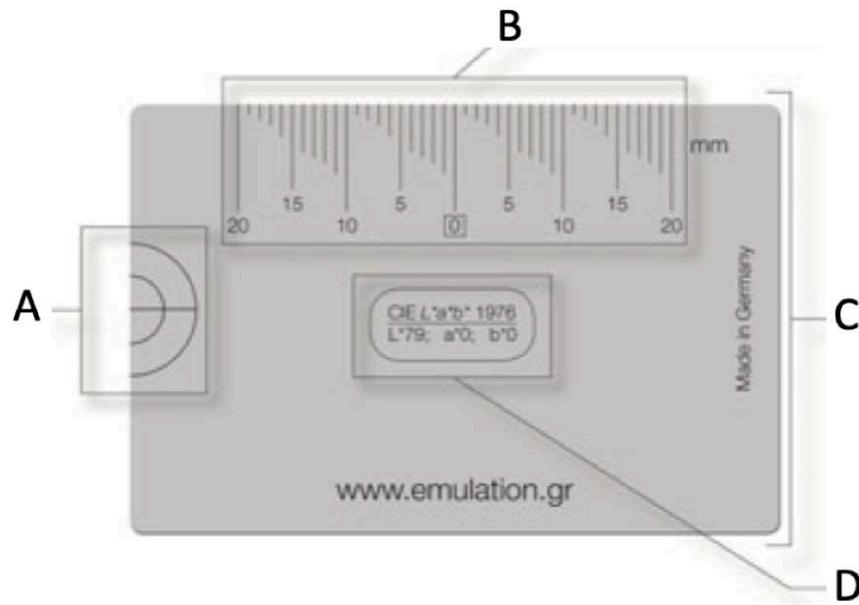


Fig. 25 : Carte de balance des blancs spécifique au protocole eLab (Hein et al. 2017) ;

Cette carte a été spécialement développée pour la photographie dentaire (fig. 25). Elle est particulièrement utilisée pour la communication de la couleur et la documentation des résultats cliniques. Elle permet une communication objective de la teinte entre le cabinet dentaire et son laboratoire, éliminant ainsi la nécessité du guide de teinte. En effet, les coordonnées colorimétriques de la carte sont connues (L^*79 , a^*0 et b^*0) ce qui permet d'étalonner correctement une photographie réalisée et d'avoir un même système référentiel avec n'importe quel interlocuteur.

Il existe des cartes similaires mais pas pour une utilisation purement dentaire. On trouve des cartes souvent trop grandes ou qui présentent des problèmes lors de la stérilisation avec notamment des disparitions de la peinture. Celle-ci est fabriquée en Allemagne et possède une certification ISO.

Elle présente plusieurs éléments :

- Les cercles de visée (A), présent côté gauche sont connus pour correspondre à la grille des viseurs de la plupart des appareils photographiques utilisés en dentisterie. Le petit cercle de visée est le même que sur les viseurs des appareils plein cadre DSLR, comme le Canon 5d ou le Nikon 800. Le cercle plus grand, pour les appareils APS-C comme le Nikon d7200 et le canon 450D.

- La ligne au milieu des cercles (A) est présente pour aider le praticien à positionner la carte dans la bouche du patient. Cette dernière doit être dans le même axe que l'axe vertical du patient (en général, le milieu inter incisif).
- Échelle millimétrique (B) : très précise, elle permet de juger des proportions en bouche, mais également utile pour calibrer une règle lors de l'utilisation d'application de conception de sourire numérique.
- La largeur de la carte (C) : elle est de 36mm, ce qui représente la distance inter canine moyenne chez les adultes caucasiens. Cela permet encore une fois d'avoir une référence de plus lors du positionnement de la carte.
- Les inscriptions aux centres de la carte (D) correspondent aux coordonnées de couleur de la carte ce qui permet d'avoir une haute précision de couleur. Le système de 1976 de la CIE est utilisé, avec comme coordonnées $L^* 79$, $a^* 0$ et $b^* 0$.

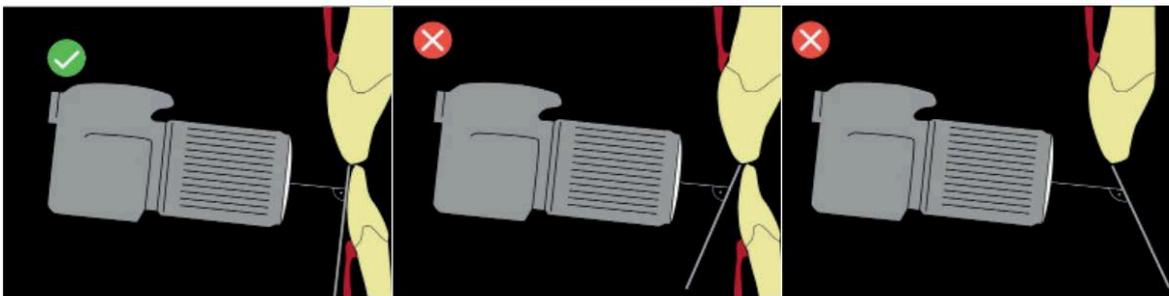


Fig. 26 : le bon positionnement de la carte des blancs : même plan que le grand axe des incisives centrale, en étant perpendiculaires à l'objectif (Ibrahimi 2019) ;

Il est primordial de bien positionner la carte (fig. 26) afin d'éviter toute erreur de calibrage et de choix de la teinte (Hein S et al. 2016; Hein et al. 2017; Ibrahimi 2019; Salehi A et al. 2019).

2.4.6 Rétracteurs (elab_retrax)

Les rétracteurs utilisés pour ce protocole sont particuliers (fig.27). Ils sont fabriqués à partir d'un polymère de haute qualité alliant durabilité mécanique et propriétés optiques avec une forte absorption et de faibles réflexions de surface. Ils empêchent donc toute repolarisation de la lumière comme cela peut être le cas avec un écarteur en plastique transparent. Ils sont donc parfaitement adaptés pour ce protocole et sont stérilisables (Ibrahimi 2019).



Fig. 27 : rétracteurs spécifiques du protocole eLab (Ibrahimi 2019) ;

2.5 Étapes du protocole

Afin de bien illustrer les étapes du protocole, un cas clinique accompagnera les détails de chaque étape :

Patiente, sans antécédents médicaux, âgée de 19 ans adressée pour le remplacement de 21. Actuellement temporisée par une prothèse amovible, la patiente à une forte demande esthétique, tient à préserver les caractérisations de ses dents et souhaite une restauration fixe. On note à l'examen clinique :

- Ligne du sourire moyenne laissant apparaître la pointe de quelques papilles ;
- Milieu inter incisif dévié à droite très légèrement, sans dysharmonie esthétique au sein de la face ;
- Surplomb de 2mm ;
- Espace mésio-distal de 21 correspondant à celui de 11 ;
- Légère perte de volume au niveau de l'architecture parodontale sur le site ;
- Présence de multiples halos nacrés ;

Après discussion avec la patiente, la thérapeutique implantaire est écartée et une réhabilitation collée type bridge cantilever sera retenue (Azogui A et al. 2019).



Fig. 28 : situation initiale : absence de 21, espace mésio-distal présev  et halos nacrés sur toute la surface amélaire des dents présentes ;



Fig. 29 : vue occlusale de la situation initiale ;

2.5.1 Acquisition de l'image

2.5.1.1 Réglages spécifiques

Dans un premier temps, deux photographies standardisées doivent être réalisées rapidement (pour éviter la déshydratation) sur dents propres. L'acquisition de ces images doit être normalisée lors de l'utilisation de l'appareil photo en mode manuel. Des réglages spécifiques sont donc à effectuer. Afin de comprendre les raisons qui nous poussent à utiliser ces derniers, il est nécessaire de bien comprendre les notions des réglages suivants :

2.5.1.1.1 Mise au point

Le mode automatique d'un appareil reflex permet de s'abstenir de régler les différents paramètres manuellement, et c'est donc l'appareil lui-même qui les définit. Lorsque l'on veut obtenir des images de qualité, il est préférable (mais pas impératif pour certains clichés) de passer en mode manuel et de régler soit même ces différents paramètres en fonction des situations et des types de clichés à acquérir (D'Incau Emmanuel 2016).

2.5.1.1.2 Exposition

L'exposition détermine la quantité de lumière qui impressionne une surface photosensible. Il faut que cette dernière reçoive exactement la quantité de lumière nécessaire afin de ne pas être sur ou sous exposé. Trois facteurs interdépendants (fig. 33) déterminent l'exposition : l'ouverture, le temps d'exposition ou vitesse et la sensibilité (D'Incau Emmanuel 2016).

Pour avoir des clichés de qualité avec un appareil reflex numérique, il est nécessaire d'adapter ces réglages en fonction de nos exigences :

- Absence de bruit : la sensibilité devra alors être basse afin de ne pas créer d'altération de l'image ;
- Premier plan, plan intermédiaire et arrière-plan nets : l'ouverture du diaphragme doit être faible ;
- Absence de mouvement involontaire : la vitesse doit être importante ;

Or dans ce contexte, aucune lumière ne peut rentrer dans l'objectif et l'image obtenue est totalement noire. C'est pour cette raison qu'une source lumineuse complémentaire calibrée

est primordiale dans la réalisation de clichés dans la photographie en dentisterie (Barthélémy H et al. 2011; Camaleonte G 2015; Wolfart S et Bothung C 2017).

2.5.1.1.3 Ouverture

Le diaphragme d'un appareil photographique est composé de 5 à 9 lames qui s'entrecroisent, est intégré à l'objectif, entre les lentilles et est déclenché par un moteur. Il peut augmenter ou diminuer de diamètre selon les réglages utilisés et ainsi régler la quantité de lumière qui entre dans l'objectif.

Le nombre d'ouverture correspondant au diamètre d'ouverture du diaphragme est noté « F/nombre » et peut prendre plusieurs valeurs (en général de 1 à 32). Chaque objectif possède une ouverture maximale et minimale. Plus le chiffre est petit, plus l'ouverture du diaphragme est grande et donc plus la quantité de lumière sera importante. De plus, la valeur du nombre d'ouverture joue également sur la profondeur de champ (fig. 30) : plus l'ouverture est petite, plus la profondeur de champ sera importante avec un arrière-plan net. En photographie dentaire, et notamment dans le protocole eLab, il est nécessaire d'avoir tous les plans nets et de n'avoir aucune présence de flous sur nos clichés (D'Incau Emmanuel 2016).



Fig. 30 : effet du nombre d'ouverture sur une même image de gauche à droite : 2,8 ; 4 ; 5,6 et 8 (D'Incau Emmanuel 2016) ;

2.5.1.1.4 Temps d'exposition ou vitesse

Tous les appareils photographiques possèdent un obturateur qui permet de déterminer la vitesse ou temps d'exposition de la surface photosensible, tel un rideau s'ouvrant et se fermant. Ce paramètre renseigne donc également sur la quantité de lumière que reçoit le capteur. Elle se mesure en fractions de seconde : plus la vitesse est élevée, plus le temps d'ouverture du diaphragme est court et donc moins la lumière entre. Par exemple, une vitesse de 1/1000 s (un millième de seconde) ne laisse passer que la moitié de la lumière d'un déclenchement au 1/500 s. De plus, la vitesse est un élément crucial en cas de mouvement involontaire du boîtier. En

effet, le moindre mouvement peut avoir des conséquences sur le flou de l'image (fig. 31). Si la vitesse est assez élevée, ces mouvements resteront imperceptibles (Grosseti F 2015; Wolfart S et Bothung C 2017).

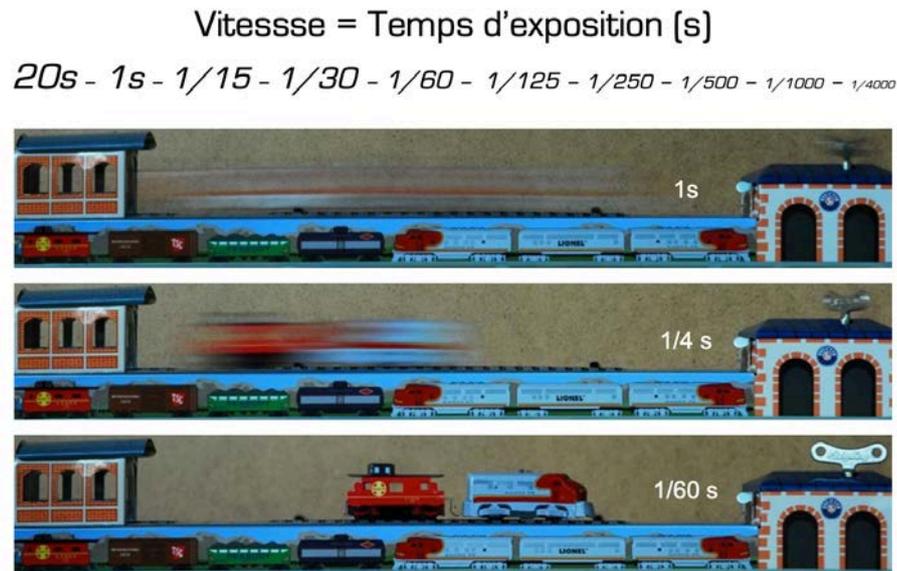


Fig. 31 : effet de la vitesse d'obturation : des vitesses rapides permettent de figer l'image (D'Incau Emmanuel 2016) ;

2.5.1.1.5 Sensibilité

Sensibilité ISO : les ISO représentent l'unité de mesure de la sensibilité de la lumière du capteur numérique. Il est possible de régler la sensibilité du capteur sur l'appareil photo numérique. Plus la valeur ISO est basse (100-200 ISO) et moins le capteur est sensible (fig. 32), ce qui veut dire qu'il lui faut plus de lumière pour créer une image. Plus elle est élevée, plus le capteur est sensible à la lumière mais devient plus sensible à l'apparition de grains disgracieux sur l'image, appelés « bruits » (Grosseti F 2015; Wolfart S et Bothung C 2017).



Fig. 32 : effet de la sensibilité ISO sur une même image allant de ISO 2000 à ISO 6400 (Ibrahimi 2019) ;

La mesure de l'exposition s'effectue en fonction de la lumière ambiante qui « passe à travers l'objectif » (Through The Lens ou TTL). Ce système voit le jour avec les reflex numériques. En effet, avant l'apparition de ces derniers, la mesure d'exposition se basait seulement sur la lumière arrivant sur la pellicule qui était ensuite réfléchi en direction du capteur de mesure. Avec le système TTL et l'absence de pellicule, et donc de la surface réfléchissante, un pré-éclair est émis qui permet en quelques fractions de seconde de déterminer l'exposition requise en fonction de la quantité de lumière entrant dans l'appareil. L'appareil calcule alors la quantité de lumière devant être fournie par le flash pour une bonne exposition, de manière automatisée en se basant sur la moyenne de toutes les luminosités de l'image. Mais ce système de mesures ne sait pas si l'objet est clair ou sombre, ce qui dans certains cas, et notamment en dentisterie, complique l'obtention d'un bon résultat. En effet, les dents sont des zones très claires et les contrasteurs photographiques très foncés par exemple. La correction de la lumière du flash doit donc s'effectuer manuellement en fonction de la situation : si le sujet clair est légèrement trop foncé, on adapte la lumière du flash en entrant une valeur de correction d'ouverture comprise entre +1/3 et +1 afin d'augmenter la luminosité, et si l'image à un arrière-plan très foncé qui rend l'image du sujet trop claire, la valeur de correction d'ouverture sera comprise entre - 1/3 et -1 pour améliorer l'exposition. En photographie intra orale, le sujet étant généralement clair, on entre souvent en correction d'ouverture +1/3 (D'Incau Emmanuel 2016; Wolfart S et Bothung C 2017).

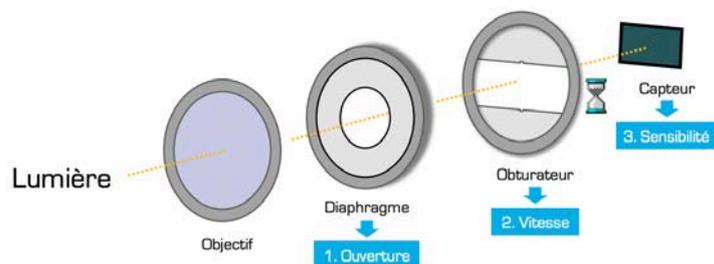


Fig. 33 : trois facteurs permettant de contrôler l'exposition (D'Incau Emmanuel 2016) ;

2.5.1.1.6 Profondeur de champ

La profondeur de champ correspond à la zone de l'espace dans laquelle doit se trouver l'objet photographié afin d'obtenir une image nette. Elle dépend de plusieurs paramètres :

- L'ouverture du diaphragme : plus elle diminue, plus la profondeur de champ augmente ;
- La distance de mise au point : plus elle augmente, plus la profondeur de champ augmente ;
- La distance focale : plus elle augmente, plus la profondeur de champ diminue ; (D'Incau Emmanuel 2016).

2.5.1.1.7 Couleur

La couleur d'un objet varie selon la nature de la lumière qui l'éclaire (fig. 34). Chaque source de lumière a sa propre couleur ou « température » dont le spectre peut varier du bleu au rouge. Afin que le rendu des couleurs sur la photographie soit le plus proche possible de la réalité il est impératif de paramétrer la balance des blancs. Cette dernière permet de compenser la différence que l'on pourrait obtenir en utilisant deux éclairages différents en précisant le style d'éclairage utilisé. Il nous faut donc standardiser ce qu'est le « blanc ». Pour cela, il nous faut un objet blanc dont les coordonnées colorimétriques sont connues : la carte des blancs. Il faut ensuite régler la balance des blancs sur « flash », et de préférence directement en degrés Kelvin afin d'éviter la possible présence d'un léger décalage chromatique (Wolfart S et Bothung C 2017).



Fig. 34 : exemple de différence obtenue avec température des sources de lumières différentes (D’Incau Emmanuel 2016) ;

2.5.1.1.8 Rapport de grossissement

Le rapport de grossissement détermine la taille d’un objet photographié sur une surface photosensible. Plus cette dernière est grande et plus le rapport de grossissement augmente. Les objectifs macro permettent d’obtenir un rapport 1/1 contrairement aux objectifs meilleurs marchés ayant une position « macro » (D’Incau Emmanuel 2016).

2.5.1.1.9 Format d’enregistrement

Il existe plusieurs formats de fichier dans le codage d’images numériques : JPEG, TIFF, RAW et DNG. Chaque format possède avantages et inconvénients mais les formats généralement utilisés sont :

- JPEG : permet un transfert d’image rapidement, il gère plus de 16 millions de couleurs et compresse les images afin qu’elles occupent le moins d’espace possible.
- RAW : certes plus lourd, un fichier RAW est pur, et fait preuve d’absence de retouche sur la photographie sélectionnée. En enregistrant les données brutes du capteur sans passer par des traitements complexes appliqués aux autres formats, il est idéal en photographie dentaire (et notamment pour un aspect médico-légal) (D’Incau Emmanuel 2016; Wolfart S et Bothung C 2017).

L’absence de compression, et donc de perte de données, et donc de qualité, nous incite à utiliser le format RAW dans le cadre du protocole eLab.

Paramètres	Réglages pour la photographie en dentisterie
Ouverture	Faible (F élevé)
Vitesse	Importante
Sensibilité	Faible
Mise au point	Manuel
Domaine de couleur	Adobe RGB
Profondeur de champ	Premier plan, plan intermédiaire et arrière-plan nets
Rapport de grossissement	1/1 grâce à l'objectif macro
Balances des blancs	Régler sur « flash »
Format du fichier	RAW voire JPEG

Plus spécifiquement, le protocole eLab comporte les réglages suivants :

- Sensibilité ISO la plus basse possible, en général 100.
- Ouverture f 22 : avec un objectif macro 1:1, l'ouverture maximale sans déformation est de f/11. On peut alors aller jusqu'à f/22 avec une distance maximale de 2 :1 ce qui permet d'être suffisamment loin de l'objet à photographier sans être, ni sur, ni sous exposé.
- Vitesse 1/125s : en augmentant le temps d'exposition, la photo apparaît surexposée, et en le diminuant elle apparaît sous exposée. Cette vitesse correspond à une exposition correcte.
- Débrayage de l'autofocus (MF) et mise au point manuelle à une distance variable en fonction du capteur mais, en général à 37 cm de l'objet.

La première photographie doit être réalisée avec un filtre de polarisation croisée pour un rendu mat et sans reflet pour la prise de couleur. Un support standardisé comme l'Axis Bracket est utilisé, et un flash à la puissance 1/1 également.

La seconde photographie est quant à elle réalisée sans filtre de polarisation croisée afin de visualiser l'état de surface, toujours avec un support standardisé avec l'Axis Bracket mais avec un flash cette fois-ci à la puissance 1/4.

L'utilisation de la mesure TTL (ou mesure de l'exposition effectuée à travers l'objectif) n'est pas recommandée en raison des variations héritées dans les calculs de mesure des algorithmes du programme d'exposition (Hein et al. 2017; Ibrahim 2019; Salehi A et al. 2019).

2.5.1.2 Prise de clichés spécifiques

Les différentes prises de clichés du protocole eLab doivent respecter un certain nombre de critères afin d'être systématisées et reproductibles. Pour ces premières prises de vues, le patient se trouve en position assise. Nous plaçons les écarteurs au niveau de la lèvre inférieure de sorte à ce qu'ils soient en contact chacun avec une commissure d'abord de manière verticale avant de les horizontaliser. Le patient vient ensuite maintenir les écarteurs pour nous, en les tenant par le bout de façon à avoir ses pouces au premier plan. On guide alors le patient pour remonter les écarteurs en direction des oreilles et le patient se place en bout-à-bout incisif. On demande au patient de baisser très légèrement la tête afin d'obtenir un angle parfait et nous plaçons alors la carte des blancs de manière à ce que la ligne médiane coïncide avec le milieu inter incisif, en la maintenant avec une main (fig. 35). Avec l'autre, on place l'appareil photo de manière à ce que l'axe optique de ce dernier soit perpendiculaire au plan horizontal de la carte des blancs (fig. 36 et 37). L'appareil est bien sûr déjà réglé avec le paramétrage spécifique du protocole. Les différentes prises de vues peuvent alors être réalisées (Hein S et al. 2016; Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).



Fig. 35 : prise de cliché avec mise en place de la carte des blancs (Hein S 2016);

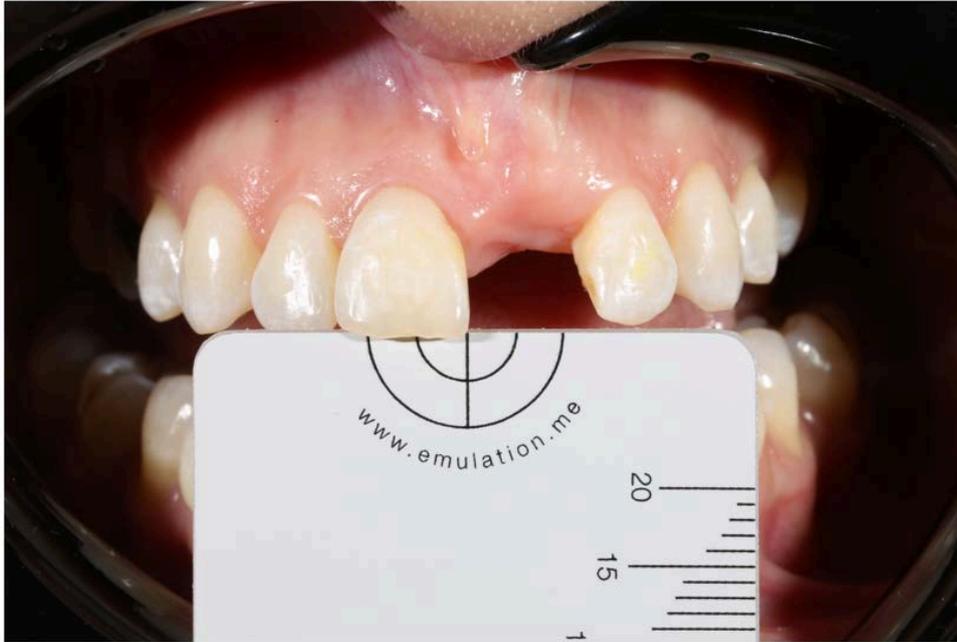


Fig. 36 : premier cliché du protocole sans utilisation de la polarisation croisée avec comme réglages : ISO 100, f22, vitesse 1/125s, débrayage de l'autofocus, mise au point manuelle à 37cm de l'objet et flash 1/1 ;



Fig. 37 : second cliché du protocole avec utilisation des filtres polarisants ISO 100, f22, vitesse 1/125s, débrayage de l'autofocus, mise au point manuelle à 37cm de l'objet et flash 1/4 ;

La distance à laquelle il faut se mettre du sujet dépend de la taille du capteur (Hein S et al. 2016) :

Taille du capteur	Distance focale de l'objectif	Rapport de reproduction	Distance de l'objet
Full frame (FX)	60mm	1 :1.6	24cm
Full frame (FX)	105mm	1 :1.6	37cm
APS-C (DX)	60mm	1 :2.5	28cm
APS-C (DX)	105mm	1 :2.5	45cm

A la fin de cette étape, c'est maintenant au prothésiste de prendre le relais. Le praticien a terminé son travail d'enregistrement et devra contrôler ce que réalisera le prothésiste.

2.5.2 Importation

Les clichés réalisés doivent alors être importés sur l'ordinateur dans Adobe Lightroom version 5.0. Après avoir sélectionné l'appareil photo concerné dans le logiciel, les clichés s'affichent, et il suffit d'appuyer sur « importation » pour qu'Adobe Lightroom importe les images dans sa bibliothèque. Afin de pouvoir traiter les images il faut les déplacer du mode bibliothèque (« librairie » en anglais) au mode développement (« develop ») situé à sa droite. Les prises de vue réalisées sont alors affichées et peuvent être traitées. Sur le nouveau logiciel, plus récent, tout cela est automatique et ne nécessite pas d'action spécifique (Hein S et al. 2016; Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

2.5.3 Flux numérique / Digital Workflow

2.5.3.1 Choix du profil DSLR

Avant d'importer le fichier dans Adobe Lightroom, il est nécessaire de d'abord choisir le fichier. Le choix du profil de l'appareil photo DSLR se fait dans le menu déroulant dans le mode « développement » (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

2.5.3.2 Balances des blancs

La balance des blancs, ayant des coordonnées connues, va permettre de connaître les coordonnées de couleur des dents présentes sur la même photographie. Tout d'abord, il faut s'assurer de la bonne valeur de ces coordonnées. Pour cela, il faut choisir l'outil de sélection de

balance des blancs (pipette) sur la droite de l'écran et on le déplace jusqu'à la carte des blancs, au niveau des cercles de visée. On choisit l'un des quatre segments et on clique au niveau du blanc (fig. 38). Le but est de surmonter le biais spécifique à chaque appareil. En effet, certains appareils donnent des couleurs un peu plus rouge ou un peu plus jaune avec un équilibre différent. L'outil nous permet alors d'obtenir les coordonnées de couleur de notre carte des blancs (fig. 39). Normalement, les coordonnées doivent donner : $L^* 79$, $a^* 0$ et $b^* 0$. Il faut donc vérifier que ces valeurs sont correctes auquel cas il faudra les corriger en gérant l'exposition de la balance (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

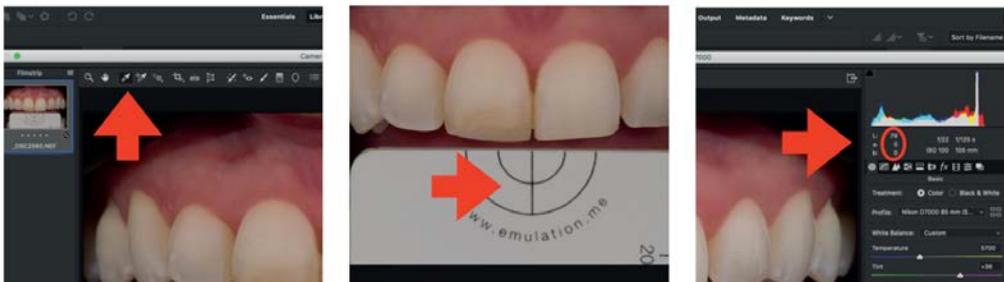


Fig. 38 : sélection de l'outil pipette, clique sur la carte des blancs et vérification des bonnes valeurs (Ibrahimi 2019) ;

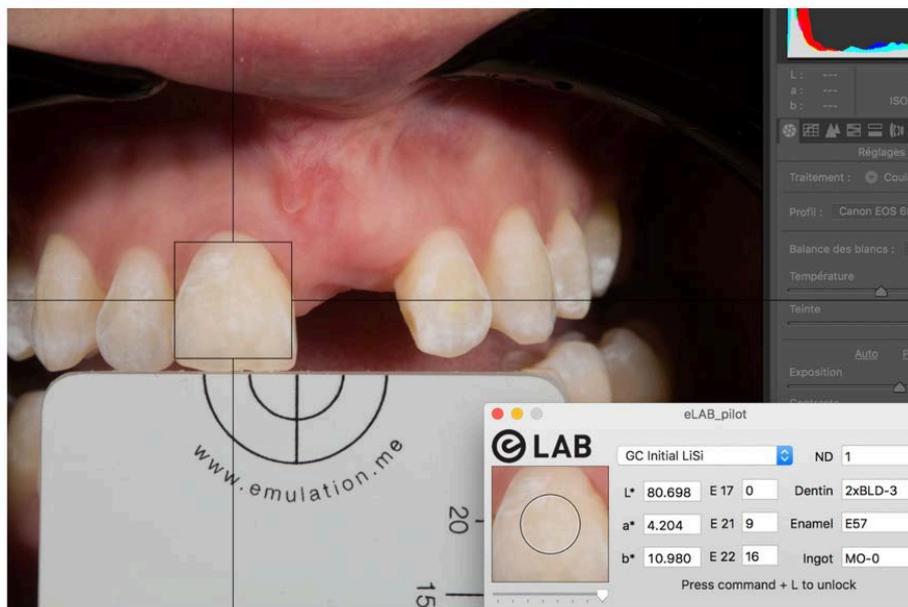


Fig. 39 : analyse des valeurs L^*a^*b de la couleur de la dent controlatérale avec le logiciel eLAB_pilot® et correspondance avec les différents matériaux ;

2.5.3.3 Correction de luminosité / balance d'exposition

La balance d'exposition et donc la correction de la luminosité, est nécessaire du fait des petites variations dans la luminosité de l'image provenant en général d'un flux lumineux irrégulier émis par le flash électronique lorsque les piles se déchargent. Cette correction de luminosité se fait en ajustant l'exposition de l'image jusqu'à ce que la luminosité mesurée sur le logiciel soit égale à la luminosité connue soit $L^* 79$. Pour cela, trois curseurs sont à ajuster sur le côté droit de l'écran et la valeur du L change. Le but est de se rapprocher au maximum de 79,00. Lorsque nos trois curseurs sont ajustés, il est possible de les « copier-coller » sur n'importe quel autre cliché et éviter de recommencer la balance d'exposition. La synchronisation sur le cliché non polarisé est donc à effectuer également avant la mesure de la teinte. Ceci ne fonctionne qu'avec des images bruts type RAW. A la fin de cette étape, nous avons donc des images avec des couleurs précises pour l'analyse des teintes (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

2.5.4 Mesure de la teinte

Pour obtenir les coordonnées de couleur de dent cible dans l'espace colorimétrique CIE $L^* a^* b^*$, le logiciel Classic Color Meter est utilisé. La mesure se fait généralement au tiers cervical de la dent et permet d'obtenir les coordonnées de la couleur de la dent. Il est possible de comparer deux images côte à côte. L'idée est d'avoir un autre cliché d'un teintier avec une balance des blancs et où la balance d'exposition a été corrigée. Il faut ensuite comparer les coordonnées de la dent cible à celles des dents du teintiers et de chercher la correspondance la plus proche (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

2.5.5 Choix de la céramique

Afin de transférer la couleur de la dent cible dans un mélange individuel de céramique pour dentine, un modèle statistique de diagrammes d'interpolation est utilisé et est basé sur les coordonnées $L^* a^* b^*$ des systèmes céramiques les plus courants. Des valeurs standards permettent d'identifier la couleur de dentine la plus proche du système céramique concerné et offrent des rapports de mélange permettant d'augmenter a^* et b^* de manière individuelle et de réduire la luminosité si nécessaire. Pour cela, un ensemble de portionneurs de céramique et de colorants est utilisé (fig. 40) : E21 : rouge de base, E22 : jaune de base et E10 : acajou. Les

deux premières teintures, E21 et E22, servent à augmenter la saturation et E10 est utilisée pour baisser la luminosité. Les teintures de différents fabricants peuvent être utilisées, à condition de répondre aux exigences d'évolution de la loi du mélange linéaire des matériaux colorés selon la loi de Beer-Lambert (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).



Fig. 40 : les différentes poudres aux doses indiquées par le logiciel sont utilisées par le prothésiste afin de monter sa céramique selon les techniques classiques de stratification à gauche et les différentes teintures E21, E22 et E10 permettant d'ajuster dans l'ordre a^* , b^* et L^* à droite (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019) ;

2.5.6 Seconde acquisition de l'image

Au laboratoire, le prothésiste va concevoir la prothèse à partir des informations que le praticien a recueillies et lui a transmises. Une fois créée, le prothésiste va alors réaliser des clichés sur le modèle comportant la prothèse dans des conditions identiques à celle du praticien lors de la première acquisition d'image. Les réglages de l'appareil doivent être identiques et la balance des blancs doit être aussi être présente sur le cliché. Ce cliché va permettre de confirmer le choix de la couleur et de faire des essayages numériques (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019).

2.5.7 Seconde mesure de teinte

Une seconde mesure de teinte est effectuée afin de confirmer les valeurs de la première mesure sur les premiers clichés et donc la bonne concordance entre les clichés pris par le praticien et le prothésiste (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019; Zarini 2020).

2.5.8 Prévisualisation et essai numérique / Digital try-in

Le rôle du praticien reprend à cette étape : les rapports de mélange susmentionnés reposent sur des valeurs standards. Néanmoins, en clinique, la quantité précise peut être sujette à des variations. Si des petites variations de + ou - 0,25 mm ne montrent pas de changement de couleur significatifs, des variations plus importantes affectent la luminosité et la saturation. Un même mélange de dentine peut présenter une luminosité plus élevée et une chrominance inférieure si l'espace disponible est réduit et l'inverse est vrai si celui-ci dépasse 1,5mm. Afin de vérifier l'exactitude du mélange de dentine, compte tenu de ces circonstances particulières, et d'ajuster la luminosité et la chrominance si nécessaire, un liquide non toxique à indice de réfraction élevé (visual_eyes, Emulation) peut être utilisé pour réaliser une prévisualisation de la couleur de la céramique non frittée (fig. 41) (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019; Zarini 2020).

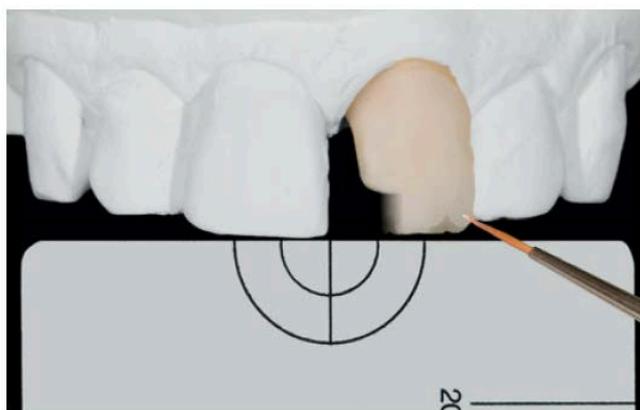


Fig. 41 : prévisualisation (Hein et al. 2017) ;

Le protocole eLab a pour objectif principal de remplacer les guides de teintes pour déterminer la couleur correcte, mais l'imitation crédible des détails plus complexes, tel que les caractéristiques incisives, peut être vérifiée par comparaison visuelle et numérique. A cette fin, l'image numérique de la restauration sur le modèle maître peut être superposée à l'image clinique obtenue au cabinet dentaire. Pour cela, il faut avoir importé les deux clichés sur Lightroom (clinique et du modèle) qui ont déjà été travaillés et les mettre côte à côte puis :

- Exporter les images vers le bureau en format RAW qui est le format idéal pour notre travail (cliquer sur « export ») ;
- Ouvrir le nouveau dossier sur le bureau ;

- Ouvrir Apple Keynote et glisser les deux images sur le logiciel, d'abord la photo clinique, puis la photo du modèle ;
- Modifier l'opacité de la photo du modèle à 60% pour pouvoir voir par transparence la photo clinique en arrière-plan ;
- Ajuster la photo du modèle pour qu'elle coïncide parfaitement avec la photo clinique. L'appareil et les conditions des clichés étant similaires, cet ajustement est minime ;
- Une fois parfaitement ajuster, remettre l'opacité à 100% ;
- Utiliser l'outil « Mask » pour déplacer les rebords droits et gauches de l'image du modèle jusqu'à ne plus laisser apparaître que la dent prothétique ;

L'essayage numérique est alors réalisé (fig. 42). Cela donne une impression assez précise à ce à quoi la restauration ressemblerait si elle était placée cliniquement en bouche. Cette étape se fait juste avant le glaçage au cas où si des retouches sont nécessaire. On peut alors, pour terminer l'essayage numérique, utiliser l'outil mesurant la couleur pour vérifier que la teinte de la dent prothétique est la même que celle des dents adjacentes (Hein et al. 2017; Salehi A et al. 2019; Zarini 2020).

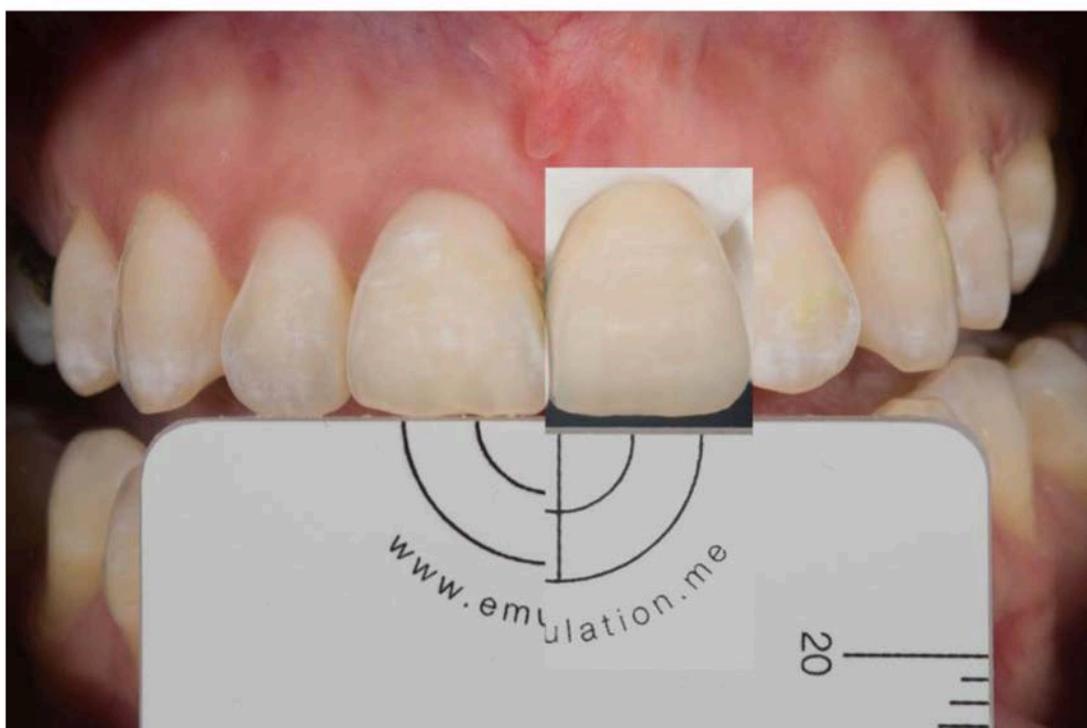


Fig. 42 : essaiage virtuel par intégration d'une photographie standardisée dans les même conditions, de la restauration, sur la photographie initiale avec vérification et ajustage de la couleur ;

2.5.9 Glaçage

Le glaçage est une étape non impactée par l'utilisation ou non du protocole eLab. La céramique subit une cuisson au four sous vide : la montée en température est très rapide puis se stabilise pendant 15 à 20 secondes. Le but est de vitrifier la couche externe de la céramique et d'éliminer les défauts de surface. La technique du glaçage demande une bonne connaissance du four et des matériaux utilisés car une légère différence de température peut provoquer la disparition des caractérisations de surface par ramollissement des couches internes (Monchanin S et al.).

2.5.10 Essayage et contrôle de la prothèse

Comme pour le glaçage, l'essayage et contrôle de la prothèse ne sont pas impactés par l'utilisation du protocole Elab et sont donc identiques à une prothèse plus « traditionnelle ». Il est nécessaire de vérifier les rapports intra-arcades et inter-arcades, ainsi que l'esthétique et la fonction :

- Validation des points de contact avec un fil dentaire ;
- Validation de l'occlusion avec le papier à articuler ;
- Validation de la forme générale de la dent, des lignes de transition, par rapport aux dents adjacentes ;
- Validation du contour par rapport au profil de la dent ;
- Validation esthétique de la couleur de base avec le patient, étape qui devrait poser donc moins de soucis en utilisant le protocole eLab (Clément M et al. 2014) ;



Fig. 43: bridge cantilever en céramique pressée et stratifiée ;



Fig. 44 : préparation de la pièce de collage en mordant à l'acide fluorhydrique



Fig. 45 : isolation avant collage avec pose de digue de 14 à 24 ;



Fig. 46 : photographie uen fois le bridge cantilever collé ;



Fig. 47 : vue intra buccale vestibulaire avec contrasteur 15 jours après la pose ;



Fig. 48 : intégration de la restauration dans le visage/sourire ;



Fig. 49 : intégration de la restauration dans le sourire vue de plongé ;



Fig. 50 : intégration de la restauration dans le sourire vue de profil ;

2.6 Cas Clinique

Voici un deuxième cas clinique étape par étape : patiente, âgée de 25 ans adressée pour les remplacements de 22 et 12, en excluant les traitements orthodontiques et chirurgicaux (souhait de cette dernière). Actuellement, l'absence des dents est palliée par une prothèse amovible. On note à l'examen clinique :

- Ligne du sourire moyenne laissant apparaître la pointe de quelques papilles ;
- Milieu inter incisif centré ;
- Béance de 2mm ;
- Espace mésio-distal de 22 et de 12 équivalent ;
- Architecture parodontale non ovalaire et donc nécessité de faire une ovalisation de la crête ;

Après discussion avec la patiente, la thérapeutique implantaire est donc écartée et une réhabilitation collée type bridge cantilever sera retenue pour les deux édentements.



Fig. 51 : situation initiale : absence de 22 et 12 avec un espace mésio-distal préservé ;

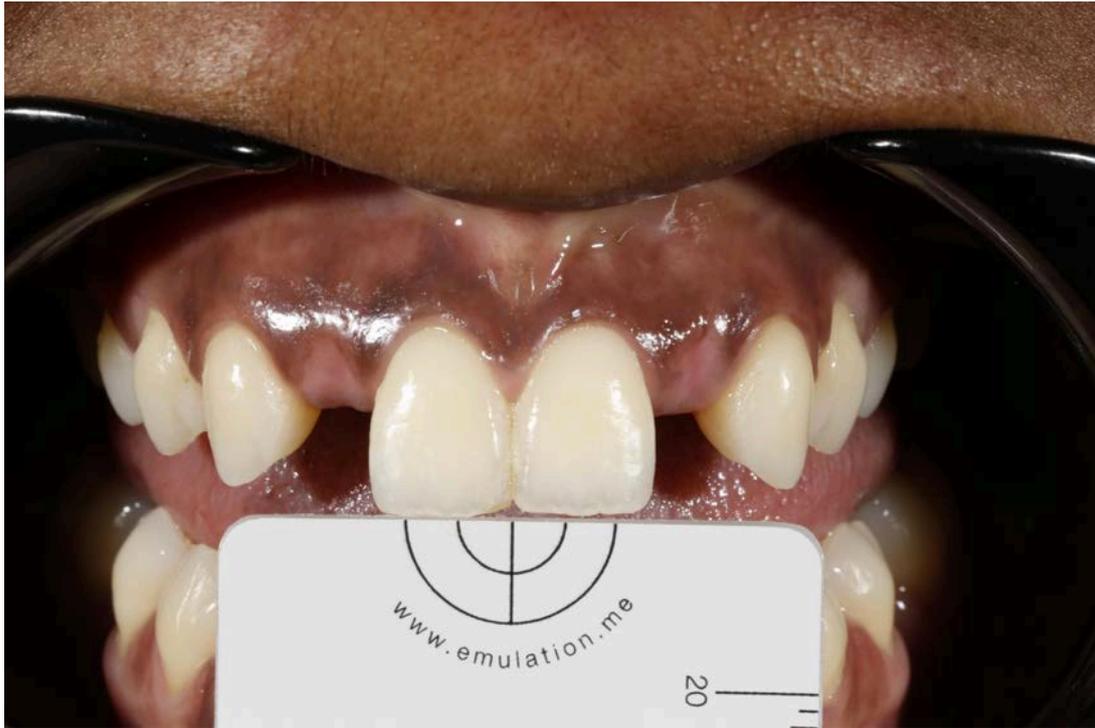


Fig. 52 : prise du premier cliché du protocole sans utilisation de la polarisation croisée avec
comme réglages : ISO 100, f22, vitesse 1/125s, débrayage de l'autofocus, mise au point
manuelle à 37cm de l'objet et flash 1/1 ;



Fig. 53 : prise du second cliché du protocole avec utilisation des filtres polarisants ISO 100,
f22, vitesse 1/125s, débrayage de l'autofocus, mise au point manuelle à 37cm de l'objet et
flash 1/4 ;

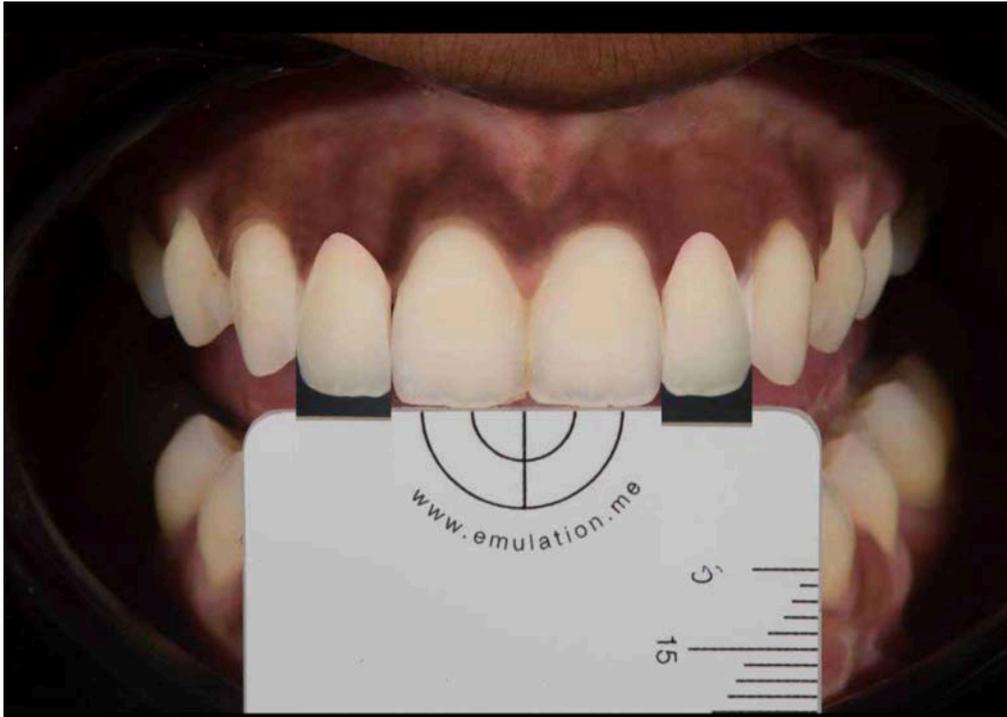


Fig. 54 : essaiage virtuel par intégration d'une photographie standardisée dans les mêmes conditions, de la restauration, sur la photographie initiale avec vérification et ajustage de la couleur (après analyse des valeurs L*a*b* des incisives centrales avec le logiciel eLAB_pilot® et correspondance avec les différents matériaux ;



Fig. 55 : deux bridges cantilever en céramique pressée ;



Fig. 56 : isolation avant collage avec pose de digue de 15 à 25 ;



Fig. 57 : photographie une fois le bridge cantilever collé ;



Fig. 58 : vue intra buccale vestibulaire avec contrasteur après la pose ;



Fig. 59 : intégration des restaurations dans le sourire vue de plongé ;



Fig. 60 : intégration des restaurations dans le sourire vue de profil ;

2.7 Indications et contre-indications

Indications	Contre-indications
<ul style="list-style-type: none"> - Secteur antérieur ; - Demande esthétique importante ; - Présence de dent à mimer ; - Cas complexe (présence de caractérisations, teinte atypique, restauration unitaire...etc.) ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Secteur postérieur ; - Demande esthétique peu importante ; - Cas simple ; - Absence de dent à mimer (réhabilitation complète) ; - Absence de matériel photographique ; - Aspect financier limitant pour le patient ;

2.8 Limites du protocole eLabor

Le résultat final obtenu en exécutant le protocole eLabor peut être compromis par plusieurs paramètres intervenant à différents niveaux.

2.8.1 La déshydratation

Le phénomène de déshydratation est commun à toutes les techniques d'enregistrement de couleur, le protocole eLab inclus. En effet, un temps d'exposition des dents à l'air ambiant

trop prolongé peut significativement augmenter la luminosité L^* , et diminuer la chromaticité a^* et b^* d'une dent. Il est important pour l'opérateur de limiter ce temps d'exposition au maximum, quelle que soit la technique choisie (Salehi A et al. 2019).

2.8.2 Le métamérisme

Le métamérisme est le phénomène où la couleur d'un objet exposé à deux sources de lumière non similaires nous apparaît différemment sous chacune d'entre elles. Il est donc caractérisé par un aspect chromatique différent des céramiques en fonction de la lumière dans lesquelles elles se trouvent. Cet effet doit donc être minimisé, et pour cela, il faut essayer d'atteindre le meilleur compromis entre la valeur numérique mesurée lors de l'essayage virtuel, et l'examen visuel du résultat. Le jugement du résultat final au fauteuil doit être réalisé dans une ambiance de lumière présentant les caractéristiques de la lumière du jour (François P et al. 2016; Salehi A et al. 2019).

2.8.3 Les compétences informatiques des opérateurs

L'application de ce protocole nécessite des compétences informatiques de base et la connaissance de quelques opérations dans Adobe Lightroom Classic CC. Si l'opérateur ne suit pas les étapes essentielles comme l'équilibrage des blancs, de l'exposition et l'application de profils d'appareils photographiques, il est probable que l'objectif final ne soit pas atteint. Ceci est également valable pour le prothésiste qui doit également avoir les mêmes compétences (Salehi A et al. 2019).

2.8.4 Les compétences techniques et artistiques du céramiste

Les compétences techniques et artistiques du céramiste ne sont pas moins sollicitées en utilisant le protocole eLab. Ce dernier n'est qu'un outil pour améliorer la correspondance des couleurs en dentisterie esthétique mais le résultat final dépend toujours des compétences techniques et artistiques du céramiste (Salehi A et al. 2019).

2.8.5 Les compétences en photographie odontologique du praticien

Même constat que pour les compétences informatiques, sans les connaissances nécessaires en photographie clinique, la réalisation du protocole eLab semble assez compromise. Néanmoins, les compétences requises à son utilisation sont assez accessibles.

2.8.6 Le manque de prothésiste formés à cette technique

En effet, que ce soit par son aspect débutant ou par l'existence d'une implication de compétences informatiques, très peu de prothésistes connaissent et pratiquent cette méthode. Même si l'éloignement géographique n'est pas une contrainte avec ce protocole, ce nombre restreint d'opérateur reste un inconvénient important.

2.8.7 Le coût

Le matériel utilisé pour la réalisation du protocole eLab à un certain coût. De plus, deux facteurs font que le prix facturé reste supérieur à une céramique classique : le nombre restreint de prothésistes le pratiquant et les compétences requises à sa réalisation.

2.8.8 Le temps de fabrication

En effet, le temps de réalisation de la restauration par le prothésiste, en assemblant toutes les combinaisons de poudres de céramiques et en recréant les caractérisations potentielles, est très important.

Il semble, à ce stade, intéressant d'avoir une approche un peu plus scientifique, afin d'évaluer la pertinence de cette technique et définir sa place parmi l'ensemble des outils à notre disposition.

3. Revue de littérature des études actuelles

3.1 Objectif

L'objectif de cette revue est de déterminer quelle est la place du protocole d'enregistrement de teinte par photographie parmi les techniques actuelles, en le comparant à ces dernières. Cette technique étant assez récente, très peu de bibliographie comparative existe. Le manque de littérature à ce sujet limite donc les conclusions qui pourront être tirées à la fin de celle-ci. Il reste cependant intéressant de réaliser cette revue systématique, afin d'obtenir une première ébauche de l'efficacité potentielle de cette méthode, et d'évaluer s'il semble pertinent d'approfondir les études sur celle-ci.

La revue systématique suivante respecte les critères rédactionnels PRISMA (Gedda 2015).

3.2 Matériels et Méthode

3.2.1 Source des données

Les recherches ont été réalisées exclusivement sur les bases de données suivantes : Pubmed, Sudoc, Cochrane et SemanticScholar. Toute la bibliographie traitant de notre problématique a été initialement retenue afin d'être parcourue, qu'elle soit ou non incluse dans notre revue systématique.

3.2.2 Stratégie de recherche

Un ensemble de mot-clé a été utilisé dans les bases de données en lien avec les différentes techniques d'enregistrement de teintes et la photographie en dentisterie : dental shade / compared / clinical comparison / visual methods / instrumental methods / dental photography / cross polaryzation / dental shade matching / elab / elabor / repetability / shade guide / cielab / colour analysis.

3.2.3 Critères d'inclusion de l'étude

Les articles qui seront inclus dans cette revue systématique :

- Doivent avoir pour objectif de comparer les techniques traditionnelles d'enregistrement de teinte à la méthode d'enregistrement par photographie numérique ;
- Peuvent être soit en français soit en anglais ;

- Concernent uniquement les cas traitant les dents antérieures ;
- Doivent dater minimum de 2000 (la photographie numérique est arrivée au milieu des années 90 et a mis une dizaine d'années à remplacer la photographie argentique en science et en médecine) (« Kalpana D, Rao SJ, Joseph JK, Kurapati SK. Digital dental photography. Indian J Dent Res 2018; 29:507-12”) ;

3.2.4 Critères d'exclusion de l'étude

Les articles qui seront exclus de cette revue systématique :

- Les articles non accessibles sur les bases de données Pubmed, Semantic Scholar, Cochrane et Sudoc ;
- Les articles présents sur Pubmed, Semantic Scholar, Cochrane et Sudoc mais dont l'intégralité du texte n'est pas disponible ;
- Les articles concernant l'enregistrement de la couleur mais sans but comparatif ;
- Les articles concernant l'enregistrement de la couleur avec but comparatif mais ne comparant pas la méthode photographique ;

3.3 Synthèse des données

Après avoir parcouru les articles inclus dans la revue de littérature, une synthèse a été réalisée de la manière suivante pour chacun des articles : présentation des auteurs, titre de l'article puis année et journal de publication. Les objectifs de l'étude sont alors détaillés, les techniques comparées sont citées avec le nombre d'opérateurs, de participants et les dents concernées. Le matériel et les méthodes utilisés sont ensuite développés avant d'obtenir les résultats et de tirer la conclusion de l'article. Les biais éventuels des études ont été recherchés et une critique de l'étude ou de sa méthodologie sera effectuée pour chaque article.

3.4 Résultats des recherches

49 articles ont été identifiés et traitent potentiellement du sujet. Parmi eux :

- 28 traitent et comparent des techniques d'enregistrements mais sans mentionner la méthode par photographie numérique ;
- 11 traitent la technique d'enregistrement par photographie numérique mais sans la comparer à une autre technique ;

- 1 traite la technique d'enregistrement par photographie numérique, la compare à d'autres techniques mais dont le texte entier n'est pas disponible malgré la sollicitation des auteurs ;
- 9 traitent la technique d'enregistrement par photographie numérique, la comparent à d'autres techniques et dont le texte entier est disponible ;

Tableau récapitulatif des articles traitant de la technique d'enregistrement par photographie numérique, mais exclus de la revue systématique :

Article, auteurs et date	Motif d'exclusion
<p>Comparison of the Efficiency of Photography-Assisted Shade Selection to Visual Shade Selection</p> <p>De : K Prabhu, Padma Ariga et Jacob Mathew Philip</p> <p>En : 2013</p>	<p>Cet article traite la technique d'enregistrement par photographie numérique, la comparent à d'autres techniques mais le texte entier de l'article n'est pas disponible malgré la sollicitation des auteurs (Prabhu et al. 2013;)</p>
<p>Evaluation of Dental Shade Guide Variability Using Cross-Polarized Photography</p> <p>De : Jon Gurrea, Marta Gurrea, August Bruguera, Camila S Sampaio, Malvin Janal, Estevam Bonfante, Paulo G Coelho et Ronaldo Hirata</p> <p>En : 2016</p>	<p>Ces articles traitent la technique d'enregistrement par photographie numérique mais sans la comparer à</p>
<p>Dental Shade Guide Variability for Hues B, C, and D Using cross-Polarized Photography</p> <p>De : Jon Gurrea, Marta Gurrea, August Bruguera, Camila S Sampaio, Malvin Janal, Estevam Bonfante, Paulo G Coelho, Ronaldo Hirata et Pablo J Atria</p> <p>En : 2018</p>	
<p>A technique using calibrated photography and photoshop for accurate shade analysis and communication</p> <p>De : Edward A McLaren, Johan Figueira et Ronald E Goldstein</p>	

En : 2017	une autre technique d'enregistrement de teinte (Elter et al. 2005; Wee et al. 2006; Yamanel et al. 2010; Peskersoy et al. 2014; Carney et Johnston 2016; Gurrea et al. 2016; Brokos et al. 2017; Hein et al. 2017; McLaren et al. 2017; Sampaio et al. 2018; Lazar et al. 2019)
The Accuracy of Dental Shade Matching Using Cross-Polization Photography De : Radu Lazar, Bogdan Culic, Cristina Gasparik, Camelia Lazar et Diana Dudeo En : 2019	
Digital Photographic Procedure for Comprehensive Two-Dimensional Tooth Shade Analysis De : Yiannis Brokos, Minos Stavridakis, Ivo Krejci En : 2017	
eLABor_aid : a new approach to digital shade management De : Sascha Hein, Javier Tapia, Panagiotis Bazos En : 2017	
Assessment of color parameters of composite resin shade guides using digital imaging versus colorimeter De: Yamanel K, Caglar A, Ozcan M, Goulash K, Bagis B En : 2010	
Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry De: Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM En : 2006	
Spectrophotometric and computerized evaluation of tooth bleaching employing 10 different home-bleaching procedures : In-vitro Study De: Peskersoy C, Tetik A, Ozturk VO, Gokay N En : 2014	
A novel regression model from RGB image data to spectroradiometric correlates optimized for tooth colored shades De: Carney MN, Johnston WM En : 2016	
The reliability of digital cameras for color selection De : Elter A, Caniklioglu B, Deger S, Ozen J En : 2005	

Caractéristiques des études menées à travers les 9 articles restants dans notre revue systématique de littérature :

Auteurs	F D Jarad, M D Russel, B W Moss
Titre	The Use of Digital Imaging for Colour Matching and Communication in Restorative Dentistry
Année de publication	2005
Journal de publication	<u>Bristish</u> Dental Journal
Objectif(s)	<ul style="list-style-type: none"> - Développer une méthode d'appariement de teintes basée sur l'imagerie numérique et comparer celle-ci avec un enregistrement de teinte visuelle via teintier ; - Comparer les valeurs de couleur obtenues à partir des images numériques avec les valeurs de couleurs obtenues à l'aide d'un spectrophotomètre à réflectance ;
Techniques comparées	<ul style="list-style-type: none"> - Techniques visuelles par teintier ; - Techniques instrumentales par spectrophotomètre à réflectance ; - Technique d'enregistrement par photographie et traitement numérique ;
Nombre d'opérateurs	10 observateurs sélectionnés à l'Université Queen's de Belfast.
Nombre de participants	Aucun, l'étude a été menée sur des têtes « fantôme » et non de vrais patients.
Dent(s) concernée(s)	Incisives centrales maxillaires.
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Nikon Coolpix 990 équipé d'un flash annulaire en mode manuel avec : vitesse d'obturation a 1/60s, ouverture F9, balance des blancs en mode d'éclairage rapide, sensibilité ISO à 100 et distance focale de l'objectif de 15,5 cm ; - Deux teintiers Vita Lumin complet ; - Spectrophotomètre Monolight Mexam Photometrics ; - Logiciel Adobe Photoshop pour le traitement des images ; <p><u>Méthode visuelle :</u></p> <p>Le modèle possède un jeu complet de dents sauf 11 et 21. Une des languettes d'un des deux teintiers a été placée à la place d'une des</p>

	<p>deux incisives maxillaires et l'opérateur doit faire correspondre la teinte avec le deuxième teintier complet à sa disposition sans limite de temps.</p> <p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Une image est présentée à l'opérateur avec la même situation que pour la méthode visuelle avec toutes les languettes disponibles du teintier intégrées à l'image.</p> <p>L'étude est randomisée pour éviter au maximum les biais (ordre de présentation, les teintes à appairer... etc. ont été fait de façon totalement aléatoire).</p>
Résultat(s)	<ul style="list-style-type: none"> - 61% de teintes correctement appariées avec la photographie et le traitement numérique ; - 43% de teintes correctement appariées avec la méthode conventionnelle visuelle ; <p>Des corrélations très élevées et statistiquement significatives ont été trouvées entre le spectrophotomètre et l'appareil photo numérique dans toutes les coordonnées de couleur CIEL*a*b*.</p>
Conclusion	<p>La nouvelle méthode d'appariement informatique s'est révélée supérieure à la méthode d'appariement conventionnelle dans les paramètres de l'étude.</p> <p>L'appareil photo numérique peut être utilisé pour des mesures de couleur dans la clinique dentaire et le traitement informatique peut améliorer la communication entre le praticien et le laboratoire de prothèse (Jarad et al. 2005).</p>
Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - L'étude aurait sans doute gagné en pertinence si elle se déroulait sur de vrais patients ; - Tous les opérateurs viennent de la même université et il semblerait pertinent de connaître le résultat de cette étude sur des opérateurs ayant reçu des formations différentes ; - Comparaison de plusieurs techniques mais pas de toutes ; - Aucun test de contrôle sur la vision des couleurs sur les opérateurs n'est mentionné dans l'article ;

Auteur	Lars Schropp
Titre	Shade Matching Assisted by Digital Photography and Computer Software
Année de publication	2009
Journal de publication	Journal of prosthodontics
Objectif(s)	Evaluer l'efficacité de la photographie numérique et des logiciels informatiques dans l'enregistrement de la couleur par rapport aux techniques visuelles conventionnelles.
Techniques comparées	- Techniques visuelles par teintier ; - Technique d'enregistrement par photographie et traitement numérique ;
Nombre d'opérateurs	Groupe de 9 personnes composé de dentistes et prothésistes.
Nombre de participants	Aucun, l'étude a été menée sur des têtes « fantôme » et non de vrais patients.
Dent(s) concernée(s)	Incisives maxillaires.
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Canon EOS 20D équipé d'un flash annulaire en mode manuel avec : vitesse d'obturation a 1/125s, ouverture F22, balance des blancs automatique, sensibilité ISO à 200 et distance focale de l'objectif de 25cm ; - Deux teintiers Vita 3D Master ; - Logiciel Paint Shop Pro pour le traitement des images ; <p><u>Méthode visuelle :</u></p> <p>Le modèle possède un jeu complet de dents sauf 11. Une des languettes d'un des deux teintiers a été placée en remplacement de 11 et l'opérateur doit faire correspondre la teinte avec le deuxième teintier complet à sa disposition.</p>

	<p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Une image est présentée à l'opérateur avec la même situation que pour la méthode visuelle avec toutes les languettes disponibles du teintier intégrées à l'image.</p> <p>Le temps d'enregistrement est également évalué pour les deux méthodes.</p>
Résultat(s)	<ul style="list-style-type: none"> - 67% de teintes correctement appariées avec la photographie et traitement numérique avec un temps moyen d'enregistrement de 97 secondes ; - 28% de teintes correctement appariées avec la méthode conventionnelle visuelle avec un temps moyen d'enregistrement de 33 secondes ;
Conclusion	<p>La présente étude montre une performance statistiquement meilleure de la méthode d'enregistrement de teinte par photographie et traitement informatique que par la technique visuelle via teintier (Schropp 2009).</p>
Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - L'étude aurait sans doute gagné en pertinence si elle se déroulait sur de vrais patients ; - Hors photographie et techniques visuelles, il n'y a pas de prise en considération des autres techniques d'enregistrement ; - Absence de randomisation ; - Aucun test de contrôle sur la vision des couleurs sur les opérateurs n'a été réalisé ;

Auteurs	Shruti Lakhanpal, Menon S Neelima
Titre	Accuracy of Three Shade-matching Devices in Replicating the Shade of Metal Ceramic Restorations: An in Vitro Study
Année de publication	2016
Journal de publication	The Journal of Contemporary Dental Practice
Objectif(s)	Evaluer l'efficacité de la photographie numérique et des logiciels informatiques dans l'enregistrement de la couleur en utilisant la

	polarisation ou non et en comparant avec un enregistrement par spectrophotomètre.
Techniques comparées	<ul style="list-style-type: none"> - Technique instrumentale par spectrophotomètre ; - Technique d'enregistrement par photographie non polarisée et traitement numérique ; - Technique d'enregistrement par photographie polarisée et traitement numérique ;
Nombre d'opérateurs	Non précisé.
Nombre de participants	Aucun, l'étude a été menée sur 20 dents permanentes extraites récemment, non cariées.
Dent(s) concernée(s)	Prémolaires.
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Canon EOS 1100D équipé d'un flash annulaire et en mode automatique - Deux polariseurs circulaires - Spectrophotomètre Datacolor 650 - Le logiciel MATLAB pour le traitement des images <p><u>Méthode instrumentale :</u></p> <p>Application du spectrophotomètre sur chacune des prémolaires et obtention des valeurs L*, a* et b*.</p> <p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Les photos sont prises avec un trépied et une lumière constante. Elles sont donc réalisées une première fois sans polarisation et une fois avec. Puis les images sont importées sur l'ordinateur et les mesures des valeurs L*, a* et b* sont effectuées numériquement.</p> <p>ΔE est alors calculé entre chacune des méthodes pour chacune des dents.</p>
Résultat(s)	- La différence entre les valeurs L* et a* obtenues via les photographies non polarisées et celles obtenues par le spectrophotomètre, est significative ($p < 0,001$) ;

	<ul style="list-style-type: none"> - La différence entre les valeurs L* et a* obtenues via les photographies non polarisées et celles obtenues par les photographies polarisées, sont significatives (p<0,001) ; - La différence entre les valeurs L* et a* obtenues via les photographies polarisées et le spectrophotomètre, est non significatives (p>0,05) ; <p>La différence entre les valeurs b* n'était statistiquement pas significatif (p>0,05).</p>
Conclusion	<ul style="list-style-type: none"> - Les mesures des couleurs obtenues avec les photographies polarisées sont conformes à celles des évaluations spectrophotométriques avec une corrélation très élevée des coordonnées L*, a* et b* ; - La technique d'imagerie dentaire avec polarisation peut être utilisée pour un enregistrement de couleur dentaire de façon très satisfaisante (Lakhanpal et Neelima 2016).
Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de conditions cliniques normales (salive, lèvres...) ; - Absence de randomisation ; - Comparaison de plusieurs techniques mais pas de toutes ; - Etude réalisée sur des prémolaires alors que le problème des restaurations esthétiques concerne essentiellement les incisives ; - Aucun test de contrôle sur la vision des couleurs sur les opérateurs n'est mentionné dans l'article ;

Auteurs	Juzer S Miyajiwala, Mohit G Kheur, Anuya H Patankar, Tabrez A Lakha
Titre	Comparison of Photographic and Conventional Methods for Tooth Shade Selection: A Clinical Evaluation
Année de publication	2017
Journal de publication	The Journal of the Indian Prostodontic Society
Objectif(s)	Comparer l'efficacité entre trois techniques d'enregistrement de teintes différentes : visuelle, instrumentale et par photographie numérique.

Techniques comparées	<ul style="list-style-type: none"> - Technique visuelle par teintier ; - Technique par spectrophotomètre ; - Technique par prise de photographie numérique ;
Nombre d'opérateurs	Un seul.
Nombre de participants	50 participants, 21 femmes et 29 hommes entre 25 et 40 ans sélectionnés de façon randomisée.
Dent(s) concernée(s)	Incisive centrale droite maxillaire naturelle non restaurée.
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Canon 500D sur trépied en mode automatique - Teintier VITAPAN - Spectrophotomètre VITA EasyShade - Le logiciel Adobe Photoshop pour le traitement des images <p><u>Méthode visuelle :</u></p> <p>Une correspondance visuelle par le praticien entre la 11 et le teintier est effectuée.</p> <p><u>Méthode instrumentale :</u></p> <p>Application du spectrophotomètre sur chacune des incisives et obtention des valeurs L*, a* et b*.</p> <p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Les photos sont prises avec un trépied ajusté au plan occlusal du patient, une lumière constante et une distance constante de 70cm. Puis les images sont importées sur l'ordinateur et les mesures des valeurs L*, a* et b* sont effectuées numériquement.</p>
Résultat(s)	- Accord global en comparant la méthode visuelle et la technique spectrophotométrique (coefficient kappa de 0,204, score Z de -3,2 et $p < 0,01$) ;

	- Accord global en comparant la photographie numérique et la technique spectrophotométrique (coefficient kappa non précisé, score Z de -3,2 et $p < 0,01$) ;
Conclusion	Dans les limites de cette étude, cette dernière peut conclure que la méthode visuelle et la méthode de photographie numérique ont montré un accord statistiquement significatif avec le spectrophotomètre. La photographie numérique semble être une alternative viable à l'utilisation de spectrophotomètres pour la sélection de la teinte dans une configuration clinique (Miyajiwala et al. 2017).
Limite(s)	- La présence d'un seul opérateur ; - L'âge des patients (entre 25 et 40 ans) : en effet, en vieillissant, la couleur des dents peut être plus difficile à enregistrer ; - Comparaison de plusieurs techniques mais pas de toutes ;

Auteurs	Eduardo Mahn, Sofia C Tortura, Barbara Olate, Franco Cacciuttolo, Jeremy Kernitsky, Gilbert Jorquera
Titre	Comparison of visual analog shade matching, a digital visual method with a cross-polarized light filter, and a spectrophotometer for dental color matching
Année de publication	2020
Journal de publication	Journal of Prosthetic Dentistry
Objectif(s)	- Comparer l'enregistrement de couleur et la correspondance des couleurs dans une jeune population chilienne avec trois méthodes différentes.
Techniques comparées	- Techniques visuelles par teintier ; - Techniques instrumentales par spectrophotomètre ; - Technique d'enregistrement par photographie avec polarisation croisée et traitement numérique
Nombre d'opérateurs	Pas de précision concernant le nombre mais nous savons qu'il y en a plusieurs.

Nombre de participants	60 volontaires dont 11 hommes et 49 femmes entre 21 et 25 ans.
Dent(s) concernée(s)	Incisives centrales maxillaires.
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Nikon Corp D7100 équipé d'un double flash externe en mode manuel avec : vitesse d'obturation a 1/125s, ouverture F25, balance des blancs, sensibilité ISO à 200 et objectif macro de 85mm. - Filtre de polarisation croisée polar_eyes - Un teintier Ivoclar Vivadent AD - Un spectrophotomètre Vita EasyShade - Logiciel Lightroom ; Adobe Systems et Color Meter pour le traitement des images <p><u>Méthode visuelle :</u></p> <p>Comparaison directe du centre de la dent avec le guide de teinte aligné à la dent cible et choix de la teinte par l'opérateur. La teinte choisie est alors prise en photo par un protocole standardisé et les coordonnées CIELab de l'onglet sélectionné sont enregistrées.</p> <p><u>Méthode instrumentale :</u></p> <p>Le spectrophotomètre est pointé sur le tiers médian de la dent et les coordonnées CIELab obtenue sont enregistrées.</p> <p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Une photographie est réalisée des dents cibles et les logiciels permettent de traiter la photo afin d'en tirer le coordonnées CIELab.</p>
Résultat(s)	- 33,3% seulement des enregistrements réalisés avec la méthode visuelle coïncident avec la couleur mesurée avec le spectrophotomètre ce qui diffère de façon significative (pour les valeurs L* et a* du moins) ;

	<ul style="list-style-type: none"> - L'approche numérique à polarisation croisée et le spectrophotomètre n'ont pas eu de résultats significativement différents ($P = 0,025$) ; - Le ΔE médian entre la méthode visuelle analogique et le spectrophotomètre est de 7,35 ; - Le ΔE médian entre la méthode numérique et le spectrophotomètre est de 6,1 ;
Conclusion	<ul style="list-style-type: none"> - La méthode numérique en utilisant un filtre de polarisation croisée donne une teinte statistiquement similaire au spectrophotomètre ; - La méthode visuelle analogique présente de grandes différences des deux autres méthodes de l'étude ; - La méthode visuelle numérique avec l'utilisation de filtre de polarisation croisée a produit une couleur acceptable avec ΔE inférieur à 6,8 (Mahn et al. 2020) ;
Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - Aucun test de contrôle sur la vision des couleurs sur les opérateurs n'est mentionné dans l'article ; - L'âge des patients (entre 21 et 25 ans) : en effet, en vieillissant, la couleur des dents peut être plus difficile à enregistrer ; - Comparaison de plusieurs techniques mais pas de toutes ;

Auteurs	Won-suk Oh, John Pogoncheff and William J. O'Brien
Titre	Digital Computer Matching of Tooth Color
Année de publication	2010
Journal de publication	Materials
Objectif(s)	- Comparer deux techniques d'enregistrement de couleur
Techniques comparées	<ul style="list-style-type: none"> - Techniques visuelles par teintier ; - Technique d'enregistrement par photographie et traitement numérique ;
Nombre d'opérateurs	Deux opérateurs.
Nombre de participants	48 sujets
Dent(s) concernée(s)	Incisives centrales maxillaires

Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Nikon D70s équipé d'un flash bilatéral en mode manuel avec : vitesse d'obturation à 1/125s et ouverture F20. - Un teintier VITAPAN Classique - GTI ColorMatcher pour le traitement des images ; <p>Dans un premier temps deux teintiers de 16 dents ont été photographiés. Ensuite, une correspondance visuelle de la teinte sur les 48 sujets a été réalisée par les deux opérateurs indépendamment avec le teintier Vitapan classique. Ils ont sélectionné de manière visuelle la teinte souhaitée puis, une analyse par logiciel est effectuée pour réaliser les mesures nécessaires.</p>
Résultat(s)	<p>Une analyse statistique a été réalisée à l'aide d'un test t : présence de différences significatives de correspondances des couleurs entre les dents du teintier et les dents humaines en utilisant l'enregistrement de teinte par photographie.</p>
Conclusion	<p>L'enregistrement de teinte par photographie est une méthode précise de correspondance des couleurs et améliore la communication avec le personnel du laboratoire comparativement à la technique par teintier (Oh et al. 2010).</p>
Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de randomisation ; - Aucun test de contrôle sur la vision des couleurs sur les opérateurs n'a été réalisé ; - Comparaison de plusieurs techniques mais pas de toutes ;

Auteurs	Dhruv Anand, Surendra Kumar G.P, Devanshi Yadav Anand, Manoj Kumar Sundar, Rahul Sharma, Amit Gaurav.
Titre	Shade selection: spectrophotometer vs digital camera - a comparative in vitro study
Année de publication	2016
Journal de publication	Annals of Prosthodontics & Restorative Dentistry

Objectif(s)	- Comparer deux techniques d'enregistrement de couleur sur dents naturelles
Techniques comparées	- Techniques instrumentales par spectrophotomètre ; - Technique d'enregistrement par photographie et traitement numérique ;
Nombre d'opérateurs	Pas de précision concernant le nombre d'opérateurs.
Nombre de participants	Aucun, l'étude se déroule sur des dents extraites.
Dent(s) concernée(s)	22 dents antérieures extraites
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Nikon D90 SLR posé sur un trépied à 25 cm de l'objet photographié, balance des blancs et objectif macro de 105mm ; - Un spectrophotomètre Vita EasyShade compact ; - Adobe Photoshop CS5 pour le traitement des images ; <p><u>Méthode instrumentale :</u></p> <p>Le spectrophotomètre est pointé sur le tiers médian de la dent et les coordonnées CIELab obtenue sont enregistrées. Le spectrophotomètre a été étalonné selon les recommandations du fabricant.</p> <p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Une photographie est réalisée sur des dents cibles avec un appareil sur trépied, et les logiciels permettent de traiter la photo afin d'en tirer le coordonnées CIELab.</p>
Résultat(s)	<p>Une analyse statistique utilisant le coefficient de Pearson a été réalisée et indique que :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Statistiquement les valeurs L^* et b^* sont hautement significatives ($p < 0,05$) ; - Statistiquement la valeur a^* n'est pas significative ($p = 0,377$) ;
Conclusion	La méthode d'enregistrement par photographie peut être utilisée comme alternative au spectrophotomètre pour obtenir L^* et b^* de manière précise (Anand Dhruv et Surendra Kumar G.P, Devanshi

	Yadav Anand, Manoj Kumar Sundar, Rahul Sharma, Amit Gaurav. 2016).
Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison de plusieurs techniques mais pas de toutes ; - Absence de conditions cliniques normales (salive, lèvres...) ; - Absence de randomisation ; - L'étude aurait sans doute gagné en pertinence si elle se déroulait sur de vrais patients ;

Auteurs	Vikrant Bhandari, Anil Singla, Vivek Mahajan, Harupinder Singh Jaj, Sukhraj Singh Saini
Titre	Reliability of Digital Camera over Spectrophotometer in measuring the Optical Properties of Orthodontic Elastomeric Ligatures
Année de publication	2014
Journal de publication	The Journal of Indian Orthodontic Society
Objectif(s)	- Utiliser deux techniques d'enregistrement sur des modules élastiques orthodontiques pour en évaluer la couleur
Techniques comparées	<ul style="list-style-type: none"> - Techniques instrumentales par spectrophotomètre ; - Technique d'enregistrement par photographie et traitement numérique ;
Nombre d'opérateurs	Pas de précision concernant le nombre d'opérateurs.
Nombre de participants	Aucun, l'étude se déroule sur des modules élastiques.
Dent(s) concernée(s)	Aucune, l'étude se déroulant sur des modules élastiques.
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Nikon D40 à objectif unique à 45 cm de l'objet photographié et balance des blancs ; - Un spectrophotomètre ; - Adobe Photoshop software 7.0 pour le traitement des images ; - 432 modules élastiques incolores/transparent ainsi que six solutions différents (eau distillée, curcuma, thé, café, soda et sauce tomate) ; <p>Les modules sont trempés entre 7 et 30 jours dans les solutions, nettoyés, séchés puis un enregistrement de teinte est réalisé.</p>

	<p><u>Méthode instrumentale :</u></p> <p>Le spectrophotomètre est pointé sur le module élastique et les coordonnées CIELab obtenue sont enregistrées.</p> <p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Une photographie est réalisée des modules et les logiciels permettent de traiter la photo afin d'en tirer le coordonnées CIELab.</p>
Résultat(s)	Une analyse statistique utilisant le coefficient de Pearson a été réalisée et indique que l'appareil photo à une fiabilité de 99,3% avec le spectrophotomètre.
Conclusion	L'enregistrement de teinte par photographie est aussi fiable qu'un spectrophotomètre dans la pratique clinique (Bhandari et al. 2014).
Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - L'étude ne se déroule pas sur de vraies dents ; - Absence de conditions cliniques normales (salive, lèvres...) ; - Deux techniques utilisées mais pas de toutes ;

Auteurs	Kasturi C Kelkar, Easha Singh Dogra, Vinaya Bhat et Chethan Hegde
Titre	A Comparison Between Conventional V/S Digital Photography V/S Polarizing Filter Photography for Shade Selection
Année de publication	2018
Journal de publication	The Journal of Indian Prosthodontic Society
Objectif(s)	- Déterminer quelle méthode est la meilleure pour la sélection des teintes en dentisterie esthétique ;
Techniques comparées	<ul style="list-style-type: none"> - Techniques visuelles par teintier ; - Technique d'enregistrement par photographie et traitement numérique ; - Technique d'enregistrement par photographie associé à un filtre polarisant et traitement numérique ;
Nombre d'opérateurs	10 observateurs sélectionnés

Nombre de participants	Aucune. 270 observations au cours de l'études ont été effectuées à partir d'un premier teintier.
Dent(s) concernée(s)	Incisives centrales maxillaires sur teintier.
Matériels et méthodes	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareil photo numérique Canon 5D : vitesse d'obturation a 1/100s, ouverture F22 et sensibilité ISO à 200 ; - Deux teintiers VITAPAN ; - Logiciel Photoshop CS3 pour le traitement des images ; <p><u>Méthode visuelle :</u></p> <p>Neuf languettes d'un premier guide de teinte ont été sélectionnées et randomisées. Les participants ont été invités à identifier chaque teinte randomisée avec le 2^{ème} teintier.</p> <p><u>Méthode numérique :</u></p> <p>Les participants ont été invités à faire correspondre les nuances du premier teintier avec le second préparé.</p> <p>Dans un second temps, les mêmes réglages sont conservés mais un filtre polarisant est rajouté.</p> <p>L'étude est randomisée pour éviter au maximum les biais.</p>
Résultat(s)	<p>L'analyse statistique croisée du chi carré montre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une différence statistiquement significative entre la méthode visuelle et la photographie numérique (p=0,049) ; - Une absence de différence statistiquement significative entre la photographie numérique et celle associée au filtre polarisant (p=0,181) ;
Conclusion	<p>La nouvelle méthode d'appariement informatique s'est révélée supérieure à la méthode d'appariement conventionnelle dans les paramètres de l'étude.</p> <p>L'appareil photo numérique peut être utilisé pour des mesures de couleur dans la clinique dentaire et le traitement informatique pour l'obtention de résultats esthétiques (Kelkar et al. 2018;).</p>

Limite(s)	<ul style="list-style-type: none"> - L'étude aurait sans doute gagné en pertinence si elle se déroulait sur de vrais patients ; - Comparaison de plusieurs techniques entre elles, mais pas toutes ; - Aucun test de contrôle sur la vision des couleurs sur les opérateurs n'est mentionné dans l'article ;
------------------	---

3.5 Résultats de la revue

Il est important de noter que les études ne sont en rien équivalentes de par leurs matériels et méthodes utilisés. Ces études ne peuvent être comparées les unes par rapport aux autres et nous essaierons seulement d'en tirer une tendance de la littérature. Un niveau de preuve LOE IV-VD peut être attribué à cette étude rétrospective-observationnelle selon les niveaux de preuves de Simon.

3.5.1 Comparaison de l'enregistrement de teinte par prise photographique et des techniques visuelles par teintier

Sur les 9 articles étudiés qui comparent la technique d'enregistrement de teinte par photographie à d'autres méthodes plus usuelles, 6 font la comparaison avec les techniques visuelles par teintier (Vita Lumin, Vita 3D Master, Vitapan et Ivoclar Vivadent). Parmi ces dernières, toutes relèvent des différences significatives en faveur de la méthode numérique. La tendance serait donc de penser que la technique d'enregistrement de teinte photographique donne des résultats significativement meilleurs, comparativement aux techniques visuelles par teintier.

3.5.2 Comparaison de l'enregistrement de teinte par prise photographique et des techniques instrumentales par spectrophotométrie

Sur les 9 articles étudiés qui comparent la technique d'enregistrement de teinte photographique à d'autres méthodes plus usuelles, 6 font la comparaison avec les techniques instrumentales par spectrophotométrie (Monolight Mexam Photometrics, Datacolor 650 et Vita EasyShade). Parmi ces dernières, toutes montrent un accord global entre ces deux méthodes d'enregistrement avec une absence de différence significative dans les résultats obtenus. La

tendance serait donc de penser que la technique d'enregistrement de teinte photographique (polarisée ou non), donne des résultats similaires aux techniques instrumentales par spectrophotométrie.

4. Discussion

Nous avons donc constaté une multitude d'obstacles se présentant sur l'enregistrement de la teinte en pratique clinique. Plusieurs systèmes ont pu voir le jour mais la liste d'inconvénients n'est jamais nulle, qu'importe la technique utilisée. Le protocole eLab émerge alors afin de pallier certains problèmes existants comme notamment la suppression du paramètre d'objectivité. Néanmoins, il présente également plusieurs défauts. Ces derniers, de par leur existence, limitent l'utilisation de ce protocole à des cas et des praticiens plutôt ciblés.

En effet, son coût, les compétences exigées en matière de logistique, de photographie et de technique limitent déjà le nombre de praticiens potentiel. De plus, un surcoût de laboratoire entraîne un surcoût à la facturation du patient et s'adresse donc à une patientèle plutôt aisée. Enfin, les cas concernés peuvent être largement étendus mais sont assez ciblés sur des cas antérieurs, le plus souvent unitaires ou asymétriques. Le protocole eLab prétend donc à avoir sa place parmi les techniques existantes.

4.1 Optimisation des études

Il est important de souligner que les études ne sont pas équivalentes en matière d'opérateurs, de techniques utilisées, du nombre de participants et du type de dent cible. De ce fait, une analyse critique ne peut être réalisée permettant de comparer les études entre elles. Il est néanmoins possible d'observer une tendance de la littérature, mais pas de donner une valeur statistique.

Cette revue a donc permis de dégager les tendances suivantes :

- La technique d'enregistrement de teinte photographique semble donner des résultats significativement meilleurs comparativement aux techniques visuelles par teintier.
- La technique d'enregistrement de teinte photographique (polarisée ou non) semble donner des résultats similaires aux techniques instrumentales par spectrophotométrie.

Toutefois, il faut noter que du fait de l'émergence assez récente de la technique d'enregistrement de teinte par photographie, le manque de littérature à ce sujet est assez conséquent, et ne permet pas d'établir de véritables données statistiques. Le nombre de publications à ce sujet et une augmentation du niveau de preuve des études, permettront sans doute, à l'avenir d'en obtenir. Cela pourra alors convertir des tendances de la littérature, en conclusions scientifiquement prouvées.

Afin d'y parvenir, il serait nécessaire de faire des études plus complètes avec un niveau de preuve statistiquement significatif. Pour cela, il faudrait réaliser une étude comparative entre toutes les techniques actuelles, avec pour chacune de ces dernières, l'outil jugé le plus performant. Le nombre et la diversité des opérateurs doivent eux aussi être assez importants pour que les résultats ne soient pas biaisés, par exemple par l'expérience de ceux-ci. De plus, un test de contrôle sur la vision des couleurs des praticiens est également impératif. Tout comme le nombre d'acteurs, le nombre de cas étudiés doit aussi être augmenté et se réaliser dans des conditions cliniques réelles (véritables dents, en situation clinique avec les lèvres, la salive etc.). Le groupe étudié doit également être varié car les difficultés d'enregistrement ne sont pas les mêmes en fonction de la population, du sexe ou de l'âge par exemple. L'attribution des techniques, des opérateurs et des patients doit se faire de façon randomisée afin de limiter au maximum la présence de biais.

Réaliser une ou plusieurs études de ce type permettrait de corriger les limites des articles inclus dans cette revue qui sont nombreuses :

- Plusieurs études ne se déroulent pas sur de vraies dents ou sur des vraies dents mais in vitro ;
- Absence de conditions cliniques normales (salive, lèvres...) pour certaines ;
- Comparaison de plusieurs techniques mais pas de toutes ;
- Absence de randomisation pour la majorité ;
- Un nombre d'opérateur unique ou limité ;
- Ne concerne pas toujours un secteur esthétique ;
- Un groupe d'opérateur peu varié, ayant reçu la même formation ;
- Aucun test de contrôle sur la vision des couleurs sur les opérateurs n'a été réalisé pour plusieurs d'entre elles ;
- L'âge des patients toujours compris dans une tranche d'âge assez restreinte ;

Dans l'idéal, chaque opérateur devrait réaliser chacune des techniques d'enregistrement sur chaque patient. Les restaurations réalisées, un essai se fait au cours duquel l'on

enregistre le ΔE existant entre la restauration et les dents collatérales. Il faudrait alors calculer une moyenne de ces données par technique et les classer, par exemple de la façon suivante :

	Teintier	Lampe calibrée	Caméra intra orale	Colorimètre	Spectrophotomètre	Protocole d'enregistrement par photographie
ΔE moyen						

Enfin, il faudrait calculer si les résultats ont une différence significative d'un point de vue statistique afin de pouvoir confirmer, ou non, les tendances de la littérature observées dans cette revue systématique.

Il serait intéressant également d'estimer si d'autres notions peuvent être pertinentes dans le résultat final. Par exemple, la satisfaction du patient après la pose de la restauration semble être un critère important dans une étude de ce type. En effet, il s'agit quand même du but final du travail réalisé par le praticien.

Même si ce type d'étude révèle qu'une ou plusieurs de ces techniques donnent des résultats significativement supérieurs aux autres, cela ne veut pas traduire pour autant une utilisation systématique. En effet, le protocole d'enregistrement par photographie n'a pas pour ambition l'enregistrement de teinte des dents postérieures. Ces méthodes, plus ou moins performantes, n'ont pas les mêmes indications. Il n'est alors pas nécessaire de les mettre en compétition et de se limiter à certaines, alors qu'elles sont au contraire, indissociables.

4.2 Aspects cliniques à améliorer

Mis à part les limites que l'on a pu constater, il est possible de relever certains obstacles se présentant sur la route du dentiste et du prothésiste.

Nous pouvons constater un problème lors du digital try in : l'arrière-plan n'étant pas le même lors de la prise de clichés réalisée par le dentiste (environnement buccal) et celle du prothésiste (modèle en plâtre et contrasteur), cela entraîne lors de l'essayage virtuel une absence de gencive et un fond noir au niveau du bord incisal (fig. 61).

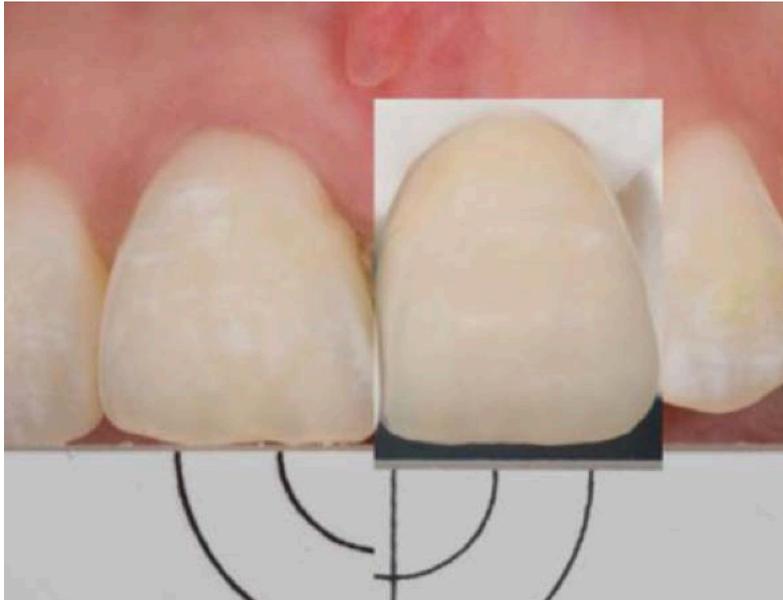


Fig. 61 : arrière-plan visible lors du digital try in ;

Afin de pallier cela, il serait intéressant de couper la dent de son arrière-plan avant l'essayage, ou alors de pouvoir utiliser un contrasteur lors de la prise des clichés par le praticien. Il est compliqué de le faire, de par la place que prend la carte de balance des blancs lors de cette prise de vues. Nous pourrions alors imaginer un système de contrasteur oblique, voire modulable que l'on pourrait adapter à nos photographies, malgré la présence de la carte.

Pour ce qui concerne la gencive, un maquillage par le prothésiste pourrait s'avérer pertinent mais l'un des problèmes majeurs de ce protocole est justement, le temps de réalisation par le prothésiste. Le temps passé pour la réalisation d'une seule restauration est très important, entre la manipulation informatique et la gestion du mélange des poudres de céramiques.

Il serait bon d'imaginer un système automatisé de calcul, mélange des poudres et conception de la prothèse.

Enfin, un des problèmes à résoudre est la couleur du substrat dentaire restant. En effet, en fonction de celle-ci, l'impact sur notre restauration ne sera pas la même. Un substrat dentaire foncé ou clair ne donnera pas le même résultat sur le rendu visuel. Une détermination de sa couleur à l'aide du logiciel pourrait aider à modérer son impact en ajustant alors notre combinaison de poudre pour avoir le meilleur final possible.

4.3 Place du protocole elabor parmi les techniques actuelles

Il est important de préciser que les illustrations suivantes n'ont pas de valeurs scientifiques. Il s'agit de diagrammes réalisés à la suite de cette revue de littérature sans réelles preuves scientifiques, mais représente uniquement l'avis que nous avons pu nous en faire après ce travail. Nous avons voulu proposer ces schémas représentant la place du protocole eLab parmi les autres techniques en fonction de plusieurs paramètres :

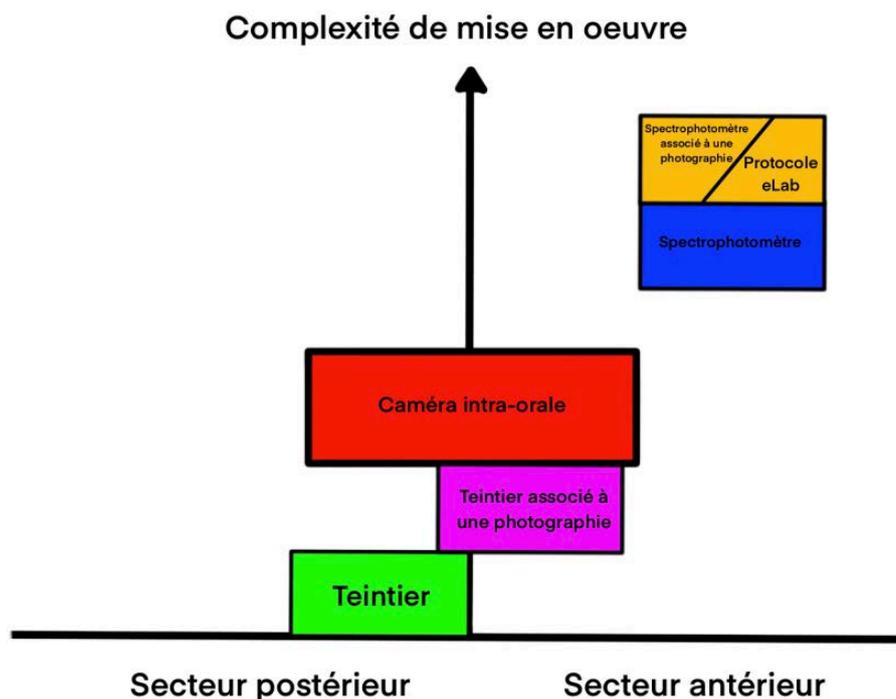


Fig. 62 : place des différentes techniques en fonction de la complexité de mise en œuvre et du secteur impliqué ;

A travers ce graphique, les techniques ont été classées selon leur complexité. Il a été mis au même niveau le protocole eLab et la spectrophotométrie associée à une photographie. En effet, bien que l'utilisation d'un spectrophotomètre seul semble plus simple que la pratique du protocole par prise de teinte photographique, y associer une photographie, même si non calibrée, accroît la difficulté de cette technique.

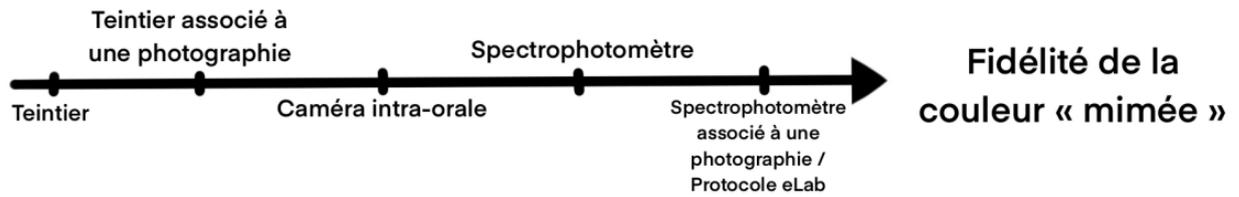


Fig. 63 : place des différentes techniques sur un axe représentant la fidélité de la couleur mimée ;

Le protocole eLab va permettre, par rapport au spectrophotomètre, d'apporter des détails en plus dans l'information transmise. Or, associer une photographie en plus de la spectrophotométrie permettra d'obtenir une teinte fidèle et les mêmes détails. C'est pour cette raison que les deux techniques ont été mis au même niveau sur cet axe de fidélité.

Tableau récapitulatif des limites des différentes techniques d'enregistrement

	Présence de subjectivité	Influencé par l'éclairage	Nombre de couleur limité	Pas de prise en considération des potentiels caractérisations des dents présentes	Travail à 4 mains nécessaire	Accessibilité aux dents postérieures limitée	Matériel spécifique couteux	Requiert une certaine expérience ou compétence pour une manipulation correcte	Sensible aux phénomènes de déshydratation et de métamérisme	Requiert une certaine expérience ou compétence du prothésiste
Teniter	+++	+++	+++	+++					+++	
Lampe calibrée	++		+++	+++	+++				+++	
Caméra intra orale	+					+	+++	+++	+++	
Spectro-photomètre				+++		++	++	+++	+++	
Colorimètre				+++		++	++	+++	+++	
Protocole elab.						+++	+	+++	+++	+++

Conclusion

La revue de littérature ci-dessus laisse donc entendre que la technique de prise de teinte photographique donne des résultats très satisfaisants comparativement aux autres techniques d'enregistrement. Cette technique connaît plusieurs protocoles différents qui émergent peu à peu. Parmi eux, le protocole eLab est celui dont la littérature est la plus fournie et semble être le plus aboutie aujourd'hui. A l'avenir, la multiplicité des études, ainsi que des conditions plus drastiques permettront sans doute de transformer les tendances de la littérature en données scientifiquement validées. Cela laisse présager une bonne intégration de cette technique parmi les techniques usuelles, dans notre pratique clinique.

Bibliographie

Ahmad I. Digital dental photography Part 5: lighting. *British Dental Journal*. 2009a;207(1):13-8.

Ahmad I. Digital dental photography Part 6: camera settings. *British Dental Journal*. 2009b;207(2):63-9.

Anand Dhruv, Surendra Kumar G.P, Devanshi Yadav Anand, Manoj Kumar Sundar, Rahul Sharma, Amit Gaurav. Shade selection: spectrophotometer vs digital camera - a comparative in vitro study. *Annals of Prosthodontics & Restorative Dentistry*. sept 2016;2(3):73-8.

Azogui A, Derman D, Ibraimi D, Pomes B. Le protocole eLAB dans la réalisation d'une restauration unitaire antérieure. *Réalités cliniques*. 2019;30:76-89.

Barthélémy H, d'Incau E, Etienne O. La photographie numérique dentaire, 1ère partie : la prise de vue. *Les cahiers de prothèse*. 2011;156.

Bayindir F, Kuo S, Johnston W M, Wee A G. Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. *Journal Prosthetic Dentistry*. 2007;98:175-85.

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. Singh G, éditeur. *JIOS*. 2014;48:239-44.

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

Camaleonte G. La photographie en dentisterie : Pourquoi, quand, comment ? *JDN*. 2015;8-9.

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.

Clément M, Noharet R, Vient S. Réalisation clinique d'une prothèse fixée unitaire : optimisation du résultat esthétique. *EMC - Médecine buccale*. 2014;9(3):1-17.

D'Incau E. Photographie dentaire : Le matériel. *Information Dentaire*. 2006;88(36):2243-8.

D'Incau E, PIA J-P, Pivet J. Couleur et choix de la teinte en odontologie. *Esthétique en odontologie 1ère Ed Paris : CDP*. 2014;31-66.

D'Incau Emmanuel. Manuel de photographie dentaire. 2016 [cité 26 juill 2020]; Disponible sur: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.13473.81766>

Doucet SM, Meadows MG. Iridescence: a functional perspective. *J R Soc Interface*. 6 avr 2009;6 Suppl 2:S115-132.

Elter A, Caniklioglu B, Değer S, Ozen J. The reliability of digital cameras for color selection.

Int J Prosthodont. oct 2005;18(5):438-40.

François P, Bouqlila S, Bonte E. Les matériaux « esthétiques » du cabinet dentaire. *Regard clinique*. 2016;26-33.

Grosseti F. Photographie numérique dentaire (Partie 1). *Dental Tribune*. 2015;7(3):6-7.

Gurrea J, Gurrea M, Bruguera A, Sampaio CS, Janal M, Bonfante E, et al. Evaluation of Dental Shade Guide Variability Using Cross-Polarized Photography. *Int J Periodontics Restorative Dent*. oct 2016;36(5):e76-81.

Hein S. Two intraoral images [Internet]. 2016 [cité 25 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=g35SwEnRy7I&t=91s>

Hein S. Understanding polarization [Internet]. 2017 [cité 25 juin 2020]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=uZwNKHnQyPw>

Hein S, Polansky J. Experimental birefringence photography in dentistry : unlocking infinite creative possibilities. *Quintessence of Dental Technology*. 2011;151-61.

Hein S, Tapia J, Bazos P. Official eLAB-Slides free use. 2016.

Hein S, Tapia J, Bazos P. eLABor_aid: a new approach ^[1]_[SEP]to digital shade management. *Int J Esthet Dent*. 2017;12(2):186-202.

Ibrahimi D. Le protocole eLAB. Première partie : gestion de l’outil en clinique et perspective de résultats. *Quintessence International*. sept 2019;13(3):213-25.

Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br Dent J*. 9 juill 2005;199(1):43-9; discussion 33.

Joiner A, Luo W. Tooth colour and whiteness: A review. *J Dent*. déc 2017;67S:S3-10.

Kelkar KC, Dogra ES, Bhat V, Hegde C. OSC36: A Comparison Between Conventional V/S Digital Photography V/S Polarizing Filter Photography for Shade Selection. *J Indian Prosthodont Soc*. oct 2018;18(Suppl 1):S23.

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*. 1 déc 2016;17(12):1003-8.

Lanoiselee E. Enregistrement et transmission de la couleur en dentisterie. 2017.

Lasserre JF. Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles. *Clinic*. 2007;(28):417-30.

Lasserre J-F. Le relevé de la couleur : quelles sont les évolutions instrumentales ? *Le fil dentaire*. 2010;37:30-2.

Lasserre J.-F., Pop I.S, d’Incau E. La couleur en Odontologie : déterminations visuelles et instrumentales 1ère partie. *Les cahiers de prothèse*. 2006;(135):25-39.

Lazar R, Culic B, Gasparik C, Lazar C, Dudea D. The accuracy of dental shade matching using cross-polarization photography. *Int J Comput Dent.* 2019;22(4):343-51.

Mahn E, Tortora SC, Olate B, Cacciuttolo F, Kernitsky J, Jorquera G. Comparison of visual analog shade matching, a digital visual method with a cross-polarized light filter, and a spectrophotometer for dental color matching. *J Prosthet Dent.* 17 mars 2020;

Matthews TG. A method for shade selection (I). *Quintessence Int Dent Dig.* févr 1980;11(2):101-5.

McLaren EA, Figueira J, Goldstein RE. A Technique Using Calibrated Photography and Photoshop for Accurate Shade Analysis and Communication. *Compend Contin Educ Dent.* févr 2017;38(2):106-13.

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

Monchanin S, Vient S, Allard, Malquarti G. Réalisation au laboratoire de prothèses fixées céramométalliques. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Odontologie, 23-380-C-10, 2008, Médecine buccale, 28-676-C-10, 2009.

Oh W, Pogoncheff J, O'Brien WJ. Digital Computer Matching of Tooth Color. *Materials.* 18 juin 2010;3(6):3694-9.

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.* oct 2014;8(4):538-45.

Piette É, Goldberg M. La dent normale et pathologique. Bruxelles: De Boeck Université; 2001.

Prabhu K, Ariga P, Philip JM. Comparison of the efficiency of photography-assisted shade selection to visual shade selection. *Gen Dent.* juill 2013;61(4):19-23.

Salehi A, Watzki D, Ibrahimi D, Etienne O. e-LAB : un nouveau système d'analyse et de contrôle chromatique. *Réalités cliniques.* 2019;30:206-14.

Sampaio CS, Gurrea J, Gurrea M, Bruguera A, Atria PJ, Janal M, et al. Dental Shade Guide Variability for Hues B, C, and D Using Cross-Polarized Photography. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2018;38(Suppl):s113–s118.

Schropp L. Shade matching assisted by digital photography and computer software. *J Prosthodont.* avr 2009;18(3):235-41.

Sikri VK. Color : implications in dentistry. *Journal of conservative dentistry.* 2010;13:249-55.

Vachiramon A, Wang WC, Tovee M. A lighting approach for clinical photographs of the face.

J Contemp Dent Pract. 1 mai 2006;7(2):153-9.

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.

Wolfart S, Bothung C. Optimiser la photographie intraorale. Quintessence Dentisterie Restauratrice et Prothèse. 2017;11:67-77.

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.

Zarini C. Le protocole eLAB. Deuxième partie : stratégie de stratification et essayage virtuel. Quintessence Dentisterie Restauratrice et Prothèse. mai 2020;14(2):149-57.

Les opinions émises dans les dissertations présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ni improbation de la Faculté de Chirurgie Dentaire.

ATTAL Roni. Réalisation de restaurations céramiques antérieures : comparaison d'un protocole d'aide informatique à la prise de teinte VS les techniques usuelles d'enregistrement. 2020. 94 p. : ill., tabl. Réf. Biblio. : 86-89.

**Sous la direction de M. le Docteur DERMAN Dov et M. le Docteur POMES Benjamin
Th : Chir Dent. : Université de Paris 7 : année 2020**

Résumé :

La communication entre dentiste et prothésiste est essentielle pour l'obtention de résultats satisfaisants en prothèse fixée. L'objectif devient vraiment compliqué à atteindre dans le cadre d'un travail d'intégration au sourire du patient, et notamment dans le cas d'une incisive centrale maxillaire unitaire. De nombreux moyens de transmission de la couleur au prothésiste existent de nos jours : du teintier classique aux méthodes plus avancées comme les spectrophotomètres ou les colorimètres en passant par les caméras intra-orales, et les lampes calibrées. Ces méthodes présentent néanmoins des limites et sont pour certaines très opérateurs dépendant. Une nouvelle technique d'enregistrement de teinte par prise photographique combiné à un protocole d'aide informatique émerge peu à peu. Celle-ci repose sur une standardisation des prises de vues afin de supprimer toute composante subjective d'un enregistrement. Cette thèse a pour objectif principal de comparer ce protocole émergent, aux techniques usuelles, et d'en définir sa place parmi ces dernières.

Discipline : PROTHESES

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Teinte dentaire, comparé, comparaison clinique, méthodes visuelles, méthodes instrumentales, enregistrement de teinte, photographie dentaire (fMeSH), polarisation croisée, correspondance des teintes dentaire, elab, elabor, répétabilité, guide de teinte, Cielab, analyse des couleurs, spectrophotomètre.

TITRE en anglais :

Anterior ceramic restorations making process : comparison between computer assisted shade determination VS standard techniques.

English keywords (MeSH) :

Dental shade, compared, clinical comparison, visual methods, instrumental methods, shade matching, dental photography (MeSH), cross polarization, dental shade matching, elab, elabor, repetability, shade guide, Cielab, colour analysis, spectrophotometer