



HAL
open science

Mesures in vivo du changement de couleur des dents naturelles sous l'effet de la déshydratation : étude d'un groupe de patients de plus de 50 ans

Clara Chambon

► To cite this version:

Clara Chambon. Mesures in vivo du changement de couleur des dents naturelles sous l'effet de la déshydratation : étude d'un groupe de patients de plus de 50 ans. Chirurgie. 2017. dumas-01511617

HAL Id: dumas-01511617

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01511617>

Submitted on 21 Aug 2017

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.

**Université de Bordeaux
Collège des Sciences de la Santé
UFR des Sciences Odontologiques**

Année : 2017

Thèse N° 32

**Thèse pour l'obtention du
DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par Clara CHAMBON

Née le 17 septembre 1990 à PAU

Le 14 avril 2017

**Mesures *in vivo* du changement de couleur des dents
naturelles sous l'effet de la déshydratation : étude d'un
groupe de patients de plus de 50 ans**

Directeur de Thèse

Docteur Jean-Philippe Pia

Membres du jury

Président	Mme M.J. BOILEAU	Professeur des Universités
Directeur	Mr J.P. PIA	Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire
Rapporteur	Mr J.F. LASSERRE	Maître de Conférences des Universités
Assesseur	Mr S. CATROS	Maître de conférence des Universités
Assesseur	Mr M.CONTREPOIS	Assistant Hospitalo-Universitaire

UNIVERSITE DE BORDEAUX

Président	M.	Manuel TUNON de LARA
Directeur de Collège des Sciences de la Santé	M.	Jean-Luc PELLEGRIN

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice	Mme	Caroline BERTRAND	58-02
Directrice Adjointe – Chargée de la Formation initiale	Mme	Dominique ORIEZ	58-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche	M.	Jean-Christophe FRICAIN	57-02
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales	M.	Jean-François LASSERRE	58-02

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-02
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-03
M.	Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Cécile	BADET	Sciences biologiques	57-03
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-02
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M.	Sylvain	CATROS	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M.	Stéphane	CHAPENOIRE	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	57-01
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Raphael	DEVILLARD	Odontologie conservatrice- Endodontie	58-01
M.	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-02
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Dominique	GILLET	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-02
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-02
M.	Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Dominique	ORIEZ	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Jean-François	PELI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Sciences biologiques	57-03
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Sciences biologiques	57-03
M.	Eric	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

ASSISTANTS

Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Wallid	BOUJEMAA AZZI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Melle	Camille	BOULE- MONTPEZAT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Hubert	CHAUVEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Mathieu	CONTREPOIS	Prothèse dentaire	58-02
M.	Jean-Baptiste	CULOT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme	Clarisse	DE OLIVEIRA	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Sandrine	GROS	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-02
M.	Adrien	LASTRADE	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Alice	LE NIR	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme	Karine	LEVET	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Alexandre	MARILLAS	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Marie	MEDIO	Orthopédie dento-faciale	57-02
Mme	Darrène	NGUYEN	Sciences biologiques	57-03
M.	Ali	NOURREDINE	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Chloé	PELOURDE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Mathieu	PITZ	Parodontologie	57-01
Mme	Charlotte	RAGUENEAU	Prothèse dentaire	58-02
M.	Clément	RIVES	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Thibaut	ROULAND	Prothèse dentaire	58-02
M.	François	ROUZE L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-02
M.	François	VIGOUROUX	Parodontologie	57-01

REMERCIEMENTS

A notre Présidente de thèse

Madame le Professeur Marie-José BOILEAU
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-Section Orthodontie 56-02

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse.

Veillez trouver ici, Madame le Professeur, le témoignage de ma profonde gratitude et de mes sentiments les plus respectueux.

A notre Directeur de thèse

Monsieur le Docteur Jean-Philippe Pia
Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire
Sous-Section de Prothèse 58-02

Je vous suis très reconnaissante d'avoir accepté de diriger cette thèse et de m'avoir fait confiance pour mener à bien cette étude à vos côtés. Je vous remercie pour votre aide, vos conseils et votre disponibilité lors de la réalisation de ce travail.

Que cet ouvrage témoigne de toute ma reconnaissance et de mon profond respect.

A notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur Jean-François LASSERRE
Maitre de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-Section de Prothèse 58-02

Je vous remercie d'avoir accepté de collaborer à ce travail et d'être mon rapporteur. Je me souviendrais de la qualité de vos enseignements ainsi que de vos précieux conseils au cours de l'optionnel d'esthétique. Soyez assuré de ma profonde reconnaissance et de mon plus grand respect.

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Sylvain CATROS

Maitre de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-Section Chirurgie Buccale – Pathologie et Thérapeutique 57-02

Merci d'avoir accepté d'être membre de ce jury. Je me souviendrais de votre implication au cours de mes vacances hospitalières à l'hôpital Saint-André Je vous remercie de juger mon travail et j'espère que vous y trouverez le témoignage de toute ma gratitude et de mon plus grand respect.

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Mathieu CONTREPOIS

Assistant Hospitalo-Universitaire

Sous-Section de Prothèse 58-02

Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de participer à ce jury de thèse. Je vous remercie pour vos conseils et votre patience. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect.

REMERCIEMENTS PERSONNELS

A mes Parents, merci de m'avoir donné le goût des études. Un peu trop d'ailleurs, car les terminer m'aura pas mal coûté ! Je vous remercie pour votre soutien au cours de ma première année et jusqu'à la dernière. J'espère que ce travail vous rendra fier, vous avez tout donné pour notre réussite à tous les quatre.

A ma sœur, Eléonore, merci de m'avoir supportée durant ces six années de coloc. J'espère te voir devenir mon expert-comptable sous peu. A mes frères, Lucas et Théodore, merci pour si la bonne entente que nous avons entre nous tous.

A mes grands-parents Biarrots, Amatxi et Grand-Père, merci pour votre gentillesse et votre sagesse. J'espère que vous serez fiers du premier docteur (mais pas le dernier) de vos petits-enfants.

A mes grands-parents Palois. Mamie, merci pour ta gentillesse, ta générosité et tes jugements précieux. Au Pater Familias, qui me regarde de là-haut, que ce travail te rende fier. Merci pour tes histoires, tes chansons et ta joie éternelle.

A mes tantes, merci pour tout ce que vous avez fait pour nous au cours de notre enfance, les voyages, les sorties, le ski familial. Merci à toi Babé pour ton soutien tout au long de ma première année, voici l'accomplissement du dur chemin de cette P1.

A Katta et Esti, douze ans que l'on se connaît et rien n'a changé. Le temps passe, vous vous éloignez à travers le monde, mais lorsque l'on se revoit, c'est comme si on s'était quittées la veille. Merci pour ces années de lycée, cette fameuse chambre d'internat, du trio que personne n'aurait pu intégrer.

A Nina, Ninouille, la Deutsch râleuse, ma voix de la raison. Douze ans aussi que tu me supportes et me conseilles. Merci pour tout ! J'attends ta descendance avec impatience.

A Laeti Arrrrramendi, une copine en or, merci pour ta précieuse amitié ! Mais aussi à Andrea et Txof, toujours dans la bonne humeur.

A Carousse, merci de m'avoir autant soutenue dans cette longue étape. Je n'aurais pas beaucoup avancé cet été, mais aucun regret pour tous ces caveaux, gin-to, plages, restos et vacances tout confort. Merci pour toutes ces années passées en ta compagnie. Mais aussi pour cet accueil chez les Ospi, ces soirées toujours plus fantastiques les unes que les autres. Je te souhaite le meilleur pour

la suite, en espérant te voir revenir dans le coin au plus vite, parce qu'on vient quand même du meilleur endroit de la terre !

Aux Biarrottes, Cheron, ma blonde préférée, merci pour tous ces goûters, ces délicieuses soirées salsa, toutes les BU de l'Aquitaine que nous aurons écumées ; Mathilde, merci pour toutes ces fêtes, ces heures de discussion, ton accueil à la casa Dargelos ; Cynthia merci de m'avoir fait découvrir Philippe Katerine, ta garde-robe sensationnelle et tes multiples blagues de qualité.

A ma Roro de amor, merci de toujours être là, de me soutenir et de positiver autant. J'espère en faire autant pour toi que tout ce que tu m'as apporté. Je prie pour que tu continues à avoir un mental aussi faible que le mien et que nos futures soirées soient aussi grandioses que les précédentes. Je te souhaite tout le bonheur possible dans ton Béarn natal et n'ai qu'un reproche à te faire, celui de m'avoir convertie à cette fichue section.

A Axelle, ma Rerca, tu es là pour moi depuis le début et ça ne s'arrêtera jamais. Merci pour tout, les soirées, les petits repas, les semaines à Tignes, les vacances à Porquerolles-Cagole, la coloco en Guyane, les voyages sur le Yacht. J'espère qu'on continuera de se prévoir une tonne de projets. Et même si tu n'es pas là aujourd'hui, je sais que tu penses à moi depuis Libertad.

PS : petite dédicace de Pantxika à ce cher Counet !.

A Boulet, ma Bouboule, merci pour ton amitié, tes conseils, nos rigolades. Merci de t'occuper de moi comme une maman et de m'accueillir cours d'Albret maintenant que je suis sans logis. J'espère te rendre la pareille sans tarder dans mon pays.

A Cosset, merci pour ta bonne humeur, ta joie, ton humour, les week-end à Rougnac. Merci de me faire toujours rigoler et de m'accueillir dans ton appart. Je sais que j'ai plein de copines sur qui je peux compter.

A Nadège, je sais que l'on ne se voit pas beaucoup et que je ne te préviens pas quand je débarque mais promis, les prochaines fois tu pourras me « rendre service ». On se rattrapera à nos repas de consœurs. Merci pour tous les moments passés avec toi.

A toutes les copines de dentaire, Magaluf, merci de toujours tout organiser avec Lolo, vous êtes des pros, et ça tombe bien parce que ce n'est vraiment pas mon fort, merci pour le voyage aux Antilles et pour ta bonne humeur permanente ; Lolo, merci pour tes conseils, toujours bien avisés et droits et pour toutes ces heures passées à la BU, pas toujours efficaces mais qui m'auront quand même bien aidée ; Fionfion, merci aussi pour ton organisation, surtout à Garorock, ta délicatesse et ton écoute ;

Alice, merci d'avoir été ma binôme, à notre façon. J'espère que notre amitié continuera longtemps et que tu viendras me rendre visite dans mon pays basque ; Anne, Nono et Charlotte, merci pour tous ces bons moments passés avec vous.

A tous les copains de promo, Vianday, Jean, Bubu, Keke, Alex, Tim, Adrien, Talib, Jordan et la colloc du 3eme pour les soirées, les vacances, les croisières en boat.

Au cabinet dentaire des Docteurs Lerici et Etchart, merci pour votre patience face à mes questions et pour toutes ces heures passées au cabinet. Vous m'avez beaucoup apporté dans ma pratique et je me souviens des nombreux conseils que vous m'avez donnés.

Au cabinet dentaire du Docteur Stark, merci d'avoir été aussi patient avec moi. Ça y est, elle est enfin terminée ! Je vais enfin pouvoir retravailler dans ce cabinet où j'ai été si bien accueillie. Merci également de m'avoir prêté le fauteuil qui aura vu passer tous les patients de ma thèse.

Je remercie également toutes les personnes qui ont participé à mes tests de thèse, pour leur grande patience au cours de cette longue heure.

Et je ne peux que terminer ces remerciements par Adrien Boucher, dont j'ai pris la suite. Merci infiniment de m'avoir autant aidée, de t'être rendu disponible et de m'avoir laissée avec une thèse si parfaite. J'espère que tu seras satisfait de la fin de ce travail.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	10
2. Généralités sur la couleur et son relevé	11
2.1. Lumière et vision des couleurs	11
2.2. Les dimensions fondamentales de la couleur (9,12,14–19)	16
2.2.1. Luminosité.....	17
2.2.2. Saturation.....	17
2.2.3. Teinte	17
2.3. L'espace chromatique des dents naturelles	18
2.3.1. Systèmes de représentation des couleurs CIE L*a*b* et CIE L*C h° (8,9,12,14–16,20–23)	18
2.3.2. La banane chromatique.....	20
2.3.3. Comparaison des couleurs	21
2.4. Les caractéristiques optiques des dents naturelles	24
2.4.1. La dentine.....	24
2.4.2. L'émail	25
2.4.3. La pulpe (37,38).....	25
2.4.4. Dents jeunes et dents âgées	26
2.5. Le relevé de la couleur des dents	30
2.5.1. Le relevé visuel ou choix subjectif de la couleur	30
2.5.2. Le relevé visuel assisté	34
2.5.3. Le relevé instrumental ou choix objectif de la couleur	35
2.6. Déshydratation et couleur des dents.....	40
3. Expérimentation	41
3.1. Objectifs	41
3.2. Matériel et méthode.....	41
3.2.1. Analyse spectrophotométrique.....	41
3.2.2. Analyse statistique	49
3.3. Résultats.....	51
3.3.1. Etude des valeurs initiales des coordonnées de couleur des dents naturelles	51
3.3.2. Etudes des changements des coordonnées de couleur des dents naturelles lors des phases de déshydratation et de réhydratation	55
3.3.3. Différence de couleur ΔE	64
3.3.4. Etude des résultats obtenus en fonction du genre (homme/femme)	65
3.3.5. Etude des résultats obtenus en fonction de l'âge : comparaison avec la même étude réalisée chez les moins de 30 ans.....	66
3.4. Discussion	72
3.4.1. Valeurs initiales des coordonnées de couleur :.....	72
3.4.2. Changement de couleur des dents naturelles pendant les périodes de déshydratation et de réhydratation :.....	74
3.4.3. Influence du genre (homme/femme).....	77
3.4.4. Influence de l'âge (patients de moins de 30 ans /patients de plus de 50 ans)	77
3.4.5. Différences de couleur ΔE	81
3.4.6. Limites de l'étude	83
4. Conclusion	85

1. Introduction

L'intérêt majeur que porte actuellement la société à l'esthétique a rendu les patients de plus en plus exigeants par rapport à leur propre apparence. Tout passe par l'image : il existe une pression esthétique et des normes dans nos sociétés. Une attention particulière est portée au visage, élément essentiel de l'identité, outil majeur des interactions sociales. Alfred Yarbus en 1967 a enregistré le mouvement des yeux lors de l'observation de photos de visages et a montré que les gens focalisent leur attention sur la bouche et les yeux. Ceci s'explique non seulement par leur aspect dynamique mais également par le contraste de couleur qu'ils présentent avec le reste du visage. On comprend donc l'importance majeure du sourire dans l'esthétique faciale. Il détermine l'attractivité d'un individu mais également ses caractéristiques. L'altération du sourire aura un impact négatif sur la manière dont une personne sera perçue (1).

C'est dans ce contexte que l'esthétique est devenue un motif de consultation quotidien dans nos cabinets dentaires. Les années 1980-1990 ont constitué une véritable révolution dans ce domaine avec une augmentation des publications scientifiques passées de 1% à 5% de nos jours. Elle résulte de nouveaux besoins chez nos patients, pour qui l'esthétique est devenue une véritable exigence, des progrès techniques (collage, céramique, composite, implantologie) et des nouvelles conceptions (économie tissulaire, dentisterie à minima, nouveaux principes de préparation et de collage, doléances esthétiques du patient) (2). Elle ne doit pas être négligée par le milieu médical car une atteinte de l'image de soi peut entraîner une altération de la santé (3).

En odontologie, l'intégration biologique, la forme et la couleur constituent les principaux facteurs de réussite de l'esthétique d'un traitement. Une étude menée en 2007 a montré que la couleur des dents était la première raison d'insatisfaction des patients quant à leur sourire (4). Cette étape du choix de la couleur ne doit pas être négligée par le praticien.

Nous nous intéresserons ainsi aux fondamentaux de la couleur, qui trouveront application dans notre exercice pour les dents naturelles, puis aux méthodes qui existent actuellement pour réaliser le relevé de cette valeur en odontologie. Ces connaissances nous permettront de comprendre l'expérimentation que nous avons menée qui a consisté à évaluer l'impact de la déshydratation et de la réhydratation sur la couleur des dents de patients de plus de 50 ans. Les résultats seront ensuite analysés en fonction du genre et de l'âge des patients.

2. Généralités sur la couleur et son relevé

2.1. Lumière et vision des couleurs

La couleur est le fruit de l'interaction d'un rayonnement lumineux avec un objet : sans lumière, pas de couleur. Elle est caractérisée par sa dualité onde/corpuscule : c'est une onde qui se déplace à la vitesse de 300 000 km/s associée au transport de photons qui vont interagir avec la matière (5). Elle correspond à la partie visible par l'œil humain du champ des ondes électromagnétiques, caractérisées par leurs longueurs d'ondes. Ces longueurs d'ondes visibles, appelées spectre du visible, vont du violet (390 nanomètres) au rouge (780 nanomètres). En deçà se trouvent les rayonnements ultraviolets et au-delà les rayonnements infrarouges. Elles vont correspondre à des lumières colorées que l'on peut définir par sept tendances successives : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange et rouge. La couleur va donc correspondre à la sensation colorée que l'on aura de ces longueurs d'ondes (6,7).

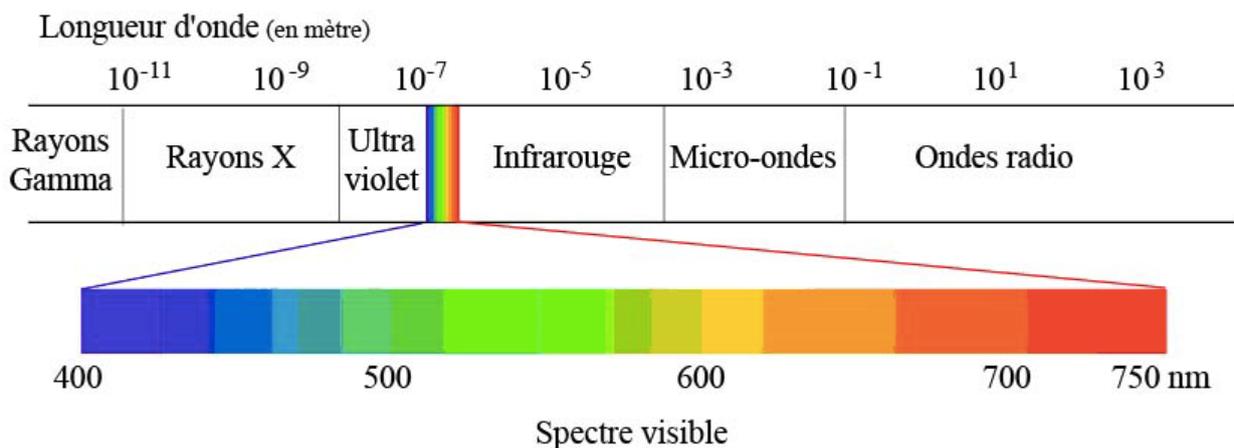


Figure 1 Spectre de la lumière (d'après la société francophone de biomatériaux)

Trois facteurs peuvent conditionner la perception d'une couleur :

- La source de lumière
- La matière de l'objet observé
- L'œil de l'observateur qui va transmettre l'information au cerveau (8)

La perception de la couleur d'un objet va dépendre de la lumière. Si on éclaire un objet pigmenté avec la lumière naturelle du jour (de spectre complet continu), celui-ci va absorber toutes les longueurs d'onde du spectre et ne rediffuse que la longueur d'onde qui correspond à sa pigmentation. Un élément qui apparaît blanc est un objet qui réfléchit toutes les longueurs d'onde du spectre lumineux, tandis qu'un élément qui apparaît noir est un objet qui absorbe toutes les longueurs d'onde du spectre (7,8).

Prenons pour exemple une fraise : éclairée par la lumière du jour elle apparaît rouge car elle absorbe toutes les longueurs d'onde et ne va rediffuser que le rouge. Si l'on éclaire cette même fraise avec une lumière dont le rouge est absent du spectre, elle apparaîtra noire car elle absorbe toutes les longueurs d'onde du faisceau et n'en rediffuse aucune.

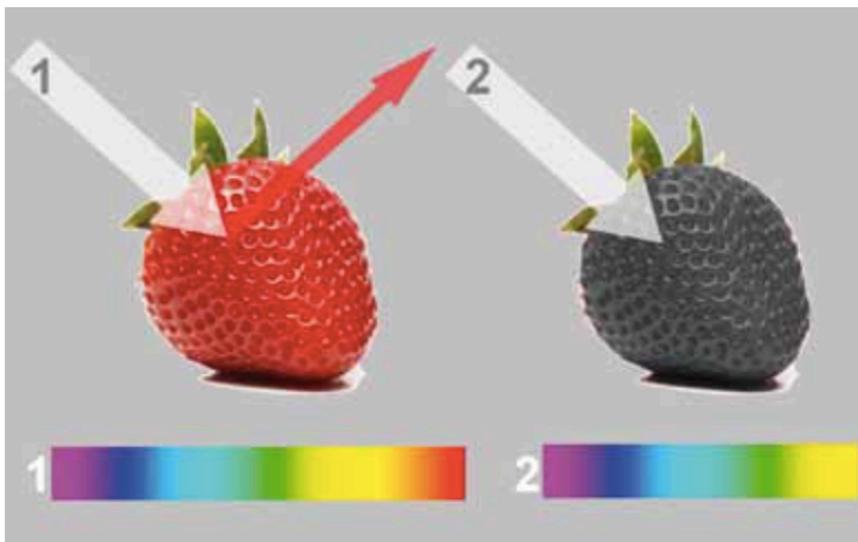


Figure 2 lumière et vision des couleurs (d'après Jean-François Lasserre)

La construction des couleurs d'un objet est basée sur un modèle tridimensionnel caractérisé par trois couleurs primaires permettant d'obtenir toutes les autres couleurs. Ce mécanisme est à rapprocher de celui de la vision des couleurs par l'œil humain où sont présents trois types de cônes, chacun spécialisé dans la vision d'une couleur. Les couleurs primaires vont être différentes selon que la couleur est obtenue par mélange de lumières émises (synthèse additive) ou par réflexion lumineuse sur des supports colorés (synthèse soustractive) (7,9)

- Synthèse additive ou mode RVB (rouge-vert-bleu) : les couleurs spectrales monochromatiques peuvent se recomposer selon les principes de la synthèse additive. Les couleurs sont obtenues par mélange des trois primaires additives, le rouge, le vert et le bleu. Le mélange de deux couleurs primaires additives entre elles va donner les

couleurs additives secondaires (cyan, jaune et magenta). Le mélange en quantités égales des trois primaires ou des trois secondaires entre elles va donner une lumière blanche. Cette synthèse additive est utilisée pour la création de couleurs sur les écrans de télévision ou d'ordinateur (9).

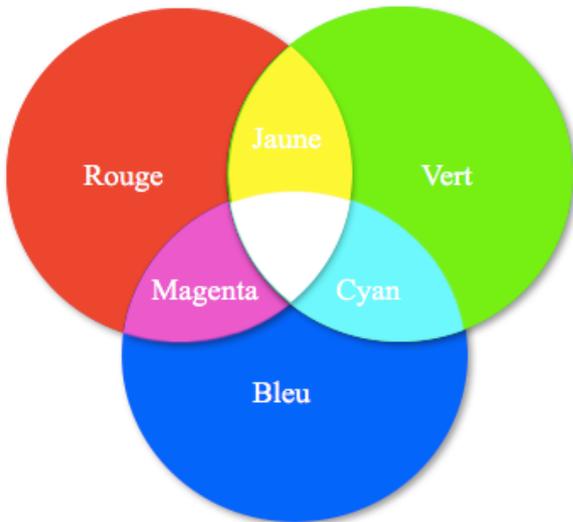


Figure 3 Principes de la synthèse additive

Néanmoins, la reproduction de la couleur d'une dent naturelle sur un élément prothétique en céramique est obtenue par mélange de pigments. La sensation colorée résulte du faisceau lumineux réémis par l'objet après avoir subi les phénomènes de transmission et de réflexion lumineuse à sa surface. Elle obéit donc aux principes de la synthèse soustractive.

- Synthèse soustractive : le rayonnement émis entre en interaction avec la matière et une partie va être absorbée. Les couleurs obtenues relèvent ainsi des lois de la soustraction. La couleur d'un objet opaque correspond à la lumière réfléchie et celle d'un objet translucide à la lumière résiduelle transmise. Les trois couleurs primaires soustractives sont le jaune, le rouge et le bleu. Leur mélange deux à deux en proportions égales donne l'orange, le vert et le violet. Le mélange des trois primaires entre elles donne le noir ou l'absence de couleur (9).

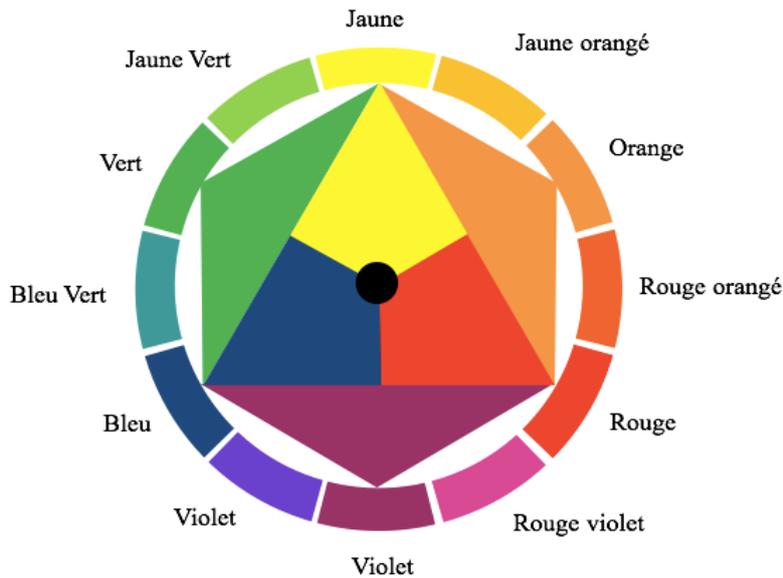


Figure 4 Principes de la synthèse soustractive

Lors de l'interaction du rayonnement émis avec la matière observée, trois phénomènes optiques peuvent se produire :

- L'absorption : la portion du rayon absorbée se transforme en chaleur et c'est la partie non absorbée qui détermine la couleur. Un corps qui absorbe tout un rayonnement est perçu noir.
- La transmission qui regroupe :
 - la **réfraction** : c'est le changement de direction du rayon incident quand il change de milieu. Un matériau transparent ne modifie pas la direction des rayons. Elle permet de définir l'indice de réfraction d'un milieu, qui est proportionnel à la densité des corps et qui aura une influence sur la translucidité (air=1, eau=1.33, email=1.62).
 - la **diffraction** : c'est le phénomène par lequel un objet est dévié lorsqu'il rencontre un obstacle.
 - la **diffusion** : c'est la propagation d'un rayonnement dans toutes les directions de l'espace.
- La réflexion : c'est le changement de direction d'un rayon lorsqu'il rencontre une surface. La portion réfléchie ne pénètre pas dans le milieu. En l'absence d'absorption, si toute la lumière est réfléchie l'objet apparaît blanc (10).

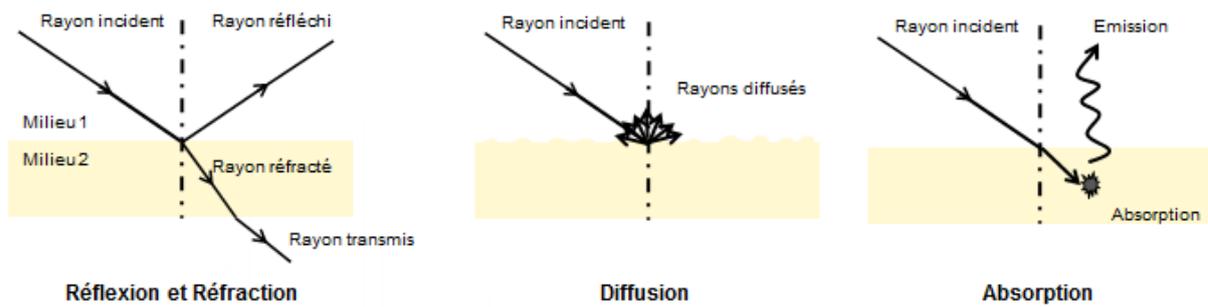


Figure 5 Absorption-Transmission-Réflexion

Une fois que l'objet éclairé émet sa lumière colorée, celle-ci va arriver au niveau de la cornée de l'œil et se concentrer dans la rétine. La quantité de lumière qui arrive au niveau de la rétine est contrôlée par l'iris qui va se dilater ou se contracter suivant le degré d'illumination. Au niveau de la rétine on va trouver deux types de cellules photoréceptrices :

- Les cônes : ils permettent la vision des couleurs et la vision diurne. Ils sont de trois types : les cônes sensibles au rouge, au vert et au bleu. Ils nous permettent la vision de lumières polychromatiques. On parle de vision trichromatique pour l'homme : ce qui lui permet de distinguer plus de 300 000 couleurs différentes. Cette vision est facilitée dans le rouge et le vert car les cônes sensibles au bleu sont plus fragiles et moins nombreux. Ils se situent au niveau de la fovea centralis de la rétine et sont peu nombreux (7 millions) par rapport aux bâtonnets.
- Les bâtonnets : ils sont présents en grande quantité (120 millions) tout autour de la rétine et permettent la vision crépusculaire. Ils permettent seulement d'enregistrer l'intensité lumineuse.

Ces cellules vont ensuite transformer l'information lumineuse reçue en signaux électriques qui seront transmis au centre visuel du cortex occipital via le nerf optique (7,11–14).

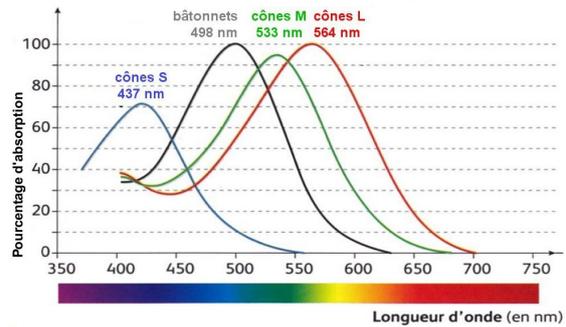
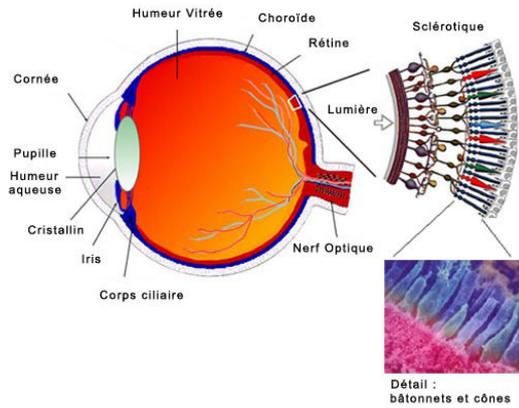


Figure 6 Anatomie de l'œil (d'après bioinformatics) et courbes d'absorbance des bâtonnets et des cônes pour l'Homme (d'après Rodriguez. R)

2.2. Les dimensions fondamentales de la couleur (9,12,14–19)

Classiquement, on définit une couleur par un système comprenant trois variables : la luminosité, la saturation et la teinte. C'est Munsell en 1905, qui a décrit la couleur selon un espace chromatique géométrique cylindrique. Chaque couleur est définie par 3 coordonnées à savoir, l'axe vertical qui représente le degré de luminosité, le rayon du cylindre qui définit la saturation et la périphérie du cylindre qui représente la teinte en fonction du degré de luminosité.

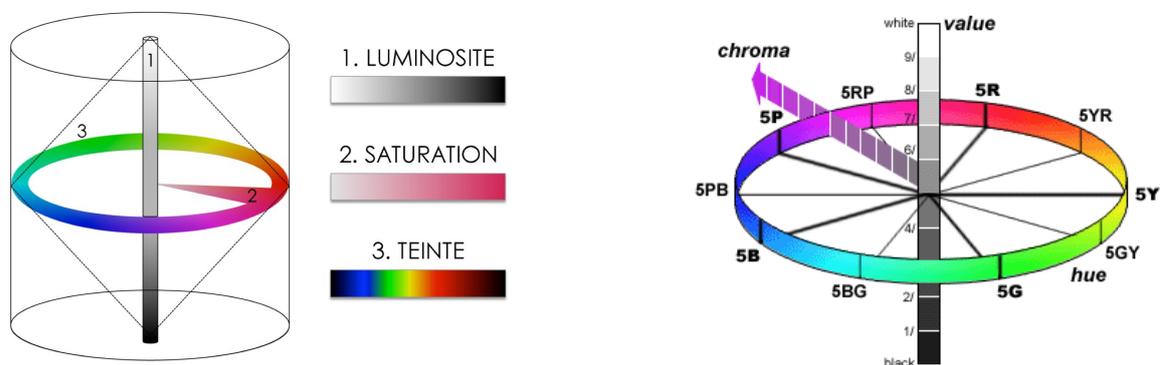


Figure 7 Cylindre de Munsell (d'après Berteretche M-V dans Esthétique en odontologie à gauche et d'après Mac Evoy B dans Handprint : modern color models à droite)

2.2.1. Luminosité

Elle correspond au premier facteur de réussite de la couleur d'un élément prothétique. On l'appelle également valeur, clarté ou brillance (« value », « lightness » ou « brightness » en anglais). C'est la quantité de blanc contenue dans la couleur principale ou quantité de lumière réfléchiée par un objet.

Dans le cylindre de Munsell, elle se situe sur l'axe vertical noir-blanc : ainsi chacune des couleurs établies sur un même plan de coupe horizontal possèdera la même luminosité. Elle s'exprime en pourcentage et va de L=0 (noir) à L=100 (blanc).

Elle doit être appréciée dans une ambiance lumineuse de faible intensité, en clignant des yeux, pour que les bâtonnets rétinienens soient stimulés et de façon très rapide.

Elle est à bien distinguer de la luminance, phénomène physique et mesurable, qui correspond à l'intensité d'une source de lumière et qui s'exprime en candela par mètre carré. La luminosité correspond à l'interprétation de la luminance par l'œil.

2.2.2. Saturation

On l'appelle également pureté de teinte, densité ou intensité de la couleur (« chroma » en anglais). On peut la définir comme la quantité de pigment pur contenu dans une couleur. Elle se situe dans la partie horizontale du cylindre de Munsell et correspond à la distance par rapport à l'axe neutre : la saturation est maximale sur la périphérie du cercle (teinte pure) et diminue en se rapprochant de l'axe central (saturation nulle).

Une couleur peut être desaturée de deux manières :

- Par adjonction de blanc : la couleur va s'éclaircir et donner un ton dit « pastel » ou « rompu »
- Par adjonction de noir : la couleur va devenir terne, elle est dite « rabattue »

2.2.3. Teinte

La teinte, tonalité chromatique, ton ou chromaticité de la couleur (« hue » en anglais), correspond aux différentes sensations colorées perçues par l'œil au niveau des cônes rétinienens comme le rouge, le vert, le bleu ou le jaune. C'est la longueur d'onde dominante de la lumière

que l'objet va réfléchir. Elle se situe sur la périphérie du cylindre de Munsell. C'est le critère le moins important dans le relevé de la couleur des dents naturelles.

2.3. L'espace chromatique des dents naturelles

2.3.1. Systèmes de représentation des couleurs CIE $L^*a^*b^*$ et CIE $L^*C h^\circ$ (8,9,12,14–16,20–23)

La commission internationale de l'éclairage (CIE) est une organisation dédiée à la coopération et à l'échange d'information sur tous les sujets concernant l'éclairage, la couleur et la vision. Fondée en 1913, elle a permis de développer plusieurs systèmes de représentation des couleurs ou espaces colorimétriques dont le dernier correspond au système CIE $L^*a^*b^*$ et qui permet de définir une couleur selon 3 variables :

- L'axe vertical ou axe neutre qui représente la luminosité, exprimée en pourcentage et qui va de 0 pour le noir à 100 pour le blanc.
- L'axe horizontal $-a$ $+a$ ou axe vert-rouge, avec des valeurs allant de -127 à +128 (valeurs négatives pour le vert et positives pour le rouge).
- L'axe horizontal $-b$ $+b$ ou axe bleu-jaune, avec des valeurs allant de -127 à +128 (valeurs négatives pour le bleu et positives pour le jaune).

Dans ce système, une couleur est ainsi définie par sa position par rapport aux trois axes et donc par ses trois coordonnées L^* , a^* et b^* .

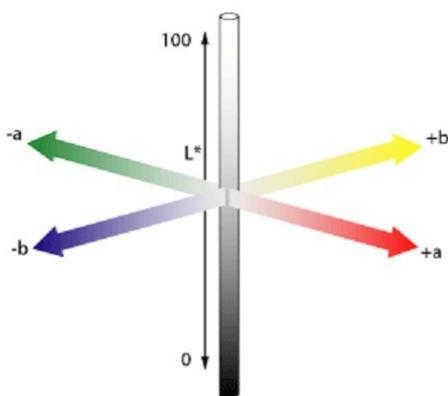


Figure 8 Système CIE $L^*a^*b^*$ (d'après Baltzer et Kaufmann-Jinoian dans *La définition des teintes de dent*)

Le système de représentation CIE L*a*b*, qui correspond à des coordonnées cartésiennes, possède un autre mode de représentation en coordonnées cylindriques : le système CIE L*C h°. Dans ces deux modes, on pourra utiliser les mêmes axes de représentation des couleurs. Le système L*C h° s'apparente au cylindre de Munsell mais avec les coordonnées du système L*a*b*. Il comprend 3 variables :

- L*, la luminosité, représentée par des plans de coupe horizontaux successifs
- C, la saturation (« chroma »), distance du point coloré à l'axe neutre.
- h°, la teinte (« hue »), qui correspond à l'angle entre l'axe +a et le point coloré, il varie de 0 à 360° :
 - de 0° à 90° : tonalités rouge, orange et jaune
 - de 90° à 180° : tonalités jaune, vert-jaune et vert
 - de 180° à 270° : tonalités vert, cyan et bleu
 - de 270° à 360° : tonalités bleu, magenta et rouge

Ce système apparaît plus simple pour définir une couleur car on retrouve les trois dimensions fondamentales de la couleur : luminosité, saturation et teinte.

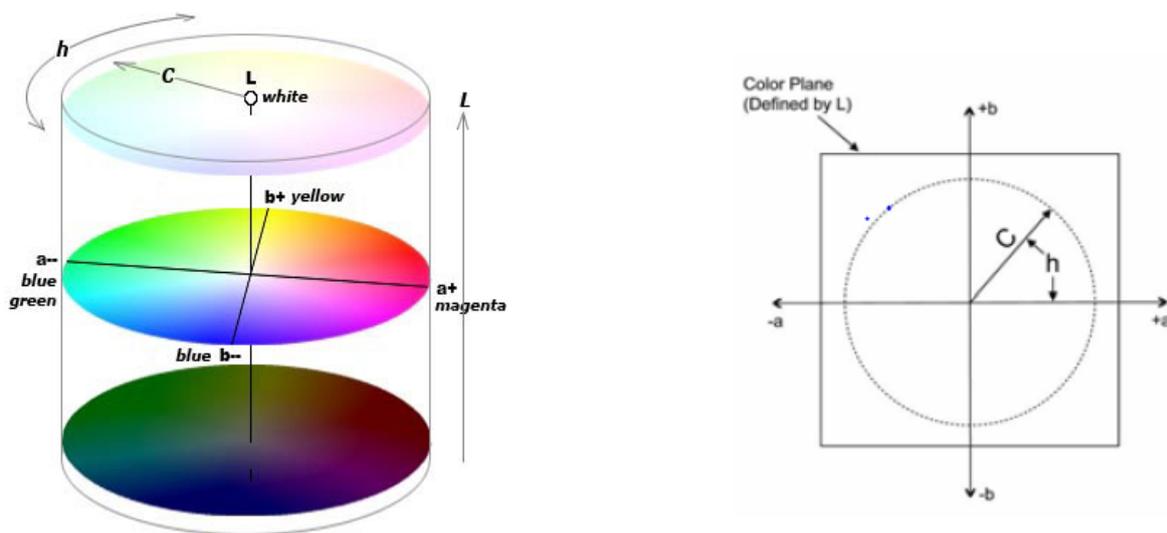


Figure 9 Système CIE L*C h° (d'après Mac Evoy B dans Handprint : modern color models à gauche et d'après Baltzer et Kaufmann-Jinoian dans La définition des teintes de dent à droite)

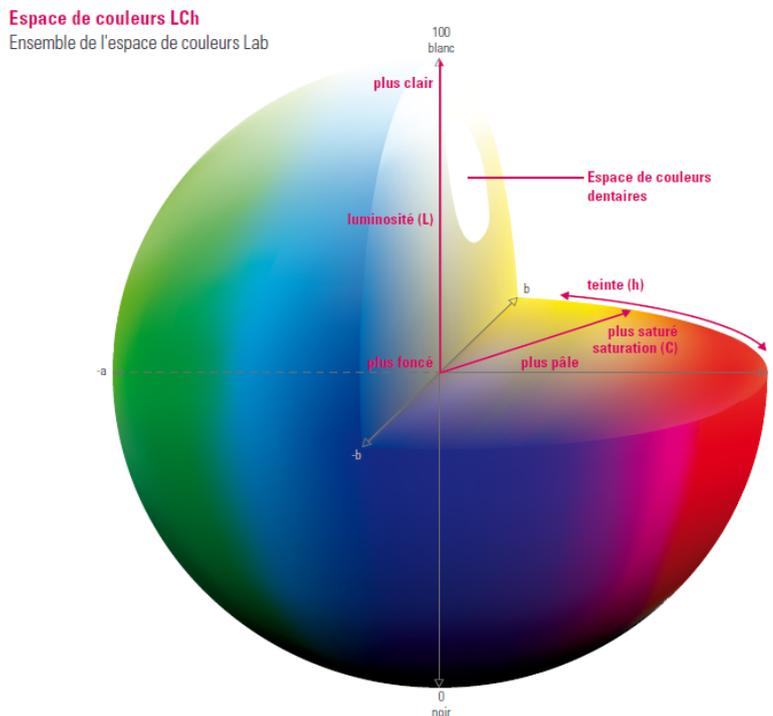
Le passage d'un système à l'autre est possible par l'application des formules suivantes :

- L* reste inchangée
- $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$
- $h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$

2.3.2. La banane chromatique

L'espace chromatique des dents naturelles peut être représenté dans une sphère appelée sphère chromatique qui utilise le codage $L^*a^*b^*$. Les dents naturelles occupent un espace en forme de rhomboïde, communément appelé « banane chromatique » (7,9,12).

La détermination de cet espace s'est faite par de nombreux relevés de couleur sur dents naturelles. Selon Joiner (20), les dents ont des valeurs de luminosité élevées, avec des variations importantes au sein même des études (notamment dans l'étude de Gozalo-Diaz et al. avec des valeurs de L^* qui vont de 38,0 et 89,5). Le paramètre a^* présente des valeurs faibles et varie peu. La fluctuation la plus importante est retrouvée dans l'étude de Zhao et Zhu avec des valeurs de $-8,07$ +9,21. La variable b^* , généralement supérieure à 6, varie très faiblement (20).



*Figure 10 Espace chromatique des dents naturelles dans le système CIE $L^*a^*b^*$ (document Vita TM)*

Le relevé de ces valeurs permet donc d'obtenir un rhomboïde que l'on peut définir dans les trois plans de l'espace, correspondant aux trois données, luminosité, saturation et teinte (7,9,12,14,15,22,24) :

- Cet espace est situé haut dans la sphère chromatique, ce qui signifie que les dents sont très lumineuses et il est relativement étiré dans le sens vertical (par rapport à l'axe neutre), ce qui correspond aux conséquentes variations de luminosités relevées au

niveau des dents naturelles, les dents jeunes se situant dans la partie haute et les dents âgées plutôt dans la partie basse.

- On remarque également que cet espace est étroit dans le sens transversal et proche de l'axe neutre : les dents naturelles sont peu saturées et ces variations sont faibles.
- Dans le plan horizontal, la banane se situe dans le cadran situé entre l'axe des rouges +a et l'axe des jaunes +b, ce qui donne une teinte jaune-orangée aux dents naturelles.

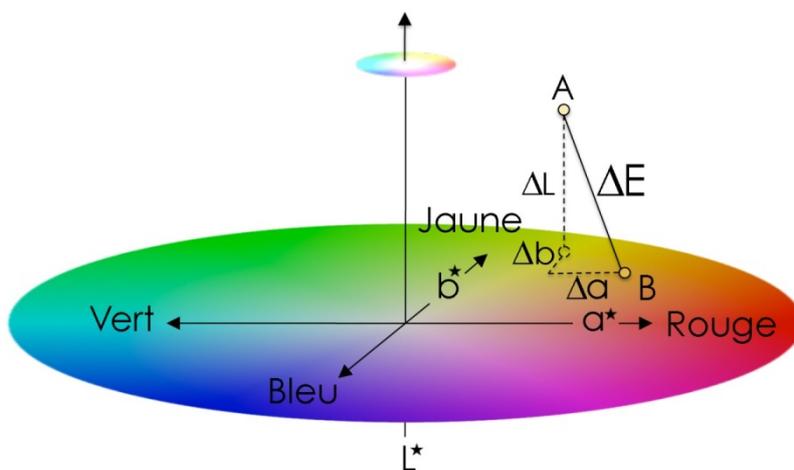
La partie supérieure de la banane, située plus près de l'axe vertical que la partie inférieure, permet de confirmer que les dents jeunes sont plus lumineuses et moins saturées que les dents âgées (7,9,15).

On peut conclure que la luminosité est le facteur le plus important dans le choix de la teinte d'une dent prothétique, car c'est le facteur qui présente le plus de variations. Viennent ensuite la saturation et finalement la teinte (7,9,12,19,25).

2.3.3. Comparaison des couleurs

Grâce au modèle CIE $L^*a^*b^*$ on peut donc quantifier arithmétiquement la différence entre deux couleurs par le calcul de la valeur ΔE qui est la distance qui sépare deux points de couleurs différentes dans la sphère chromatique. Elle correspond à la racine de la somme des carrés des différences entre les variables L^* , a^* et b^* (14,20,22,26) :

$$\Delta E = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2]^{1/2} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$



*Figure 11 Représentation dans l'espace chromatique CIE $L^*a^*b^*$ du calcul de la différence de couleur ΔE entre deux points colorés A et B (d'après Emmanuel d'Incau)*

Lors de la comparaison de couleurs, on peut obtenir une couleur apparente entre deux dents alors que leurs valeurs tridimensionnelles sont différentes (14). Ceci permet d'introduire les notions de seuil de discrimination et de seuil d'acceptabilité quantifiées grâce au ΔE . Le seuil de discrimination correspond à une différence de couleur détectée par 50% des observateurs tandis que le seuil d'acceptabilité correspond à une différence de couleur pour laquelle 50% des observateurs jugeront une restauration acceptable alors que 50% des observateurs décideront de la refaire (27,28).

Si on prend des conditions de colorimétrie très favorables, dans des conditions in vitro, on retrouve :

- Kuehni et Marcus (1979), comparent des échantillons de textiles enduits de peinture et trouvent un seuil de discrimination d'une valeur $\Delta E=1$, ce qui signifie que 50% des observateurs ne voient pas de différence de couleur pour un $\Delta E \leq 1$ (29).
- Seghi et al. (1989), comparent des disques de céramique et trouvent un $\Delta E=2$ (la totalité des observateurs voient une différence de couleur) (30).
- Ruyter et al. (1987), comparent des échantillons de résine et obtiennent une différence de couleur jugée inacceptable par 50% des observateurs pour un $\Delta E = 3,3$ (31).
- Ragain et al. (2000), comparent des disques de céramique translucide. Ils déterminent un seuil d'acceptabilité correspondant à un $\Delta E = 2.7$, soit que la différence de couleur est jugée comme inacceptable par 50% des observateurs (32).

Lors de la pratique clinique quotidienne, les conditions visuelles d'observation ne sont pas optimales et la teinte des dents ne saurait être réduite à la simple définition des paramètres de la couleur. Elle dépend également de la structure complexe de la dent. On retrouve ainsi des valeurs de ΔE et des seuils de discrimination plus élevés, comme on peut le voir dans des études menées in vivo :

- Johnston et Kao (1989) obtiennent un seuil de discrimination pour un $\Delta E = 3,7$ ce qui signifie que 50% des observateurs voient une différence clinique entre la couleur d'une dent et celle d'un échantillon d'un teinter pour un $\Delta E \geq 3,7$. Ils obtiennent un seuil d'acceptabilité de $\Delta E = 6,8$ soit que la différence de couleur est jugée comme inacceptable par 50% des observateurs pour un $\Delta E \geq 6,8$ (28).
- Douglas et al. (2007) ont réalisé des mesures des différences de couleurs entre dents en résine. Ils trouvent un seuil de discrimination pour un $\Delta E = 2,6$ et un seuil

d'acceptabilité $\Delta E = 5,5$, soit qu'à partir d'une différence de couleur de 5,5 50% des observateurs décident de refaire la restauration (33).

- Nabel Alghazali et al (2012) ont réalisé une étude semblable à la précédente et obtiennent un seuil de discrimination pour un $\Delta E = 1,9$ et un seuil d'acceptabilité pour un $\Delta E = 4,2$ (34).

Tableau 1 : regroupant les valeurs ΔE correspondant aux seuils de discrimination et d'acceptabilité in vitro et in vivo (35)			
Auteurs des études	Type d'étude	Seuil de discrimination	Seuil d'acceptabilité
Kuehni et Marcus (1979)	IN VITRO	1	
Seghi et al.(1989)		2	
Ruyter et al.(1987)			3,3
Ragain et al.(2000)			2,7
Johnston et Kao (1989)	IN VIVO	3,7	6,8
Douglas et al. (2007)		2,6	5,5
Alghazali et al (2012)		1,9	4,2

Ces études nous montrent que les seuils de discrimination sont significativement inférieurs aux seuils d'acceptabilité, c'est-à-dire que les praticiens présentent une certaine tolérance avant de refaire leurs restaurations prothétiques (34).

La définition de ces seuils de discrimination et d'acceptabilité va permettre d'objectiver les différences de couleur entre restaurations prothétiques et dents naturelles, donc de mettre en lumière les erreurs qui peuvent être commises lors du relevé de couleur.

2.4. Les caractéristiques optiques des dents naturelles

La définition odontologique de la couleur d'une dent ne peut se résumer aux trois variables que sont la luminosité, la saturation et la teinte. Le rendu visuel d'une dent dépasse l'analyse trichromatique et va avant tout dépendre de la nature stratifiée des tissus dentaires : l'organisation, la taille et la densité des cristaux amélaire ainsi que dentinaire mais également de la pulpe. Il en résulte des phénomènes optiques, que sont l'absorption, la transmission et la réflexion, ce qui nous permet d'ajouter sept dimensions supplémentaires à la description de la couleur des dents (7,9,12–14,18,19) :

- La **stratification** de l'émail et de la dentine va engendrer des effets de réflexion et de transmission optique.
- La **transparence** et la **translucidité** qui correspondent à la capacité d'un matériau à laisser passer tout (transparence) ou partie (translucidité) d'un rayon lumineux.
- L'**opalescence** : elle est due à la taille très fine des cristaux d'hydroxyapatite qui vont réfléchir les longueurs d'onde courtes en réflexion lumineuse, donnant un aspect bleuté à la dent et filtrer les longueurs d'onde courtes en transmission lumineuse, donnant un aspect rouge-orangé.
- La **fluorescence** qui correspond à la capacité d'un corps à émettre un rayonnement visible de longueur d'onde courte après avoir été soumis à un rayonnement ultraviolet non visible.
- L'**effet nacré** : c'est un effet de surface opaque et de brillance métallique importante, comparable à la nacre.
- La **texture de surface** que l'on appelle également micro-géographie va influencer le flux lumineux réfléchi et transmis.
- Les **caractérisations** : ce sont des particularités colorées, localisées, qui peuvent être acquises ou structurelles.

2.4.1. La dentine

La dentine est un tissu opaque, riche en plusieurs masses de teintes (dentine primaire, dentine secondaire, jonction amélo-dentinaire), assez saturée. Il est classiquement admis que la dentine donne la saturation et la tonalité chromatique (9,12). Cette saturation importante est due

à l'orientation, le nombre, la densité et le diamètre des tubulis qui vont entraîner une réflexion lumineuse et une absorption sélective. La dentine est ainsi principalement responsable de la luminosité de la dent qui sera ensuite modulée par l'épaisseur de la couche d'émail (10).

La couche dentinaire est également caractérisée par sa propriété de fluorescence ; celle-ci est croissante vers le bord cervical où la dentine est plus épaisse (9,12,36).

2.4.2. L'émail

L'émail présent à la surface de la dent, est caractérisé par sa translucidité qui est de 70% alors que celle de la dentine est de 40% (9,12,13,19). Plus la translucidité augmente, plus la luminosité baisse car une grande partie de la lumière pénètre la dent et une moindre quantité est réfléchi. Au niveau du bord incisal, la couche d'émail est épaisse et la translucidité y est très importante associée à une faible luminosité. C'est dans cette zone là que l'on relève la teinte de l'émail. En se rapprochant du bord cervical, la couche d'émail diminue et la teinte est principalement due à la dentine sous-jacente, qui sera elle plutôt relevée à la jonction du 1/3 cervical et du 1/3 médian (9,10,12,14,19).

L'émail va également être responsable des effets d'opalescence retrouvés au niveau du bord incisif, chez des personnes jeunes(12,13,18).

2.4.3. La pulpe (37,38)

La pulpe vivante a une influence négligeable dans la teinte de la dent. Néanmoins, son retrait lors du traitement endodontique peut amener de grandes variations chromatiques. De couleur rouge sombre, son volume diminue avec l'âge ainsi que son impact sur la couleur de la dent.

Pour résumer :

-La dentine détermine la saturation et la teinte, qui augmentent en allant vers le collet

-La translucidité est principalement déterminée par l'émail, elle augmente en allant vers le bord incisif

-Les variations de luminosité sont le résultat de l'épaisseur de la couche d'émail, fine en cervical et épaisse au bord libre

-La couleur d'une dent ne peut se résumer à une seule donnée, d'où la nécessité de réaliser une cartographie colorimétrique de la dent : (38)

- Le 1/3 incisif : présence essentielle d'émail où la translucidité est maximale associée à une faible luminosité
- Le 1/3 moyen : faible prédominance de la dentine par rapport à l'émail. C'est dans cette zone que l'on mesure la couleur moyenne de la dent
- Le 1/3 cervical : épaisseur d'émail faible avec expression dominante de la couleur de dentine

-On peut donc dire que « la dentine est la couleur de la dent et l'émail est le modulateur de couleur » (39).

2.4.4. Dents jeunes et dents âgées

Sur une dent ayant récemment fait son éruption, les couches superficielles d'émail sont très opaques (18). Ces couches apparaissent fréquemment comme si elles étaient recouvertes de givre. On dit qu'elles ont un aspect « laiteux ». La faible translucidité de l'émail des dents jeunes s'explique par deux phénomènes conjoints :

- Le niveau de minéralisation de l'émail : moins l'émail est minéralisé, plus il est poreux, plus la lumière sera réfléchiée et moins il y aura de transmission lumineuse (18,39).
- L'épaisseur de la couche d'émail qui est importante sur une dent jeune. Ainsi la saturation d'une dent jeune, en relation avec la dentine, sera plus faible à cause de l'effet masquant de la couche d'émail.

Les dents jeunes ont un émail très lumineux du fait de la réflexion importante de la lumière qui

se produit et de l'épaisseur de la couche d'émail. Un émail opaque confère une couleur blanche, est plus réfléchissant et plus lumineux contrairement à un émail translucide qui va conférer une couleur grise (39).

L'état de surface est également un élément qui va modifier la sensation colorée que l'on a d'une dent. Sur une dent jeune il est marqué, avec des fossettes, des périchématies et un aspect généralement brillant. Sur une dent âgée, ces irrégularités sont progressivement effacées par l'usure abrasive et érosive, la dent prend alors un aspect « émoussé luisant » (9,12).

Entre la zone incisale de la dentine et celle de l'émail, on trouve une zone intermédiaire de translucidité marquée : très importante sur les dents jeunes et pratiquement inexistante sur les dents plus âgées dû à l'usure occlusale et à la diminution de l'épaisseur de la couche d'émail. C'est dans cette zone que se produit le phénomène d'opalescence (39).

Avec l'âge, une usure physiologique des couches superficielles de l'émail peut être observée. Les couches d'émail sous-jacentes qui sont plus minéralisées vont apparaître. Cet émail est plus translucide et va rendre la dentine plus visible : la saturation dentinaire commence à prendre le dessus sur la luminosité de l'émail (18).

Au niveau de leur couleur, les dents deviennent plus sombres et plus jaunes (40-43). Ce changement peut être attribué à plusieurs facteurs concomitants notamment la diminution de l'épaisseur de la couche d'émail, l'usure occlusale. Le remplacement progressif de la dentine primaire par de la dentine secondaire qui forme une couche plus épaisse, associé à une diminution du volume de la chambre pulpaire (40,41,43). La dentine secondaire est plus dure, moins perméable et de couleur plus sombre. La saturation de la dent est d'autant plus importante que l'on observe un dépôt amorphe de pigments organiques et inorganiques qui passent à travers l'émail et se déposent au niveau de la jonction amélo-dentinaire (41). Cette augmentation de la saturation s'observe sur toute la dent sauf au niveau proximal et incisal où la dent reste assez translucide (39).

D'autres variables comme les habitudes alimentaires, le tabac, les déficiences en vitamines, le niveau de fluoration de l'eau ou la consommation de drogues et de médicaments sont à prendre en compte dans l'évolution de la couleur des dents avec l'âge (41).

Plusieurs études s'intéressent aux variations de couleur des dents avec l'âge en étudiant les paramètres $L^*a^*b^*$ et $L^*C^*h^\circ$:

- Haralur SB et al (41) ont étudié la relation entre l'âge, la couleur des dents et la couleur de la peau sur un échantillon de 225 personnes d'Arabie Saoudite. Ils obtiennent une diminution linéaire de L^* avec l'âge et des valeurs de a^* et b^* qui augmentent.
- Gomez Polo C et al (43,44) ont menés deux études portant sur la corrélation entre la couleur naturelle des dents et l'âge dans la population espagnole sur un échantillon de 1361 personnes. Ils obtiennent une augmentation de C , b^* et a^* de 0.60, 0.56 et 0.26 unités par an et une diminution de L^* et h^* de 0.60 en moyenne.
- Hasegawa A et al (42) ont réalisé une étude sur la couleur et la translucidité d'incisives centrales en in vivo. Les auteurs trouvent une corrélation négative linéaire pour L^* (diminution linéaire de L^* avec l'âge) au niveau du centre de la dent et de la zone cervicale, mais aucune corrélation concernant la zone incisale. Pour a^* , aucune corrélation n'est retrouvée avec l'âge sauf au niveau incisal où on retrouve une corrélation positive. Ce qui peut être attribué à l'usure occlusale qui se produit à long terme. Pour b^* , ils retrouvent une corrélation positive au niveau de tous les sites : les dents jaunissent avec l'âge.

Toutes ces études s'accordent pour montrer que la luminosité des dents diminue avec l'âge. La valeur de L^* est celle qui est le plus fortement corrélée à l'évolution de la teinte des dents avec l'âge. L'augmentation de a^* montre que les dents obtiennent une composante rouge plus importante et l'augmentation de b^* traduit l'augmentation du caractère jaune des dents.

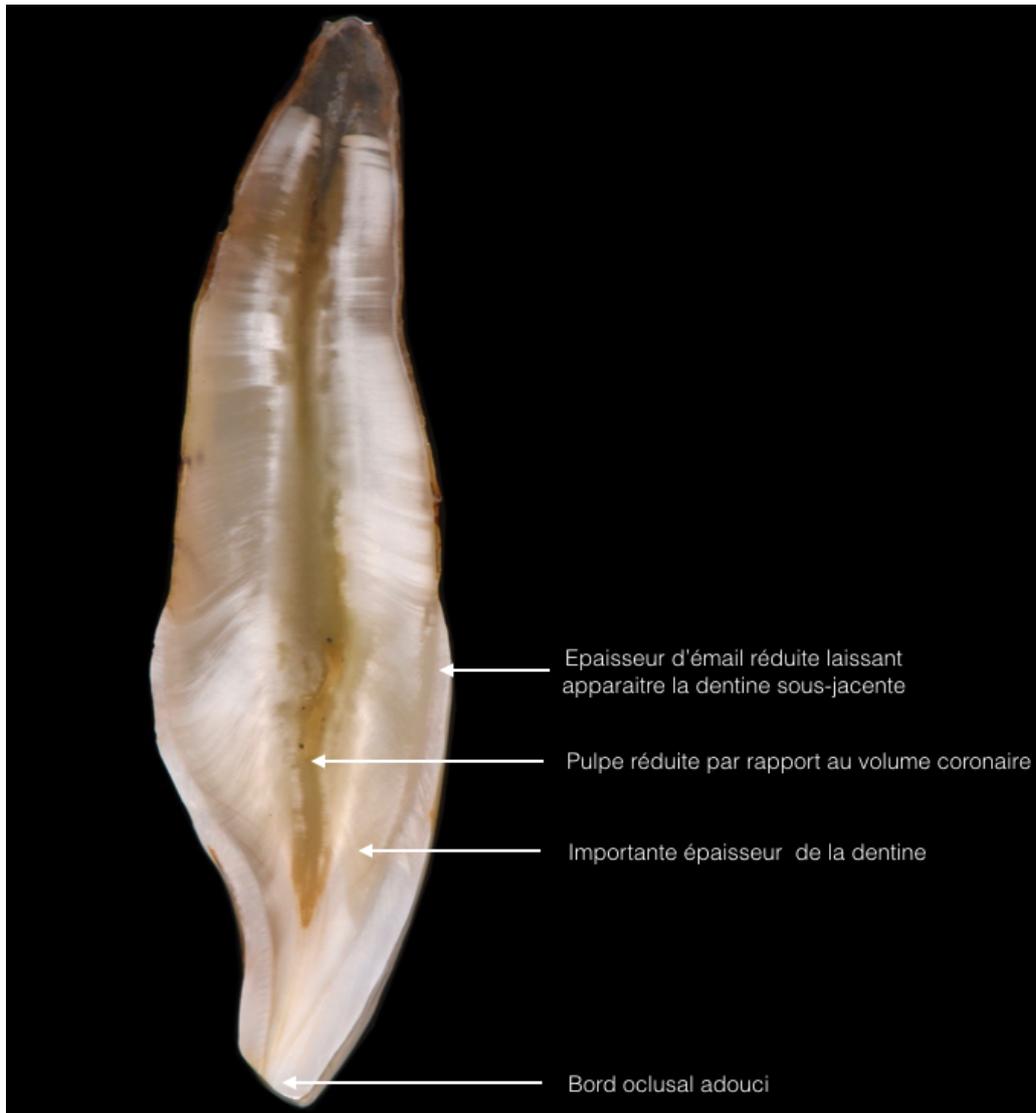


Figure 12 Coupe d'une incisive centrale d'un sujet d'âge moyen (entre 50 et 60 ans)

Pour résumer : (9,12)

-les dents jeunes sont lumineuses, ont une teinte claire, une saturation faible et une microgéographie de surface marquée avec un aspect brillant.

-les dents âgées perdent en luminosité, ont une teinte jaune-orangée avec une saturation importante. La surface devient lisse avec un aspect « émoussé luisant ».

2.5. Le relevé de la couleur des dents

Les chirurgiens-dentistes sont quotidiennement confrontés au relevé de la couleur des dents naturelles lors de restaurations de cavités au composite, d'onlays, de couronnes céramique, de facettes ou de prothèses amovibles (17,45). Cet acte anodin s'avère complexe car il dépend de nombreux facteurs tels que l'environnement, le type d'éclairage, l'âge, la capacité visuelle et l'expérience de l'observateur ce qui rend la procédure très variable d'un praticien à l'autre (45). A ce titre, de nombreux systèmes d'aide au choix de la couleur ont été développés : des simples teintiers aux colorimètres et aux spectrophotomètres, peu utilisés par la profession (46).

2.5.1. Le relevé visuel ou choix subjectif de la couleur

Il s'agit de la technique la plus simple et la plus ancienne, qui consiste à comparer visuellement différents échantillons d'un teintier à la dent naturelle qui doit être reproduite (14). Le relevé visuel doit être réalisé au début du rendez-vous afin de limiter le phénomène de déshydratation des dents et sur des zones préalablement nettoyées (13,27). Il doit avoir lieu en quelques secondes pour éviter les phénomènes d'accommodation. Il peut être nécessaire de faire une pause d'une dizaine de secondes entre chaque observation afin de limiter la fatigue oculaire (46).

Les conditions idéales pour effectuer l'enregistrement de la couleur est en lumière naturelle, avec une exposition solaire indirecte, en fin de matinée avec un ciel idéalement nuageux (12). Ces conditions étant rarement toutes réunies, on va à défaut, utiliser un éclairage artificiel de type « lumière du jour » défini par l'éclairement (intensité de l'éclairage ambiant) qui doit être de 2000 lux, la température de couleur (longueur d'onde moyenne de l'éclairage ambiant) qui doit s'approcher de 6500°K et l'indice de rendu de couleur (IRC), correspondant à la mesure de la totalité du spectre lumineux, qui doit être supérieur à 93 (12,18,45). La lumière incidente doit contenir l'ensemble des ondes lumineuses visibles pour que la dent observée puisse réfléchir une partie du spectre (13). Le scialytique doit être éteint car son éclairage est trop intense (20 000 lux), ce qui efface les couleurs et sa température de couleur d'environ 4 000°K dévie les couleurs vers l'orange (13).

L'environnement lumineux peut être responsable des effets de métamérisme : c'est le phénomène physique par lequel deux objets apparaissent identiques sous une certaine lumière et vont apparaître différents sous un autre éclairage. Cet effet est directement lié à la distribution

spectrale de la source lumineuse. Pour limiter les effets de métamérisme, on peut utiliser un éclairage lumière du jour dit équilibré (T° de couleur 6500°K , éclairement de 2000 lux et IRC=100). Cet éclairage permet une meilleure différenciation des couleurs et ne brûle pas les cellules rétinienne qui ne travaillent plus à partir d'une intensité lumineuse supérieure à 4 000 lux (13,18).

Cet acte doit être effectué dans un environnement coloré neutre. Mieux vaut choisir des murs, des surfaces de travail et un linge pour recouvrir le patient de gris clair. C'est une couleur neutre qui n'a pas de complémentaire ce qui permet de reposer les cônes. Il faut également veiller à supprimer les couleurs interférentes telles que le rouge à lèvres ou un maquillage vif (13,18,45). Le relevé visuel est subjectif et dépend de la physiologie et du vieillissement de l'œil de l'observateur, d'éventuelles dyschromatopsies (8% de la population, avec une prédominance pour le sexe masculin (45)) et de l'expérience du praticien (12,13,20,46–50).

Parmi les teintiers, on va différencier ceux construits par famille de teinte (Vitapan Classical[®] de Vita, Chromascop[®] d'Ivoclar-Vivadent[™]) et ceux construits par groupe de luminosité (Toothguide 3D-Master[®] de Vita[™], Linearguide 3D-Master[®] de Vita[™]) (12,51). Le Vitapan Classical[®] est le plus répandu dans les cabinets dentaires, or il présente de nombreuses limites. Les échantillons sont classés en quatre groupes de teinte, de A à D et au sein de chaque groupe les modèles augmentent en saturation. Il n'existe aucune prise en compte de la luminosité dans ces teintiers (46). Or la luminosité est le facteur primordial dans la réussite d'une dent artificielle.

C'est ainsi que les teintiers Toothguide 3D-Master[®] et le Linearguide 3D-Master ont vu le jour. Ils sont actuellement les seuls teintiers présents sur le marché à privilégier la luminosité dans le choix de la couleur. Ces deux teintiers comportent 26 échantillons répartis scientifiquement selon les données $L^*C h^{\circ}$. La priorité est donnée à la luminosité, suivie de la saturation et enfin de la teinte (12,52). Les échantillons contenus dans le Toothguide et le Linearguide sont identiques. Ces teintiers ne diffèrent que par le nombre d'étapes nécessaires pour choisir la couleur. Le Linearguide 3D-Master[®] permet de faciliter l'étape du choix de la luminosité car seul un échantillon (le M2, qui correspond à la teinte médium et à la saturation médium) de chaque groupe de luminosité est présent. Il est ainsi plus facile de percevoir de larges différences de couleur parmi les barrettes M2 et de travailler avec moins d'échantillons. De plus, l'agencement linéaire des échantillons est beaucoup plus familier à la profession (46,53).

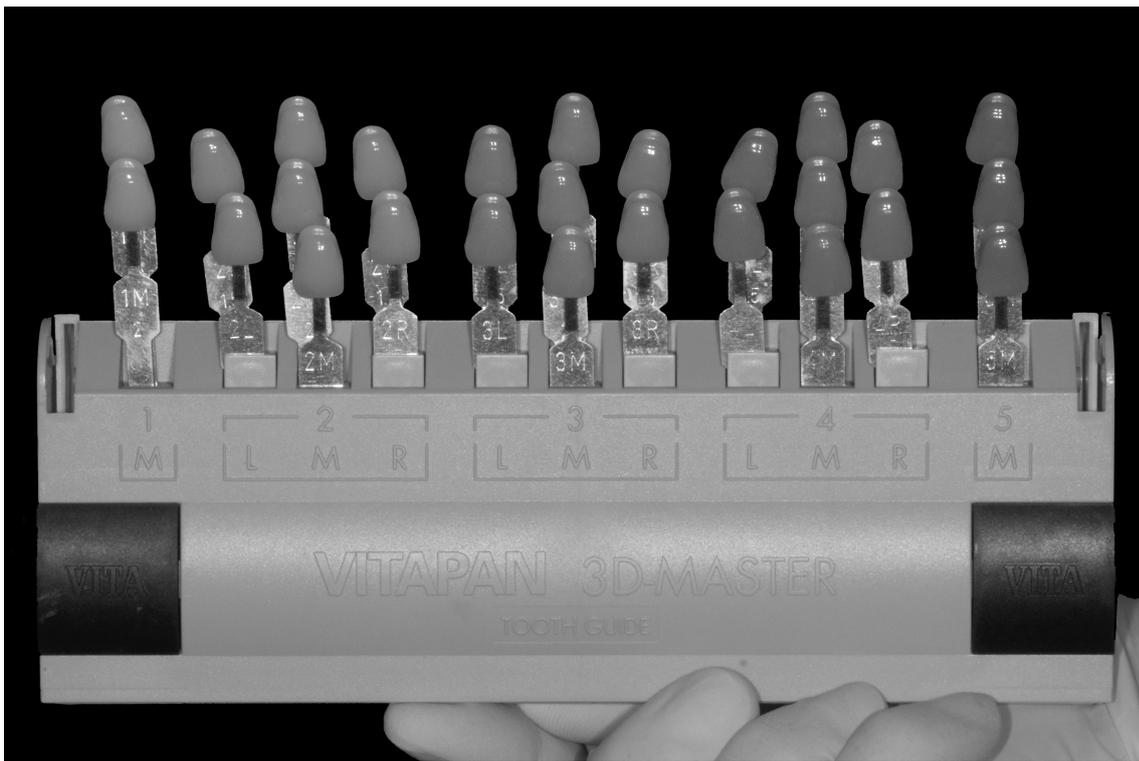


Figure 13 Teintiers Toothguide 3D-Master[®] (droite) et le Linearguide 3D-Master[®] (gauche) de Vita[™] et teintier Toothguide 3D-Master[®] avec échantillons rangés par ordre de luminosité décroissante de gauche à droite

Les étapes de sélection de la couleur à l'aide du teintier Vita Toothguide 3D-Master[®] : (14,46)

- 1. Détermination de la luminosité :** les échantillons sont répartis en 5 groupes (plus le groupe 0 « bleach » pour les éclaircissements) de luminosité décroissante de 4% de gauche à droite. Elle doit être rapide, entre 5 et 7s, pour éviter la saturation des bâtonnets et on part de la droite, groupe le moins lumineux, vers la gauche.

2. **Détermination de la saturation** : l'observateur saisit la barrette centrale M (médium) du groupe de luminosité choisi et on va sélectionner la saturation verticalement entre 1 (moins saturé) et 3 (plus saturé).
3. **Détermination de la teinte** : la dernière étape consiste à choisir entre le sous-groupe de gauche L pour des teintes jaunes, celui du milieu M pour des teintes médium ou celui de droite R pour des teintes rouges.

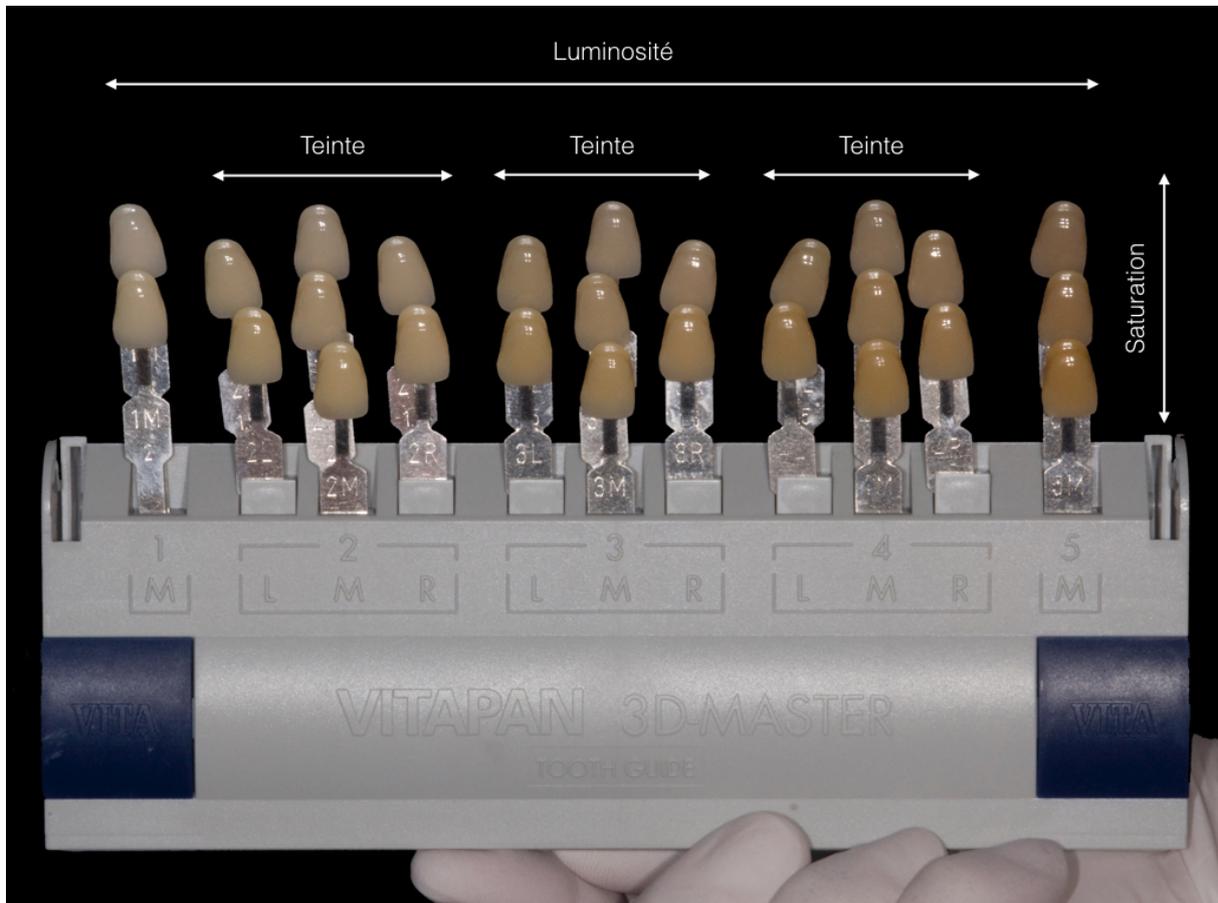


Figure 14 Organisation du teintier Toothguide 3D-Master® en vue d'optimiser le choix de la couleur selon les 3 dimensions fondamentales: luminosité, saturation et teinte

Le Linearguide 3D-Master® est une simplification du Toothguide 3D-Master® puisqu'il ne comprend que 2 étapes : la luminosité est déterminée parmi les 6 échantillons classés dans le même ordre que le précédent. Dans un second temps, l'observateur saisit la barrette correspondant à la luminosité sélectionnée et choisit simultanément la saturation et la teinte (14,53).

Les données sont collectées au niveau du bord libre, du cœur et du collet et sont annotées sur un schéma précis de la dent où le praticien ne manquera pas d'ajouter les informations sur l'état de surface, la translucidité, les caractérisations et les effets d'opalescence. Dans ce cadre, la macrophotographie apparaît comme une aide précieuse à la transmission des informations au laboratoire de prothèse (12,13).

Les teintiers présentent de nombreux avantages. Ils sont faciles d'utilisation, le protocole est rapide et ils représentent une référence commune avec le laboratoire de prothèse ce qui facilite la communication et donc la description de la couleur de la dent (10,20).

Malgré la réelle avancée que représentent les teintiers Toothguide 3D-Master[®] et le Linearguide 3D-Master[®] par rapport aux teintiers classés par groupe de teinte, une étude (54) a montré que la répartition des échantillons de ces teintiers n'était pas aussi régulière dans l'espace chromatique que le suggère le fabricant même si elle est meilleure. Cliniquement, le ΔE correspond à la distance chromatique entre la couleur de la dent et la couleur de l'échantillon retenu. Il doit être le plus faible possible sachant que l'œil humain perçoit difficilement des $\Delta E < 2$. On obtient de telles valeurs dans seulement 1/3 des cas ce qui montre que les teintiers sont encore à améliorer pour relever une couleur (55).

2.5.2. Le relevé visuel assisté

Il s'agit d'une méthode intermédiaire entre le relevé visuel et le choix purement instrumental. Elle reste subjective car opérateur-dépendante mais elle permet d'éliminer certains biais inhérents au choix visuel (12).

- Les caméras : il en existe plusieurs disponibles sur le marché mais seulement deux peuvent être utilisées dans le choix de la teinte (56). Il s'agit de la caméra intra-orale Sopro 717[®] qui n'est plus influencée par la lumière environnante du cabinet mais seulement par l'éclairage LED contenu dans la tête. L'image obtenue est reportée sur le moniteur et agrandie ce qui facilite la comparaison (12). On trouve également la trios[®] 3 Shape[™] qui associe l'empreinte numérique en couleur, la prise de teinte et les photos (57).
- Les lampes d'éclairage calibré : il s'agit de lampes LED qui émettent un spectre continu de température de couleur située entre 5000 et 6500°K ce qui permet de standardiser

l'environnement lumineux et donc d'obtenir des conditions d'observation reproductibles. On en trouve plusieurs sur le marché notamment le Trueshade[®] d'Optident[™] ou le Smile Lite[®] de Smile Line[™] (56).

- La photographie numérique : elle permet l'enregistrement des données colorimétriques et leur transmission au technicien de laboratoire. Les limites se situent dans les caractéristiques optiques et électroniques des appareils et dans l'expérience de l'utilisateur (46).

2.5.3. Le relevé instrumental ou choix objectif de la couleur

Le choix de la couleur grâce aux teintiers se fait par l'analyse visuelle comparative et peut être perturbé par de nombreux facteurs. Des instruments ont donc été développés pour quantifier numériquement ces dimensions et réduire la subjectivité et les imprécisions des procédés visuels ce qui permet une définition scientifique et objective de la couleur. Actuellement une dizaine d'appareils sont présents sur le marché et peuvent être classés en deux catégories : les colorimètres et les spectrophotomètres qui malgré leurs principes de fonctionnement différents, ont une utilisation identique (12,51,56).

2.5.3.1. Les colorimètres

Les colorimètres mesurent la couleur d'un objet par un procédé optique qui relie le flux lumineux réfléchi (émis par une source lumineuse unique) aux composants colorimétriques (rouge, vert, bleu). La lumière réfléchie par la dent passe au travers de 3 filtres rouge, vert et bleu, derrière lesquels 3 photo-diodes mesurent l'intensité du rayonnement reçu. Les 3 mesures sont ensuite combinées en un résultat unique. La couleur mesurée est définie par ses coordonnées trichromatiques et les résultats sont le plus souvent indiqués selon le système $L^*a^*b^*$ (12,14,51,56,58).

Les mesures obtenues sont moins précises qu'un spectrophotomètre et plus sensibles à l'altération de la source lumineuse. L'appareil doit donc être étalonné sur du blanc avant chaque mesure pour compenser le vieillissement de la lampe source (51).

On retrouve des instruments donnant une mesure ponctuelle ou en 3 points de la dent (Shade-X[®] de X-Rite[™]) alors que d'autres réalisent une véritable cartographie 3D de la dent qui tient compte de la luminosité, de la saturation et de la teinte (Shade Vision[®] de X Rite[™]) (14,56).

2.5.3.2. Les spectrophotomètres

Un spectrophotomètre est composé de trois éléments principaux : une source lumineuse, qui est une lumière polychromatique visible, un dispositif qui oriente la lumière émise et absorbe le flux lumineux réfléchi ou transmis par l'objet mesuré et un spectromètre qui détermine l'intensité de la lumière reçue. Ils effectuent une mesure spectrale, c'est-à-dire non limitée au rouge, vert et bleu comme les colorimètres. Les sources lumineuses sont variables, xénon, halogène-tungstène. Au cours de la mesure, le spectre réfléchi est mesuré en de très nombreux points situés à intervalles faibles et comparé à une base de donnée pour en déduire la couleur de la dent, exprimée selon le codage CIE $L^*a^*b^*$. Pour une seule mesure, plusieurs millions de points de référence sont analysés sur une dent.

Ces appareils sont les plus précis existant à ce jour, ils ne sont pas soumis au problème du vieillissement de la source lumineuse. Ils nécessitent un étalonnage sur une pastille de céramique avant chaque mesure. Cette pastille correspond à la base de données de référence à laquelle seront comparées les valeurs du flux lumineux réfléchi pour en déduire les valeurs de couleur de la dent mesurée (12,51,56,58).

Parmi ces appareils, nous nous intéressons à l'Easyshade[®] Advance 4.0 de Vita[™]. Il se compose d'une pièce à main comportant un capteur de 5 mm de diamètre et d'une borne d'étalonnage sur laquelle se trouve une pastille de céramique de référence. La mesure peut être effectuée en un point au niveau de la zone médiane ou en trois points (zone incisale, zone médiane, zone cervicale). Le capteur doit être placé correctement sur la surface dentaire à étudier, le plus perpendiculairement possible, car des erreurs de positionnement vont fausser de manière importante la mesure. La lumière source émise grâce à des LED blanches haute puissance est de type D65 correspondant à une température de couleur d'environ 6500°K ; les plages de longueurs d'ondes émises s'étendent de 400 à 700 nm ; sa résolution spectrale (capacité à distinguer deux longueurs d'ondes différentes) est de 25 nm. L'Easyshade[®] comporte 3 spectromètres différents : l'un sert à contrôler la puissance de la source lumineuse lors de l'étalonnage et de la mesure et les deux autres vont mesurer la dispersion de la lumière au sein de la substance dentaire. Chaque spectromètre possède des récepteurs distincts, situées à des distances différentes de la source lumineuse, ce qui permet des mesures à des profondeurs différentes des dents dont on veut connaître la couleur. Les dents sont translucides et brillantes donc le faisceau lumineux sera en partie réfléchi par la dent, c'est la réflexion spectrale, et en partie absorbé puis renvoyé, c'est la réflexion diffuse. La réflexion spectrale ne contient que

très peu d'informations de couleur car le faisceau lumineux est très peu voire pas absorbé et la lumière réfléchiée va donc présenter la même couleur que la source de lumière. La lumière émise doit donc pénétrer sur une épaisseur suffisante de tissu dentaire, traverser l'émail jusqu'à la dentine, de 0,7 mm minimum, pour subir les phénomènes d'absorption, diffraction, dispersion et produire la réflexion diffuse. Avec un épaisseur insuffisante la lumière réfléchiée serait trop blanche et ne correspondrait pas à la couleur réelle de la dent. L'Easyshade[®] ne capte pas la réflexion spectrale (d'après un document Vita (59)).

Les données recueillies sont converties selon les références des teintiers Vitapan Classical[®] et 3D-Master[®] ainsi qu'en valeurs L*a*b*, C et h°. Le ΔE entre la couleur mesurée et l'échantillon de teintier le plus proche est également renseigné. Cet appareil est plus simple que les autres spectrophotomètres, il fonctionne sans ordinateur et ne comporte pas de logiciel de communication avec le laboratoire de prothèse (12,56,60). Le Vita Easyshade V[®], qui est une évolution du l'Easyshade[®] Advance 4.0, est l'appareil le plus précis existant à ce jour.

Les performances de l'Easyshade[®] de Vita[™] ont été évaluées par Kim-Pusateri et al. (61) selon deux critères :

- La **fidélité** (= précision, fiabilité, « reliability » en anglais) : elle définit la dispersion des résultats. C'est le fait d'obtenir des résultats en accord après des mesures répétées du même objet. Un instrument fiable donne des mesures peu dispersées même si elles sont éloignées de la valeur vraie.
- La **justesse** (« accuracy » en anglais) : c'est la capacité d'un instrument à donner des résultats dont la moyenne est proche de la valeur vraie mais qui peuvent être dispersés entre eux.

On définit ainsi l'**exactitude** qui est l'aptitude à donner des mesures fidèles et justes (14,61).

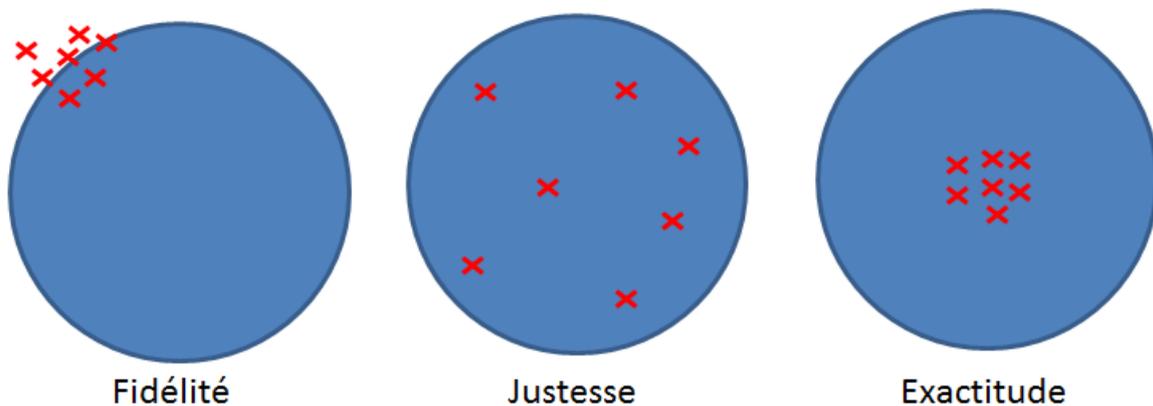


Figure 15 Fidélité, Justesse et Exactitude (d'après la thèse d'Adrien Boucher)

Les études montrent que l'Easysshade[®] de Vita[™] est le seul spectrophotomètre de mesure de la couleur des dents présentant une fiabilité (96,4%) et une justesse (92,6%) supérieures à 90%, ce qui en fait l'instrument le plus précis (61,62).

Chen et Al. ont effectué une revue systématique de littérature sur les études qui comparent les méthodes visuelles aux méthodes instrumentales pour les relevés de couleur. Ils en concluent que les méthodes instrumentales qui utilisent des spectrophotomètres permettent d'obtenir les résultats les plus fiables et les plus justes (63). Néanmoins Gomez-Polo et al. ont comparé les correspondances de luminosité, saturation et teinte entre les relevés visuels et instrumentaux sur 1361 incisives centrales maxillaires et c'est pour la luminosité que les 2 méthodes sont les plus proches (25). Il faut donc voir ces deux procédés de relevé de couleur comme complémentaires, qui se doivent d'être combinés pour compenser au maximum les biais l'un de l'autre (64).

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes de mesure de la couleur (12,51)		
Méthode	Avantages	Inconvénients
Visuelle par teintiers	<ul style="list-style-type: none"> -coût faible -transportable -utilisation facile -2D ou 3D selon le teintier 	<ul style="list-style-type: none"> -subjective par l'évaluation visuelle dépendante de l'environnement et de l'éclairage ambiant
Visuelle assistée par caméra intra-orale	<ul style="list-style-type: none"> -indépendance de l'éclairage ambiant -conservation du teintier habituel -agrandissement de la dent sur un moniteur -logiciel de communication avec le laboratoire avec saisies de photographies numériques -très bonne qualité de l'image -coût modéré 	<ul style="list-style-type: none"> -subjective par l'évaluation visuelle -mauvaise accessibilité aux dents postérieures -nécessite un moniteur TV ou un ordinateur -choix comparatif limité à la teinte de base de la dent
Instrumentale par colorimètres ou spectrophotomètres	<ul style="list-style-type: none"> -objective :ne dépend plus de l'œil, de l'environnement et de l'éclairage -plus rapide -possibilité selon les appareils d'analyse 3D et de cartographie couleur -logiciels sophistiqués de communication avec le laboratoire avec les appareils les plus évolués -contrôles possibles au laboratoire 	<ul style="list-style-type: none"> -coût élevé -apprentissage à la manipulation long -sensible aux erreurs de positionnement de l'embout -mesure ponctuelle de la teinte de base en spot central pour plusieurs appareils -encombrant et mauvaise accessibilité aux dents postérieures -nécessitent souvent un ordinateur

2.6. Déshydratation et couleur des dents

Lors des soins, les dents vont être soumises au phénomène de déshydratation, ce qui va entraîner des modifications de leurs propriétés optiques. Une dent déshydratée va apparaître plus lumineuse (augmentation significative du paramètre L^*) (27,65–67). En effet, lors de ce phénomène, l'eau contenue entre les prismes d'émail va se déplacer pour être remplacée par de l'air. L'indice de réfraction de l'émail est de 1.62, celui de l'eau est de 1.33 et celui de l'air est 1.00. On aura une plus grande différence d'indice de réfraction au niveau de l'interface émail-air qu'au niveau de l'interface émail-eau, ce qui entraîne une plus grande dispersion de la lumière dans l'émail et donc une augmentation de l'opacité de la dent conduisant à une augmentation de la réflexion lumineuse (11,18,21,27,67). L'augmentation d'opacité de l'émail va légèrement masquer la dentine sous-jacente : la dent apparaît plus claire (27).

Ce phénomène est réversible et les dents retrouvent leur couleur initiale avec un temps différent selon les auteurs : 30 min pour Russel et Al (18). Pour Burki et Al, L^* retrouve une valeur proche de la valeur initiale à 30 min mais il faut attendre un peu plus pour a^* , b^* , C et h° (27). Le même fait est observé dans les fluoroses, les MIH (Hypominéralisation Molaire-Incursive) et les hypominéralisations de l'émail (67,68). Les études sur l'éclaircissement des dents reconnaissent également que la déshydratation est une cause probable de l'augmentation immédiate de luminosité (27,69).

Lors des soins, la présence de l'aspiration, les empreintes, la mise en place de la digue ou même la simple isolation du champ opératoire avec des cotons salivaires, vont entraîner la dessiccation dentaire. Ainsi, il est recommandé d'effectuer la prise de teinte au tout début du rendez-vous mais il existe peu de références qui vont dans ce sens dans la littérature (11,65).

Burki et Al (27) ont quantifié le changement de couleur des dents lorsqu'elles se déshydratent, puis lors de leur réhydratation sur une population d'âge hétérogène (de 25 à 57 ans). Partant de cette observation, deux études ont été menées en parallèle. La première, réalisée en 2015 (35) observe le phénomène de déshydratation sur des patients âgés de moins de 30 ans. La deuxième, l'objet de ce travail, aura pour but de compléter la première en étudiant des patients dont l'âge est supérieur à 50 ans. Une conclusion viendra enfin synthétiser, au travers des deux expérimentations réalisées, les différences observées entre les groupes étudiés.

3. Expérimentation

3.1. Objectifs

-Evaluer le changement de couleur des dents suite à une déshydratation et la durée nécessaire pour un retour à la couleur initiale après réhydratation chez le patient âgé (plus de 50 ans).

-Evaluer si les variations de couleur sont plus ou moins importantes en fonction :

- Du genre : hommes / femmes
- De la localisation : 3 sites dentaires (collet, corps et bord libre).
- De l'âge : comparer les résultats obtenus dans la même étude réalisée chez les moins de 30 ans (35).

3.2. Matériel et méthode

Une approbation éthique a été obtenue par le comité de protection des personnes du CHU du Sud-Ouest afin de pouvoir réaliser cette étude expérimentale.

3.2.1. Analyse spectrophotométrique

3.2.1.1. Population

L'étude a été réalisée auprès de 20 sujets volontaires (10 hommes et 10 femmes, sex ratio = 1), dont l'âge se situait entre 50 et 64 ans. La moyenne d'âge des femmes était de 57,8 ans, celle des hommes de 55,5 ans et la moyenne d'âge globale était de 56,65 ans.

Nous avons étudié 10 incisives centrales maxillaires droites (5 sur des femmes et 5 sur des hommes) et 10 incisives centrales maxillaires gauches (5 sur des femmes et 5 sur des hommes) afin d'avoir un ratio = 1.

3.2.1.2. Méthode

L'étude a consisté à mesurer la couleur d'une des deux incisives centrales maxillaires des candidats sélectionnés en utilisant le spectrophotomètre Vita Easysshade Advance 4.0[®] avant déshydratation ($t=0$), et après la mise en place d'un champ opératoire sur la dent sélectionnée à 3, 6, 9, 12, 15, 20 et 30 min (période de dessiccation de la dent). Les données ont ensuite été

recueillies après dépose du champ opératoire toutes les 10 minutes pendant 30 minutes (période de réhydratation).

Les relevés ont été effectués au niveau de 3 zones de la couronne dentaire : zone cervicale (collet), médiane (corps) et incisale (bord libre).

Les données ont été collectées selon le codage CIE L*a*b, C*, h°.

3.2.1.3. Critères d'inclusion

Les incisives centrales maxillaire gauche ou droite (11 ou 21) sélectionnées doivent être vitales, intactes, non restaurées et n'ayant pas subi de traumatismes ni de traitement d'éclaircissement. Les patients sélectionnés ont plus de 50 ans afin d'étudier les variations de couleur qui se produisent sur des dents âgées pour lesquelles l'épaisseur d'émail est réduite et la taille de la chambre pulpaire est diminuée.

3.2.1.4. Critères d'exclusion

- Patients de moins de 50 ans
- Présence de restauration conservatrice ou prothétique
- Présence de traitement d'ODF : brackets, colles résiduelles, contention orthodontique
- Présence de phénomènes d'usure pathologique
- Présence de pathologies parodontales : gingivite avec gencive œdématisée érythémateuse, parodontite avec perte d'attache et dénudement radiculaire
- Présence de pathologies salivaires : hyposialie, sécheresse buccale, xérostomie, syndrome de Gougerot Sjögren
- Présence d'anomalies de structure : MIH, amélogénèse imparfaite
- Mauvaise hygiène bucco-dentaire : présence de plaque et de tartre en quantité importante

3.2.1.5. Déroulement de l'expérimentation pour chaque candidat

Lors de la première séance, l'ensemble du protocole de l'étude a été expliqué au candidat et un consentement oral a été obtenu.

Le protocole s'est déroulé en 2 étapes :

- Confection des guides de repositionnement du spectrophotomètre Vita Easyshade Advance 4.0[®]
- Relevé de couleur 3 zones au cours de la dessiccation et de la réhydratation de la dent

3.2.1.5.1. Confection des guides de positionnement

Afin d'assurer un positionnement fiable et reproductible du spectrophotomètre lors des mesures, 3 guides de repositionnement ont été confectionnés pour chaque dent testée, chacun présentant un orifice circulaire qui diffère par sa position pour chaque zone étudiée (cervicale médiane et incisale).

Pour ce faire, après examen clinique et validation des critères d'inclusions, 3 empreintes de l'arcade maxillaire ont été réalisées pour chaque patient à l'aide d'un porte-empreinte perforé et d'alginate comme matériau d'empreinte. Ces empreintes ont été coulées afin d'obtenir 3 modèles en plâtre (Fuji rock[®] EP GC[™], plâtre type 4). Une plaque de Polychlorure de vinyle (PVC) rigide thermoformable (Thermo Form Hard Bite) de 1mm d'épaisseur, utilisée habituellement pour la réalisation de gouttières occlusales, a été thermoformée sur chacun des moulages, puis découpée afin d'englober la dent étudiée ainsi que les dents adjacentes jusqu'aux canines pour assurer la stabilisation et la reproductibilité de la gouttière in situ. Les limites périphériques se situent légèrement en deçà du collet pour ne pas interférer avec la gencive marginale. Chacun des 3 guides a été ensuite perforé soit au niveau cervical, médian ou incisal à l'aide d'une fraise boule diamantée de 5mm de diamètre correspondant au diamètre de la sonde du spectrophotomètre Vita Easyshade Advance 4.0[®]. Notons qu'avant le thermoformage des plaques, sur chacun des moulages, la dent étudiée a été préalablement divisée au crayon papier en 3 parties égales dans le sens cervico-incisal pour délimiter les 3 zones dentaires étudiées permettant ainsi de bien visualiser chaque zone à perforer.



Figure 16 guides de positionnement pour le relevé de couleur au niveau cervical, médian et incisal

3.2.1.5.2. Relevé de couleur

Lors de cette séance, le patient a été invité à s'installer au fauteuil et à caler sa tête afin de minimiser les mouvements lors de la prise de mesures.

L'opérateur a vérifié que les surfaces dentaires étaient exemptes de plaque dentaire, qui pourrait constituer un biais lors de la prise des mesures.

L'ensemble du protocole a été réexpliqué.

3.2.1.5.2.1. Mesures initiales

Les 3 guides de positionnement ont été essayés sur la dent étudiée pour s'assurer que l'enfoncement, l'ajustement et la stabilité soient correctes.

Au préalable, une protection hygiénique est placée sur la sonde de l'Easysshade.

Avant chaque série de mesures, le spectrophotomètre Vita Easysshade Advance 4.0[®] a été étalonné pour assurer fiabilité et précision des résultats. Pour ce faire, après démarrage de l'appareil, le symbole « Etalonnage » est sélectionné dans le menu, puis la pièce à main est placée dans la borne d'étalonnage de manière à ce que la pointe de la sonde (capteur) soit bien en contact avec la pastille de référence en céramique en formant un angle de 90°. L'étalonnage est ensuite effectué en appuyant sur la touche de mesure. Deux brefs signaux sonores indiquent que la procédure est terminée.

L'appareil est prêt à fonctionner et le menu de mesure s'affiche : le mode « mesure de la zone de dent » a été sélectionné pour définir la couleur de base au niveau cervical médian et incisal.

Des mesures au niveau de chacune des 3 zones avec guides de positionnement en place ont été effectuées avant la mise en place du champ opératoire pour évaluer la couleur initiale de l'incisive étudiée avant sa dessiccation.

Afin d'obtenir des mesures correctes, certaines règles d'utilisation de l'appareil sont à respecter :

- Le patient doit être assis et avoir sa tête en appui pour réduire les mouvements lors de la prise de mesures.
- La pointe de la sonde doit être maintenue perpendiculairement à la surface dentaire analysée et bien plaquée contre celle-ci, les guides rigides n'assurant qu'un positionnement correct et reproductible de la sonde du spectrophotomètre au niveau du tiers cervical, médian ou incisal.

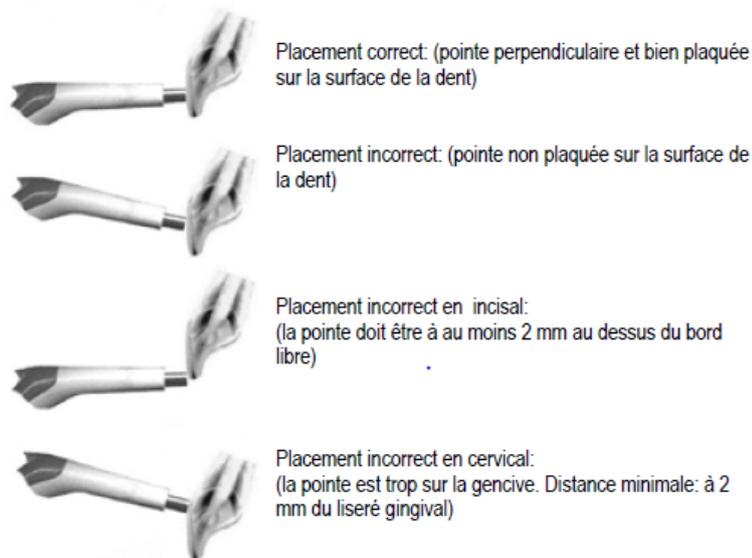


Figure 17 Placement correct du capteur du spectrophotomètre Vita Easyshade Advance 4.0[®] (document Vita TM)

Un cliché photographique a été réalisé en parallèle avec un référentiel teintier (Linearguide 3D Master[®]) donné par la valeur du spectrophotomètre afin de visualiser l'état initial avant déshydratation.



Figure 18 Relevé de couleur à l'état initial avec guide en place et photo avec référentiel teintier 3D Master®

3.2.1.5.2.2. Mesures pendant la phase de déshydratation de la dent

Le principe est d'entraîner la déshydratation de la dent étudiée par la mise en place d'un champ opératoire qui empêche tout contact entre la dent et la salive ou l'air expiré chargé de vapeur d'eau.

Afin que les guides puissent être enfoncés parfaitement et pour éviter que la feuille de digue ne remonte au niveau cervical de la dent analysée, 8 perforations ont été réalisées dans la feuille de caoutchouc à l'aide d'une pince de Ainsworth isolant les dents du secteur incisivo-canin et de la première prémolaire maxillaires (de 14 à 24). La feuille a été clampée avec des crampons sur les prémolaires maxillaire (14 et 24), puis tendue sur un cadre à digue.

Le relevé de couleur 3 zones avec guides en place a été effectué pendant 30 minutes à t=0 minutes, t=3 minutes, t=6 minutes, t=9 minutes, t=12 minutes, t=15 minutes, t=20 minutes et t=30 minutes.

Des clichés photographiques associés au référentiel teintier (Linearguide 3D Master) ont été réalisés en parallèle aux mesures.



Figure 19 Champ opératoire mis en place

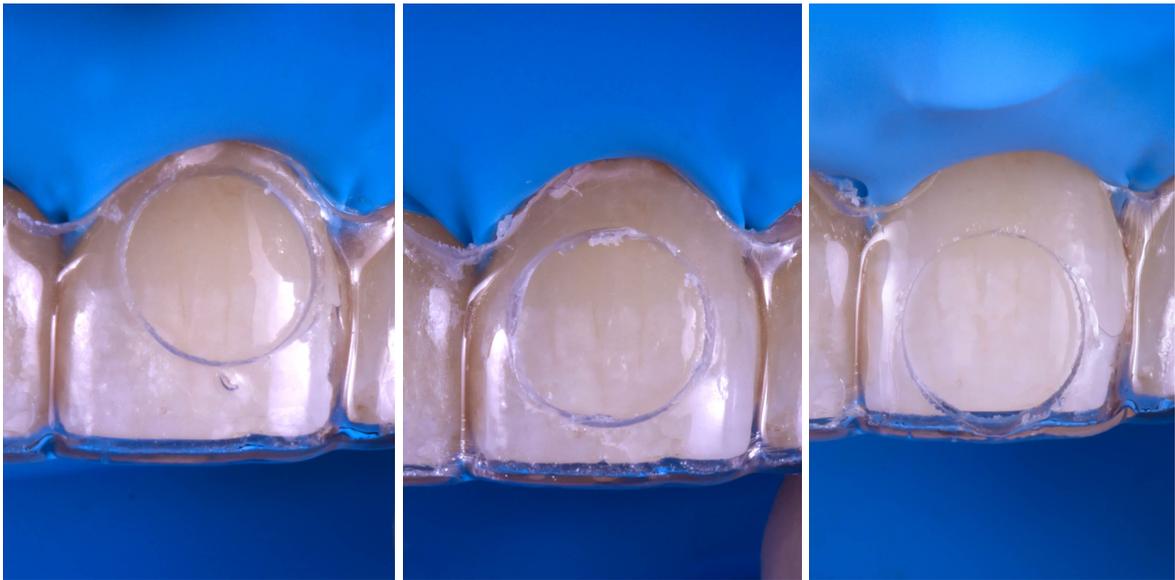


Figure 20 Essayage des guides de positionnement champ opératoire en place



Figure 21 Relevé de la couleur pendant la période de déshydratation de la dent



Figure 22 Photo avec mise en place de la digue sur la moitié des deux incisives centrales pendant 15 minutes (à gauche) et photo après retrait de la digue (à droite) où l'on peut aisément remarquer la différence de couleur entre la zone hydratée (zone cervicale) et la zone déshydratée (zone incisale)

3.2.1.5.2.3. Mesures pendant la phase de réhydratation de la dent

A $t = 30$ minutes, le champ opératoire a été déposé et le patient a été invité à boire un verre d'eau.

Les mêmes mesures 3 zones avec guide en place mais sans champ opératoire ont été réalisées toutes les 10 minutes pendant 30 minutes (t = 40 minutes, t = 50 minutes et t = 60 minutes) pour évaluer l'évolution de la couleur des dents lors de leur réhydratation.



Figure 23 Différence de couleur à t=0 minutes (à gauche, t=30 minutes (au milieu) et à t=60 minutes (à droite) : on peut observer que les dents n'ont pas retrouvé leur couleur initiale à la fin de l'expérimentation.

3.2.2. Analyse statistique

Les données recueillies ont été saisies avec le logiciel Microsoft[®] Excel et elles ont été analysées avec le logiciel statistique XLSTAT.

Le test non paramétrique des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés a été utilisé pour évaluer si des différences significatives de la couleur existaient entre l'état initial, la période de déshydratation et celle de réhydratation.

Nous étions en présence d'échantillons appariés car nous avons comparé les valeurs recueillies sur la même zone d'une même dent à différents moments sur 20 sujets.

Le test a été effectué en étudiant la moyenne μ des différences entre deux séries statistiques. Dans le cas où les deux échantillons ont la même distribution, la moyenne est nulle. L'hypothèse nulle à tester était donc $H_0 : \mu = 0$ qui correspond à « il n'y a pas de différence statistiquement significative entre la couleur des dents avant et après déshydratation ».

Rappelons que dans un test d'hypothèse, l'hypothèse H_0 a pour but d'être invalidée.

Les résultats ont été donnés sous forme d'une p-value, probabilité d'obtenir la même valeur du test si l'hypothèse nulle est vraie. Selon le résultat du calcul, on a obtenu les conclusions suivantes (seuil de signification fixé à 0,05) :

$p \leq 0.05$: forte présomption contre l'hypothèse nulle

➔ Différence statistiquement significative

$p > 0.05$: faible présomption contre l'hypothèse nulle

➔ Pas de différence statistiquement significative

Précisément, ce test a consisté en la comparaison des valeurs initiales de chaque coordonnée (L, a, b, C, h°) recueillies chez les 20 candidats pour chaque site (collet, corps, bord incisal) avec les valeurs mesurées à t =3, t=6, t=9, t=12, t=15, t=20 et t=30 min (période de dessiccation), t = 40 min, t = 50 min et t = 60 min (période de réhydratation) et de nous donner la valeur p qui nous permet de rejeter ou non l'hypothèse nulle.

Le test non paramétrique de Mann Whitney a été utilisé pour évaluer si les variations de couleur étaient plus ou moins importantes en fonction du genre (hommes / femmes), de la localisation dentaire (1/3 cervical, 1/3 médian et 1/3 incisal) et de l'âge (patients de plus de 50 ans / patients de plus de 50 ans).

Ce test permet d'étudier des échantillons indépendants : nous avons comparé les variations des coordonnées de couleur ΔL , ΔC , Δh° , Δa et Δb entre les valeurs initiales et celles recueillies à t = 3 min, t = 6 min, t = 9 min, t = 12 min, t = 15 min, t = 20 min, t = 30 min, t = 40 min, t = 50 min, t = 60 min entre les dents des hommes et celles des femmes (hypothèse nulle : « les variations des coordonnées de couleur en fonction du temps sont identiques chez les hommes et les femmes »), nous avons aussi comparé ces variations en fonction du temps entre les 3 sites dentaires (hypothèse nulle : « les variations des coordonnées de couleur en fonction du temps sont identiques au niveau des zones cervicale, médiane et incisale »), ainsi qu'entre les patients jeunes (moins de 30 ans) (résultats de la même étude sur un échantillon de 20 patients de moins de 30 ans (35)) et les patients âgés (plus de 50 ans) (hypothèse nulle : « les variations des coordonnées de couleur en fonction du temps sont identiques chez les patients jeunes et les patients âgés »).

Le principe du test est de déterminer si les deux échantillons indépendants observent la même distribution. L'hypothèse nulle générale était donc la suivante : « La distribution de la variable est la même dans les deux échantillons ». Le seuil de signification a été fixé à 0,05.

Le test de Mann Whitney a aussi été utilisé pour évaluer si des différences statistiquement significatives existaient pour chacun des paramètres de la couleur L*, a*, b*, C, h° entre les zones cervicale, médiane et incisale à l'état initial. Le seuil de signification a été fixé à 0,05.

Calcul de la différence de couleur ΔE :

La valeur moyenne ΔE a été calculée au niveau cervical, médian et incisal entre l'état initial et t = 3 min, t = 6 min, t = 9 min, t = 12 min, t = 15 min, t = 20 min, t = 30 min, t = 40 min, t = 50

min et t = 60 min (intervalle de confiance de 95%) pour évaluer si le changement de couleur est perceptible.

3.3. Résultats

3.3.1. Etude des valeurs initiales des coordonnées de couleur des dents naturelles

Tableau 3 : Moyennes, minimum (min) et maximum (max) des coordonnées CIE L*, a*, b*, C, h° à l'état initial au niveau cervical, médian et incisal				
Etat initial (t=0)		Zone cervicale	Zone médiane	Zone incisale
Luminosité L*	moyenne	78,94	76,035	74,655
	min - max	70,4 – 90,5	67 – 85,2	63,2 – 81,1
Saturation C	moyenne	22,27	19,025	17,38
	min - max	15,1 – 36,8	12,7 – 30,7	8,1 – 25,1
Teinte h°	moyenne	88,915	90,005	92,59
	min - max	81,7 – 91,9	82,3 – 94,5	85,3 – 114,7
a*	moyenne	0,61	0,005	-0,305
	min - max	-0,6 – 4,4	-1,2 – 2,8	-3,4 – 1,9
b*	moyenne	22,12	19,015	17,035
	min - max	15,1 – 35,2	12,7 – 30,7	7,4 – 25,1

- **Luminosité L**

Lors du relevé de couleur avant la mise en place du champ opératoire, la luminosité L* moyenne était plus importante au niveau de la zone cervicale, suivie par la zone médiane et par la zone incisale qui présentait la luminosité moyenne la plus faible (figure 21 et tableau 3).

Le test de Mann Whitney n'a pas confirmé qu'il existait une différence significative de luminosité entre la zone cervicale et la zone médiane (p-value 0,10), et entre la zone médiane et la zone incisale (p-value 0,56). Le test a montré qu'il existait une différence significative entre la zone cervicale et la zone incisale (p-value de 0,045).

Les valeurs de luminosité recueillies au niveau des trois régions étaient comprises entre 63,2 et 90,5 pour un maximum de 100, ce qui signifie que, malgré les différences importantes que l'on retrouve inter sites, les dents étudiées sont lumineuses (figure 24 et tableau 3).

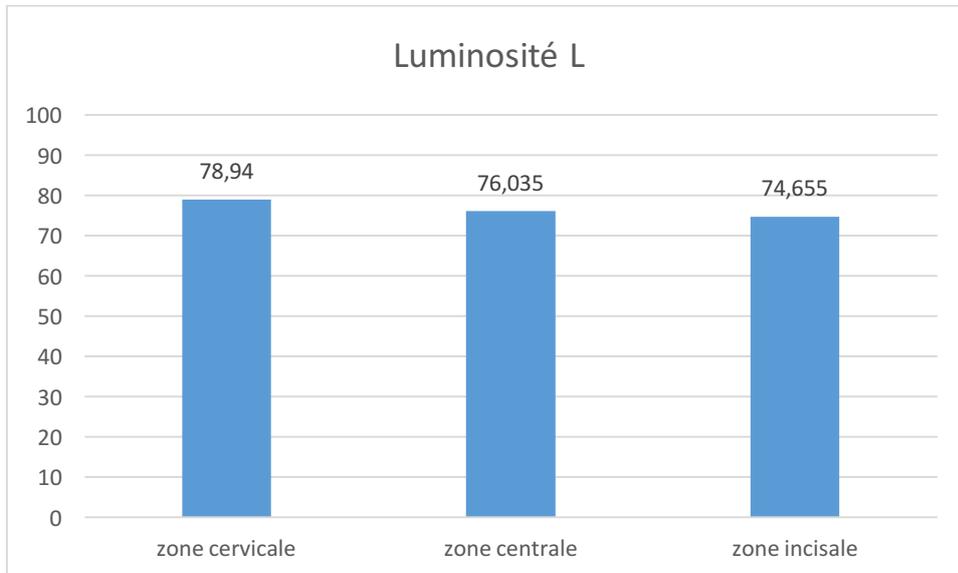


Figure 24 Luminosité moyenne à t=0 au niveau cervical, médian et incisal

- **Paramètres a* (saturation sur l'axe -a +a vert-rouge) et b* (saturation sur l'axe -b +b bleu-jaune) :**

Les valeurs du paramètre a* recueillies à l'état initial étaient comprises entre -3,4 et 4,4, donc proches du centre 0, ce qui signifie que la saturation C est faiblement influencée par a*. Les moyennes de a* sont de 0,61 pour la zone cervicale et 0,005 pour la zone médiane, donc la majorité des valeurs se trouve sur l'axe des rouges +a. La moyenne de a* pour la zone incisale est de -0,305, ce qui équivaut à une majorité des valeurs situées sur l'axe des verts -a. Le test de Mann Whitney a montré que la différence de saturation en rouge ou en vert n'était pas significative entre la zone cervicale et la zone médiane (p-value 0,09), entre la zone cervicale et la zone incisale (p-value 0,20) et entre la zone médiane et la zone incisale (p-value 0,86).

Les valeurs du paramètre b* étaient comprises entre 7,4 et 35,2, donc toutes positives, situées sur l'axe des jaunes +b (figure 25 et tableau 3). Le test de Mann Whitney a montré que la zone cervicale présentait une saturation en jaune statistiquement supérieure à la zone médiane

(p-value $4,9 \times 10^{-2}$) et à la zone incisale (p-value $4,5 \times 10^{-2}$). Le test n'a pas permis de montrer une différence statistiquement significative de b^* entre les zones médianes et incisales (p-value 1).

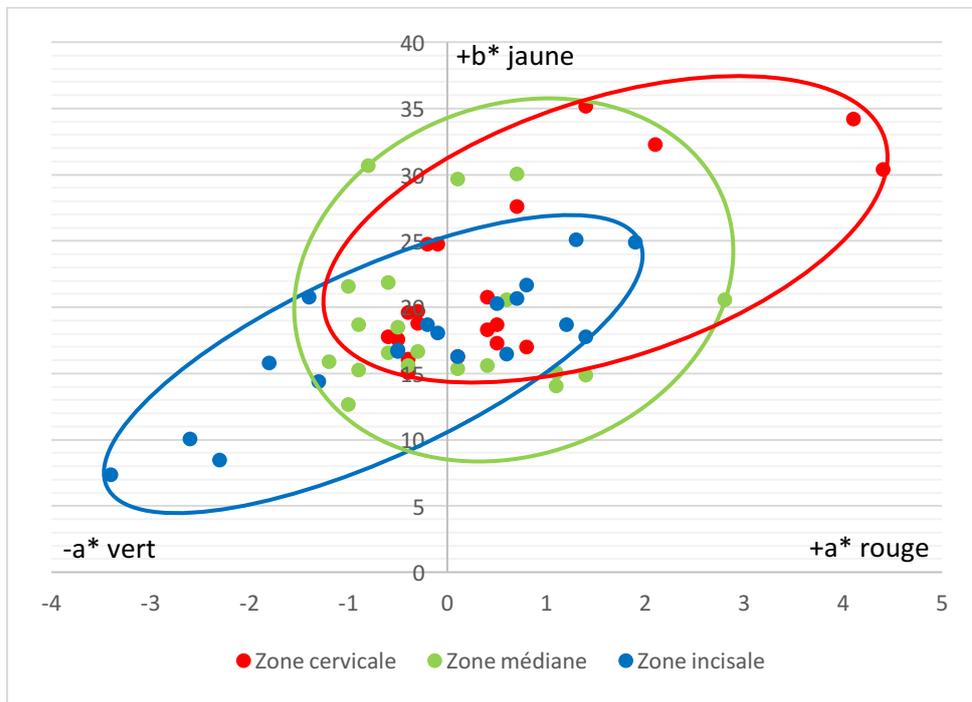


Figure 25 Répartition des couleurs relevées à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale dans le plan horizontal définies par les axes $-a^$ $+a^*$ vert-rouge et $-b^*$ $+b^*$ bleu-jaune*

- **Saturation C**

La saturation moyenne relevée à l'état initial était plus importante au niveau de la zone cervicale (moyenne=22,27), suivie par la zone médiane (moyenne=19,025) et par la zone incisale (moyenne=17,38) qui présentait la saturation moyenne la plus faible (tableau 3).

Le test de Mann Whitney a confirmé que la zone cervicale était statistiquement plus saturée que les zones médiane (p-value $4,9 \times 10^{-2}$) et incisale (p-value $4,5 \times 10^{-2}$). Par contre le test ne permettait pas de rejeter l'hypothèse nulle « il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les saturations des 2 zones médiane et incisale » (p-value 1).

Les valeurs de saturation recueillies variaient entre 8,1 et 36,8, avec une saturation globale moyenne de 19,4. La saturation calculée à partir de a^* et b^* selon la formule $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

est principalement due à b^* , les valeurs de a^* étant pour la plupart proche de 0 : b^* étant positif, les dents étudiées étaient principalement saturées en jaune (figure 26).

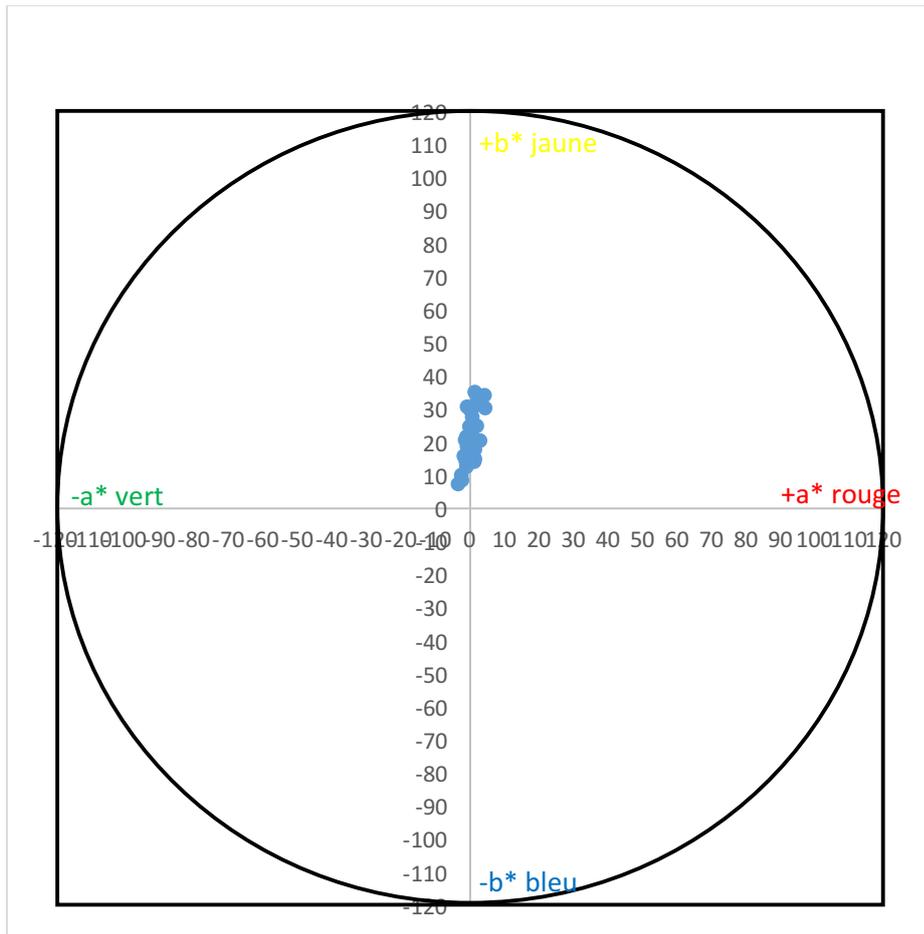


Figure 26 répartition des couleurs relevées à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale dans le plan horizontal défini par les axes $-a^$ $+a^*$ vert-rouge et $-b^*$ $+b^*$ bleu-jaune*

- **Tonalité chromatique h°**

Lors du relevé initial, les valeurs de l'angle de tonalité chromatique h° étaient comprises entre $81,7^\circ$ et $114,7^\circ$ ce qui correspond à des teintes jaune-orangées (entre $81,7^\circ$ et 90°) et jaunes (entre 90° et $114,7^\circ$). L'angle moyen de tonalité chromatique était le plus faible au niveau cervical ($88,915^\circ$), augmentait en zone médiane ($90,005^\circ$) et en zone incisale ($92,59^\circ$) : la tonalité chromatique globale moyenne des dents naturelles étudiées était jaune (tableau 3). Le test de Mann Whitney n'a pas permis de montrer une différence statistiquement significative entre les zones cervicales et médianes (p-value de 0,12), entre les zones cervicales et incisales (p-value 0,22) et entre les zones médianes et incisales (p-value 0,66).

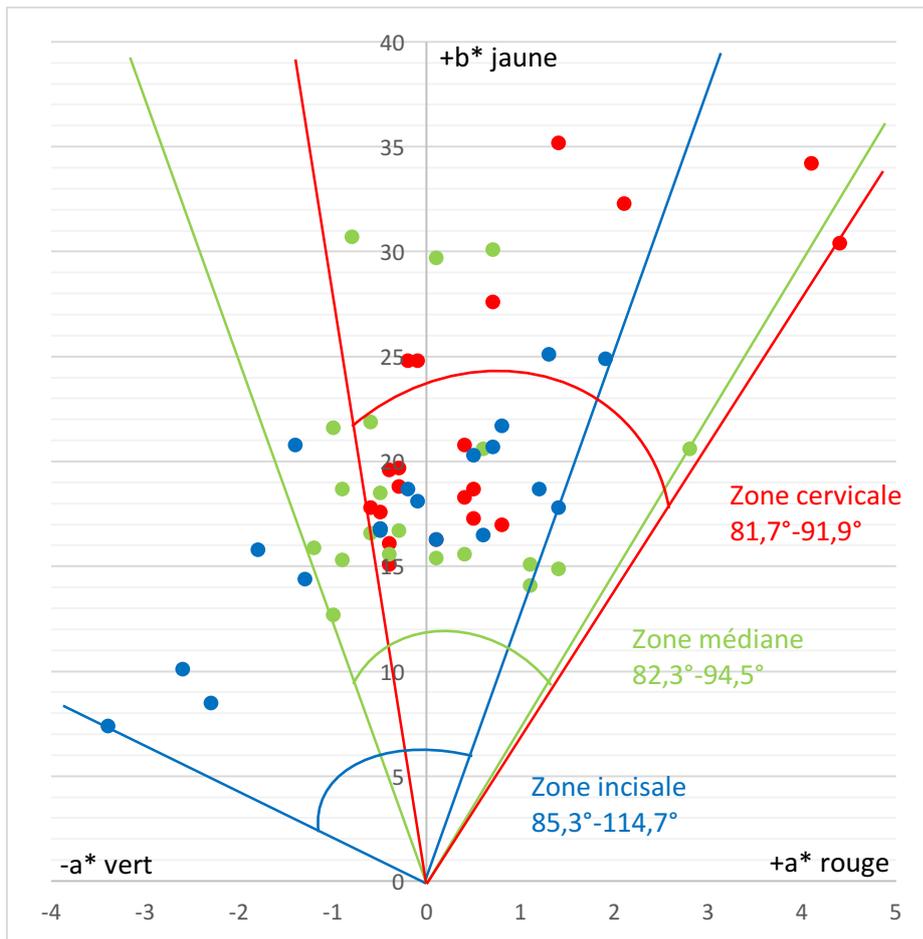


Figure 27 Angles minimum et maximum de tonalité chromatique à l'état initial au niveau des zones cervicales, médiane et incisale

- **Différence de couleur ΔE moyenne entre les 3 sites étudiés à l'état initial (intervalle de confiance à 95%):**

Le ΔE moyen entre la zone cervicale et la zone médiane était de 5,54 (1,22 – 10,45).

Le ΔE moyen entre la zone cervicale et la zone incisale était 8,69 (1,41 – 15,17).

Le ΔE moyen entre la zone médiane et la zone incisale était 5,2 (1,51 – 9,31).

3.3.2. Etudes des changements des coordonnées de couleur des dents naturelles lors des phases de déshydratation et de réhydratation

Les tableaux 4, 5 et 6 montrent les moyennes en fonction du temps des coordonnées de couleur CIE L^* , a^* , b^* , C , h° respectivement au niveau des zones cervicale, médiane et incisale.

Les valeurs des coordonnées au temps t = 0 correspondent aux valeurs recueillies à l'état initial avant la mise en place du champ opératoire. La période de déshydratation avec champ opératoire mis en place s'étend de 0 à 30 min ; la période de réhydratation dentaire où le champ opératoire a été déposé s'étend de 30 à 60 minutes

Tableau 4 – Moyennes des coordonnées de couleur au niveau de la zone cervicale											
Coordonnées de couleur	Temps (minutes)										
	Etat initial	Période de déshydratation							Période de réhydratation		
	0	3	6	9	12	15	20	30	40	50	60
L*	78,94	81,015*	81,625*	82,205*	82,655*	82,85*	82,88*	82,92*	81,48*	80,46*	79,375*
C	22,27	23,9*	24,325*	24,7*	25,06*	25,29*	25,36*	25,395*	24,025*	23,555*	23,085*
h°	88,915	88,11*	87,76*	87,465*	87,21*	87,07*	86,97*	86,97*	87,57*	88,295*	88,81
a*	0,61	0,945*	1,095*	1,22*	1,34*	1,41*	1,46*	1,465*	1,165*	0,87*	0,675*
b*	22,12	23,885*	24,295*	24,665*	25,025*	25,255*	25,325*	25,355*	23,99*	23,505*	22,855*

Seuil de signification fixé à 0,05
p > 0,05^{ns} différence statistiquement non significative
p < 0,05* différence statistiquement significative

Tableau 5 – Moyennes des coordonnées de couleur au niveau de la zone médiane											
Coordonnées de couleur	Temps (minutes)										
	Etat initial	Période de déshydratation							Période de réhydratation		
	0	3	6	9	12	15	20	30	40	50	60
L*	76,035	78,325*	78,77*	79,425*	79,805*	80,01*	80,07*	80,105*	78,575*	77,685*	76,775*
C	19,025	20,52*	21,055*	21,42*	21,795*	22,095*	22,355*	22,53*	21,395*	20,48*	19,755*
h°	90,005	88,88*	88,655*	88,38*	88,115*	88,905*	87,765*	87,71*	88,475*	89,18*	89,69*
a*	0,005	0,325*	0,475*	0,575*	0,68*	0,77*	0,82*	0,84*	0,535*	0,275*	0,085*
b*	19,015	20,505*	21,035*	21,425*	21,765*	22,065*	22,305*	22,48*	21,37*	20,46*	19,74*

Seuil de signification fixé à 0,05
p > 0,05^{ns} différence statistiquement non significative
p < 0,05* différence statistiquement significative

Tableau 6 – Moyennes des coordonnées de couleur au niveau de la zone incisale											
Coordonnées de couleur	Temps (minutes)										
	Etat initial	Période de déshydratation							Période de réhydratation		
		0	3	6	9	12	15	20	30	40	50
L*	74,655	77,425*	77,92*	78,405*	78,77*	78,88*	79,1*	79,15*	77,66*	76,64*	75,535*
C	17,38	18,975*	19,485*	20,015*	20,59*	21,045*	21,395*	21,57*	20,125*	19,315*	18,435*
h°	92,59	91,305*	90,915*	90,505*	90,195*	89,97*	89,76*	89,735*	90,67*	91,365*	91,895*
a*	-0,305	-0,01*	0,12*	0,21*	0,295*	0,375*	0,44*	0,45*	0,16*	-0,025*	-0,19*
b*	17,305	18,915*	19,435*	19,97*	20,55*	21*	21,36*	21,59*	20,08*	19,255*	18,375*

Seuil de signification fixé à 0,05
p > 0,05^{ns} différence statistiquement non significative
p < 0,05* différence statistiquement significative

Le test de Wilcoxon a permis de comparer les valeurs des coordonnées de couleur recueillies à l'état initial et celles recueillies au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes.

Pendant la période de déshydratation, des différences statistiquement significatives ont été observées entre les valeurs recueillies à l'état initial et celles relevées au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20 et 30 minutes d'expérimentation pour toutes les coordonnées de couleur au niveau des 3 zones étudiées ($p < 0.05$) (tableaux 4, 5, 6).

Pendant la période de réhydratation, des différences statistiquement significatives ont été observées entre les valeurs recueillies à l'état initial et celles relevées au bout de 40, 50 et 60 minutes d'expérimentation pour les coordonnées L, a*, b*, C, h° au niveau des 3 zones étudiées ($p < 0.05$). En revanche, le test a montré qu'il n'y avait plus de différence statistiquement significative entre les valeurs initiales et celles relevées à t = 60 min (30 min de réhydratation des dents testées) pour h° au niveau de la zone cervicale (tableau 4).

-Paramètre L :

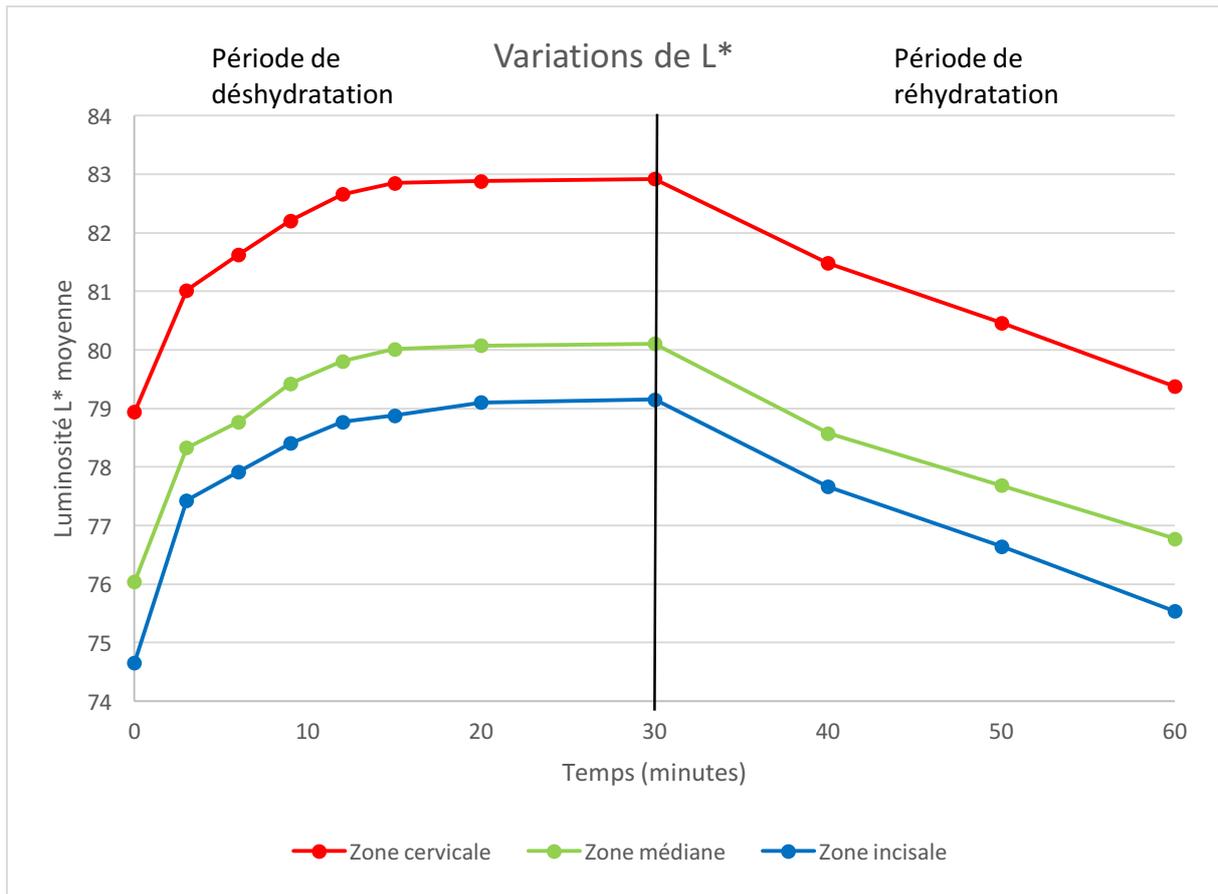


Figure 28 Evolution du paramètre L pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)*

Le test de Mann Whitney a indiqué qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les variations ΔL^* des zones cervicale et médiane entre les valeurs initiales et celles relevées au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes ($p > 0.05$).

Entre les zones cervicale et incisale, il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les valeurs initiales et celles relevées entre 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes ($p > 0.05$) ; il existe une différence significative entre les valeurs initiales et celles relevées à 3 minutes. Ce qui signifie qu'entre 0 et 3 minutes la luminosité augmente de façon plus importante en incisal qu'en cervical.

Le test a montré que les variations de L^* étaient significativement différentes entre la zone médiane et la zone incisale entre 0 min et 3, 6, 9, 20 et 30 minutes (l'augmentation de luminosité est statistiquement plus importante au niveau de la zone incisale que de la zone médiane) et que les variations de L^* n'étaient pas significatives entre 0 et 12, 15, 40, 50 et 60 minutes.

Les valeurs de luminosité étaient plus élevées pendant la période de déshydratation que celles relevées à l'état initial au niveau des 3 zones étudiées. L'augmentation de la luminosité a été plus importante entre t=0 et t=3 min (ΔL^* moyen = 2,36) qu'entre t=3 et t=6 min (ΔL^* moyen = 0,52), t=6 et t=9 min (ΔL^* moyen = 0,57), t=9 et t=12 (ΔL^* moyen = 0,39), t=12 et t=15 (ΔL^* moyen = 0,17), t=15 et t=20 min (ΔL^* moyen = 0,10) et entre t=20 et t=30 min (ΔL^* moyen = 0,04). C'est donc rapidement, pendant les trois premières minutes de l'expérimentation, que la luminosité a principalement augmenté (figure 28).

Après dépose du champ opératoire, une diminution de la luminosité a été observée au niveau des 3 régions étudiées pendant toute la période de déshydratation : cette décroissance a été plus importante entre t=30 et t=40 minutes (ΔL^* moyen = -1,48), qu'entre t=40 et t=50 (ΔL^* moyen = -0,97) et t=50 et t=60 minutes (ΔL^* moyen = -1,04). La luminosité décroît donc de façon importante durant les dix premières minutes de réhydratation et elle continue de décroître durant les 20 minutes suivantes mais de façon moins importante (tableaux 4, 5 et 6 et figure 28).

-Paramètres a^* et b^* :

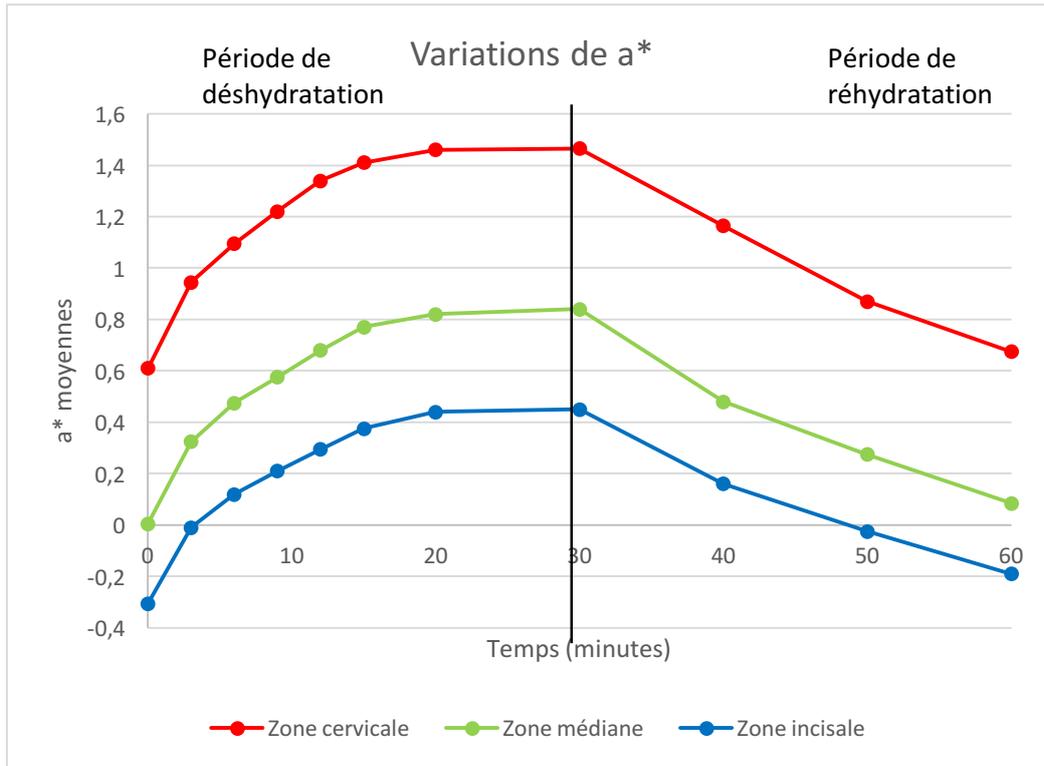


Figure 29 Evolution du paramètre a^* pendant la phase de déshydratation de 0 à 30 minutes et de réhydratation de 30 à 60 minutes

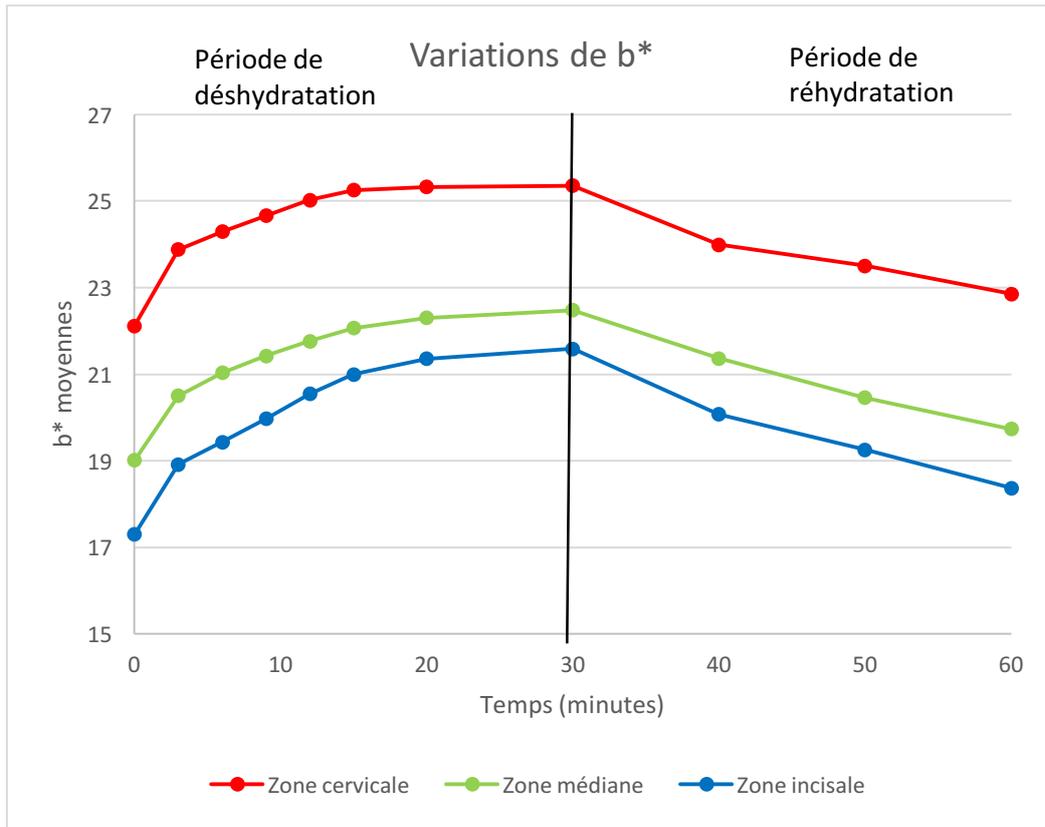


Figure 30 Evolution du paramètre b pendant la phase de déshydratation de 0 à 30 min et pendant la phase de réhydratation de 30 à 60 minutes*

Le test de Mann Whitney a indiqué qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les variations Δa^* de zone cervicale et médiane et de la zone médiane et incisale entre les valeurs initiales et celles retrouvées au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes.

Entre la zone cervicale et la zone incisale, une différence significative a été retrouvée entre les valeurs de Δa^* retrouvées au temps initial et celles retrouvées à 12 minutes ($p\text{-value}=0,035$). Cela signifie que la saturation en rouge (ou désaturation en vert) est plus importante au niveau de la zone cervicale que de la zone incisale entre 0 et 12 minutes. Aucune différence significative n'a été retrouvée entre 0 et 3, 6, 9, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes.

Les valeurs de a^* (saturation sur l'axe vert – rouge) étaient plus élevées pendant la période de déshydratation que celles relevées à l'état initial au niveau des 3 zones étudiées. Cette augmentation de a^* correspond à une désaturation en vert des dents (lorsque $a^* < 0$ et $\Delta a^* > 0$), ou à une saturation en rouge (lorsque $a^* > 0$ et $\Delta a^* > 0$).

L'augmentation de a^* a été plus importante entre $t=0$ et $t=3$ min (Δa^* moyen = 0,32) qu'entre $t=3$ et $t=6$ min (Δa^* moyen = 0,14), entre $t=6$ et $t=9$ (Δa^* moyen = 0,10), entre $t=9$ et $t=12$ (Δa^* moyen = 0,10), entre $t=12$ et $t=15$ (Δa^* moyen = 0,08), entre $t=15$ et $t=20$ (Δa^* moyen = 0,05) et entre $t=20$ et $t=30$ (Δa^* moyen = 0,31). C'est donc rapidement, pendant les trois premières minutes de l'expérimentation, que a^* a principalement augmenté (figure 26).
Après dépose du champ opératoire, une diminution de a^* a été observée au niveau des 3 régions étudiées pendant toute la période de réhydratation : cette décroissance a été plus importante entre $t=30$ et $t=40$ minutes (Δa^* moyen = -0,62), qu'entre $t=40$ et $t=50$ (Δa^* moyen = -0,22) et $t=50$ et $t=60$ minutes (Δa^* moyen = -0,18). C'est donc pendant les dix premières minutes de la période de réhydratation que a^* a principalement diminué ; les valeurs de a^* pendant toute cette phase sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial (tableaux 4, 5, 6 et figure 29).

Le test de Mann Whitney a indiqué qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les variations Δb^* des zones cervicale, médiane et incisale entre les valeurs initiales et celles relevées au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes ($p > 0.05$).

Les valeurs de b^* (saturation sur l'axe bleu - jaune) étaient plus élevées pendant la période de déshydratation que celles relevées à l'état initial au niveau des 3 zones étudiées. Cette augmentation de b^* correspond à une saturation en jaune des dents ($b^* > 0$ et $\Delta b^* > 0$).

L'augmentation de b^* a été plus importante entre $t=0$ et $t=3$ min (Δb^* moyen = 1,62) qu'entre $t=3$ et $t=6$ min (Δb^* moyen = 0,48), entre $t=6$ et $t=9$ (Δb^* moyen = 0,43), entre $t=9$ et $t=12$ (Δb^* moyen = 0,44), entre $t=12$ et $t=15$ (Δb^* moyen = 0,31), entre $t=15$ et $t=20$ (Δb^* moyen = 0,22) et qu'entre $t=20$ et $t=30$ (Δb^* moyen = 0,14). C'est donc rapidement, pendant les trois premières minutes de l'expérimentation, que b^* a principalement augmenté (figure 30).

Après dépose du champ opératoire, une diminution de b^* a été observée au niveau des 3 régions étudiées pendant toute la période de réhydratation : cette décroissance a été plus importante entre $t=30$ et $t=40$ minutes (Δb^* moyen = -1,32), qu'entre $t=40$ et $t=50$ (Δb^* moyen = -0,74) et $t=50$ et $t=60$ minutes (Δb^* moyen = -0,75). C'est donc pendant les dix premières minutes de la période de réhydratation que b^* a principalement diminué ; cependant les valeurs de b^* pendant cette phase de réhydratation sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial (tableaux 4, 5, 6 et figure 30).

-Paramètre C :

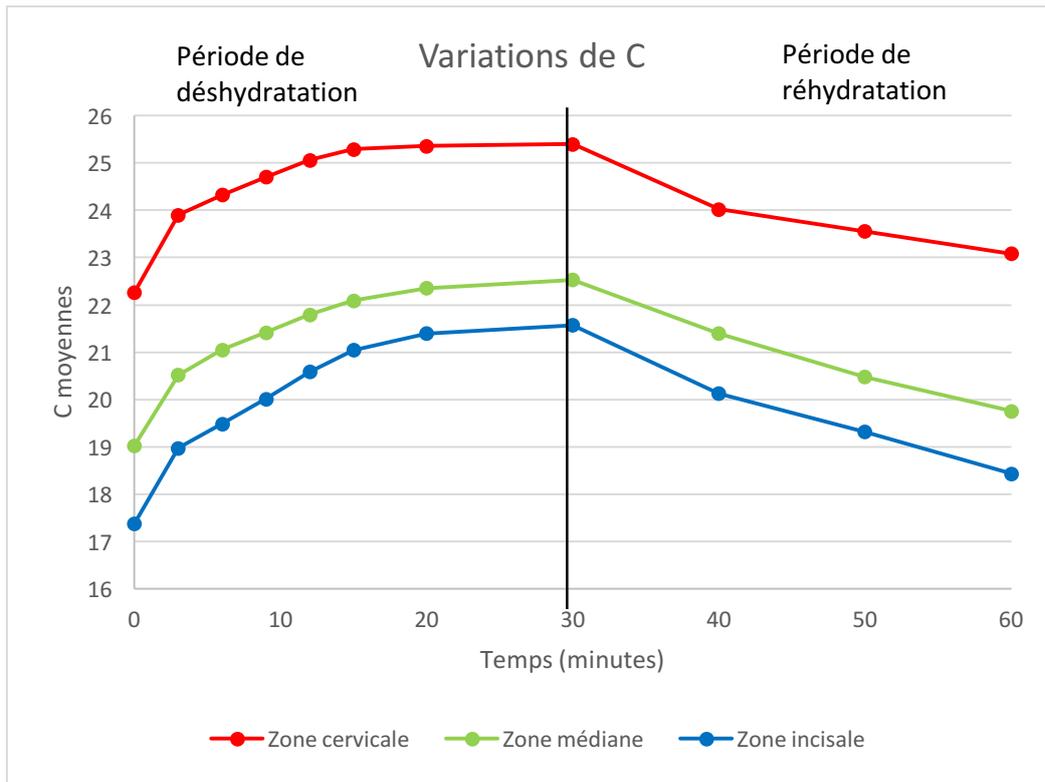


Figure 31 Evolution du paramètre C pendant les phases de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)

Le test de Mann Whitney a indiqué qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les variations ΔC des zones cervicale, médiane et incisale entre les valeurs initiales et celles relevées au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes ($p > 0.05$).

Les valeurs de saturation C étaient plus élevées pendant la période de déshydratation que celles relevées à l'état initial au niveau des 3 zones étudiées. L'augmentation de la saturation a été plus importante entre $t=0$ et $t=3$ min (ΔC moyen = 1,57), qu'entre $t=3$ et $t=6$ min (ΔC moyen = 0,46), qu'entre $t=6$ et $t=9$ min (ΔC moyen = 0,45), qu'entre $t=9$ et $t=12$ min (ΔC moyen = 0,43), qu'entre $t=12$ et $t=15$ min (ΔC moyen = 0,32), qu'entre $t=15$ et $t=20$ min (ΔC moyen = 0,22) et $t=20$ et $t=30$ (ΔC moyen = 0,13). C'est donc rapidement, pendant les dix premières minutes de l'expérimentation, que la saturation a principalement augmenté (figure 31).

Après dépose du champ opératoire, une diminution de la saturation a été observée au niveau des 3 régions étudiées pendant toute la période de réhydratation : cette décroissance a

été plus importante entre t=30 et t=40 minutes (ΔC moyen = -1,31), qu'entre t=40 et t=50 (ΔC moyen = -0,73) et t=50 et t=60 minutes (ΔC moyen = -0,69). C'est donc pendant les dix premières minutes de la période de réhydratation que la saturation a principalement diminué ; cependant les valeurs de C pendant cette phase de réhydratation sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial (tableaux 4, 5 et 6 et figure 31).

-Paramètre h° :

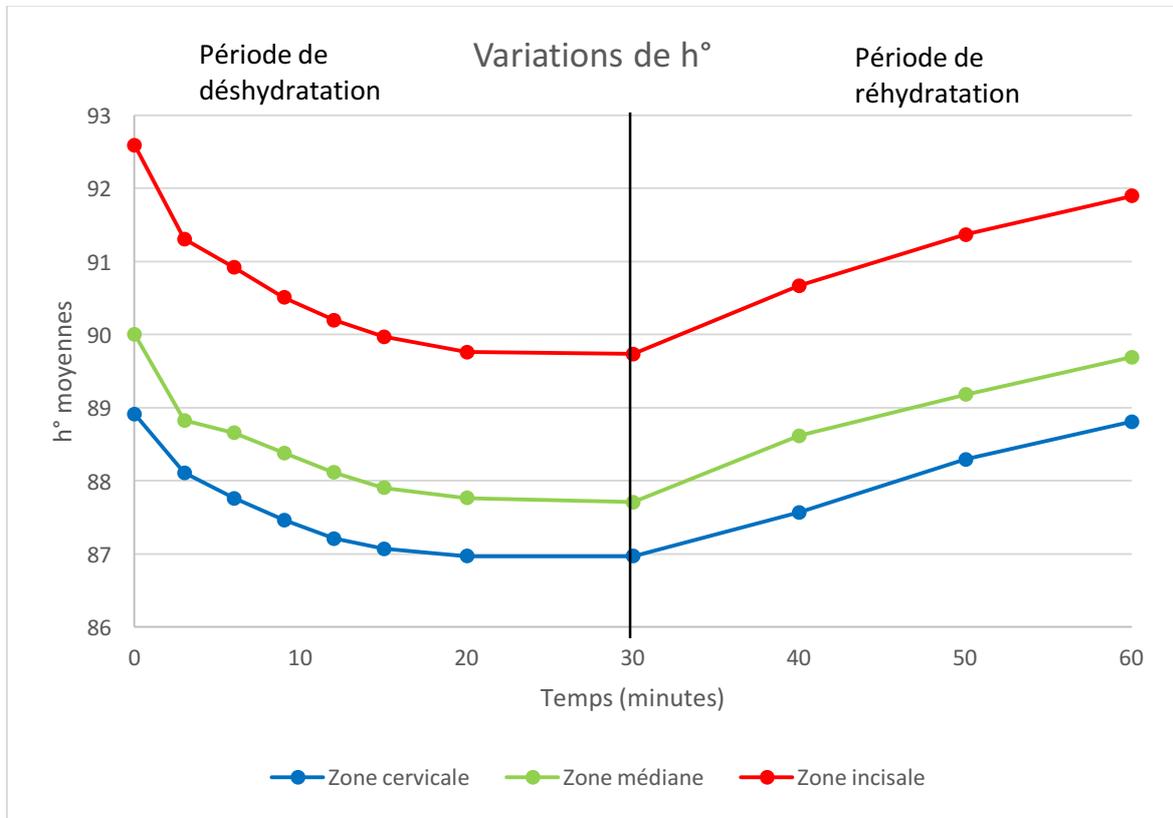


Figure 32 Evolution du paramètre h° pendant les phases de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)

Les valeurs de tonalité chromatique h° étaient moins élevées pendant la période de déshydratation que celles relevées à l'état initial au niveau des 3 zones étudiées. La diminution de l'angle de tonalité chromatique a été plus importante entre t=0 et t = 3 min (Δh° moyen = -1,08), qu'entre t=3 et t = 6 min (Δh° moyen = -0,32), qu'entre t=6 et t = 9 min (Δh° moyen = -0,28), qu'entre t=9 et t = 12 min (Δh° moyen = -0,20), qu'entre t=12 et t = 15 min (Δh° moyen = -0,29), qu'entre t=15 et t = 20 min (Δh° moyen = -0,16) et qu'entre t=20 et t = 30 min (Δh° moyen = -0,03). C'est donc rapidement, pendant les trois premières minutes de l'expérimentation, que la tonalité chromatique a principalement diminué (figure 32).

Après dépose du champ opératoire, une augmentation de l'angle de tonalité chromatique a été observée au niveau des 3 régions étudiées pendant toute la période de réhydratation : cette élévation a été plus importante entre t=30 et t=40 minutes (Δh° moyen = 0,84), qu'entre t=40 et t=50 (Δh° moyen = 0,67) et t=50 et t=60 minutes (Δh° moyen = 0,48). C'est donc pendant les dix premières minutes de la période de réhydratation que la teinte a principalement augmenté ; cependant les valeurs de h° pendant cette phase de réhydratation sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial à l'exception de la zone cervicale à 60 minutes. Les valeurs de h° dans la zone cervicale sont donc très proches des valeurs initiales à 60 minutes (tableaux 4, 5, 6 et figure 32).

Le test de Mann Whitney a indiqué qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les variations Δh° des zones cervicale, médiane et incisale entre les valeurs initiales et celles relevées au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes ($p > 0.05$) excepté entre les zones cervicales et médianes entre 0 et 60 minutes. La zone cervicale retourne donc vers sa teinte initiale de façon plus importante que la zone médiane entre 0 et 60 minutes.

3.3.3. Différence de couleur ΔE

Le tableau 7 rassemble les différences de couleurs, exprimées par le ΔE , calculées entre l'état initial et les différents temps de mesure pendant la période de déshydratation et celle de réhydratation des dents.

Tableau 7 – Moyennes et intervalles de confiance à 95 % des différences de couleur ΔE observées en fonction du temps										
Zone étudiée	Temps (minutes)									
	Période de déshydratation							Période de réhydratation		
	3	6	9	12	15	20	30	40	50	60
Cervicale	2,9 (2,4-3,4)	3,6 (3,1-4,1)	4,3 (3,8-4,8)	4,9 (4,4-5,4)	5,1 (4,6-5,6)	5,3 (4,7-5,9)	5,6 (5-6,2)	3,4 (2,9-3,9)	2,4 (2-2,8)	1 (0,7-1,3)
Médiane	2,9 (2,3-3,45)	3,6 (3-4,2)	4,4 (3,6-5,2)	4,9 (4,2-5,6)	5,2 (4,5-5,9)	5,4 (4,6-6,2)	5,7 (4,9-6,5)	3,7 (2,9-4,5)	2,4 (1,8-3)	1,2 (0,8-1,6)
Incisale	3,3 (3-3,6)	4 (3,7-4,3)	4,7 (4,3-5,1)	5,4 (4,9-5,9)	5,8 (5,3-6,3)	6,2 (5,6-6,8)	6,6 (5,9-7,3)	4,3 (3,8-4,8)	3 (2,5-3,5)	1,6 (1,1-3,1)

3.3.4. Etude des résultats obtenus en fonction du genre (homme/femme)

- Etude des résultats initiaux L^* , C , h° , a^* et b^* :

Selon le test de Mann Whitney, il existe une différence significative entre hommes et femmes à l'état initial au niveau de la zone cervicale pour les paramètres L^* (p-value = 0,013), h° (p-value = 0,043), paramètres plus importants chez les femmes que chez les hommes et a^* (p-value = 0,04) qui est plus élevée pour les hommes que pour les femmes. On retrouve également une différence hommes/femmes significative au niveau de la zone médiane, à l'état initial pour le paramètre L^* (p-value = 0,049), à savoir que les femmes ont une luminosité plus importante dans la zone médiane.

Le test n'a pas montré de différences significatives pour C et b^* au niveau cervical, pour C , h° , a^* et b^* au niveau médian et pour L^* , C , h° , a^* et b^* au niveau incisal.

- Etude des variations des coordonnées de couleurs ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^*

Au niveau de la zone cervicale, le test de Mann Whitney n'a pas montré de différence significative dans les variations des coordonnées de couleur ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* .

Au niveau de la zone médiane, le test a montré des différences significatives dans les variations des paramètres a^* entre 0 et 12 minutes (p-value = 0,04), 15 minutes (p-value=0,034), 20 minutes (p-value=0,01) et 30 minutes (p-value=0,02) à savoir que les dents se saturaient plus en rouge au cours de la déshydratation chez les hommes que chez les femmes entre 0 et 12, 15, 20 minutes et se saturaient plus en rouge chez les femmes que chez les hommes entre 0 et 30 minutes. Aucune autre différence significative n'a été trouvée pour les variations des autres paramètres.

Au niveau de la zone incisale, le test n'a montré une différence significative que pour les variations Δa^* à 50 minutes (p-value = 0,04), soit qu'en zone incisale, les dents se désaturaient plus en rouge entre 0 et 50 minutes chez les hommes que chez les femmes.

3.3.5. Etude des résultats obtenus en fonction de l'âge : comparaison avec la même étude réalisée chez les moins de 30 ans

L'étude des effets de la déshydratation et de la réhydratation sur les dents jeunes a été effectuée à 0, 10, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes. Pour comparer cette étude à la notre, nous allons utiliser les valeurs obtenues sur les dents jeunes à nos valeurs obtenues à 0, 9, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes sur les dents âgées.

3.3.5.1. Etude de comparaison des coordonnées de couleur et des variations des coordonnées de couleur à l'état initial et pendant les phases de déshydratation et de réhydratation entre dents jeunes et dents âgées

Tableau 8 – Moyenne des coordonnées de couleur au niveau de la zone cervicale sur dents jeunes (moins de 30 ans) et dents âgées (plus de 50 ans)

Coordonnées de couleur		Temps (minutes)						
		Etat initial	Période de déshydratation				Période de réhydratation	
L*	Dents jeunes	82,2*	86,7*	86,9*	86,9*	83,2	82,4	82,3
	Dents âgées	78,9*	82,2*	82,9*	82,9*	81,5	80,5	79,4
C	Dents jeunes	20,2	23,5	24,3	24,7	21,7	20,8	20,5
	Dents âgées	22,3	24,7	25,4	25,4	24,0	23,5	23,0
h°	Dents jeunes	91,8*	90,4*	89,9*	89,8*	90,9*	91,3*	91,4*
	Dents âgées	88,9*	87,5*	87*	87*	87,6*	88,3*	88,8*
a*	Dents jeunes	-0,5*	0,0*	0,2*	0,3*	-0,2*	-0,3*	-0,4*
	Dents âgées	0,6*	1,2*	1,5*	1,5*	1,2*	0,9*	0,7*
b*	Dents jeunes	20,2	23,2	24,3	24,7	21,7	20,8	20,5
	Dents âgées	22,1	24,7	25,3	25,4	24,0	23,5	22,9

Seuil de signification fixé à 0,05

p > 0,05^{ns} différence statistiquement non significative

p < 0,05* différence statistiquement significative

Tableau 9 – Moyenne des coordonnées de couleur au niveau de la zone médiane sur dents jeunes (moins de 30 ans) et dents âgées (plus de 50 ans)

Coordonnées de couleur		Temps (minutes)						
		Etat initial	Période de déshydratation			Période de réhydratation		
L*	Dents jeunes	79,6*	84*	84*	84,2*	80,7	79,9	79,7*
	Dents âgées	76,0*	79,4*	80,1*	80,1*	78,6	77,7	76,8*
C	Dents jeunes	16,4	20,4	20,8	21,2	18,2	17,1*	16,7*
	Dents âgées	19,0	21,4	22,3	22,5	21,4	20,5*	19,7*
h°	Dents jeunes	94,0*	91,5*	91,0*	90,6*	92,4*	93,3*	93,8*
	Dents âgées	90,0*	88,4*	87,8*	87,7*	88,5*	89,2*	89,7*
a*	Dents jeunes	-1,0*	-0,3*	-0,1*	0,0*	-0,5*	-0,8*	-0,9*
	Dents âgées	0,0*	0,6*	0,8*	0,8*	0,5*	0,3*	0,1*
b*	Dents jeunes	16,4	20,3	20,8	21,2	18,1	17,1*	16,7*
	Dents âgées	19,0	21,4	22,3	22,5	21,4	20,5*	19,7*

Seuil de signification fixé à 0,05

p > 0,05^{ns} différence statistiquement non significative

p < 0,05* différence statistiquement significative

Tableau 10 – Moyenne des coordonnées de couleur au niveau de la zone incisale sur dents jeunes (moins de 30 ans) et dents âgées (plus de 50 ans)

Coordonnées de couleur		Temps (minutes)						
		Etat initial	Période de déshydratation			Période de réhydratation		
L*	Dents jeunes	77,0	81,0	81,4	81,6	77,7	77,1	77,1
	Dents âgées	74,6	78,4	79,1	79,1	77,7	76,6	75,5
C	Dents jeunes	14,5*	18,7	19,4	19,7	16,7*	15,3*	14,8*
	Dents âgées	17,4*	20,0	21,4	21,6	20,1*	19,3*	18,4*
h°	Dents jeunes	96,4*	93,1*	92,3*	92,0*	94,2*	95,4*	95,9*
	Dents âgées	92,6*	90,5*	89,8*	89,7*	90,7*	91,4*	91,9*
a*	Dents jeunes	-1,4*	-0,7*	-0,5*	-0,4*	-0,9*	-1,2*	-1,3*
	Dents âgées	-0,3*	0,2*	0,4*	0,5*	0,2*	0,0*	-0,2*
b*	Dents jeunes	14,5*	19,7	19,3	19,7	16,6*	15,2*	14,7*
	Dents âgées	17,3*	20,0	21,4	21,6	20,1*	19,2*	18,4*

Seuil de signification fixé à 0,05

p > 0,05^{ns} différence statistiquement non significative

p < 0,05* différence statistiquement significatif

-Paramètre L :

A l'état initial, selon le test de Mann Whitney, il existe une différence significative de luminosité entre les dents jeunes et les dents âgées au niveau cervical et médian. Les dents âgées sont statistiquement moins lumineuses que les dents jeunes au niveau des zones cervicales et médianes. Le test n'a pas montré de différence significative pour la zone incisale.

Pendant toute la période de déshydratation (de 0 à 30 minutes), des différences de luminosité significatives ont été retrouvées au niveau des zones cervicale et médiane mais pas au niveau de la zone incisale.

Lors de la réhydratation (de 30 à 60 minutes), les relevés de luminosité n'ont pas montré de différences significatives entre dents jeunes et dents âgées pour les zones cervicale, médiane et incisale, excepté pour la zone médiane à 60 minutes.

Malgré les résultats retrouvés avec le test de Mann Whitney, les valeurs moyennes de luminosité des dents âgées sont toujours restées inférieures ou égales aux valeurs retrouvées au niveau des dents jeunes.

Si on s'intéresse aux variations de luminosité ΔL entre dents jeunes et dents âgées, le test statistique ne montre pas de différences significatives entre l'état initial et 10, 20 et 30 minutes au niveau des trois zones étudiées. L'augmentation de luminosité lors de la déshydratation n'est pas statistiquement différente selon l'âge de la dent étudiée pour les trois zones. Le test montre des différences significatives dans les variations de luminosité entre l'état initial et 40 et 50 minutes pour la zone cervicale : la luminosité diminue plus lentement pour les dents âgées que pour les dents jeunes. Entre l'état initial et 60 minutes, on ne retrouve pas de différence significative.

Au niveau des zones médiane et incisale, des différences significatives ont été retrouvées entre les deux groupes étudiés pour toute la période de réhydratation. Les dents âgées mettent plus de temps que les dents jeunes à retourner vers leurs valeurs initiales de luminosité pour les zones médiane et incisale.

-Paramètre a* :

Le test de Mann Whitney a montré qu'il existait une différence significative entre dents jeunes et dents âgées concernant le paramètre a* (saturation sur l'axe vert - rouge) à l'état initial,

pendant la déshydratation puis durant la réhydratation au niveau des trois zones étudiées. Cela signifie que les dents âgées sont statistiquement plus saturées en rouge que les dents jeunes.

Lors de l'étude des variations du paramètre a^* au niveau de la zone cervicale, le test de Mann Whitney a montré des différences significatives pendant toute la durée du test. Cela signifie que les dents âgées seaturent plus en rouge (ou se désaturent en vert) que les dents jeunes lors de la déshydratation ; et elles seaturent plus en vert lors de la réhydratation.

Au niveau des zones médiane et incisale, on retrouve des résultats non significatifs pendant toute la durée du test excepté au niveau incisal entre $t=0$ et $t=10$. Cela signifie que la saturation en rouge lors de la déshydratation et la saturation en vert lors de la réhydratation ne sont pas statistiquement différentes entre dents jeunes et dents âgées. Entre 0 et 10 minutes, l'augmentation de a^* est plus importante au niveau de la zone incisale pour les dents jeunes par rapport aux dents âgées.

C'est donc au niveau de la zone cervicale que l'on retrouve le plus de différences entre dents jeunes et dents âgées concernant la saturation en rouge au cours de la déshydratation puis de la réhydratation.

-Paramètre b^* :

A l'état initial, selon le test de Mann Whitney, il n'existe pas de différence de b^* (saturation sur l'axe bleu - jaune) significative entre dents jeunes et dents âgées au niveau cervical et médian. Au niveau de la zone incisale, on retrouve une différence significative de saturation en jaune : les dents âgées sont statistiquement plus jaunes que les dents jeunes dans cette zone.

Lors de la période de déshydratation, on ne retrouve pas de différence de b^* significative entre les deux types de dents étudiés au niveau des trois zones, cervicale, médiane et incisale.

Lors de la réhydratation la saturation n'est pas significativement différente entre dents jeunes et âgées pour la zone cervicale. Au niveau de la zone médiane, on retrouve une différence significative à 50 et à 60 minutes de réhydratation, c'est-à-dire que les dents âgées sont plus saturées en jaune que les dents jeunes. Une différence significative de saturation est retrouvée pendant toute la période de réhydratation pour la zone incisale ce qui signifie que les dents âgées sont plus jaunes que les dents jeunes dans cette zone.

Le test de Mann Whitney a montré qu'il existait une différence significative entre dents jeunes et dents âgées au niveau de la zone cervicale concernant les variations de saturation Δb^* sauf à 40 minutes (non significatif, $p\text{-value}=0,17$). L'augmentation de b^* lors de la déshydratation dans la zone cervicale est plus importante pour les dents jeunes que pour les dents âgées. La variation de saturation entre $t=0$ et $t=40$ ne présente pas de différence significative : la diminution de b^* n'est pas statistiquement différente. Entre $t=0$ et $t=50$ et 60 minutes on retrouve une différence significative, ce qui signifie que la diminution de saturation en jaune est plus importante pour les dents âgées que pour les dents jeunes. Les dents âgées mettent donc plus de temps pour revenir vers leur valeur initiale de b^* dans la zone cervicale. Dans la zone médiane, le test a montré que les dents jeunes se saturaient significativement plus en jaune que les dents âgées lors de la déshydratation. Au cours de la réhydratation, on retrouve des résultats non significatifs pour Δb^* entre $t=0$ et $t=40$ et $t=60$. Le test a montré qu'il existait une différence significative de désaturation en jaune des dents âgées par rapport aux dents jeunes entre 0 et 50 minutes : les dents âgées se désaturent plus en jaune que les dents jeunes. En zone incisale, les dents jeunes se saturent statistiquement plus en jaune que les dents âgées entre 0 et 10 minutes ($p\text{-value}=4,6*10^{-3}$), mais entre 0 et 20 et 30 minutes on ne retrouve pas de différence significative. Entre 0 et 40 minutes, lors de la réhydratation, on ne retrouve pas de différence significative de désaturation en jaune entre dents jeunes et dents âgées. Cependant, entre 0 et 50 et 60 minutes le test de Mann Whitney a montré que les dents âgées se désaturent plus en jaune que les dents jeunes ($p\text{-value}=8,2*10^{-3}$ et $p\text{-value}=2,4*10^{-2}$).

-Paramètre C :

A l'état initial, selon le test de Mann Whitney, il n'existe pas de différence de saturation significative entre dents jeunes et dents âgées au niveau cervical et médian. Au niveau de la zone incisale, on retrouve une différence significative de saturation : les dents âgées sont statistiquement plus saturées que les dents jeunes dans cette zone.

Lors de la période de déshydratation, on ne retrouve pas de différence de saturation significative entre les deux types de dents étudiés au niveau des trois zones, cervicale, médiane et incisale.

Lors de la réhydratation la saturation n'est pas significativement différente entre dent jeune et âgée pour la zone cervicale. Au niveau de la zone médiane, on retrouve une différence significative à 50 et à 60 minutes de réhydratation, c'est-à-dire que les dents âgées sont plus saturées que les dents jeunes. Une différence significative de saturation est retrouvée pendant

toute la période de réhydratation pour la zone incisale ce qui signifie que les dents âgées sont plus saturées dans cette zone.

Le test de Mann Whitney a montré qu'il existait une différence significative entre dents jeunes et dents âgées au niveau de la zone cervicale concernant les variations de saturation ΔC sauf à 40 minutes (non significatif, p -value=0,3). L'augmentation de saturation des dents est plus importante pour les dents jeunes que pour les dents âgées en cervical. La variation de saturation entre $t=0$ et $t=40$ ne présente pas de différence significative : la diminution de saturation C n'est pas statistiquement différente. Entre $t=0$ et $t=50$ et 60 minutes on retrouve une différence significative, ce qui signifie que la diminution de saturation est plus importante pour les dents âgées que pour les dents jeunes. Les dents âgées mettent donc plus de temps à revenir vers leur valeur initiale dans la zone cervicale.

Dans la zone médiane, le test a montré que les dents jeunes se saturaient significativement plus que les dents âgées lors de la déshydratation. Au cours de la réhydratation, on retrouve des résultats non significatifs pour Δb^* entre $t=0$ et $t=40$ et $t=60$. Le test a montré qu'il existait une différence significative de désaturation des dents âgées par rapport aux dents jeunes entre 0 et 50 minutes : les dents âgées se désaturent plus que les dents jeunes.

En zone incisale, les dents jeunes se saturent statistiquement plus que les dents âgées entre 0 et 10 minutes (p -value= $4,4 \cdot 10^{-3}$), mais entre 0 et 20 et 30 minutes on ne retrouve pas de différence significative. Entre 0 et 40 minutes, lors de la réhydratation, on ne retrouve pas de différence significative de désaturation entre dents jeunes et dents âgées. Cependant, entre 0 et 50 et 60 minutes le test de Mann Whitney a montré que les dents âgées se désaturaient plus en jaune que les dents jeunes (p -value= $1,2 \cdot 10^{-3}$ et p -value= $4,8 \cdot 10^{-2}$).

-Paramètre h° :

On retrouve des différences significatives d'angle de tonalité chromatique h° entre dents jeunes et dents âgées à l'état initial, lors de la déshydratation et lors de la réhydratation au niveau des trois zones : les dents âgées ont une teinte jaune plus importante que les dents jeunes.

Si on s'intéresse aux variations de tonalités chromatiques Δh° au cours de la déshydratation puis de la réhydratation dans la zone cervicale, le test de Mann Whitney a montré qu'il n'existait pas de différence significative entre dents jeunes et dents âgées sauf entre $t=0$ et $t=60$ minutes. La diminution de l'angle de tonalité chromatique lors de la déshydratation, puis

son augmentation lors de la réhydratation n'est pas statistiquement différent. Entre t=0 et t=60, l'augmentation de h° est plus importante pour les dents jeunes que pour les dents âgées. Les dents jeunes retrouvent donc leur teinte initiale plus rapidement que les dents âgées après déshydratation dans la zone cervicale.

Au niveau des zones médiane et incisale, on retrouve des résultats significatifs entre t=0 et t=10, 20 et 30 : l'angle de tonalité chromatique diminue plus rapidement pour les dents jeunes. Lors de la réhydratation, le test ne montre pas de résultats significatifs, l'augmentation de teinte n'est pas statistiquement différente entre les deux groupes de dents étudiés au niveau des zones médianes et incisales.

3.3.5.2. Différence de couleur ΔE entre dents jeunes et dents âgées

Le tableau 11 rassemble les différences de couleurs, exprimées par le ΔE , calculées entre les moyennes des valeurs des coordonnées de couleurs entre dents jeunes et dents âgées pendant la période de déshydratation et celle de réhydratation des dents.

Zone étudiée	Temps (minutes)						
	0	10	20	30	40	50	60
ΔE Zone cervicale	3,94	4,80	4,34	4,20	3,17	3,53	3,90
ΔE Zone médiane	4,53	4,79	4,30	4,37	4,02	4,16	4,33
ΔE Zone incisale	4,03	3,02	3,22	3,21	3,61	4,23	4,26

3.4. Discussion

3.4.1. Valeurs initiales des coordonnées de couleur :

Plusieurs études ont montré que les valeurs CIE L*, a*, b*, C, h° présentait des différences significatives entre les zones cervicale, médiane et incisale.

Dans notre étude, la luminosité L^* augmentait en direction cervicale comme dans l'étude d'O'Brien et al. (1997) et celle de Burki et al. (2013) (27,70). Mais les résultats n'étaient pas significatifs entre la zone médiane et les zones cervicale et incisale ; on ne retrouvait un résultat significatif qu'entre les zones cervicale et incisale. Hasegawa (2000) (42) a étudié la couleur des dents naturelles en mesurant 5 zones différentes ayant chacune 1 mm de diamètre (incisale, incisivo-médiane, médiane, médio-cervicale et cervicale) ; il a trouvé que la zone la plus lumineuse se situait au niveau médian et médio-cervical et que la luminosité diminuait graduellement en direction incisale et légèrement en direction cervicale. Dans notre expérimentation, nous avons utilisé un spectrophotomètre dont le capteur mesurait 5mm de diamètre. Sachant que la longueur moyenne de la couronne d'une incisive centrale maxillaire est de 10,5 mm, nous avons étudié 3 zones (cervicale, médiane et incisale) qui se chevauchaient partiellement (la zone cervicale chevauchait la zone médiane, la zone médiane chevauchait les zones cervicale et incisale et la zone incisale chevauchait la zone médiane). En conséquence, quand bien même la luminosité ait été plus forte au niveau médian et médio-cervical, la luminosité moyenne mesurée au niveau médian a pu être affectée par la moindre luminosité de la zone incisale ; et la luminosité moyenne mesurée au niveau cervical a pu être affectée par une luminosité plus élevée au niveau médio-cervical, ce qui pourrait expliquer un niveau de luminosité relevé plus important de la région cervicale par rapport à la région médiane et donc l'augmentation graduelle de luminosité de la zone incisale vers la zone cervicale. Le chevauchement des mesures pourrait également expliquer le fait que nous ayons obtenu des valeurs de luminosité non significatives entre la zone médiane et les zones cervicale et incisale. De plus, ce phénomène de chevauchement a pu être accentué par le fait que les dents étudiées étaient des dents âgées, et donc soumises à l'usure du bord libre ce qui a comme conséquence la diminution de longueur de la zone étudiée.

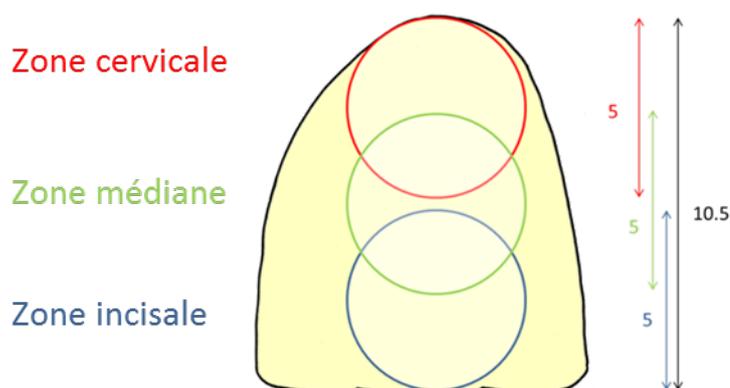


Figure 33 Chevauchement des 3 zones mesurées (d'après la thèse d'Adrien Boucher)

Contrairement à plusieurs études montrant une augmentation significative de la saturation de la zone incisale vers la zone cervicale avec des différences significatives entre les zones cervicale, médiane et incisale, notre expérimentation a montré que la saturation mesurée était significativement plus élevée au niveau cervical par rapport aux zones médiane et incisale mais qu'il n'y avait pas de différence significative de saturation entre les zones médiane et incisale.

Les dents sont naturellement peu saturées comme en témoigne notre étude ; et là encore le chevauchement des 2 zones mesurées a pu engendrer une grande proximité des valeurs recueillies.

L'angle de tonalité chromatique des dents étudiées oscillait autour de 90° (a^* très proche de 0 et $b^* > 0$) ce qui correspondait à des teintes jaunes et jaune-orangées. Ces résultats sont en accord avec de multiples publications (20).

La saturation en rouge a^* et en jaune b^* des dents augmentait de la zone incisale vers la zone cervicale, ce qui est en accord avec l'étude de Hasegawa (42).

3.4.2. Changement de couleur des dents naturelles pendant les périodes de déshydratation et de réhydratation :

Peu d'études concernant les effets de la déshydratation sur la couleur des dents sont retrouvées dans la littérature scientifique :

- Russel et al. (2000) (21) ont mesuré les coordonnées de couleur de 7 incisives centrales maxillaires avant de mettre en place un champ opératoire. Après 15 minutes de déshydratation, des mesures ont été effectuées avant de déposer la digue. Pendant la période de réhydratation de la dent, des mesures ont été effectuées toutes les 10 minutes pendant 30 minutes.

- Burki et al. (2013) (27) ont mesuré les coordonnées de couleurs de 20 incisives centrales maxillaires avant de mettre en place un champ opératoire. Pendant la période de déshydratation de la dent, des mesures ont été effectuées toutes les 10 minutes pendant 30 minutes, puis la digue a été déposée. Pendant la période de réhydratation de la dent, des mesures ont été effectuées toutes les 10 minutes pendant 30 minutes.

- La même étude que celle nous avons réalisée a été menée auprès de 20 patients de moins de 30ans (35) mais avec des mesures effectuées à 0, 10, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes.

Les résultats statistiques (test de Wilcoxon) et cliniques (ΔE) de notre étude expérimentale ont montré que l'on rejetait l'hypothèse nulle « il n'y a pas de changement significatif entre la couleur des dents avant et après déshydratation ».

Toutes les coordonnées L^* , a^* , b^* , C , h° au niveau des 3 zones étudiées présentaient des différences significatives entre les valeurs initiales et celles recueillies au bout de 3, 6, 9, 12, 15, 20, et 30 minutes, ce qui signifie que toutes les coordonnées de couleurs des dents étudiées ont varié significativement après seulement 3 minutes d'isolement par un champ opératoire. Ces résultats sont en accord avec ceux de l'étude de Burki et la même étude que la notre réalisée sur des patients jeunes, mais différent des constatations de Russel qui n'a observé des variations significatives que des paramètres L^* et a^* après 15 minutes de déshydratation. Dans notre étude, nous avons choisi de réaliser la première mesure de la phase de déshydratation à 3 minutes car nous avons pu constater dans l'étude précédente, sur patients jeunes, que le phénomène de déshydratation se produisait très rapidement, au cours des 10 premières minutes. Nous avons donc réalisé des relevés toutes les trois minutes de $t=0$ à $t=15$ pour pouvoir nous rendre compte plus précisément du moment où le phénomène de déshydratation se produisait.

La luminosité a augmenté significativement après seulement 3 minutes de déshydratation. Ce changement serait dû aux effets de la déshydratation sur l'augmentation de l'opacité de l'émail : la déshydratation correspond au remplacement de l'eau par l'air autour des prismes d'émail. Il se produirait une meilleure dispersion de la lumière au niveau des interfaces air-émail par rapport aux interfaces eau-émail du fait des différences d'indice de réfraction entre l'eau (1,33) et l'air (1), ce qui rendrait l'émail plus opaque et causerait un effet masquant de la dentine sous-jacente. Cette augmentation d'opacité entraînerait une réflexion plus importante de photons et la luminosité augmenterait en conséquence.

Pendant la période de réhydratation, toutes les coordonnées L^* , a^* , b^* , C , h° au niveau des 3 zones étudiées présentaient des différences statistiquement significatives entre les valeurs initiales et celles recueillies au bout de 40, 50, et 60 minutes, excepté le paramètre h° au niveau de la zone cervicale qui ne présentait plus de différence significative avec les valeurs initiales à partir de 60 minutes d'expérimentation. Ces résultats diffèrent de l'étude de Russel qui a constaté un retour aux valeurs initiales de luminosité L^* et du paramètre a^* à partir de 20 minutes de réhydratation, les autres coordonnées n'ayant pas présenté de différences significatives par rapport aux valeurs initiales pendant toute son expérimentation. Mais également de l'étude de Burki qui a noté un retour aux valeurs initiales de luminosité après 30 minutes de réhydratation. Pour les autres paramètres de la couleur, a^* , b^* , c et h° , Burki a

également fait le même constat que nous, à savoir que les paramètres n'étaient pas revenus à leurs valeurs initiales (exception faite de h° en zone cervicale).

Les coordonnées a^* et b^* sont calculées à partir des valeurs tristimulus « x, y, z » issues du système colorimétrique « CIE x,y,z » (1931) par les formules suivantes :

$$a^* = 500 (f (X/X_n) - f (Y/Y_n))$$

$$b^* = 200 (f (Y/Y_n) - f (Z/Z_n))$$

La valeur « y » est corrélée avec le paramètre L^* par la formule $L^* = 116 f (Y/Y_n) - 16$, donc des variations de luminosité peuvent entraîner des variations des paramètres a^* et b^* et par conséquent de la saturation ($C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) et de la tonalité chromatique ($h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$). Les variations de a^* , b^* , C et h° au cours de l'expérimentation pourraient donc être expliquées en partie par l'influence des variations de luminosité L^* (71).

Pour réaliser une mesure de couleur par l'Easyshade, le tissu dentaire ou la prothèse étudiée doivent avoir une épaisseur minimale 0,7 mm

Les variations des coordonnées ΔC et Δb^* n'ont pas présenté de différences significatives entre les 3 sites étudiés (cervical, médian et incisal) tout au long de l'expérimentation. Des différences significatives ont été observées entre les variations ΔL^* des zones cervicale et incisale entre les valeurs initiales et celles relevées au bout de 3 minutes et des zones médiane et incisale entre les valeurs initiales et celles relevées au bout de 3, 6, 9, 20 et 30 minutes, ce qui signifie que la zone cervicale a été moins affectée par le changement de luminosité que les deux autres régions, bien que ce changement soit resté significatif. Les variations du paramètre h° ont présenté une différence significative entre 0 et 60 minutes entre les zones cervicale et médiane. On retrouve également une différence significative pour les variations du paramètre a^* des zones cervicale et incisale entre les valeurs initiales et celles retrouvées à 12 minutes. Ces résultats contrastent avec l'étude de Burki qui n'a détecté aucune différence de variation significative ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* entre les régions cervicale, médiane et incisale. De même, ces conclusions diffèrent de l'étude réalisée sur patients jeunes, dans laquelle les paramètres de la couleur ΔL^* , ΔC , Δa^* et Δb^* n'ont pas présenté de différences statistiquement significatives au niveau des 3 zones étudiées tandis que le paramètre Δh° variait de façon moins importante au niveau cervical par rapport aux zones médiane et incisale.

3.4.3. Influence du genre (homme/femme)

Au cours de notre étude, nous avons comparé les valeurs initiales obtenues entre hommes et femmes. L'étude réalisée sur patients jeunes et celle de Burki n'ont pas étudié ces valeurs initiales, mais seulement les variations des coordonnées de couleur. Nous avons obtenu des différences significatives en fonction du genre au niveau de la zone cervicale pour L^* , h° et a^* ainsi que pour L^* au niveau de la zone médiane. A savoir que la luminosité et la tonalité chromatique étaient plus importantes chez les femmes au niveau cervical, que les hommes ont des dents plus saturées en rouge au collet et que la luminosité des dents dans la zone médiane est plus importante chez les femmes que chez les hommes. Ces résultats sont en accord avec l'étude de Gomez-Polo (43) qui a étudié l'influence du genre et de l'âge sur la couleur des dents sur 1361 incisives et qui a conclu que les dents des femmes étaient plus lumineuses que celles de hommes. Cette étude a cependant également montré que les hommes avaient des dents plus saturées en jaune que les femmes, tandis que nous n'avons trouvé aucune différence significative dans notre étude.

Nous avons établi des conclusions différentes de l'étude de Burki et de l'étude réalisée sur dents jeunes qui n'avaient trouvé aucune influence du genre (hommes / femmes) sur les variations des coordonnées de couleurs ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* en fonction du temps au niveau des 3 sites étudiés. Dans notre expérimentation, nous sommes en accord avec ces deux études en ce qui concerne la zone cervicale. Cependant nous avons trouvé des différences significatives pour Δa^* entre 0 et 12, 15, 20 et 30 minutes au niveau de la zone médiane et pour Δa^* entre 0 et 50 minutes au niveau de la zone incisale. C'est donc par les variations de saturation en rouge Δa^* que l'on retrouve des différences entre homme et femmes chez les patients âgés.

3.4.4. Influence de l'âge (patients de moins de 30 ans /patients de plus de 50 ans)

Lors de l'analyse des résultats initiaux, nous avons trouvé des différences de luminosité L^* significatives au niveau des zones cervicales et médianes mais pas au niveau de la zone incisale, ce qui signifie que les dents jeunes sont plus lumineuses que les dents âgées au niveau cervical et médian mais pas au niveau incisal. Ces résultats sont en accord avec l'étude de Hasegawa (42) qui a trouvé une corrélation négative de L^* avec l'âge dans les zones cervicale,

cervico-médiane et médiane et aucune corrélation pour les zones médio-incisale et incisale. Cependant, nos résultats montrent que les valeurs de luminosité des dents jeunes sont supérieures à celles des dents âgées, ce que l'on retrouve dans de nombreuses publications (41,43,44).

Pour le paramètre a^* , le test statistique nous a donné des différences significatives entre les dents des deux groupes d'âges distincts au niveau des trois zones. Ces résultats sont différents de l'étude de Hasegawa qui n'a trouvé une différence significative que pour la zone incisale. L'usure occlusale qui se produit dans la région incisale avec l'âge, associée à la présence de zones de dentine secondaire exposées peuvent être responsables de la saturation en rouge plus élevée dans cette zone.

La saturation en jaune b^* était significativement plus importante dans la zone incisale pour les dents âgées par rapport aux dents jeunes mais aucune différence n'a été retrouvée pour les zones médiane et cervicale. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Hasegawa qui a retrouvé une corrélation positive de b^* avec l'âge au niveau des cinq sites étudiés.

Néanmoins, tout comme dans l'étude de Hasegawa, nous avons trouvé que les coordonnées a^* et b^* augmentaient en valeur de la zone incisale vers la zone cervicale et étaient plus élevées chez les patients âgés que chez les patients jeunes. Ce qui confirme l'hypothèse que les dents âgées sont plus saturées en jaune et en rouge que les dents jeunes (41–44).

Concernant l'angle de tonalité chromatique h° , le test de Mann Whitney a montré qu'il existait des différences significatives entre dents jeunes et dents âgées au niveau des trois sites, avec des valeurs de h° plus faibles, donc des teintes plus jaune-orangées, pour les dents âgées par rapport aux dents jeunes. Ce qui est en accord avec les valeurs plus importantes de a^* et b^* étudiées précédemment.

Nous avons également pu observer que la saturation C était statistiquement plus faible pour les dents jeunes que pour les dents âgées au niveau de la zone incisale mais pas au niveau des zones médiane et incisale. Néanmoins, les valeurs moyennes de saturation des trois sites sont plus élevées pour les dents âgées ce qui concorde avec l'étude de Gomez-Polo qui a conclu que plus les patients étaient âgés, plus la saturation augmentait (43,44).

Au cours de la déshydratation on a pu observer qu'il existait des différences significatives entre les deux groupes d'âges différents pour les paramètres L^* dans les zones

cervicale et médiane et les coordonnées h° et a^* pour les trois zones mais il n'y avait pas de différences significatives pour L^* dans la zone incisale et b^* et C dans les trois zones étudiées. Notre expérimentation a donc montré que la déshydratation a des conséquences plus importantes sur la luminosité : les dents jeunes deviennent plus lumineuses que les dents âgées. Mais également sur la saturation en rouge a^* , avec des dents âgées qui gagnent plus en composante rouge et la teinte des dents âgées h° qui va plus aller vers le jaune-orangé que les dents jeunes.

Lors de la réhydratation, au niveau de la zone cervicale, tous les paramètres présentent des différences significatives entre les deux groupes étudiés, à l'exception de L^* à 40, 50 et 60 minutes et b^* et C à 40 minutes. Dans la zone médiane, tous les paramètres présentent des différences significatives, excepté L^* à 40 et 50 minutes et b^* et C à 40 minutes. Le test statistique a montré qu'en zone incisale le seul paramètre qui ne présentait pas de différences significatives entre dents jeunes et dents âgées était L^* à 40, 50 et 60 minutes. On voit donc qu'au cours de la réhydratation la luminosité est le paramètre qui présente le plus de similitudes dans ses variations entre dents jeunes et dents âgées alors que nous avons des valeurs initiales de L^* statistiquement différentes sauf au niveau incisal.

En ce qui concerne l'étude des variations des coordonnées de couleur au cours de la déshydratation puis de la réhydratation en fonction de l'âge, notre étude ne peut être comparée qu'à l'étude de Burki qui n'a pas trouvé de différences significatives entre dents jeunes et dents âgées. Nos résultats sont donc en désaccord avec cette étude.

Dans notre étude, le paramètre L^* ne présentait pas de différence significative entre dents jeunes et dents âgées lors de la déshydratation pour les trois zones étudiées. Lors de la réhydratation, des différences significatives ont été retrouvées pour les trois zones entre les deux groupes de dents étudiés sauf pour la zone cervicale entre l'état initial et 60 minutes de réhydratation. Les dents âgées mettent donc plus de temps à retourner vers leurs valeurs initiales de luminosité que les dents jeunes dans les zones médianes et incisales. Cette conclusion est également confirmée par les résultats obtenus avec le test de Wilcoxon qui avaient montré que les dents jeunes présentaient des valeurs de luminosité statistiquement non significatives avec les valeurs initiales à partir de 20 minutes de réhydratation. A l'inverse, au bout de 30 minutes de réhydratation, les dents âgées présentaient toujours des valeurs statistiquement différentes avec leurs valeurs initiales pour les 3 zones. Ces résultats peuvent être expliqués par la différence de minéralisation de l'émail entre dents jeunes et dents âgées, l'émail des dents âgées étant plus

minéralisé on peut supposer que la dent met plus de temps à se réhydrater et donc à retourner vers la luminosité initiale.

Au niveau de la zone cervicale, les variations Δa^* ont présenté une différence significative pendant toute la durée du test. Les dents âgées se sont plus saturées en rouge au cours de la déshydratation et se sont plus désaturées en rouge lors de la réhydratation. Dans les zones médianes et incisales, aucune différence significative n'a été retrouvée excepté entre 0 et 10 minutes, au cours desquelles les dents jeunes ont présenté une augmentation de a^* plus importante.

Les variations de saturation en jaune Δb^* et de saturation ΔC n'ont pas été significativement différentes. Elles sont restées non significatives durant tout le test pour la zone cervicale sauf entre 0 et 40 minutes, à savoir que les dents jeunes se sont plus saturées pendant toute la déshydratation ; et que les dents âgées se sont plus désaturées au cours de la réhydratation sauf durant les 10 premières minutes de déshydratation. Dans la zone médiane on a obtenu des valeurs significatives pendant toute la déshydratation et entre 0 et 50 minutes tandis que dans la zone médiane on n'a obtenu des différences significatives qu'entre 0 et 10, 50 et 60.

Si on étudie les variations de teinte Δh° dans la zone cervicale, nous avons obtenu des différences non significatives entre les valeurs initiales et tous les autres temps du test sauf à 60 minutes. Une fois de plus les dents âgées mettent plus de temps à revenir vers leurs valeurs initiales de tonalité chromatique car l'augmentation de h° est plus importante entre 0 et 60 minutes pour les dents jeunes que pour les dents âgées. Dans les zones médiane et incisale nous avons obtenu des différences significatives pendant la déshydratation, c'est-à-dire que h° diminuait plus pour les dents jeunes et non significatives durant la réhydratation.

L'analyse des ΔE moyens entre dents jeunes et dents âgées à l'état initial et tout au long du test nous a donné des résultats compris entre 3,02 et 4,80 ce qui signifie que la différence de couleur est cliniquement perceptible entre les deux groupes de dents étudiés durant tout le test. Les valeurs de ΔE les plus faibles sont retrouvées pour la zone incisale tandis que les valeurs les plus fortes sont retrouvées pour la zone cervicale, suivie de près par la zone médiane. Les zones cervicale et médiane sont donc celles qui vont présenter le plus d'augmentation des coordonnées de couleur avec l'âge à l'état initial et au cours de la déshydratation et de la réhydratation.

3.4.5. Différences de couleur ΔE

Le calcul des différences de couleur ΔE entre l'état initial et les différents temps de mesure a permis d'évaluer l'importance clinique du changement de couleur des dents naturelles pendant les périodes de déshydratation et de réhydratation.

Rappelons que :

- Le seuil de discrimination correspond à une différence de couleur détectée par 50% des observateurs. Il est compris entre 1,9 et 3,7 dans les études in vivo.
- Le seuil d'acceptabilité correspond à une différence de couleur que 50% des observateurs jugent inacceptable. Il est compris entre 4,2 et 6,8 dans les études in vivo.

Après seulement 3 minutes de déshydratation, les ΔE moyens 2,9, 2,9 et 3,3 correspondant respectivement aux zones cervicale, médiane et incisale, étaient proches de la valeur la plus haute retrouvée pour les seuils de discrimination (compris entre 1,9 et 3,7) mais étaient inférieurs aux seuils d'acceptabilité in vivo retrouvés dans les différentes études (compris entre 4,2 et 6,8). Ce n'est qu'à partir de 6 minutes que l'on retrouve des ΔE supérieurs ou égaux aux seuils de discrimination et à partir de 9 minutes que l'on retrouve des valeurs de ΔE comprises dans les valeurs des seuils d'acceptabilité.

De ce fait, lors d'une restauration conservatrice ou prothétique, si le choix de la couleur des dents est effectué après 3 minutes de déshydratation, la différence entre la couleur de la restauration (composite ou couronne) et la dent sera perceptible par la majorité des praticiens et à 9 minutes de déshydratation plus de 50% d'entre eux jugeront la différence de couleur inacceptable et décideront de refaire la restauration.

Après 30 minutes de déshydratation, les ΔE moyens 5,6, 5,7 et 6,6 correspondant respectivement aux zones cervicale, médiane et incisale, étaient tous supérieurs aux seuils de discrimination et proches de la valeur la plus haute de seuil d'acceptabilité. Ces résultats confirment ceux de l'étude de Burki (27) et nous montrent que la déshydratation des dents entraîne des différences de couleurs cliniquement significatives pouvant induire des erreurs lors des restaurations.

Dix minutes après la dépose du champ opératoire, les ΔE moyens 3,4 (zone cervical), 3,7 (zone médiane) et 4,3 (zone incisale) étaient inférieurs aux seuils d'acceptabilité mais restaient supérieurs aux seuils de discrimination : des différences entre la couleur initiale des dents naturelles étudiées et celle après 10 minutes de réhydratation étaient encore cliniquement perceptibles. Les ΔE moyens après 20 minutes de réhydratation étaient inférieurs ou égaux à 3 au niveau des 3 zones étudiées, donc compris dans les valeurs extrêmes des seuils de

discrimination in vivo : une différence était toujours perceptible. Ce n'est qu'à 30 minutes de déshydratation que l'on obtient des valeurs de ΔE inférieures au plus petit seuil de discrimination (1,9) avec des ΔE moyens de 1 (zone cervicale), 1,2 (zone médiane) et 1,6 (zone incisale). Par conséquent, en situation clinique, le praticien devrait attendre 30 minutes après une procédure entraînant une déshydratation des dents chez un sujet âgé de plus de 50 ans pour pouvoir déterminer sans risque d'erreur cliniquement significative la couleur des dents naturelles. Ces résultats se rapprochent de ceux de l'étude Russell qui a noté un ΔE moyen proche de 1 après 30 minutes de réhydratation donc lui aussi inférieur au seuil de discrimination le plus bas. En revanche, Burki a relevé des ΔE moyens compris entre 4,3 et 5,5 en fonction du site, donc supérieurs aux seuils de discrimination, à des niveaux limites d'acceptabilité.

La différence de couleur est calculée par la formule suivante :

$$\Delta E = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2]^{1/2} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Après 30 minutes de réhydratation, la luminosité des dents étudiées n'était pas revenue à ses valeurs initiales. 30 minutes après la dépose du champ opératoire, les valeurs des paramètres a^* et b^* étaient statistiquement plus élevées que celles relevées à l'état initial, excepté pour a^* au niveau cervical, cependant les écarts moyens Δa^* et Δb^* étaient faibles (tableau 12). L'ensemble de ces résultats pourraient expliquer les faibles valeurs de ΔE après 30 minutes de réhydratation.

Tableau 12 : écarts moyens des paramètres a^* et b^* entre l'état initial et 30 minutes de réhydratation		
zone étudiée	Δa^* 30 min	Δb^* 30 min
cervicale	0,065	0,735
médiane	0,08	0,725
incisale	0,115	1,07

D'autre part, à l'état initial, le ΔE moyen entre la zone cervicale et la zone médiane était 5,54, le ΔE moyen entre la zone cervicale et la zone incisale était 8,69 et le ΔE moyen entre la zone médiane et la zone incisale était 5,2. Toutes ces valeurs étaient supérieures aux seuils de discrimination ce qui signifie que les 3 zones étudiées présentaient des différences de couleur cliniquement perceptibles.

3.4.6. Limites de l'étude

L'orientation de la sonde perpendiculairement à la surface dentaire à analyser est opérateur-dépendant et peut être source d'erreurs lors des mesures. Trois guides de positionnement en PVC rigide ont été réalisés pour chaque dent étudiée afin d'éviter tout placement arbitraire de la sonde du spectrophotomètre, ce qui permet également de contrôler les mouvements latéraux.

Une des difficultés de l'expérimentation a été d'assurer l'étanchéité cervicale des dents analysées. Pour ce faire, la feuille de digue a été perforée 8 fois, isolant le secteur incisivo-canin maxillaire ainsi que la première prémolaire maxillaire, ce qui a permis de réduire les tensions sur la feuille et d'empêcher qu'elle ne recouvre une partie du collet. De plus, des ligatures ont été réalisées lorsque la situation clinique l'exigeait pour parfaire l'étanchéité. Malgré ces précautions, il existe toujours un léger fluide gingival qui peut engendrer des variations lors des mesures.

Dans notre expérimentation, nous avons utilisé un spectrophotomètre dont le capteur mesurait 5 mm de diamètre, sachant que la longueur moyenne de la couronne d'une incisive centrale maxillaire est de 10,5 mm, nous avons étudié 3 zones (cervicale, médiane et incisale) qui se chevauchaient partiellement. Un capteur de 3mm de diamètre serait mieux adapté pour mesurer de façon bien distincte ces 3 zones.

D'après les données de VitaTM (59), le tissu ou matériau étudié doit avoir une épaisseur minimale de 0,7 mm pour que l'Easyshade[®] puisse effectuer sa mesure. Or la zone incisale est une zone de faible épaisseur associée à une translucidité plus importante que dans les autres zones. On peut donc se demander si la couleur de l'environnement externe n'a pas une influence lors des mesures dans cette zone. De plus, cette donnée nous permet de savoir que la déshydratation se produit au moins jusqu'à 0,7 mm de profondeur. Cependant, il aurait été intéressant de connaître la profondeur maximale de mesure de l'appareil, donnée non communiquée par le fabricant, pour savoir si le phénomène se produit au-delà de cette profondeur.

L'échantillon de 20 patients reste faible et donc d'une précision contestable. Nous nous sommes basés sur la taille de l'échantillon de Burki en sélectionnant une population plus

homogène en âge (entre 50 et 64 ans). Cependant avec 20 patients, les résultats ont eu des différences significatives. L'échantillon a donc été suffisant en terme de puissance. Pour cette étude, il n'est pas possible d'affirmer que l'échantillon était représentatif de la population française âgée de plus de 50 ans. Les données socio-professionnelles, l'origine des patients n'ont pas été relevées.

4. Conclusion

En tenant compte des limites de cette étude, quelques conclusions peuvent être retenues :

La couleur des dents à l'état normal n'est pas uniforme. Notre étude a montré que les dents étudiées présentaient une luminosité importante, croissante de la zone incisale vers la zone cervicale, une saturation très faible, significativement plus élevée au niveau de la zone cervicale par rapport au corps et au bord incisal et une teinte plus jaune orangé au niveau cervical et plus jaune au niveau médian et incisal. Les tests statistiques n'ont pas montré de différence significative de saturation C et b^* entre les zones médiane et incisale et de saturation en rouge a^* et de tonalité chromatique h° entre les trois zones. Ces résultats confirment la nécessité de réaliser une véritable cartographie de la couleur des dents lors des étapes de relevés afin de transmettre le maximum d'informations au prothésiste. Une deuxième difficulté vient s'ajouter à la réalisation d'une prothèse, celle de retranscrire une dent naturelle avec des poudres de céramique par le prothésiste.

La déshydratation des dents entraîne des changements de couleur cliniquement significatifs au niveau des 3 zones cervicale, médiane et incisale. Le ΔE moyen observé, supérieur à 2,8 après 3 minutes de déshydratation, indiquait que l'erreur était cliniquement perceptible, et supérieur à 5,6 après 30 minutes de déshydratation, signifiait que la différence entre la couleur mesurée et la couleur réelle était jugée inacceptable.

L'ensemble des paramètres de la couleur L^* , a^* , b^* , C, h° a présenté des différences statistiquement significatives pendant toute la période de déshydratation. Les variations les plus importantes se sont produites pendant les 3 premières minutes de la phase de déshydratation.

Les variations ΔC , Δb^* et Δh° n'ont pas présenté de différences significatives en fonction du site dentaire. Les variations ΔL^* au niveau cervical et médian sont statistiquement moins importantes qu'au niveau incisal, ce qui signifie que les zones cervicale et médiane ont été moins affectées par le changement que les deux autres régions, bien que ce changement de luminosité soit resté significatif. Les variations Δa^* ont montré que les dents se saturaient plus en rouge au niveau cervical, suivi de la zone médiane et de la zone incisale au cours de la déshydratation.

Après la pose du champ opératoire, les dents sont devenues plus lumineuses et plus saturées en jaune et en rouge. La variation moyenne de luminosité (ΔL^* moyenne), tout site

confondu, était supérieure à 2 après seulement 3 minutes de déshydratation et supérieure à 4 après 15 minutes ce qui correspond, au niveau du teintier Vita System 3D-Master, au passage dans un groupe de luminosité supérieur (groupe 2 au groupe 1 par exemple).

Les paramètres de la couleur ont présenté des différences statistiquement significatives pendant la période de réhydratation, sauf la tonalité chromatique h° au niveau cervical qui ne présentait plus de différence avec les valeurs initiales après 30 minutes de réhydratation. Cependant, les paramètres L^* , a^* , b^* , C et h° dans les autres zones présentaient des différences, certes significatives, mais peu éloignées des valeurs initiales. Il en résulte qu'il n'y avait plus de différence de couleur cliniquement perceptible après 30 minutes de réhydratation au niveau des 3 zones étudiées, le ΔE moyen observé étant très proche de 1.

Les coordonnées de couleur L^* , h° , a^* au niveau de la zone cervicale et L^* dans la zone médiane présentaient des différences significatives en fonction du genre. Les variations des coordonnées de couleur Δh° entre 0 et 3 minutes dans la zone médiane, Δa^* entre 0 et 12, 15, 20, 30, 40, 50, 60 dans la zone médiane et Δa^* entre 0 et 30 et 50 minutes présentaient des différences significatives entre les hommes et les femmes.

Lors de mesures initiales, les paramètres L^* , a^* , h° au niveau cervical et médian et C , h° , a^* , b^* au niveau incisal ont présenté des différences significatives entre dents jeunes et dents âgées. Les dents âgées sont moins lumineuses, plus saturées en rouge et ont une teinte plus jaune-orangée que les dents jeunes en cervical et en médian. En incisal, les dents âgées sont plus saturées et plus jaune-orangées que les dents jeunes. L'étude des variations de coordonnées de la couleur ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* a montré que les dents âgées mettaient plus de temps à se déshydrater mais également plus de temps à se réhydrater que les dents jeunes.

Dans notre pratique clinique, de nombreuses procédures (aspiration avec la pompe salivaire, utilisation du spray d'air, prise d'empreintes, emploi du champ opératoire) entraînent une déshydratation des dents. Notre étude a montré le changement rapide de couleur des dents de sujet jeunes qui se dessèchent (3 minutes) et la durée de réhydratation en milieu buccal nécessaire pour que la différence de couleur par rapport à l'état initial ne soit plus perceptible (30 minutes). Par conséquent, il serait judicieux d'effectuer le relevé de la couleur des dents naturelles en début de séance avant toute intervention qui peut engendrer la déshydratation de l'organe dentaire. En cas d'oubli, et pour ne pas transmettre des informations erronées au technicien de laboratoire, le relevé pourrait être reporté lors d'une séance ultérieure.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

<u>Figure 1</u> Spectre de la lumière (d'après la société francophone de biomatériaux).....	11
<u>Figure 2</u> lumière et vision des couleurs (d'après Jean-François Lasserre).....	12
<u>Figure 3</u> Principes de la synthèse additive.....	13
<u>Figure 4</u> Principes de la synthèse soustractive.....	14
<u>Figure 5</u> Absorption-Transmission-Réflexion.....	15
<u>Figure 6</u> Anatomie de l'œil (d'après bioinformatics) et courbes d'absorbance des bâtonnets et des cônes pour l'Homme (d'après Rodriguez. R).....	16
<u>Figure 7</u> Cylindre de Munsell (d'après Berteretche M-V dans Esthétique en odontologie à gauche et d'après Mac Evoy B dans Handprint : modern color models à droite).....	16
<u>Figure 8</u> Système CIE L*a*b* (d'après Baltzer et Kaufmann-Jinoian dans La définition des teintes de dent).....	18
<u>Figure 9</u> Système CIE L*C h°(d'après Mac Evoy B dans Handprint : modern color models à gauche et d'après Baltzer et Kaufmann-Jinoian dans La définition des teintes de dent à droite).....	19
<u>Figure 10</u> Espace chromatique des dents naturelles dans le système CIE L*a*b* (document Vita™).....	20
<u>Figure 11</u> Représentation dans l'espace chromatique CIE L*a*b* du calcul de la différence de couleur ΔE entre deux points colorés A et B (d'après Emmanuel d'Incau).....	21
<u>Figure 12</u> Coupe d'une incisive centrale d'un sujet d'âge moyen (entre 50 et 60 ans).....	29
<u>Figure 13</u> Teintiers Toothguide 3D-Master® (droite) et le Linearguide 3D-Master® (gauche) de Vita™ et teintier Toothguide 3D-Master® avec échantillons rangés par ordre de luminosité décroissante de gauche à droite.....	32
<u>Figure 14</u> Organisation du teintier Toothguide 3D-Master® en vue d'optimiser le choix de la couleur selon les 3 dimensions fondamentales: luminosité, saturation et teinte.....	33
<u>Figure 15</u> Fidélité, Justesse et Exactitude (d'après la thèse d'Adrien Boucher).....	38
<u>Figure 16</u> guides de positionnement pour le relevé de couleur au niveau cervical, médian et incisal.....	44
<u>Figure 17</u> Placement correct du capteur du spectrophotomètre Vita Easyshade Advance 4.0® (document Vita™).....	45
<u>Figure 18</u> Relevé de couleur à l'état initial avec guide en place et photo avec référentiel teintier 3D Master®.....	46
<u>Figure 19</u> Champ opératoire mis en place.....	47
<u>Figure 20</u> Essayage des guides de positionnement champ opératoire en place.....	47
<u>Figure 21</u> Relevé de la couleur pendant la période de déshydratation de la dent.....	48
<u>Figure 22</u> Photo avec mise en place de la digue sur la moitié des deux incisives centrales pendant 15 minutes (à gauche) et photo après retrait de la digue (à droite) où l'on peut aisément remarquer la différence de couleur entre la zone hydratée (zone cervicale) et la zone déshydratée (zone incisale).....	48
<u>Figure 23</u> Différence de couleur à t=0 minutes (à gauche, t=30 minutes (au milieu) et à t=60 minutes (à droite) : on peut observer que les dents n'ont pas retrouvé leur couleur initiale à la fin de l'expérimentation.....	49
<u>Figure 24</u> Luminosité moyenne à t=0 au niveau cervical, médian et incisal.....	52
<u>Figure 25</u> Répartition des couleurs relevées à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale dans le plan horizontal définies par les axes -a* +a* vert-rouge et -b* +b* bleu-jaune.....	53
<u>Figure 26</u> répartition des couleurs relevées à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale dans le plan horizontal défini par les axes -a* +a* vert-rouge et -b* +b* bleu-jaune.....	54

<u>Figure 27</u> Angles minimum et maximum de tonalité chromatique à l'état initial au niveau des zones cervicales, médiane et incisale.....	55
<u>Figure 28</u> Evolution du paramètre L*pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes).....	58
<u>Figure 29</u> Evolution du paramètre a* pendant la phase de déshydratation de 0 à 30 minutes et de réhydratation de 30 à 60 minutes	59
<u>Figure 30</u> Evolution du paramètre b* pendant la phase de déshydratation de 0 à 30 min et pendant la phase de réhydratation de 30 à 60 minutes.....	60
<u>Figure 31</u> Evolution du paramètre C pendant les phases de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes).....	62
<u>Figure 32</u> Evolution du paramètre h° pendant les phases de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes).....	63
<u>Figure 33</u> Chevauchement des 3 zones mesurées (d'après la thèse d'Adrien Boucher)	73

BIBLIOGRAPHIE

1. Machado AW. 10 commandments of smile esthetics. *Dent Press J Orthod*. 2014 Aug;19(4):136–57.
2. Savard G, Tirlet G, Attal. La dentisterie esthétique : Pourquoi maintenant ? *Fil Dent Mag Dent*. 2009 Nov 9;
3. Simon J, Tirlet G, Attal J. Evaluation de la demande esthétique. *Inf Dent*. 2008 Sep 17;(31):1677–82.
4. Samorodnitzky-Naveh GR, Geiger SB, Levin L. Patients' satisfaction with dental esthetics. *J Am Dent Assoc* 1939. 2007 Jun;138(6):805–8.
5. Giau F. Les différentes techniques d'enregistrement de la teinte en prothèse fixée. Université de Nantes; 2012.
6. Déribéré M. Couleur. Presses universitaires de France; 2014.
7. Lasserre JF, Pineau S. Les fondamentaux de la couleur. In: prise de teintes des techniques conventionnelles aux techniques électroniques. Paris ADF 2010; 2010. p. 5–30.
8. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent*. 2004;32 Suppl 1:3–12.
9. Lasserre J-F. Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles. *Clinic*. 2007 juillet;28.
10. Daries C. Relevé de la couleur au cabinet dentaire : connaissances et moyens d'optimisation actuels. [Toulouse]: Université Paul Sabatier; 2013.
11. Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. *Dent Clin North Am*. 2004 Apr;48(2):v, 341–58.
12. Lasserre J-F, Pop IS, D'Incau E. La couleur en odontologie - Cahiers de Prothèse n° 135 du 01/09/2006 - Revues - EditionsCdP.fr.
13. Zyman P, Jonas P. Le choix de la teinte...vers un protocole rationnel. 2003;14(4):379–92.
14. Berteretche M-V, Bégin M, Bery A, Charrier J-B, Decup F, Galletti C, et al. Esthétique en odontologie. Éditions CdP; 2014.
15. Lasserre J-F, Lafargue H. Allégorie de la forme. Intégration biologique, couleur et forme. Quel est le critère le plus important dans nos restaurations céramiques? *Réalités cliniques*. 2010;21(4):253–62.
16. Sproull R. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. *J Prosthet Dent*. 2001 Nov;86(5):453–7.
17. Lasserre J-F, Leriche M-A. L'illusion du naturel en prothèse fixée. *Cah Prothese*. 1999 déc;(108):7–20.
18. Fondriest J. La couleur en prothèse dentaire: science et stratégies. *Parod - Dent Restaur*. 2003;23(5):467–77.
19. Ortet S, Humeau A, Monleau J, Lucci D, Etienne J, Faucher A. Le relevé de couleur: techniques avancées. Partie I. *Inf Dent*. 2005 Sep 21;(32):1929–33.
20. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. a review of tooth colour and whiteness. *J Dent*. 2008;(36 S):S2–7.
21. Russel M, Gulfranz M, Moss W. In vivo measurements of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil*. 2000 Sep;27(9):786–92.
22. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. La définition des teintes de dent. 2004 juillet;30(7):726–40.
23. Mac Evoy B. Handprint : modern color models. 2005.
24. Hassel AJ, Doz P, Nitschke I, Rammelsberg P. Comparing L*a*b* color coordinates for natural teeth shades and corresponding shade tabs using a spectrophotometer. *Int J Prosthodont*. 2009 Feb;22(1):72–4.

25. Gómez-Polo C, Gómez-Polo M, Celemin-Viñuela A, Martínez Vázquez De Parga JA. Differences between the human eye and the spectrophotometer in the shade matching of tooth colour. *J Dent*. 2014 Jun;42(6):742–5.
26. Johnston WM. Color measurement in dentistry. *J Dent*. 2009;37 Suppl 1:e2–6.
27. Burki Z, Watkins S, Wilson R, Fenlon M. A randomised controlled trial to investigate the effects of dehydration on tooth colour. *J Dent*. 2013 Mar;41(3):250–7.
28. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *J Dent*. 2014 Jun;42(6):637–44.
29. Kuehni R, Marcus R. An experiment in visual scaling of small colour differences. 1979;(4):83–91.
30. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res*. 1989 Dec;68(12):1760–4.
31. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. 1987 Oct;3(5):246–51.
32. James C, Ragain J, Johnston WM. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Col Res Appl*. 2000 Jun 16;(25):278–85.
33. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent*. 2007 Apr;97(4):200–8.
34. Alghazali N, Burnside G, Moallem M, Smith P, Preston A, Jarad FD. Assessment of perceptibility and acceptability of color difference of denture teeth. *J Dent*. 2012 Jul;40 Suppl 1:e10–7.
35. Boucher A. Mesure in vivo du changement de couleur des dents naturelles sous l'effet de la déshydratation : étude d'un groupe de patients de moins de trente ans. Université de Bordeaux Collège des Sciences de la Santé UFR des Sciences Odontologiques; 2015.
36. Lasserre J, Amine M, Koubi S, Laborde G, Chevalier J, Ubassy B. La fluorescence: une dimension essentielle dans le mimétisme des restaurations céramiques. *Réal Clin*. 2010;21(4):281–8.
37. Touati B, Miara P, Nathanson D. La couleur des dents naturelles. In: *Dentisterie Esthétique et Restaurations Céramiques*. CdP. 2000. p. 61–79.
38. Paris J, Faucher A. *Le guide esthétique*. Quintessence International; 2003. 309 p.
39. Villarroel M, Fahl N, De Sousa AM, De Oliveira OB. Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins. *J Esthet Restor Dent Off Publ Am Acad Esthet Dent Al*. 2011 Apr;23(2):73–87.
40. Vaidya S, Ahuja N, Bajaj P, Kapoor C, Sabarwal R, Rajpal K. Objective measurement of shade color in age estimation. *J Forensic Dent Sci*. 2015 Dec;7(3):171–4.
41. Haralur SB. Effect of Age on Tooth Shade, Skin Color and Skin-Tooth Color Interrelationship in Saudi Arabian Subpopulation. *J Int Oral Health JIOH*. 2015 Aug;7(8):33–6.
42. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent*. 2000 Apr;83(4):418–23.
43. Gómez-Polo C, Montero J, Gómez-Polo M, de Parga JAMV, Celemin-Viñuela A. Natural Tooth Color Estimation Based on Age and Gender. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont*. 2015 Sep 15;
44. Gómez Polo C, Gómez Polo M, Montero J, Martínez Vazquez De Parga JA, Celemin Viñuela A. Correlation of natural tooth colour with aging in the Spanish population. *Int Dent J*. 2015 Oct;65(5):227–34.
45. De Hauss Bonzca C, Nicolas E, Hüe O. Choix de la couleur en odontologie: l'influence de l'expérience est-elle une réalité. *Cah Prothese*. 2011 Mar;(153):23–9.

46. Olivier E, Baixe S, Barthélémy H, Dal Gobbo F. Enregistrer et transmettre les informations chromatiques. In: *Prise de teintes Des techniques conventionnelles aux techniques électroniques*. Paris ADF 2010; 2010. p. 31–61.
47. Ortolan SM, Persic S, Celebic A, Mehulic K. Comparison of time consumption and color matching results of different dental occupational groups. *Int J Prosthodont*. 2013 Oct;26(5):478–86.
48. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H, et al. Does gender and experience influence shade matching quality? *J Dent*. 2009;37 Suppl 1:e40–4.
49. Gokce HS, Piskin B, Ceyhan D, Gokce SM, Arisan V. Shade matching performance of normal and color vision-deficient dental professionals with standard daylight and tungsten illuminants. *J Prosthet Dent*. 2010 Mar;103(3):139–47.
50. Della Bona A, Barrett AA, Rosa V, Pinzetta C. Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. 2009 Feb;25(2):276–81.
51. Lasserre J, Pineau S. Le relevé de la couleur: quelles sont les évolutions instrumentales? *Fil Dent*. 2008 Nov;(37):20–2.
52. Paravina RD, Majkic G, Imai FH, Powers JM. Optimization of Tooth Color and Shade Guide Design. *J Prosthodont*. 2007 juillet;16(4):269–76.
53. Paravina RD. Performance assessment of dental shade guides. *J Dent*. 2009;37 Suppl 1:e15–20.
54. Ahn J-S, Lee Y-K. Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. *J Prosthet Dent*. 2008 Jul;100(1):18–28.
55. Analoui M, Papkosta E, Cochran M, Matis B. Designing visually optimal shade guides. *J Prosthet Dent*. 2004 Oct;92(4):371–6.
56. Pignoly C, Aubut V, Girard J. Intérêt des nouvelles technologies dans la prise de teinte. In: *Prise de teinte: Des techniques conventionnelles aux techniques électroniques*. 2010. p. 62–71. (Paris ADF 2010).
57. Gotfredsen K, Gram M, Ben Brahem E, Hosseini M, Petkov M, Sitorovik M. Effectiveness of Shade Measurements Using a Scanning and Computer Software System: a Pilot Study - *ijodh-1-008.pdf*. 2025;1(2):1–4.
58. Zyman P, Touati B. Des machines qui annoncent la couleur. *Fil Dent*. 2010 May 7;
59. Technologie de l'Easysshade.
60. Zahnfabrik V. Mode d'emploi VITA Easysshade® Advance 4;0 (VITA Zahnfabrik). VITA Zahnfabrik.
61. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent*. 2009 Mar;101(3):193–9.
62. Dozić A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont*. 2007 Apr;16(2):93–100.
63. Chen H, Huang J, Dong X, Qian J, He J, Qu X, et al. A systematic review of visual and instrumental measurements for tooth shade matching. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. 2012 Sep;43(8):649–59.
64. Judeh A, Al-Wahadni A. A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. 2009 Oct;40(9):e69–79.
65. Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Da Silva JD, Miller L. Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns: Part 1: analysis and interpretation of tooth color. *J Esthet Restor Dent Off Publ Am Acad Esthet Dent Al*. 2010 Feb;22(1):42–52.
66. Stevenson B. Current methods of shade matching in dentistry: a review of the supporting literature. *Dent Update*. 2009 Jun;36(5):270–2, 274–6.

67. Tirlet G, Attal J. L'érosion-infiltration: une nouvelle thérapeutique pour masquer les tâches blanches. *Inf Dent*. 2011 Jan 26;(4):12–7.
68. Attal J, Denis M, Atlan A, Vennat E, Tirlet G. L'infiltration en profondeur, un nouveau concept pour le masquage des tâches de l'émail-partie 1. *Inf Dent*. 2013 May 15;(19):75–9.
69. Luk K, Tam L, Hubert M. Effect of light energy on peroxide tooth bleaching. *J Am Dent Assoc* 1939. 2004 Feb;135(2):194–201; quiz 228–9.
70. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. 1997 May;13(3):179–85.
71. Hunt R. *Measuring Colour*. 4th ed. Chichester: Ellis Horwood; 1991.

Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

Chambon Clara

Thèse pour l'obtention du DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR en CHIRURGIE DENTAIRE 2017 – n°32

Discipline : Odontologie Prothétique

Mesure *in vivo* du changement de couleur des dents naturelles sous l'effet de la déshydratation : étude d'un groupe de patients de plus de 50 ans

Résumé

Objectifs : Evaluer chez le patient âgé de plus de 50 ans le changement de couleur des dents suite à une déshydratation et la durée nécessaire pour un retour à la couleur initiale après réhydratation. **Matériel et méthode** : 20 sujets avec incisives centrales intactes (âge compris entre 50 et 64 ans, sex ratio=1) ont été recrutés. Des mesures spectrophotométriques de la couleur de l'incisive sélectionnée ont été effectuées avant déshydratation et après la mise en place d'un champ opératoire à 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30 minutes. Des mesures ont ensuite été réalisées après dépose du champ opératoire toutes les 10 minutes pendant 30 minutes (période de réhydratation). Les relevés ont été effectués au niveau des zones cervicale, médiane et incisale de la couronne dentaire. Les données ont été collectées selon le codage CIE L*a*b*, C, h°. **Résultats** : Tous les paramètres de la couleur L*, a*, b*, C, h° ont présenté des différences statistiquement significatives pendant la période de déshydratation et la période de réhydratation, excepté la tonalité chromatique h° après 30 min de réhydratation au niveau cervical. **Conclusion** : Les dents sont devenues plus claires et plus saturées lorsqu'elles étaient déshydratées. 30 minutes de réhydratation sont nécessaires pour ne plus percevoir de différence couleur chez le sujet âgé (ΔE proche de 1). De nombreuses procédures cliniques entraînent une déshydratation des dents. Les relevés de couleur doivent être effectués précocement et selon un protocole rigoureux afin d'éviter toute imprécision dans l'esthétique de nos restaurations.

Mots-clés : couleur, luminosité, saturation, teinte, incisive, déshydratation, spectrophotométrie

***In vivo* measurement of colour changes in natural teeth under the influence of dehydration : study of a group of patients over fifty years**

Summary

Objectives : To assess in patients over fifty years any change in tooth colour resulting from dehydration and the time required for any change to return to baseline. **Material and Method** : 20 subjects with intact maxillary central incisors (age between 50 and 64, sex ratio=1) were recruited. Spectrophotometric measurements were taken before dehydration and after rubber dam isolation at 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30 min. Teeth were allowed to rehydrate and measurements were taken every 10 min for 30 min. Tooth colour was assessed at cervical, middle and incisal areas. Data was collected in CIE L*a*b*, C, h° colour coordinates. **Results** : All colour coordinates showed significant differences during the periods of dehydration and rehydration, except h° in cervicale region after 30 min of rehydration. **Conclusions** : Teeth became lighter and more saturated when dehydrated. 30 min were necessary to no longer perceive colour differences in aged subjects (ΔE close to 1). Most daily procedures lead to dehydration. It is important to carry out the shade matching procedure at the beginning of the appointment to avoid unacceptable mismatch of colour between natural teeth and dental restoration.

Key-words : colour, value, chroma, hue, incisor, dehydration, spectrophotometry

Université de Bordeaux – Collège des Sciences de la Santé
UFR des Sciences Odontologiques
16-20 Cours de la Marne 33082
BORDEAUX CEDEX