



HAL
open science

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

Adrien Boucher

► To cite this version:

Adrien Boucher. 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. Chirurgie. 2015. dumas-01245445

HAL Id: dumas-01245445

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01245445>

Submitted on 17 Dec 2015

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 2015

N° 86

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

Présentée et soutenue publiquement

Par BOUCHER Adrien

Né le 28/04/1989 à Limoges (87)

Le 14/12/2015

**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**

Directeur de thèse :

Dr Jean-Philippe PIA

Membres du jury

Président	Mme M.J. BOILEAU	Professeur des Universités
Directeur	M J.P. PIA	Assistant Hospitalo-Universitaire
Rapporteur	M J.F. LASSERRE	Maître de Conférences des Universités
Assesseur	M C. BOU	Maître de Conférences des Universités
Assesseur	M M. CONTREPOIS	Assistant Hospitalo-Universitaire

UNIVERSITE DE BORDEAUX

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

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

<i>Directrice</i>	Mme	BERTRAND Caroline	58-02
<i>Directrice Adjointe – Chargée de la Formation initiale</i>	Mme	ORIEZ-PONS Dominique	58-01
<i>Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche</i>	M.	FRICAIN Jean-Christophe	57-02
<i>Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales</i>	M.	LASSERRE Jean-François	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.	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	58-03
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	NAVAUD	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 biologiques	57-03
M.	Wallid	BOUJEMAA AZZI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Julien	BROTHIER	Prothèse dentaire	58-02
M.	Mathieu	CONTREPOIS	Prothèse dentaire	58-02
M.	Guillaume	CRESTE	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Clarisse	DE OLIVEIRA	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Guillaume	FENOUL	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Nicolas	GLOCK	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme	Sandrine	GROS	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Odontologie conservatrice – Endodontie	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	56-02
Mme	Darrène	NGUYEN	Sciences biologiques	57-03
Mme.	Alice	NOUREDDINE	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Chloé	PELOURDE	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Candice	PEYRAUD	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Jean-Philippe	PIA	Prothèse dentaire	58-02
M.	Mathieu	PITZ	Parodontologie	57-01
Mme.	Charlotte	RAGUENEAU	Prothèse dentaire	58-02
M.	Clément	RIVES	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	François	ROUZE L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-02
M.	François	VIGOUROUX	Parodontologie	57-01
			Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

01/11/2015

Remerciements

A notre Président 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. Veuillez 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

Assistant Hospitalo-Universitaire

Sous-section prothèse 58-02

Je vous suis très reconnaissant d'avoir accepté de diriger cette thèse et de m'avoir fait confiance pour mener à bien cette étude à vos côtés. Je tiens à vous remercier pour votre enseignement, vos conseils, votre disponibilité pendant ces deux belles années de clinique à Saint-André.

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

A notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur Jean-François LASSERRE

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section prothèse 58-02

Je vous remercie de la spontanéité avec laquelle vous avez accepté de corriger mon travail et de faire partie de ce jury. Je me souviendrai de la qualité de votre enseignement et de votre sympathie au cours de notre voyage en Belgique avec l'optionnel esthétique. Veuillez trouver ici, Monsieur, l'expression de ma profonde reconnaissance.

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Christophe BOU

Maître de conférences des Universités - Praticien hospitalier

Sous-section Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale 56-03

*Je me souviendrai de votre implication et de votre bienveillance au cours de mes vacances hospitalières. Grâce à vous, on apprend dans la bonne humeur à Saint-André !
Je vous prie de trouver dans ce travail toute l'expression de ma gratitude.*

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Mathieu CONTREPOIS

Assistant Hospitalo-Universitaire

Sous-section prothèse 58-02

*Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de participer à ce jury de thèse.
Je me souviendrai des bons moments partagés lors de notre voyage en Belgique !
Aussi m'est-il agréable de vous témoigner mon profond respect.*

Remerciements personnels

A mes parents,

Merci pour tout l'amour que vous m'apportez. Vous avez toujours été présents pour moi. Je vous dédie cette thèse, aboutissement de votre éducation. Je vous aime.

A Nadège ma petite femme d'amour,

Mon petit doudou, nous avons franchi main dans la main toutes ces années d'études. Merci pour ton soutien, ta douceur et ton affection. Je n'imagine pas la vie sans toi. Je t'aime de tout mon cœur.

A mes frères et sœurs Julien, Mathieu, Anne et Gabrièle,

Merci d'avoir consacré autant de temps à vous occuper du petit Didi ! Je vous serai éternellement reconnaissant. Vous avez toujours su me protéger et me montrer l'exemple à suivre. Je vous aime fort.

A mes grands-parents Mamie Monique, Papy Guy, Mémé Reynou et Pap,

Vous m'avez toujours soutenu dans les étapes de la vie. Merci pour toute votre bienveillance et votre générosité. Je vous aime très fort.

Pap, je pense très fort à toi et je sais que tu veilles sur moi.

A tata Domi et tonton Jean-Marie,

Merci pour votre gentillesse et votre soutien, en particulier pendant la délicate période de la P1 ! Je vous aime

A Fabi, mon cousin chéri !

Merci de toujours avoir été présent dans les bons moments comme dans les difficiles. Sans toi, je n'aurais pas eu ma P1 et je ne soutiendrai pas ma thèse aujourd'hui. Je t'en serai éternellement reconnaissant. Je t'aime fort.

A Cécile, merci pour toute l'aide fournie au cours de nos études !

A Alicia,

Tu as toujours été un modèle de sérieux pour moi. Je suis fier de t'avoir comme cousine. Je t'aime fort.

A tonton Christophe, Valérie, Sarah, Charles et Arnaud,

Merci pour votre amour.

A mes parrain, parraine, marain et marraine tonton Domi, tatie Nicole, Serge et Isabelle,

Merci pour votre soutien et votre affection sans faille. Vous comptez beaucoup pour moi. Je vous aime fort.

Tonton Domi, mon parrain adoré qui m'a donné le goût des sciences, je te dédie cette thèse. Je sais que tu veilleras toujours sur moi.

A Manu mon 3^{ème} grand frère ! Merci pour ta gentillesse et ta bienveillance.

A Marylène,

Vous m'avez accueilli à bras ouverts dans votre famille.

Veillez trouver ici le témoignage de mon affection.

A mes amis,

A Clément ! Nous avons grandi ensemble ! Je suis heureux de t'avoir comme ami. Merci pour tous ces précieux conseils statistiques !

A Gilou, Daboul, David et Christian ! Je me souviendrai des batailles de polochons, des ventrigrisses et des imitations d'animaux à Jay de Beaufort ! Le voyage au Pérou restera un moment inoubliable ! Merci pour votre amitié !

A Bertrand et David ! Je me souviendrai de nos talents d'animateurs à la sono, de nos vacances mouvementées à Rouffiac et à Lacanau et bien sûr de nos appels nocturnes sous la tente !

A la team coloc Val, Tim et Loulou ! Que de bons souvenirs partagés cours Pasteur ! Je n'oublierai jamais nos matchs de ping-pong, nos terribles soirées ambiancées, les interminables siestes de l'ami Marrien, les bons petits plats de Val et la bonne humeur de Loulou ! Merci pour votre amitié !

A Emile, Hugo, Edouard, PA, Adrien, Guitou, Lucas, Christophe, Micka, Tim et Val ! Que de moments inoubliables passés ensemble ! Je me souviendrai des après-midi V&B, des soirées mousse chez l'ami PA, des week-end ski, des pyramides infernales, de la tendresse d'Hugo à mon égard ! Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous avez fait pour mon enterrement de vie de garçon ! Vous êtes géniaux ! Merci pour votre amitié !

A Lucas ! mon joailler préféré ! Merci pour tout ce que tu as fait pour nous rendre heureux avec Nadège ! Je suis fier de t'avoir comme ami.

A la team filles Julia, Anneso, Cécile B, Loulou, Aude, Juliette, Sophie, Caro, Mappy, Camille ! Merci pour ces soirées infernales, ces WEI, rallyes, galas qui resteront gravés. Merci pour votre amitié !

A steph ! Merci pour ta gentillesse et ta confiance. Je t'en suis très reconnaissant.

Un grand merci à tous les copains qui ont accepté d'être mes cobayes pour la réalisation de cette thèse !

Table des matières

I.	INTRODUCTION.....	9
II.	GENERALITES SUR LA COULEUR ET SON RELEVÉ.....	10
1.	Lumière et vision des couleurs.....	10
2.	Les dimensions fondamentales de la couleur.....	12
2.1.	Luminosité.....	13
2.2.	Saturation.....	13
2.3.	Teinte.....	13
3.	L'espace chromatique des dents naturelles.....	14
3.1.	Systèmes de représentation des couleurs CIE L*a*b* et CIE L*C h°.....	14
3.2.	La banane chromatique.....	16
3.3.	Comparaison des couleurs.....	18
4.	Caractéristiques optiques des dents naturelles.....	20
4.1.	La dentine.....	21
4.2.	L'émail.....	21
4.3.	Comparatif dents jeunes et âgées.....	22
5.	Le relevé de la couleur des dents.....	22
5.1.	Le relevé visuel.....	23
5.2.	Le relevé instrumental.....	26
6.	Déshydratation et couleur des dents.....	29
III.	EXPERIMENTATION.....	30
1.	Objectifs.....	30
2.	Matériel et méthode.....	30
2.1.	Analyse spectrophotométrique.....	30
2.2.	Analyse statistique.....	37
3.	Résultats.....	39
3.1.	Etude des valeurs initiales des coordonnées de couleur des dents naturelles.....	39
3.2.	Etude des changements des coordonnées de couleur des dents naturelles lors des phases de déshydratation et de réhydratation.....	44
3.3.	Différence de couleur ΔE	51
4.	Discussion.....	52
IV.	CONCLUSION ET IMPLICATIONS CLINIQUES.....	59
	TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	61
	BIBLIOGRAPHIE.....	63

I. INTRODUCTION

L'émergence et le développement de l'esthétique en odontologie ont été rendus possible dans les années 1980-90 par la combinaison de trois éléments moteurs : les nouveaux besoins, les progrès techniques et conceptuels. L'amélioration globale de la santé bucco-dentaire a fait apparaître de nouveaux besoins dont l'esthétique fait partie. Les normes sociales actuelles (beauté, réussite personnelle) ainsi que le concept de santé qui vise à un état de complet bien-être physique, mental et social concourent à faire naître une importante demande esthétique. Les progrès techniques (collage, céramique, implantologie) et conceptuels (préservation tissulaire, écoute des doléances esthétiques des patients) ont permis de répondre à cette demande grandissante (1).

En 1967, Alfred Yarbus montre que la majorité des personnes focalisent leur attention sur les yeux et la bouche. Ces observations peuvent s'expliquer par le caractère dynamique, mais également par le contraste entre les différentes structures les composant : au niveau de l'œil entre l'iris, la pupille et la sclère et au niveau de la bouche entre les lèvres, les gencives et les dents. Le sourire joue donc un rôle essentiel dans l'esthétique du visage (2).

En odontologie, les principaux facteurs du succès esthétique d'une restauration conservatrice ou prothétique sont l'intégration biologique, la forme, l'état de surface et la couleur. En 2007, G.R. Samorodnitzky-Naveh montre que la couleur des dents est la première raison d'insatisfaction des patients (3). L'étape du choix de la couleur ne doit pas être sous-estimée par le praticien qui doit appliquer une méthodologie rigoureuse afin que sa restauration soit parfaitement intégrée dans le sourire.

Après avoir redéfini les bases fondamentales de la couleur, nous étudierons l'espace chromatique et les propriétés optiques des dents naturelles, ainsi que les techniques permettant de relever leur couleur. Une expérimentation permettra de mettre en évidence les propriétés décrites précédemment par l'évaluation du changement de couleur des dents sous l'effet de la déshydratation et la durée nécessaire pour un retour à la couleur initiale chez le patient jeune (moins de 30 ans).

II. GENERALITES SUR LA COULEUR ET SON RELEVÉ

1. Lumière et vision des couleurs

La lumière du soleil est constituée d'ondes électromagnétiques dont une partie est visible par l'œil humain. La couleur est la sensation que nous avons des différentes longueurs d'onde qui constituent la lumière visible. Cet ensemble de longueurs d'onde appelé « spectre visible » s'étend de 390 nanomètres (violet) à 780 nanomètres (rouge). En deçà et au-delà de ces limites se trouvent les rayonnements ultraviolets et infrarouges. Les radiations visibles peuvent se classer en sept tendances colorées (les couleurs de l'arc-en-ciel) : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge (4).

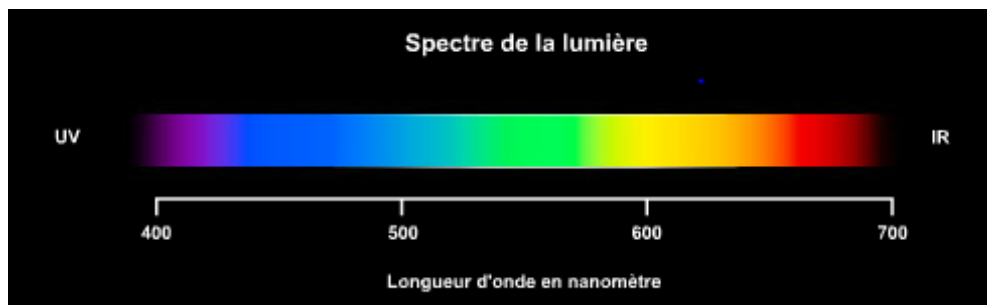


Figure 1 : spectre de la lumière blanche (source : profil-couleur)

La perception de la couleur met en jeu de nombreux éléments : la nature de la lumière qui éclaire l'objet, l'action des pigments de l'objet sur cette lumière, la détection des couleurs par l'œil et l'interprétation par le cerveau (5). La couleur d'un objet peut être définie comme l'ensemble des longueurs d'ondes réfléchies et perçues par l'œil, après absorption (ou non) d'une partie du spectre incident par cet objet (6).

Éclairés par un spectre lumineux complet et continu (lumière du jour), certains matériaux réfléchissent toutes les lumières monochromatiques reçues, ils apparaissent blancs tandis que d'autres les absorbent toutes, ils sont alors perçus noirs. La plupart n'en absorbent et n'en réfléchissent qu'une partie et apparaissent diversement colorés.

Par exemple, une tomate éclairée par la lumière du soleil apparaît rouge car elle absorbe toutes les longueurs d'ondes excepté celles du rouge qu'elle rediffuse.

Si nous exposons la tomate à une lumière où le rouge est absent du spectre lumineux (lumière bleue par exemple), elle apparaît noire car elle absorbe tout le spectre partiel et ne rediffuse aucune des radiations incidentes.

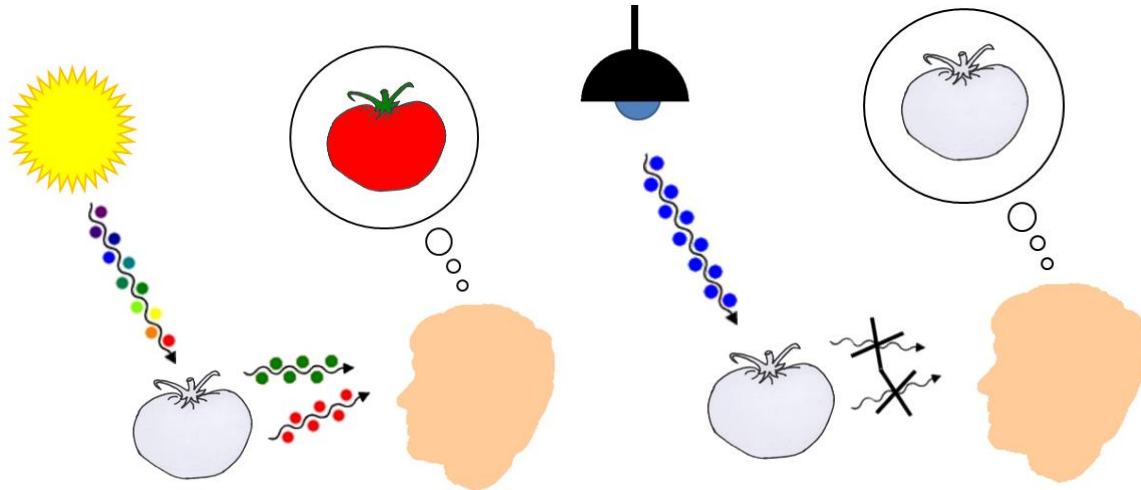


Figure 2 : la lumière est nécessaire pour percevoir les couleurs

L'œil humain possède 2 types de cellules photoréceptrices, situées sur la rétine, qui servent à décomposer les informations lumineuses reçues en signaux électriques envoyés au centre visuel du cortex occipital via le nerf optique :

- les cônes (7 millions) assurent la vision des couleurs et la vision photopique (vision diurne). Il existe 3 types de cône possédant chacun des pigments sensibles au rouge, au vert et au bleu. L'excitation à divers degrés de ces 3 types de photorécepteurs nous permet de voir des lumières polychromatiques contenant souvent une multitude de longueurs d'ondes. On parle de trivariance de la couleur. La vision trichomatique de l'homme lui permet de discerner 300 000 couleurs, plus facilement dans les nuances de vert ou de rouge que les nuances de bleu, les cônes sensibles à cette couleur étant les moins nombreux et les plus fragiles.
- les bâtonnets, beaucoup plus nombreux (120 millions), sont sensibles à l'intensité lumineuse et permettent la vision scotopique (vision crépusculaire) (6–10).

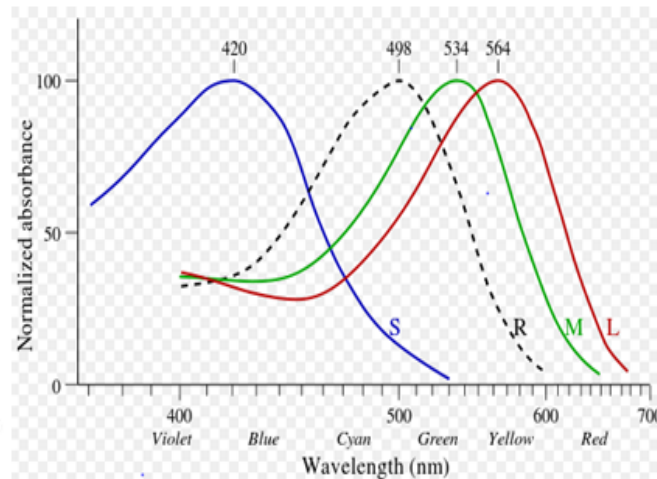
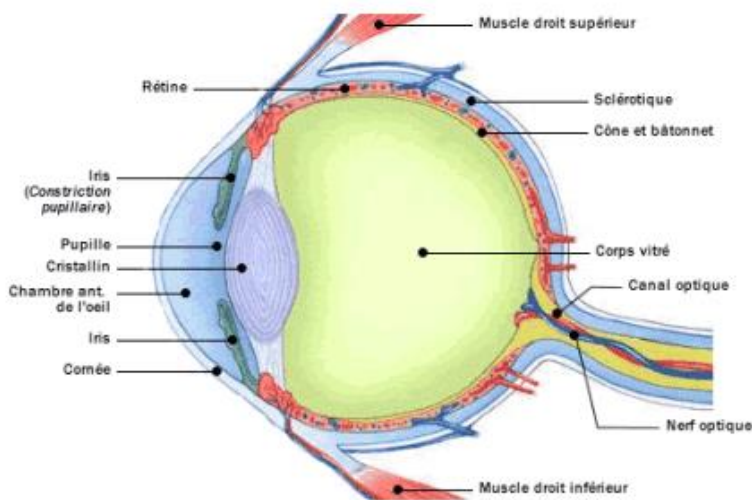


Figure 3 : localisation de la rétine au niveau de l'œil et courbes d'absorbances des cônes et des bâtonnets (pointillés) pour l'Homme (source : ac-nice)

2. Les dimensions fondamentales de la couleur

(8,10–16)

En 1901, Munsell définit la couleur selon 3 variables : la luminosité, la saturation et la teinte. La gamme complète des couleurs est représentée par un espace géométrique cylindrique où chaque couleur est définie par 3 coordonnées en rapport avec l'axe vertical, le rayon du cylindre et sa périphérie.

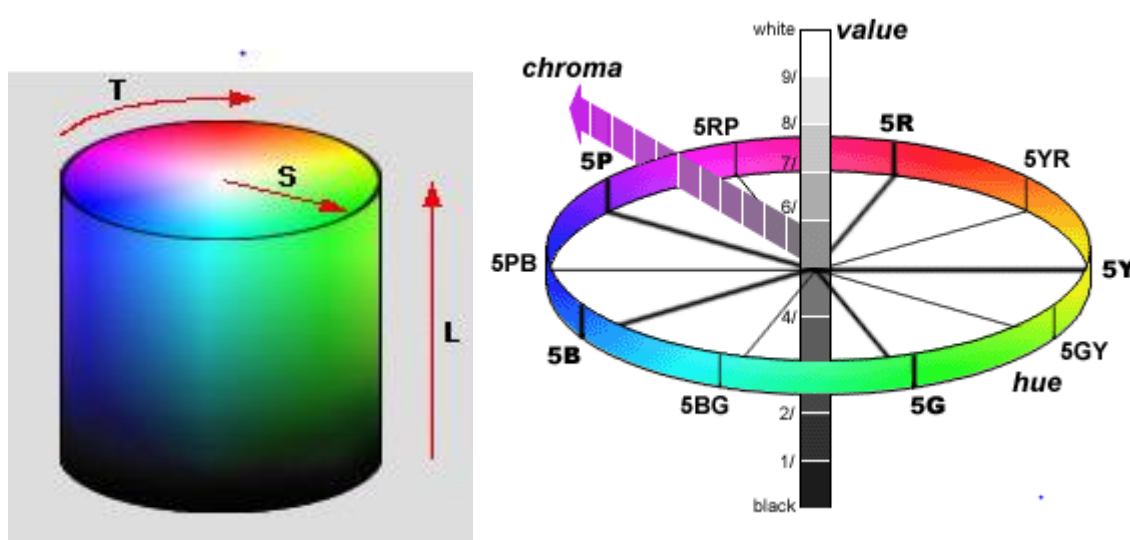


Figure 4 : Cylindre de Munsell (source : handprint)

2.1. Luminosité

Appelée aussi valeur (value en anglais), clarté (lightness), brillance (brightness), elle correspond à la quantité de blanc ajoutée à une teinte de base, c'est-à-dire le degré de clarté ou d'obscurité d'une couleur.

La luminosité est représentée par l'axe vertical noir – blanc du cylindre de Munsell appelé axe neutre. Toutes les couleurs situées sur un même plan de coupe horizontal du cylindre possèdent la même luminosité.

Son estimation doit s'effectuer dans une ambiance lumineuse de faible intensité afin de stimuler au mieux les bâtonnets rétinien.

Il ne faut pas confondre luminance et luminosité :

- La luminance appartient au domaine de la physique et correspond à l'intensité lumineuse réelle et mesurable d'une source de lumière (s'exprime en candela par mètre carré cd/m^2)
- La luminosité appartient au domaine sensoriel et est l'interprétation de cette luminance par la vision humaine (s'exprime en %, noir $L = 0$, blanc $L = 100$)

2.2. Saturation

Appelée aussi intensité de couleur, densité de teinte ou pureté de teinte (« chroma » en anglais), elle correspond à la quantité de pigments purs contenus dans une couleur.

Elle varie selon l'axe horizontal (rayon) dans le cylindre de Munsell. Une teinte pure (saturée à 100%) se situe sur le cercle périphérique. La teinte se désature en se rapprochant de l'axe vertical blanc – noir de saturation nulle en teinte. La saturation est donc la différence entre la couleur et un ton de gris de même luminosité, mesurée sous la forme d'une distance à l'axe neutre.

- une couleur lumineuse et saturée est dite « vive »
- une couleur lumineuse et désaturée est dite « pâle », « rompue », ou « pastel »
- une couleur foncée et saturée est dite « profonde »
- une couleur foncée et désaturée est dite « rabattue »

2.3. Teinte

Appelée aussi ton, tonalité chromatique ou chromaticité (« hue » en anglais), la teinte correspond aux sensations colorées que l'œil perçoit grâce aux 3 types de cônes rétiniens: rouge, vert, bleu, jaune, orange, violet etc. elle caractérise la longueur d'onde dominante de la lumière réfléchiée par un objet.

Les teintes pures de même luminosité sont réparties sur la périphérie d'une section horizontale du cylindre de Munsell.

3. L'espace chromatique des dents naturelles

3.1. Systèmes de représentation des couleurs CIE $L^*a^*b^*$ et CIE $L^*C h^\circ$

(5,8,10–12,16–20)

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation pour les normes en matière de mesures et d'évaluation des couleurs. Elle est à l'origine de la création de plusieurs systèmes de représentation des couleurs appelés espaces colorimétriques. Le dernier modèle développé en 1976 sous le nom de CIE $L^*a^*b^*$ repère une couleur suivant 3 coordonnées pour couvrir l'intégralité du spectre visible par l'œil humain :

- L'axe vertical (axe « neutre ») qui mesure la luminosité, exprimée en pourcentage (0 pour le noir à 100 pour le blanc).
- L'axe horizontal $-a$ $+a$ qui représente l'axe vert - rouge ($a < 0$ vert, $a > 0$ rouge) avec des valeurs allant de -127 à +128.
- L'axe horizontal $-b$ $+b$ qui représente l'axe bleu - jaune ($b < 0$ bleu, $b > 0$ jaune) avec des valeurs allant de -127 à +128.

Dans ce système, la couleur est donc définie par la distance sur les axes L^* , a^* et b^* .

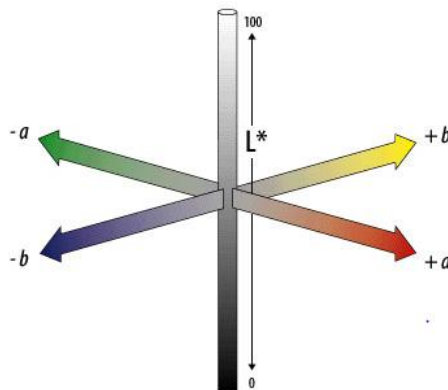


Figure 5 : Système CIE $L^*a^*b^*$ (source : documentation VITA)

Il est également possible de représenter le système CIE $L^*a^*b^*$ avec les variables L^* (luminosité), C (saturation) et h° (angle de tonalité chromatique) sans modifier la répartition des couleurs de l'espace $L^*a^*b^*$. Les axes pour l'espace de couleurs $L^*C h^\circ$ sont identiques à ceux de l'espace $L^*a^*b^*$ la différence est liée au fait que le système $L^*C h^\circ$ utilise des coordonnées cylindriques alors que le système $L^*a^*b^*$ utilise des coordonnées cartésiennes. Cet autre système peut être rapproché du cylindre de Munsell dans la forme, mais avec les coordonnées spécifiques du système $L^*a^*b^*$.

Dans le système CIE $L^*, a^*, b^*, C, h^\circ$:

- chaque plan de couleur horizontal défini par les axes $-a$ $+a$ et $-b$ $+b$ correspond à un niveau de luminosité « L^* ».
- la saturation : « C » (Chroma) est représentée par la distance entre l'emplacement de la couleur et l'axe neutre vertical.
- la teinte « h° » (hue) correspond à l'angle formé entre l'axe $+a$ et l'emplacement de la couleur. Il varie de 0 à 360° :
 - les angles entre 0° et 90° sont les tonalités rouge, orange et jaune
 - les angles entre 90° et 180° sont les teintes jaune, vert-jaune et vert
 - les angles entre 180° et 270° sont les teintes vert, cyan (vert – bleu) et bleu
 - les angles entre 270° et 360° sont les teintes bleu, magenta qui repassent au rouge à 360° (comme à 0°)

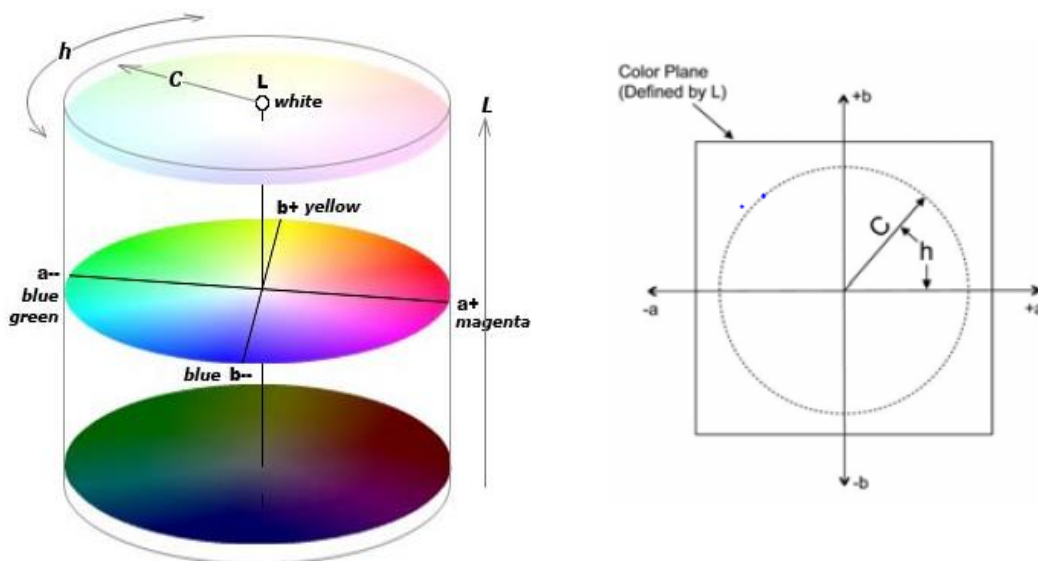


Figure 6 : Systèmes CIE $L^*C h^\circ$ (sources : handprint et documentation VITA)

La conversion entre $L^*a^*b^*$ et $L^*C h^\circ$ s'effectue selon les formules suivantes :

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

Le système $L^*C h^\circ$ est plus simple pour définir une couleur car les 3 valeurs définies ou calculées correspondent aux 3 dimensions fondamentales de la couleur : luminosité, saturation et teinte.

3.2. La banane chromatique

L'espace chromatique des dents naturelles, communément appelé « banane chromatique » peut être représenté dans une sphère utilisant le système de codage CIE $L^*a^*b^*$ (6,8,16).

Il a été étudié à de nombreuses reprises. En 2008, A. Joiner a effectué une revue de littérature regroupant 10 études qui évaluent la couleur moyenne des incisives maxillaires (17). L'analyse montre des valeurs élevées de luminosité et dont les variations sont conséquentes (entre 38,0 et 89,5 selon Gozalo-Diaz et al. par exemple).

Les valeurs du paramètre a^* ainsi que ses variations sont faibles, la fluctuation la plus importante (-8,07 – +9,21) est retrouvée dans l'étude de Zhu et al (17).

Les études montrent que les valeurs du paramètre b^* , bien que majoritairement supérieures à 6, sont relativement faibles (17).

Espace de couleurs LCh

Ensemble de l'espace de couleurs Lab

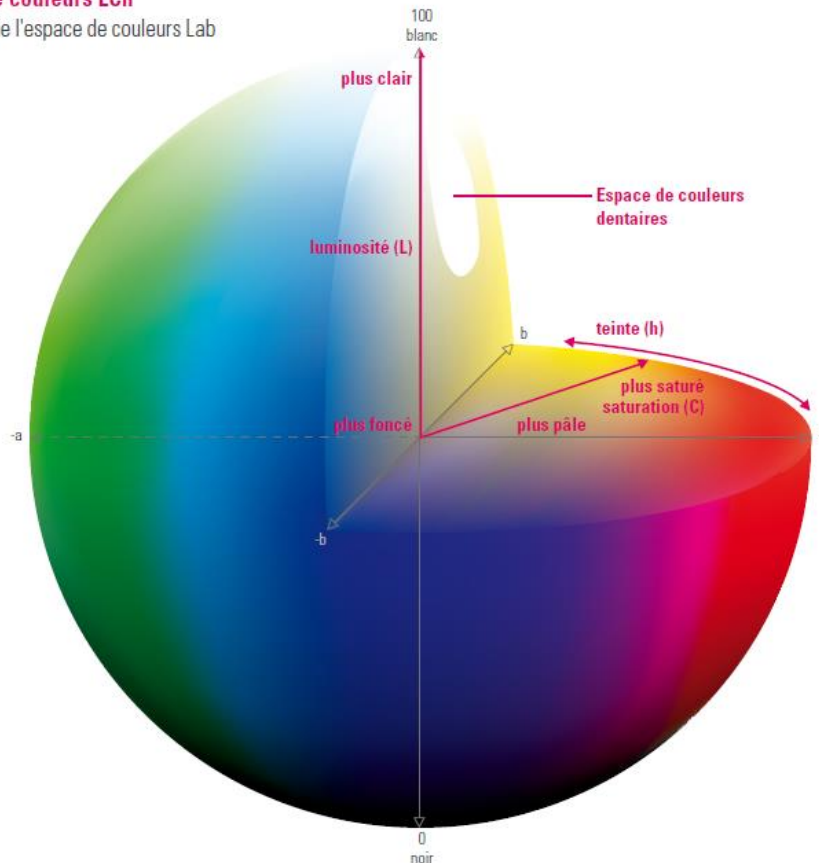


Figure 7 : l'espace chromatique des dents naturelles dans la sphère chromatique CIE L*a*b (source : documentation VITA)

L'espace qui en découle est un rhomboïde haut situé dans l'espace chromatique et s'étirant le long de l'axe vertical noir - blanc, ce qui signifie que, malgré les variations importantes de luminosité des dents naturelles, celles-ci sont très lumineuses.

Ce rhomboïde est proche de l'axe vertical noir – blanc et est étroit dans le sens transversal, ce qui signifie que les dents naturelles sont peu saturées et ne présentent que de faibles variations de saturation (6,8,16,19,20).

Dans certaines études (17), la banane chromatique se situe, dans le plan horizontal, dans un cadran compris entre l'axe des rouges +a* et l'axe des jaunes +b*, tout en étant plus proche de l'axe des jaunes, ce qui donne une teinte jaune-orangée aux dents naturelles. Dans d'autres études (17), une partie de la banane se situe entre l'axe de rouge +a* et l'axe des jaunes +b*, et une autre (plus petite) entre l'axe des jaunes +b* et l'axe des verts -a*, ce qui signifie que certaines dents ont une teinte jaune-vert mais avec une composante jaune largement prépondérante.

L'orientation oblique de haut en bas de l'espace chromatique avec sa partie supérieure plus interne montre que les dents plus lumineuses sont aussi moins saturées (dents jeunes) et que les dents plus sombres sont aussi plus saturées (dents âgées).

La luminosité est le facteur le plus important de réussite de la couleur des dents prothétiques car c'est la dimension qui varie le plus dans l'espace chromatique des dents naturelles ; viennent ensuite la saturation puis la teinte (6,8,15,16).

3.3. Comparaison des couleurs

Le modèle CIE $L^*a^*b^*$ permet d'évaluer la différence entre 2 couleurs par le calcul d'une valeur notée ΔE . Cette valeur correspond à la distance séparant 2 points de couleur dans l'espace colorimétrique et est calculée par la racine de la somme des carrés des différences entre les variables L^* , a^* , b^* (5,10,17,21,22) :

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

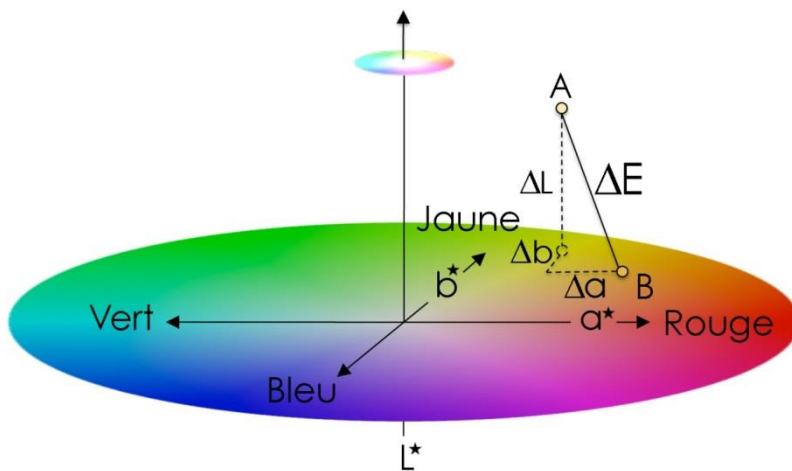


Figure 8 : représentation dans l'espace CIE $L^*a^*b^*$ du calcul de la différence de couleurs ΔE entre 2 points colorés A et B (source : E. D'Incau)

Lors d'un essayage, une dent prothétique peut présenter la même couleur apparente qu'une dent naturelle bien que leurs coordonnées tridimensionnelles soient différentes (10). Des études (23–28) ont permis de quantifier des seuils de discrimination et d'acceptabilité de différence de couleur grâce au ΔE :

- Le seuil de discrimination correspond à une différence de couleur détectée par 50% des observateurs.
- Le seuil d'acceptabilité correspond à une différence de couleur que 50% des observateurs jugent acceptable, et pour laquelle 50% des observateurs décident de refaire la restauration (29,30).

Dans des conditions de colorimétrie expérimentale très favorables, on distingue :

- Selon Kuehni et Marcus qui comparent des échantillons de textiles enduits de peinture mate, une différence de couleur tel que $\Delta E = 1$ correspond au seuil de discrimination. Cela signifie que la moitié des observateurs ne détectent pas *in vitro* de différence de couleur entre 2 échantillons pour un $\Delta E \leq 1$ (23).
- Selon Seghi et al. qui comparent des disques de céramique monochromatique, 100% des observateurs font la différence entre 2 couleurs avec un $\Delta E = 2$ (24).
- Selon Ruyter et al. qui comparent des échantillons de résine composite, une différence de couleur correspondant à un $\Delta E = 3,3$ est considérée inacceptable par 50% des observateurs (25).
- Selon Ragain et al. qui comparent des disques de céramique translucide, une différence de couleur tel que $\Delta E = 2,7$ correspond au seuil d'acceptabilité et est donc considérée inacceptable par 50% des observateurs (26).

Dans notre pratique clinique, les conditions visuelles sont imparfaites et la structure des dents est complexe, il en résulte des valeurs de ΔE associées aux seuils de tolérance différentes et plus élevées (30):

- Selon Johnston et Kao, le seuil de discrimination correspond à une différence de couleur telle que $\Delta E = 3,7$ et le seuil d'acceptabilité correspond à un $\Delta E = 6,8$, ce qui signifie qu'une différence clinique entre la couleur d'une dent et celle d'un échantillon teintier est retrouvée par 50% des observateurs pour un $\Delta E \geq 3,7$ et la différence de couleur est jugée inacceptable par 50% des observateurs pour un $\Delta E \geq 6,8$ (30).
- Selon Douglas et al. qui mesurent cliniquement les différences de couleur entre des dents en résines, le seuil de discrimination correspond à une différence de couleur telle que $\Delta E = 2,6$ et le seuil d'acceptabilité correspond à un $\Delta E = 5,5$, ce qui signifie que pour ce dernier seuil, 50% des observateurs décident de refaire la restauration (27).
- Nabil Alghazali et al (2012) ont réalisé une étude similaire à celle de Douglas et al.

Ils ont obtenu un seuil de discrimination pour une valeur $\Delta E = 1,9$ et un seuil de d'acceptabilité pour un $\Delta E = 4,2$ (28).

Tableau 1 regroupant les valeurs ΔE correspondant aux seuils de discrimination et d'acceptabilité in vitro et in vivo			
Auteurs des études	Type d'étude	Seuil de discrimination	Seuil d'acceptabilité
Kuehni et Marcus (1979)	IN VITRO	1	
Seghi et al.(1989)		2 (discrimination par 100% des observateurs)	
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

Il résulte de ces études que les seuils de discrimination sont significativement inférieurs aux seuils d'acceptabilité, il existe donc une tolérance chez le praticien avant de refaire une restauration (28).

L'établissement des seuils de discrimination et d'acceptabilité permet d'évaluer des différences de couleur entre les restaurations et les dents naturelles et ainsi de mettre en évidence de manière objective des erreurs lors du relevé.

4. Caractéristiques optiques des dents naturelles

La combinaison des 3 dimensions fondamentales de la couleur est insuffisante pour expliquer la couleur des dents naturelles. L'aspect visuel d'une dent est avant tout lié à la nature stratifiée de ses tissus : l'arrangement des cristaux minéraux constituant l'émail et la dentine, leur taille ainsi que leur densité conditionnent les phénomènes optiques des dents naturelles; il s'agit des phénomènes d'absorption, transmission, réflexion, opacité, translucidité, opalescence, fluorescence (6,16).

4.1. La dentine

Le noyau dentinaire opaque, riche en plusieurs masses de teintes, donne la tonalité chromatique et la saturation à la dent (8,16). Cette opacité entraîne une réflexion lumineuse, c'est donc la dentine qui engendre majoritairement la luminosité des dents. La coque d'émail vient ensuite moduler les effets de luminosité (31).

La fluorescence est une propriété de la dentine à absorber un rayonnement incident ultraviolet de longueur d'onde comprise entre 330 et 340 nm et de réémettre spontanément un rayonnement visible de plus grande longueur d'onde dans les bleus. La fluorescence la plus importante est retrouvée au niveau cervical où la dentine est la plus épaisse (32).

4.2. L'émail

L'émail, en surface, est caractérisé par sa translucidité. C'est la propriété d'un corps à laisser passer une partie (translucidité) ou la totalité (transparence) de la lumière incidente.

La translucidité de la dentine est de 40% et celle de l'émail est de 70% (8,9,15,16).

La coque amélaire semi-translucide modifie la luminosité de la dent car la lumière ne s'y réfléchit qu'en partie, l'autre partie étant transmise: plus une dent est translucide, plus sa luminosité baisse car une partie importante de la lumière pénètre dans la dent (31).

Au niveau incisal, la translucidité est forte car l'émail est épais et non soutenu par la masse dentinaire ; la luminosité y est faible. L'épaisseur d'émail diminue allant vers le collet laissant transparaître le noyau dentinaire coloré sous-jacent. La luminosité la plus forte est donc retrouvée au centre de la dent (8,10,15,16).

L'opalescence est la capacité de l'émail à différencier les longueurs d'ondes : les ondes courtes (bleues) sont réfléchies, les ondes longues traversent l'émail et apparaissent orangées de l'autre côté de la dent. On observe ces effets bleutés et orangés sur les bords d'émail naturel des dents jeunes (8,9,14)

- L'opacité et la saturation de la dent augmentent en allant vers le collet (33).

- La translucidité de la dent est faible au niveau cervical et augmente en direction incisale (33).

- La luminosité est moyenne en cervical, importante au niveau médian (réflexion lumineuse) et tend à baisser à partir du centre de la dent vers le bord incisal (transmission lumineuse) (31).

4.3. Comparatif dents jeunes et âgées

Les dents jeunes sont plus lumineuses que les dents âgées car l'émail des dents jeunes est plus épais et moins translucide (14).

Avec l'âge, l'émail s'affine et la coque restante est plus minéralisée rendant l'émail plus translucide et donc moins lumineux (14). L'usure incisale laisse voir le noyau dentinaire sous-jacent et les fêlures amélaire absorbent les colorations exogènes (16).

La dentine qui vieillit s'opacifie, devient plus foncée et plus saturée du fait des agressions multiples qui ont entraîné la formation des dentines secondaire et tertiaire.

Des effets d'opalescence sont retrouvés sur des dents jeunes où l'émail est épais et peu usé. L'augmentation de la fluorescence avec l'âge peut s'expliquer par la progression de la réticulation du collagène lors du vieillissement (32).

- Les dents jeunes sont donc lumineuses, claires, moins saturées avec une texture de surface marquée.

- Les dents âgées sont moins lumineuses, plus colorées, saturées avec un aspect de surface « émoissé luisant » (8,16,31,33,34).

5. Le relevé de la couleur des dents

Le choix de la couleur est un acte quotidien, que ce soit en prothèse fixée, amovible ou en odontologie conservatrice (35). La détermination de la couleur dentaire par les praticiens et sa transmission aux prothésistes restent des actes techniquement délicats à réaliser en raison de la complexité des structures dentaires, de la variabilité du facteur opérateur et de l'environnement lumineux dans lequel s'effectue cette procédure clinique (13). De ce fait la profession a cherché à fabriquer et à utiliser des aides à l'enregistrement de la couleur, allant des systèmes les plus simples tels que les teintiers manuels, aux systèmes les plus complexes tels que les colorimètres ou spectrophotomètres.

5.1. Le relevé visuel

Il consiste à choisir l'échantillon d'un teintier le plus proche de la dent naturelle à imiter (8). Le choix est réalisé dans une bouche propre, avant préparation et sur surfaces hydratées (29). L'environnement du cabinet doit être neutre, les interférences colorées doivent être supprimées (foulard, rouge à lèvres, maquillage vif). Le relevé s'effectue de préférence en lumière naturelle, avec une exposition solaire indirecte, en milieu de journée sous un ciel peu lumineux. Ces conditions n'étant pas toujours réunies, il faut disposer d'un éclairage artificiel dont l'éclairement est de 2000 lux et la température de couleur proche de 6500°K afin de se rapprocher des caractéristiques « lumière du jour avec ciel nuageux » qui comporte l'ensemble des ondes du spectre visible (36). Le scialytique doit être éteint car son éclairage trop intense (20000 lux) lave les couleurs et sa température (4000 à 5000 °k) dévie les couleurs vers l'orange. La lumière qu'il produit est donc totalement inadaptée pour voir les teintes (9).

Il existe 2 familles de teintiers : ceux construits par groupes de teintes (VITA Classical®, Chromascop® Ivoclar Vivadent) et ceux construits par groupes de luminosité (VITA Toothguide 3D-MASTER® et VITA Linearguide 3D-MASTER®).

Ces 2 derniers teintiers présentent un grand intérêt puisqu'ils tiennent compte de la nature tridimensionnelle de la couleur : ils donnent la priorité à la luminosité, facteur le plus important de la réussite de la couleur ; viennent ensuite la saturation et la teinte (10).

Ils comportent un échantillonnage important de 26 nuances colorées qui se répartissent par groupes équidistants dans tout l'espace chromatique de la « banane » (13,19).



Figure 9 : teintier VITA Toothguide 3D MASTER®

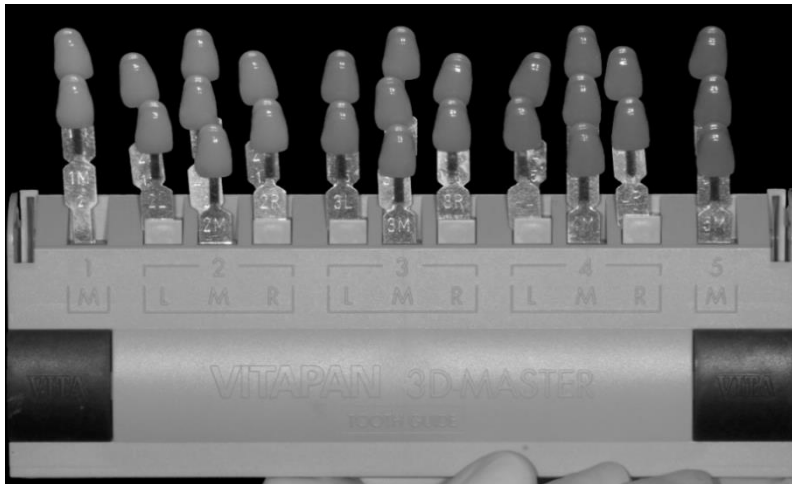


Figure 10 : Teintier VITA Toothguide 3D MASTER® en niveaux de gris avec échantillons rangés par ordre de luminosité décroissante de la gauche vers la droite

Ces teintiers privilégient la luminosité selon un protocole de relevé de couleur standardisé :

- 1- **Détermination de la luminosité** : il existe 5 groupes allant de 1 (le plus lumineux) à 5 (le plus sombre). La sélection de la luminosité s'effectue en partant du groupe le plus foncé et doit être rapide, inférieure à 10 secondes afin d'éviter de saturer les bâtonnets.
- 2- **Détermination de la saturation** : en prenant comme point de départ la barrette échantillon notée M (middle) de la luminosité sélectionnée, on relève la saturation de 1 (le moins saturé) à 3 (le plus saturé).
- 3- **Détermination de la teinte** : le choix est réduit entre les sous-groupes L (Left) pour les teintes jaunâtres, R (Right) pour les tendances chromatiques rougeâtres et M (Middle) pour les tonalités chromatiques équilibrées.

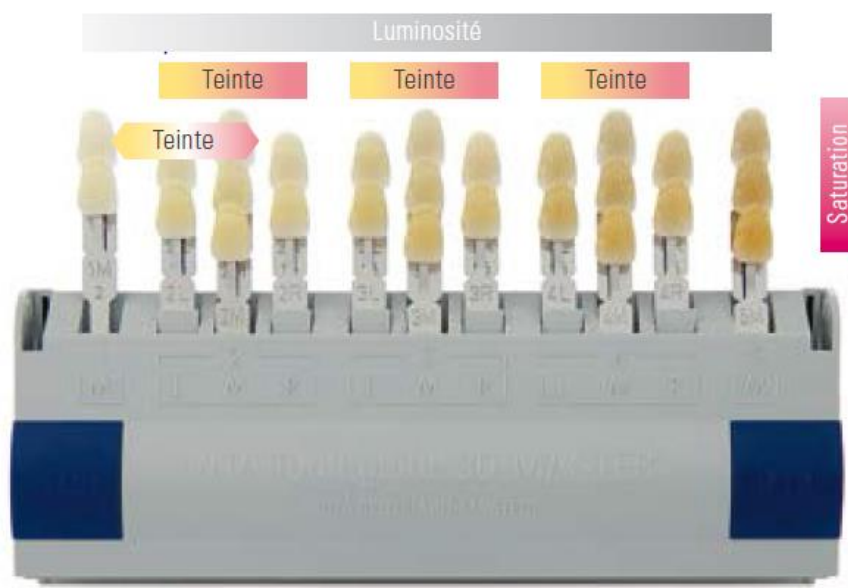


Figure 11 : Organisation du teintier Toothguide 3D-MASTER® (source : documentation VITA)

Les données recueillies doivent être regroupées sur un schéma détaillé dans les 3 zones cervicale, médiane et incisale. Ce schéma doit fournir des informations sur les états de surface, les effets d'opalescence et de translucidité, les caractérisations (fêlures, taches blanches opaques de déminéralisation, colorations extrinsèques). Il peut être accompagné de prises de vue macrophotographiques qui permettent de mieux transmettre les informations recueillies au prothésiste (8,9).

Le VITA Linearguide 3D-MASTER®, qui contient le même nombre d'échantillons, est une version simplifiée du Toothguide 3D-MASTER®. Il ne comprend plus que 2 étapes pour le relevé de couleur : la première permet de déterminer la luminosité à l'aide de 6 échantillons classés par ordre décroissant de luminosité de 0 à 5. Dans la seconde étape, l'opérateur choisit dans une palette contenant des échantillons de même luminosité (préalablement sélectionnée) mais de saturation croissante (10).

Le relevé visuel peut être assisté par des lampes d'éclairage LED calibrées (Demetron Shade® Kerr, Trueshade® Optident) ou par des caméras intrabuccales (caméra Sopro® Acteon) (36).

Les méthodes visuelles sont subjectives. Elles dépendent de l'expérience clinique, des variations physiologiques oculaires de l'opérateur, de la fatigue oculaire, des altérations du vieillissement ou même de l'existence de pathologies telles que les dyschromatopsies (6,8,17,37-40).

L'environnement lumineux peut aussi influencer l'exactitude des couleurs à relever par effet de métamérisme. Ce sont les variations de couleur que subit un objet en fonction des différentes sources lumineuses qui l'éclairent. Cet effet est directement lié à la distribution spectrale de la source lumineuse. Deux couleurs absolument identiques sous un éclairage seront vues différentes sous un autre type d'éclairage. On rencontre ce problème avec une restauration invisible dans le sourire au fauteuil et qui devient inesthétique à la lumière extérieure. Il faut donc relever la couleur sous une source lumineuse calibrée et équilibrée, type plafonniers 3965® Gamain, possédant les caractéristiques « lumière du jour » (T° couleur 6500°k, éclairement 2000 lux, IRC = 100) (9,14).

Malgré leurs avantages, ces teintiers présentent plusieurs limites dans le choix de la couleur : Ahn et col. ont montré en 2008 que la répartition des échantillons des teintiers 3D-

MASTER® n'était pas aussi régulière dans l'espace chromatique que le suggère le fabricant. Elle est tout de même meilleure qu'avec les teintiers organisés par groupes de teintes (41). De plus, l'erreur entre la couleur de la dent naturelle et l'échantillon le plus proche, notée ΔE_{ab} , est inférieur à 2 (donc indécélable par l'œil humain) dans seulement 1/3 des cas (42).

5.2. Le relevé instrumental

Afin de réduire la subjectivité et les imprécisions des méthodes visuelles comparatives, des instruments de mesure de la couleur sont apparus sur le marché depuis une quinzaine d'années : ce sont les colorimètres et les spectrophotomètres qui rendent le choix de la couleur plus scientifique et objectif (36). Leur but est de pallier aux limites de quantification de la couleur que présentent les teintiers actuels. Les colorimètres et les spectrophotomètres peuvent quantifier numériquement les couleurs (43).

5.2.1. Les colorimètres

Ils effectuent une mesure de la couleur par un procédé optique permettant de relier le flux lumineux réfléchi par l'échantillon aux composants colorimétriques. La lumière réfléchie par la dent passe à travers 3 filtres (rouge, vert, bleu) derrière lesquels 3 photo-diodes mesurent l'intensité du rayonnement reçu. Ces 3 mesures sont combinées en un résultat unique (44).

Ces appareils doivent être étalonnés sur le blanc avant chaque mesure pour compenser le vieillissement de la lampe source (36). Certains donnent une mesure ponctuelle ou en 3 points de la dent (Shade-X® de X-Rite, Chromatis® de MHC, Shade Eye Chroma Meter® de Shofu) alors que d'autres fournissent une véritable cartographie 3D qui tient compte de la luminosité, de la saturation et de la teinte (Shade Scan® de Cynovad, Shade Vision® de X Rite, Digital Shade Guide® de Rieth) (10,43).

Les mesures sont moins précises que celles recueillies avec les spectrophotomètres (8).

5.2.2. Les spectrophotomètres

Ils effectuent une mesure spectrale (non limitée au rouge, vert et bleu comme les colorimètres) du flux lumineux réfléchi sous leur propre source lumineuse qui est une lumière incidente polychromatique visible, non influencée par l'éclairage du cabinet. La dent à évaluer est frappée par la lumière émise par le spectrophotomètre et devient complètement saturée de lumière. Le spectre réfléchi capturé par la sonde de l'appareil est mesuré en de nombreux points et il est comparé à une base de données pour exprimer la couleur selon le codage international CIE L, a*, b*. Plusieurs millions de points peuvent être analysés à la surface de la dent par l'ordinateur intégré dans l'appareil.

Ces appareils doivent être étalonnés sur un échantillon céramique de référence avant chaque mesure (8,36,43).

Parmi ces appareils, Le VITA Easyshade® Advance 4.0, utilisé dans notre étude expérimentale, est composé d'une pièce à main sans fil qui permet d'effectuer les mesures de la couleur des dents et d'un chargeur sur lequel se fixe la borne d'étalonnage contenant un échantillon céramique de référence. La mesure se fait à l'aide de fibres optiques, par un spot central (capteur, pointe de la sonde de la pièce à main) de 5mm de diamètre qu'il est nécessaire de positionner correctement sur la surface dentaire à analyser. La lumière source émise grâce à des LED blanches haute puissance est de type D65, ce qui correspond à une température de couleur d'environ 6500°K avec des plages de longueurs d'ondes émises s'étendant de 400 à 700 nm. Sa résolution spectrale est de 25 nm.

Cet appareil convertit les données reçues en code référence des teintiers VITA Classical® et 3D MASTER®. Il fournit aussi les valeurs L*a*b*, C, h° ainsi que le ΔE entre la couleur mesurée et l'échantillon de teintier le plus proche. Les mesures peuvent être ponctuelles ou en 3 points de la dent (zones cervicale, médiane et incisale) (43).



Figure 12 : étalonnage du VITA Easyshade® à gauche et capteur à droite



Figure 13 : (A) étalonnage de l'appareil, (B) relevé de couleur en mode "mesure ponctuelle" (1er dessin sur l'écran) ou mode "mesure 3 zones" (3ème dessin sur l'écran), (C) résultat d'une mesure exprimée dans le système CIE L*, a*, b*, C, h° et la teinte 3D Master associée

Selon Kim-Pusateri (45), on distingue 3 notions :

- la fidélité (précision, fiabilité, « reliability » en anglais) correspond à l'étroitesse de l'accord entre les valeurs mesurées obtenues par des relevés répétés d'un même objet : un instrument de grande fidélité donne des mesures faiblement dispersées mais qui peuvent être éloignées de la valeur vraie.

- La justesse (« accuracy » en anglais) est la faculté d'un instrument à donner des mesures dont la moyenne est proche de la valeur vraie, cependant les mesures peuvent être dispersées entre elles.

⇒ La combinaison de la fidélité et de la justesse définissent l'exactitude d'un instrument de mesure.

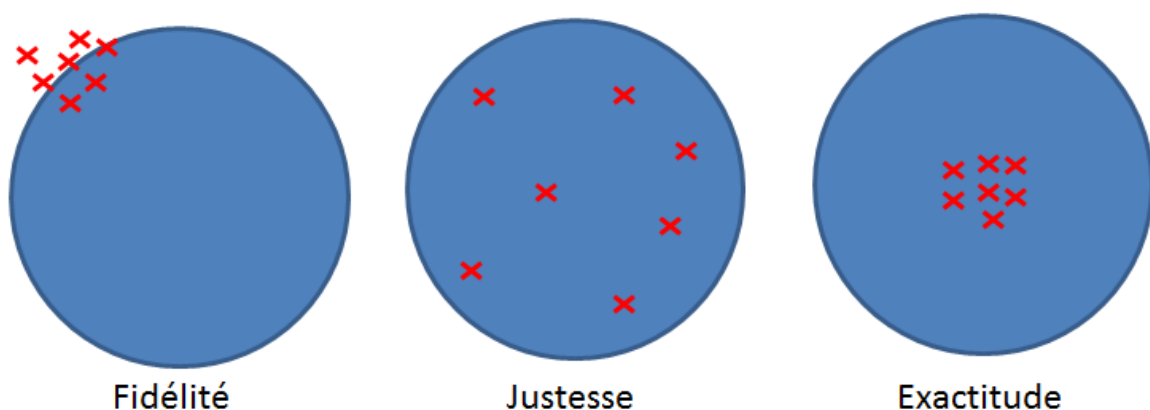


Figure 14 : Fidélité, Justesse et Exactitude

Le VITA Easyshade®, parmi l'ensemble des dispositifs spectrophotométriques de mesure de la couleur des dents, est l'un des systèmes les plus fiables (96,4%) et plus justes (92,6%) (45,46).

Chen et al. ont effectué une revue systématique de la littérature sur les études comparant méthodes visuelles et instrumentales et observent que les mesures spectrophotométriques sont plus fidèles et justes que les relevés visuels (47). Cependant, c'est lors du relevé de la luminosité que les résultats entre les 2 méthodes sont les plus proches, cette dimension restant la plus importante lors du choix de la couleur (48). Il s'agit de 2 méthodes complémentaires qui doivent être combinées pour améliorer l'esthétique de nos restaurations (49).

6. Déshydratation et couleur des dents

Les propriétés optiques des dents peuvent être modifiées lors de leur déshydratation. Il a été observé que les dents apparaissent plus lumineuses, plus blanches lorsqu'elles sont soumises à une déshydratation (5,50). L'eau a un indice de réfraction supérieur ($n = 1,33$) à celui de l'air ($n = 1$) (51). Lorsque la dent se déshydrate, l'eau contenue dans l'émail est remplacée par de l'air ; la différence d'indices de réfraction entre l'eau et l'air entraînerait une augmentation de la dispersion de la lumière dans l'émail le rendant plus opaque. L'augmentation d'opacité induirait une réflexion plus importante de photons et la luminosité tendrait à augmenter (51,52). Le même phénomène se produit dans les hypominéralisations de l'émail, les fluoroses et les MIH (Hypominéralisation Molaires-Incisives) (51,52). De même, l'augmentation de luminosité des dents liée à leur déshydratation est retrouvée dans des études sur l'éclaircissement dentaire (53).

Au cours des soins, l'aspiration avec la pompe salivaire, l'utilisation du spray d'air, la prise d'empreintes, l'emploi du champ opératoire sont des procédures cliniques quotidiennes qui peuvent entraîner un dessèchement des dents.

Plusieurs études ont montré un changement de couleur des dents lorsqu'elles se déshydratent (18,29). Burki et al. (29) ont évalué ces modifications sur une population d'âge hétérogène (25 à 57 ans); il serait intéressant de réaliser une étude similaire en prenant le même nombre de candidats (20) mais d'âge plus homogène (jeune entre 21 et 28 ans) du fait des variations structurelles et optiques des dents en fonction de l'âge.

III. EXPERIMENTATION

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 jeune (moins de 30 ans)
- Evaluer si les variations de couleur sont plus ou moins importantes en fonction :
 - du genre : hommes / femmes
 - de la localisation: 3 zones de la couronne dentaire (cervicale, médiane et incisale)

2. Matériel et méthode

Une approbation du Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outre-Mer III a préalablement été obtenue afin de pouvoir réaliser cette étude expérimentale.

2.1. Analyse spectrophotométrique

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 était compris entre 21 et 28 ans. La moyenne d'âge des femmes était de 25.4 ans, celle des hommes de 24.9 ans et la moyenne d'âge globale était de 25.2.

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.

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 EASYSHADE ADVANCE 4.0®. Des mesures ont été effectuées avant déshydratation, et après la mise en place d'un champ opératoire sur la dent sélectionnée toutes les 10 minutes pendant 30 minutes (période de déshydratation de la dent). Puis, des mesures ont été prises après dépose du champ opératoire toutes les 10 minutes pendant 30 minutes (période de réhydratation).

Les mesures ont été effectuées au niveau de 3 sites de la couronne dentaire : cervical, médian et incisal.

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

2.1.3. Critères d'inclusion

Les incisives centrales maxillaire gauche ou droite (11 ou 21) sélectionnées devaient être vitales, intactes, non restaurées et n'ayant pas subi de traumatismes ou de traitement d'éclaircissement. Les patients avaient moins de 30 ans afin que l'étude porte sur des dents jeunes ayant un émail épais.

2.1.4. Critères d'exclusion

- patients de plus de 30 ans
- présence de restaurations conservatrices ou prothétiques
- présence de traitement d'ODF : brackets, colle orthodontique résiduelle, contention orthodontique
- présence de phénomènes d'usure pathologique : bruxisme, érosions
- 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

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 éclairé 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 déshydratation et de la réhydratation de la dent

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 différent pour chaque zone étudiée (cervicale médiane et incisale).

Pour ce faire, après examen clinique et validation des critères d'inclusion, 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 réaliser des gouttières occlusales, a été thermoformée sur chacun des moulages, puis découpée afin d'englober la dent étudiée ainsi que les 2 dents adjacentes. Les limites périphériques se situaient légèrement en deçà du collet pour ne pas interférer avec la gencive marginale tout en assurant une stabilité satisfaisante et donc un repositionnement fiable et reproductible du guide. 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 EASY SHADE 4.0®. Notons qu'avant le thermoformage des plaques, sur chacun des moulages, la dent étudiée a été préalablement divisée au crayon de 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 15 : guides de positionnement pour le relevé de couleur au niveau cervical, médian et incisal

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.

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 étaient correctes.

Un étui de protection en plastique a été mis sur la sonde de l'Easysshade afin de respecter les règles d'hygiène et d'éviter la transmission d'infections.

Avant chaque série de mesures, le spectrophotomètre a été étalonné, ce qui lui permet d'assurer fiabilité et précision des résultats. Pour ce faire, après allumage de l'appareil en maintenant appuyé au moins 2 secondes sur la touche de la partie supérieure de l'appareil ou sur les touches de commandes, le symbole « Etalonnage » est sélectionné dans le menu « Réglages », 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° et l'étalonnage est effectué en appuyant sur la touche de mesure. Deux brefs signaux sonores indiquent que la procédure d'étalonnage est terminée.

Après étalonnage, 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 déshydratation.

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

- 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.

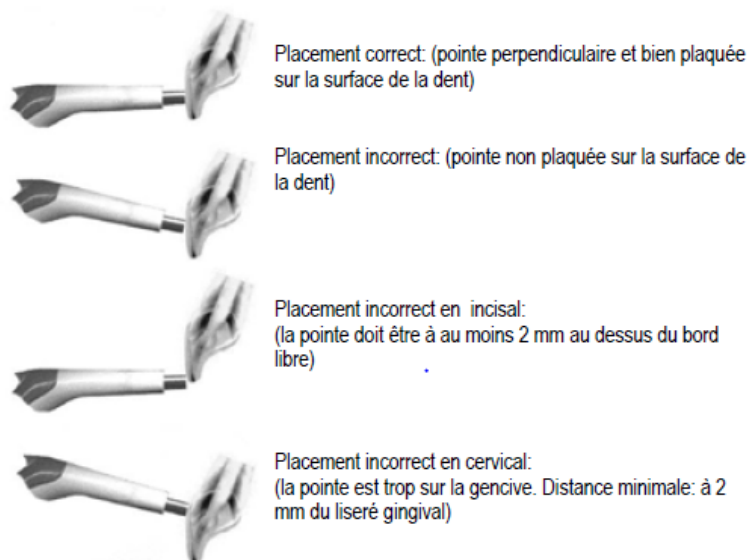


Figure 16 : placement correct du capteur du spectrophotomètre VITA EASYSHADE ADVANCE 4.0® (documentation VITA)



Figure 17 : relevé de couleur à l'état initial avec guide en place et photo avec référentiel teintier 3D Master

2.1.5.2.2. Mesures lors de la période 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 positionnés parfaitement et pour éviter que la feuille de digue ne remonte au niveau cervical de la dent analysée, 6 perforations ont été réalisées dans la feuille de caoutchouc à l'aide d'une pince de Ainsworth isolant les dents du secteur incisivo-canin maxillaire (de 13 à 23). La feuille a été clampée sur les prémolaires maxillaires (14 et 24), puis tendue sur un cadre de digue.

Le relevé de couleur 3 zones avec guides en place a été effectué toutes les 10 minutes pendant 30 minutes (t = 10 minutes, t = 20 minutes et t = 30 minutes).



Figure 18 : champ opératoire mis en place

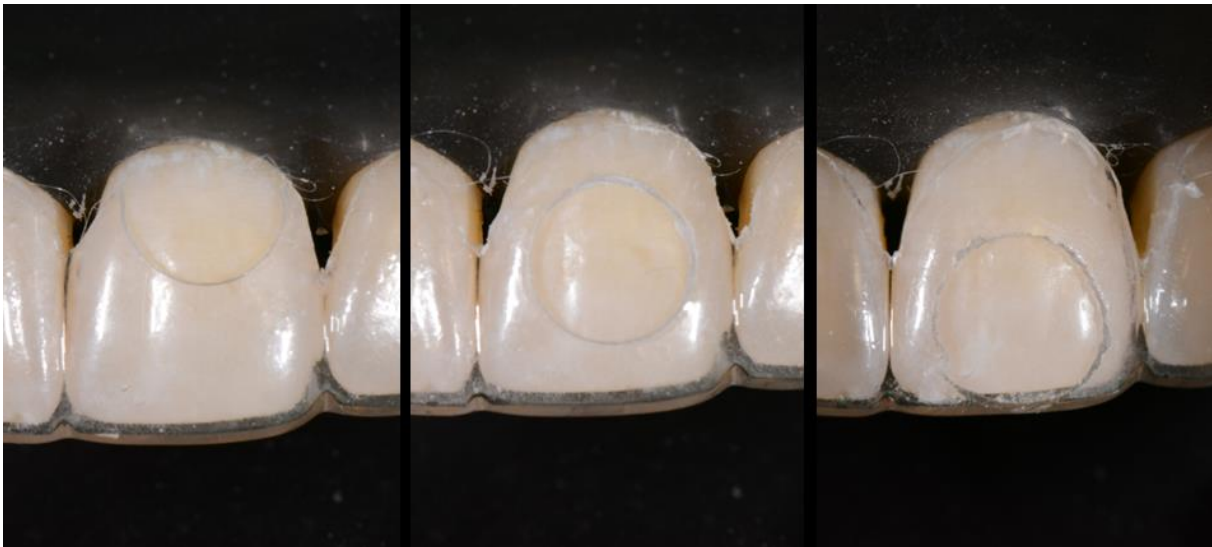


Figure 19 : essayage des guides de positionnement champ opératoire en place



Figure 20 : relevé de la couleur pendant la période de déshydratation de la dent

2.1.5.2.3. Mesures lors de la période de réhydratation de la dent

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

Les mêmes mesures que précédemment avec guides 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) afin d'évaluer l'évolution de la couleur des dents lors de leur réhydratation.

2.2. Analyse statistique

Les données recueillies ont été saisies dans le logiciel Microsoft® Excel.

Les données 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 couleur existaient entre l'état initial et la période de déshydratation ainsi que 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 chacun des 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, cette 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 ».

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 $t = 10$ min, $t = 20$ min, $t = 30$ min (période de déshydratation), $t = 40$ 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) et de la localisation dentaire (1/3 cervical, 1/3 médian et 1/3 incisal).

Ce test permet d'étudier des échantillons indépendants : nous avons comparé les variations des coordonnées de couleur ΔL , ΔC , Δh° , Δa et Δb calculées entre l'état initial et $t = 10$ 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, avec pour hypothèse nulle : « les variations des coordonnées de couleur en fonction du temps sont identiques chez les hommes et les femmes », et selon 3 sites dentaires avec pour hypothèse nulle : « les variations des coordonnées de couleur en fonction du temps sont identiques au niveau des zones cervicale médiane et incisale.

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 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.

Les résultats des différents tests 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

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 $t = 10$ 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 était cliniquement perceptible.

3. Résultats

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

- 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 1).

Le test de Mann Whitney a confirmé que la zone cervicale était statistiquement plus lumineuse que les zones médiane (p-value 0.02) et incisale (p-value $1,2 \times 10^{-4}$), et que la zone médiane était statistiquement plus lumineuse que la zone incisale (p-value 0.02).

Les valeurs de luminosité recueillies au niveau des 3 régions étaient comprises entre 70,2 et 84,7 pour un maximum de 100. On peut conclure que malgré les différences inter-sites, les dents naturelles étudiées étaient très lumineuses (figure 21 et tableau 2).

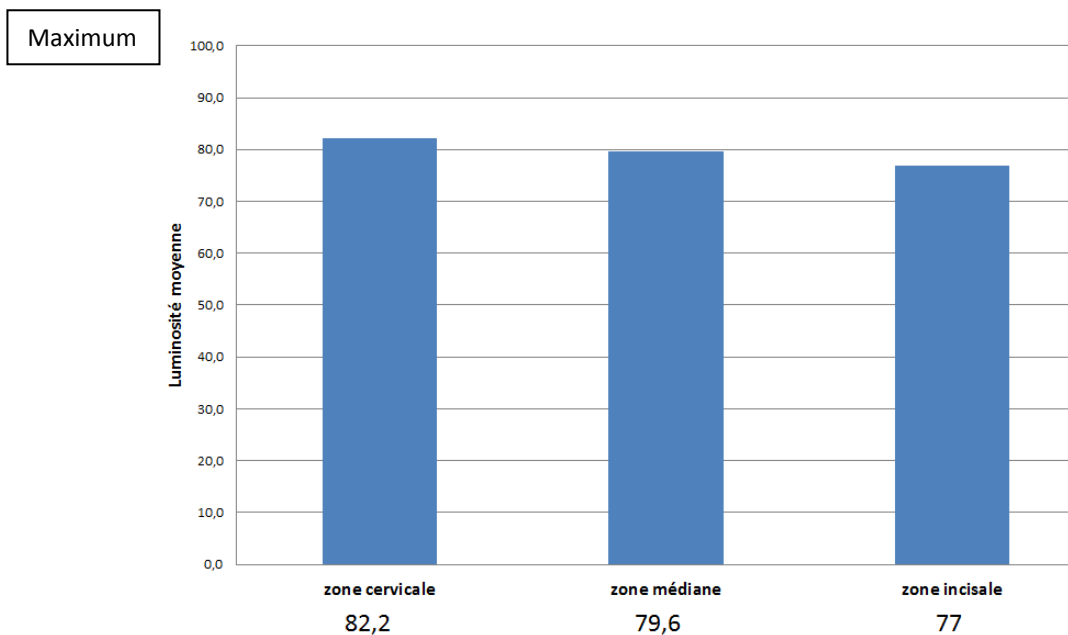


Figure 21 : Luminosité moyenne au niveau cervical médian et incisal

Etat initial (t= 0)		Zone cervicale	Zone médiane	Zone incisale
Luminosité L*	moyenne	82,2	79,6	77
	min - max	75,6 – 87	72,3 – 84,7	70,2 – 84,3
Saturation C	moyenne	20,2	16,4	14,5
	min - max	14,8 – 28,7	12,1 – 24,9	8,9 – 20,9
Teinte h°	moyenne	91,8	94	96,4
	min - max	87,3 – 96	88,7 – 98,7	89,7 - 107
a*	moyenne	-0,5	-1	-1,4
	min - max	-1,6 – 1,2	-2,2 – 0,5	-2,6 – 0,1
b*	moyenne	20,2	16,4	14 ,5
	min - max	14,8 – 28,7	12,1 – 24,9	8,5 – 20,9

- 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 -2,6 et 1,2, proche de 0 (très peu d'influence sur la saturation C). Les moyennes de a* au niveau des 3 régions étaient négatives, ce qui signifie que la majorité des valeurs relevées étaient situées sur l'axe des verts -a (tableau 2 et figure 22). Le test de Mann Whitney a montré que la zone cervicale présentait une saturation en vert statistiquement inférieure par rapport aux zones médiane (p-value 0.04) et incisale (p-value 3×10^{-3}) et donc une plus grande proximité avec l'axe neutre. Le test n'a pas permis de montrer de différence statistiquement significative de a* entre les zones médiane et incisale ($p > 0.05$).

Les valeurs du paramètre b* recueillies étaient comprises entre 8,5 et 28,7, toutes positives situées sur l'axe des jaunes +b (tableau 2 et figure 22). Le test de Mann Whitney a montré que la zone cervicale présentait une saturation en jaune statistiquement plus importante que les zones médiane (p-value 4×10^{-3}) et incisale (p-value 1.5×10^{-4}). Le test n'a pas permis de montrer de différence statistiquement significative de b* entre les zones médiane et incisale ($p > 0.05$).

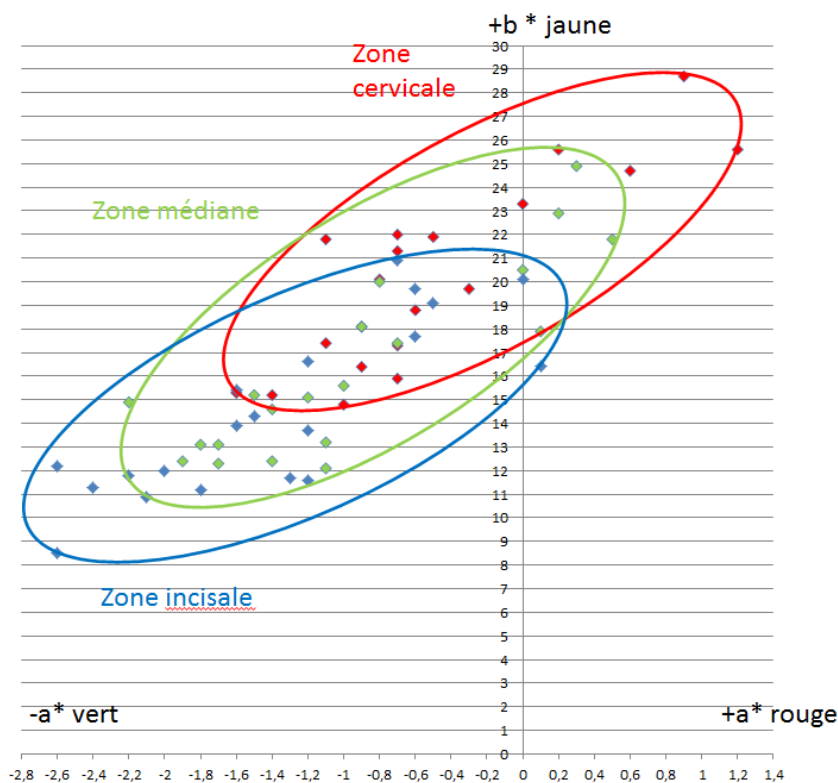


Figure 22 : répartition des couleurs relevées à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale dans le plan horizontal défini par les axes -a* +a* vert- rouge et -b* + b* bleu – jaune

- Saturation C :

La saturation moyenne relevée à l'état initial était plus importante au niveau de la zone cervicale, suivie par la zone médiane et par la zone incisale qui présentait la saturation moyenne la plus faible (tableau 2).

Le test de Mann Whitney a confirmé que la zone cervicale était statistiquement plus saturée que les zones médiane (p-value $3,8 \times 10^{-3}$) et incisale (p-value $1,4 \times 10^{-4}$) ; 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 » ($p > 0.05$)

Les valeurs de saturation recueillies variaient entre 8,9 et 28,7 avec une saturation globale moyenne de 17, ce qui signifie que les dents étudiées étaient très peu saturées (tableau 2). 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 proche de 0 : b^* étant positif, les dents étudiées étaient principalement saturées en jaune (figure 23).

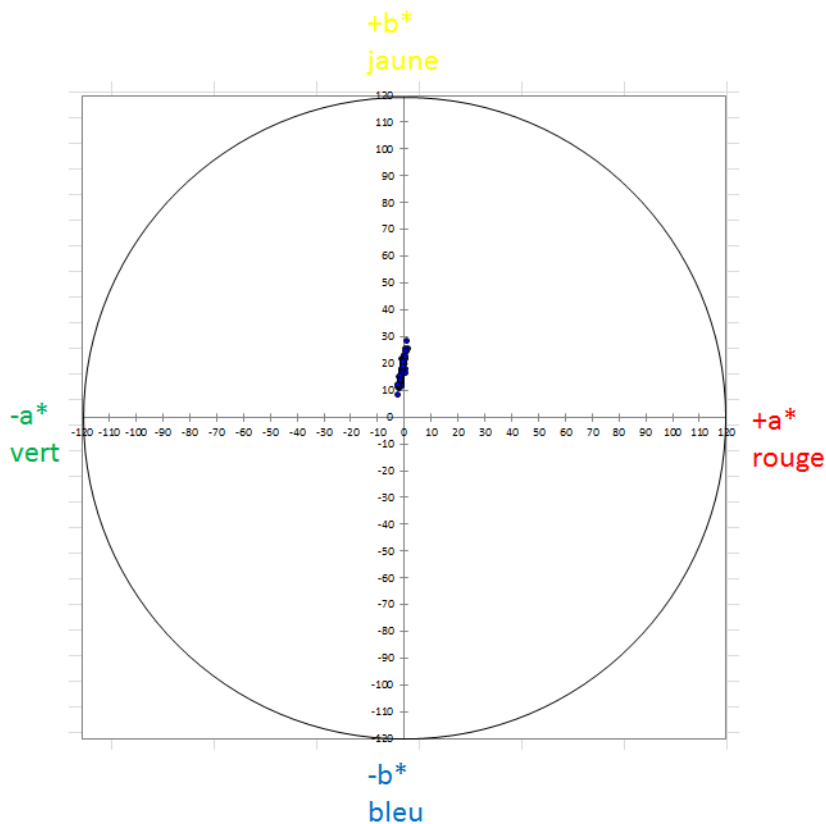


Figure 23 : répartition des couleurs relevées à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale dans le plan horizontal défini par les axes $-a^*$ + a^* vert- rouge et $-b^*$ + b^* bleu - jaune

- Tonalité chromatique h° :

Lors du relevé initial, les valeurs de l'angle de tonalité chromatique h° étaient comprises entre $87,3^\circ$ et 107° , ce qui correspond à des teintes jaune-orangé (entre $87,3^\circ$ et 90°) et jaunes (entre 90° et 107°). L'angle moyen de tonalité chromatique était le plus faible au niveau de la zone cervicale ($91,8^\circ$), et augmentait en direction incisale (zone cervicale 94° et zone incisale $96,4^\circ$) : la tonalité chromatique globale moyenne des dents naturelles étudiées était jaune (tableau 2). Le test de Mann Whitney a montré que les valeurs angulaires des tonalités chromatiques relevées au collet étaient statistiquement inférieures à celles relevées au niveau du corps (p -value 0.02) et du bord incisal (2×10^{-3}). Le test n'a pas permis de montrer de différence significative de teinte entre les zones médiane et incisale ($p > 0.05$).

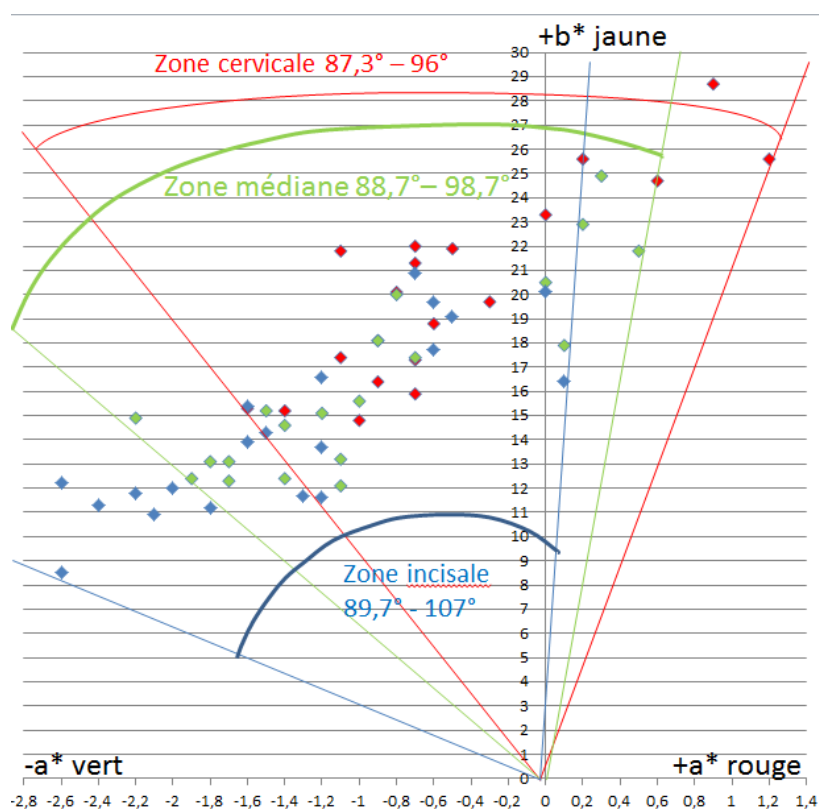


Figure 24 : angles minimum et maximum de tonalité chromatique à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale

- 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 4,9 (4,2 – 5,6).

Le ΔE moyen entre la zone cervicale et la zone incisale était 8,3 (7,2 – 9,4).

Le ΔE moyen entre la zone médiane et la zone incisale était 3,8 (2,8 – 4,8).

3.2. Etude des changements des coordonnées de couleur des dents naturelles lors des phases de déshydratation et de réhydratation

Les tableaux 1, 2 et 3 montre 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 après dépose du champ opératoire s'étend de 30 à 60 minutes.

Tableau 3.1 – moyenne des coordonnées de couleur au niveau de la zone cervicale							
Coordonnées de couleur	Temps (minutes)						
	État initial	Période de déshydratation			Période de réhydratation		
	0	10	20	30	40	50	60
L*	82,2	86,7*	86,9*	86,9*	83,2*	82,4 ^{ns}	82,3 ^{ns}
C	20,2	23,5*	24,3*	24,7*	21,7*	20,8*	20,5*
h°	91,8	90,4*	89,9*	89,8*	90,9*	91,3*	91,4*
a*	-0,5	0,0*	0,2*	0,3*	-0,2*	-0,3*	-0,4*
b*	20,2	23,5*	24,3*	24,7*	21,7*	20,8*	20,5*

Seuil de signification fixée à 0,05:
 $p > 0,05$ ^{ns} différence statistiquement non significative
 $P < 0,05$ * différence statistiquement significative

Tableau 3.2 – moyenne des coordonnées de couleur au niveau de la zone médiane

Coordonnées de couleur	Temps (minutes)						
	État initial	Période de déshydratation			Période de réhydratation		
	0	10	20	30	40	50	60
L*	79,6	84,0*	84,0*	84,2*	80,7*	79,9 ^{ns}	79,7 ^{ns}
C	16,4	20,4*	20,8*	21,2*	18,1*	17,1*	16,7*
h°	94,0	91,5*	91,0*	90,6*	92,4*	93,3*	93,8*
a*	-1,0	-0,3*	-0,1*	0,0*	-0,5*	-0,8*	-0,9*
b*	16,4	20,3*	20,8*	21,2*	18,1*	17,1*	16,7*

Seuil de signification fixée à 0,05:
 $p > 0,05$ ^{ns} différence statistiquement non significative
 $P < 0,05^*$ différence statistiquement significative

Tableau 3.3 – moyenne des coordonnées de couleur au niveau de la zone incisale

Coordonnées de couleur	Temps (minutes)						
	État initial	Période de déshydratation			Période de réhydratation		
	0	10	20	30	40	50	60
L*	77,0	81,0*	81,4*	81,6*	77,7*	77,1 ^{ns}	77,1 ^{ns}
C	14,5	18,7*	19,4*	19,7*	16,7*	15,3*	14,8*
h°	96,4	93,1*	92,3*	92,0*	94,2*	95,4*	95,9*
a*	-1,4	-0,7*	-0,5*	-0,4*	-0,9*	-1,2*	-1,3*
b*	14,5	18,7*	19,3*	19,7*	16,6*	15,2*	14,7*

Seuil de signification fixée 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 relevées au bout de 10, 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 10, 20 et 30 minutes d'expérimentation pour toutes les coordonnées de couleur et ce au niveau des 3 zones étudiées ($p < 0.05$) (tableaux 3.1, 3.2, 3.3).

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 a^* , b^* , C , h° au niveau des 3 zones étudiées ($p < 0.05$). En ce qui concerne la luminosité L , une différence statistiquement significative a été observée entre les valeurs recueillies à l'état initial et celles relevées au bout de 40 minutes d'expérimentation. Le test a montré qu'il n'y avait plus de différence significative entre les valeurs initiales et celles relevées au bout de 50 minutes et 60 minutes d'expérimentation (respectivement après 20 et 30 minutes de réhydratation des dents testées) ($p > 0.05$). (tableaux 3.1, 3.2, 3.3).

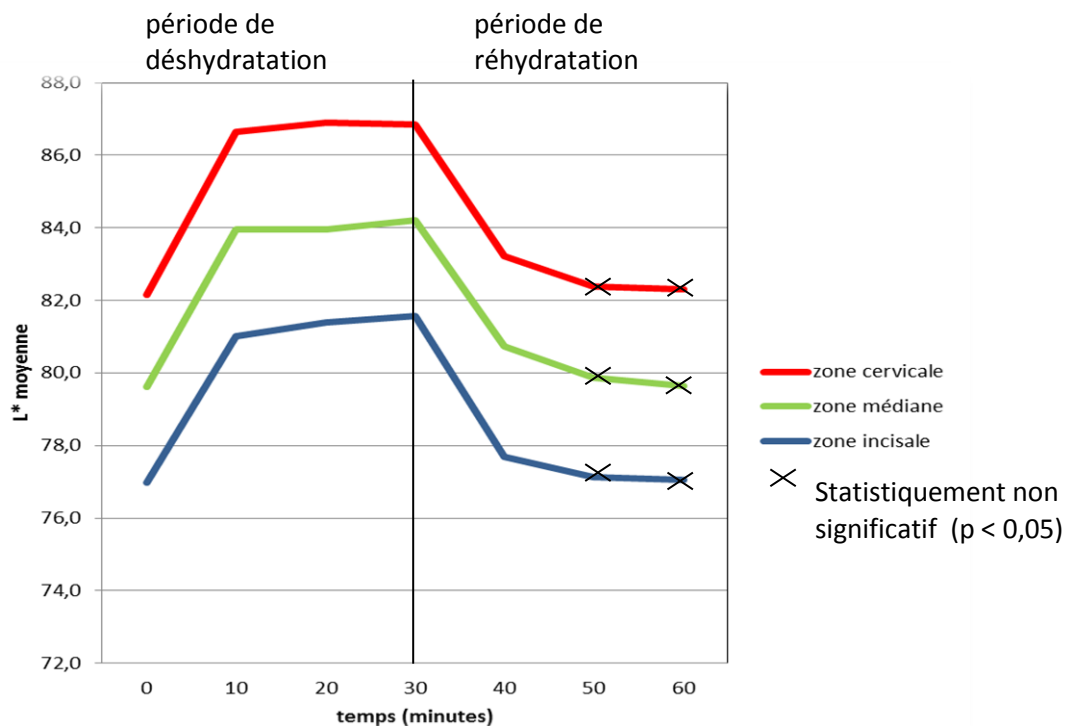


Figure 25 : évolution des paramètres L^* pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)

Le test de Mann Whitney a indiqué que les variations de luminosité ΔL^* des zones cervicale, médiane et incisale, calculées entre l'état initial et 10, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes d'expérimentation, ne présentaient pas de différence significative ($p > 0.05$).

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 $t=10$ min (ΔL^* moyen = 4,3) qu'entre $t=10$ et $t=20$ min (ΔL^* moyen = 0,2) et $t=20$ et $t=30$ (ΔL^* moyen = 0,1), ce qui nous amène à conclure que l'augmentation principale de luminosité a lieu pendant les 10 premières minutes de déshydratation (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 25).

Après dépose du champ opératoire, une diminution de la luminosité 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 (ΔL^* moyen = -3,7), qu'entre $t=40$ et $t=50$ (ΔL^* moyen = -0,7) et $t=50$ et $t=60$ minutes (ΔL^* moyen = -0,1), ce qui nous amène à conclure que la diminution principale de luminosité a lieu pendant les 10 premières minutes de réhydratation. Aucune différence significative n'est retrouvée avec les valeurs de luminosité initiales après 20 minutes de réhydratation ($p > 0.05$). (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 25).

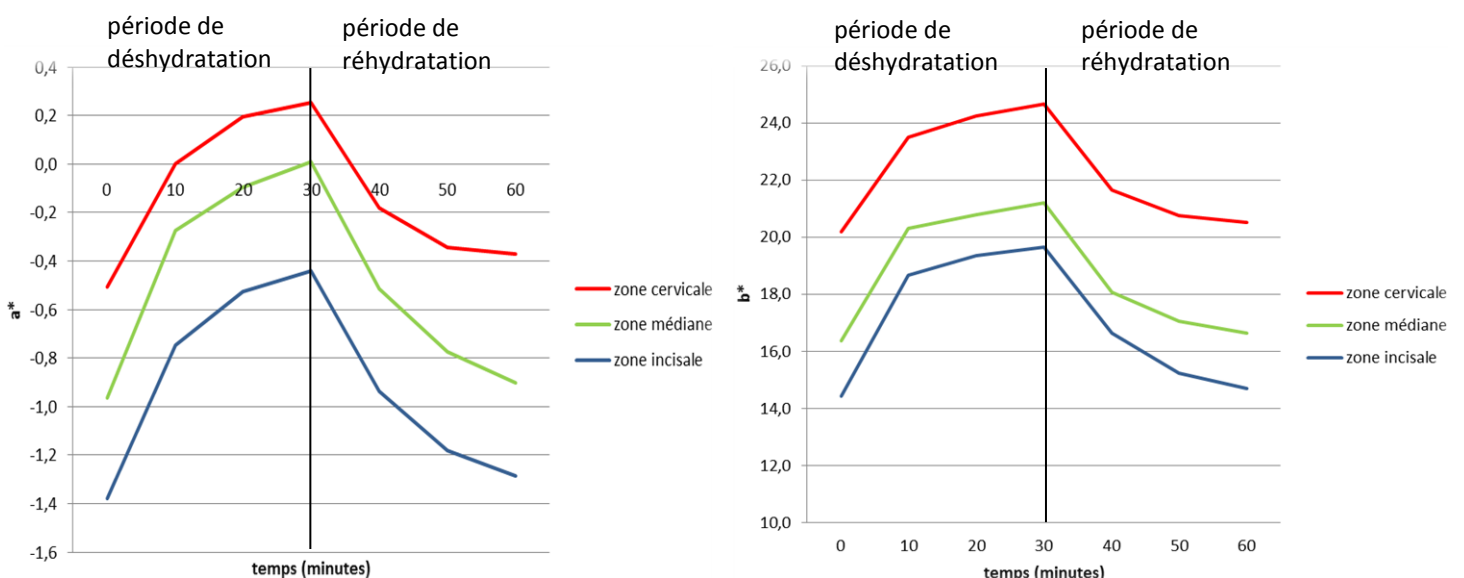


Figure 26 : évolution des paramètres a^* et b^* pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)

Aucune différence significative n'a pu être observée après réalisation du test de Mann Whitney entre les variations Δa^* des zones cervicale, médiane et incisale au cours de l'expérimentation ($p > 0.05$).

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 $t=10$ min (Δa^* moyen = 0,6) qu'entre $t=10$ et $t=20$ min (Δa^* moyen = 0,2) et $t=20$ et $t=30$ (Δa^* moyen = 0,1). Le paramètre a^* a principalement augmenté pendant les dix premières minutes de l'expérimentation (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et 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 = -0,5), qu'entre $t=40$ et $t=50$ (Δa^* moyen = -0,2) et $t=50$ et $t=60$ minutes (Δa^* moyen = -0,1). Le paramètre a^* a principalement diminué pendant les dix premières minutes de la phase de réhydratation. Cependant les valeurs de a^* sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial ($p < 0.05$) (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 26).

Aucune différence significative n'a pu être observée après réalisation du test de Mann Whitney entre les variations Δb^* des zones cervicale, médiane et incisale au cours de l'expérimentation ($p > 0.05$).

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 ($a^* > 0$ et $\Delta a^* > 0$).

L'augmentation de b^* a été plus importante entre $t=0$ et $t=10$ min (Δb^* moyen = 3,8) qu'entre $t=10$ et $t=20$ min (Δb^* moyen = 0,6) et $t=20$ et $t=30$ (Δb^* moyen = 0,4). Le paramètre b^* a principalement augmenté pendant les dix premières minutes de l'expérimentation (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 26).

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 = -3,1), qu'entre $t=40$ et $t=50$ minutes (Δb^* moyen = -1,1) et $t=50$ et $t=60$ minutes (Δb^* moyen = -0,4). Le paramètre b^* a principalement diminué pendant les dix premières minutes de la phase de réhydratation (figure 26). Cependant les valeurs de b^* sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial ($p < 0.05$) (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 26).

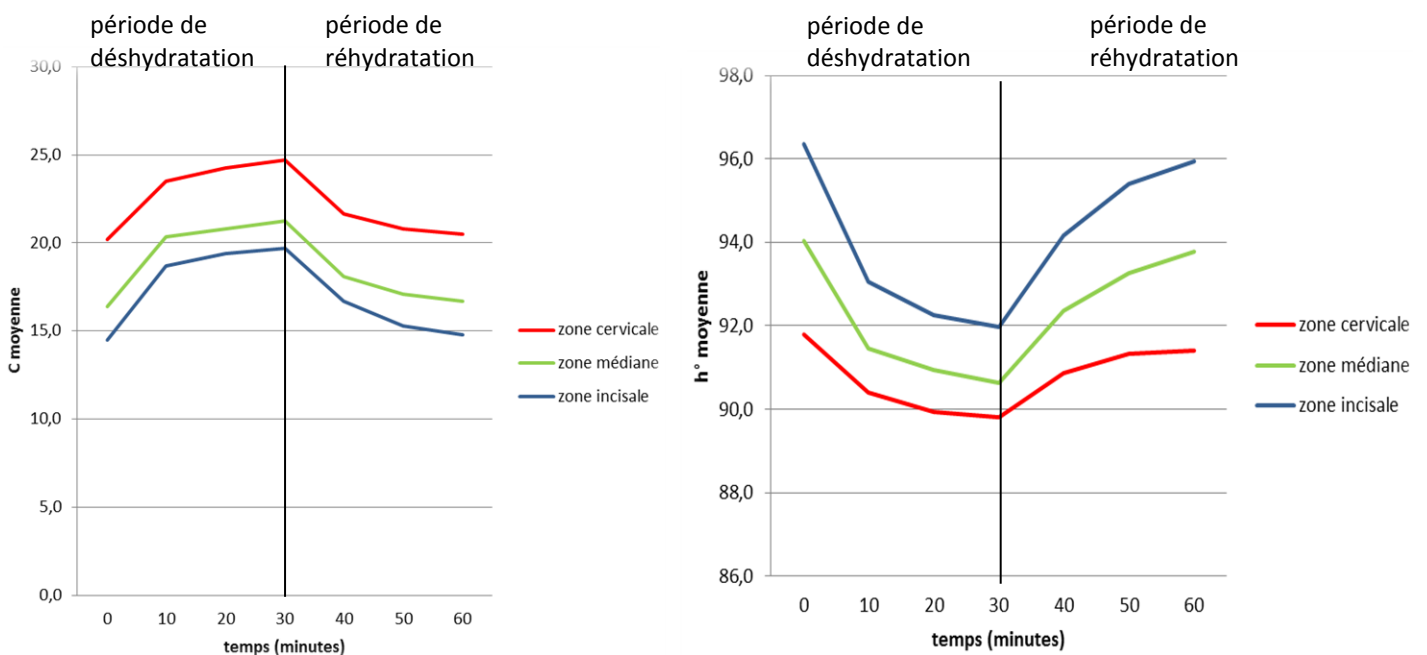


Figure 27 : évolution des paramètres C et h° pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)

Aucune différence significative n'a pu être observée après réalisation du test de Mann Whitney entre les variations ΔC^* des zones cervicale, médiane et incisale au cours de l'expérimentation ($p > 0.05$).

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 $t=10$ min (ΔC moyen = +3,8) qu'entre $t=10$ et $t=20$ min (ΔC moyen = +0,6) et $t=20$ et $t=30$ (ΔC moyen = +0,4), ce qui nous amène à conclure que l'augmentation principale de saturation a lieu pendant les 10 premières minutes (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 27).

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 = -3,1), qu'entre t=40 et t=50 (ΔC moyen = -1,1 et t=50 et t=60 minutes (ΔC moyen = -0,4). ce qui nous amène à conclure que la diminution principale de saturation a lieu pendant les 10 premières minutes de la phase de réhydratation. Cependant les valeurs de C sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial ($p < 0.05$) (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 27).

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=10 min (Δh° moyen = -2,4) qu'entre t=10 et t=20 min (Δh° moyen = -0,6) et t=20 et t=30 (Δh° moyen = -0,3). La tonalité chromatique a principalement diminué pendant les dix premières minutes de l'expérimentation (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 27).

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 = +1,7), qu'entre t=40 et t=50 (Δh° moyen = +0,8) et t=50 et t=60 minutes (Δh° moyen = +0,4). La tonalité chromatique a principalement augmenté pendant les dix premières minutes de la phase de réhydratation. Cependant les valeurs de h° sont restées statistiquement différentes de celles recueillies à l'état initial ($p < 0.05$) (tableaux 3.1, 3.2, 3.3 et figure 27).

Le test de Mann Whitney a indiqué que les variations de teinte Δh° des zones médiane et incisale, calculées entre l'état initial et 10, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes d'expérimentation, ne présentaient pas de différence significative ($p > 0.05$).

Des différences significatives ont été observées entre les variations de Δh° de la zone cervicale et celles des zones médiane et incisale entre l'état initial et 10, 20, 30, 40 et 50 minutes d'expérimentation ($p < 0.05$): les variations Δh° au niveau cervical étaient statistiquement moins importantes qu'au niveau des zones médiane et incisale (diminution moins importante pendant la phase de déshydratation et augmentation moins importante pendant la période de réhydratation). On peut conclure que la zone cervicale a été moins

affectée par le changement de teinte que les deux autres régions, bien que ce changement de teinte soit resté significatif.

Le test de Mann Whitney a indiqué que les variations de teinte Δh° des zones cervicale, médiane et incisale, calculées entre l'état initial et 60 minutes d'expérimentation, ne présentaient pas de différence significative ($p > 0.05$).

Le test de Mann Whitney a indiqué que les variations des paramètres de la couleur ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* en fonction du temps au niveau des 3 sites étudiés n'ont pas présenté de différence significative entre les hommes et les femmes. ($p > 0.05$).

3.3. Différence de couleur ΔE

Le tableau 4 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 4 - Moyenne et intervalle de confiance à 95% des différences de couleur ΔE observées en fonction du temps						
Zone étudiée	temps (minutes)					
	Période de déshydratation			Période de réhydratation		
	10	20	30	40	50	60
cervicale	5,8 (5,1 – 6,5)	6,5 (5,9 – 7,1)	6,7 (6,0 – 7,4)	2,1 (1,7 – 2,5)	0,9 (0,7 – 1,1)	0,5 (0,4 – 0,6)
médiane	6,3 (5,6 – 7,0)	6,6 (5,9 – 7,3)	7,1 (6,4 – 7,8)	2,5 (2,1 – 2,9)	1,1 (0,8 – 1,3)	0,6 (0,5 – 0,7)
incisale	6,2 (5,6 – 6,8)	7,0 (6,4 – 7,6)	7,3 (6,7 – 7,9)	2,5 (2,0 – 3,0)	1,0 (0,7 – 1,3)	0,6 (0,5 – 0,7)

4. Discussion

- Valeurs initiales des coordonnées de couleur :

Plusieurs études (29,33,54) ont montré que les valeurs CIE L^* , a^* , b^* , C , h° présentaient des différences significatives entre les zones cervicale, médiane et incisale.

Dans notre étude, la luminosité L^* augmentait significativement en direction cervicale comme dans l'étude de O'Brien et al. et celle de Burki et al. (29) (54). Hasegawa a étudié la couleur des dents naturelles en mesurant 5 zones différentes ayant chacune 1 mm de diamètre (incisale, inciso-médiane, médiane, médio-cervicale et cervicale). L'auteur a observé que les zones les plus lumineuses se situaient au niveau médian et médio-cervical et que la luminosité diminuait graduellement en direction incisale et légèrement en direction cervicale (33). 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 (chevauchements cervical/médian, médian/incisal). En conséquence, quand bien même la luminosité ait été plus forte au niveau médian, 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 médian, 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 mesurée de la zone incisale vers la zone cervicale.

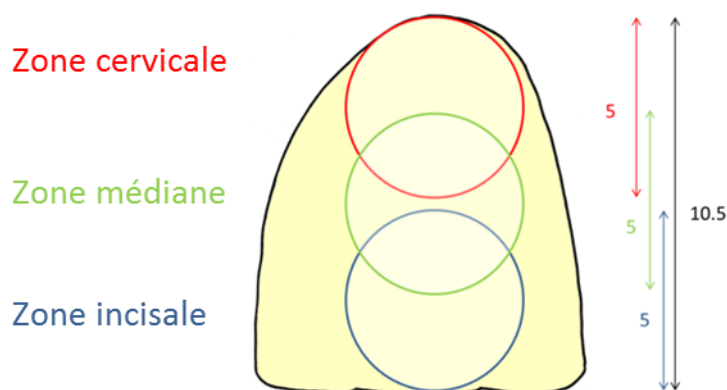


Figure 28 : chevauchement des 3 zones mesurées

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. De plus, les dents jeunes sont moins affectées par les colorations intrinsèques (dentine secondaire, tertiaire...) et extrinsèques (aliments colorés, hygiène buccodentaire...) par rapport aux dents de personnes âgées, et sont par conséquent moins saturées, ce qui pourrait expliquer la proximité des valeurs de saturation recueillies au niveau médian et incisal. Le chevauchement des 2 zones lors des mesures a pu aussi engendrer une plus grande proximité des valeurs relevées.

L'angle de tonalité chromatique des dents étudiées oscillait autour de 90° (a^* 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 (17).

- 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) ont mesuré les coordonnées de couleurs 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 (18).

- Burki et al. (2013) 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 (29).

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

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 10, 20, et 30 minutes. On peut conclure que toutes les coordonnées de couleurs des dents étudiées ont varié significativement après seulement 10 minutes d'isolement par un champ opératoire. Ces résultats sont en accord avec ceux de l'étude de Burki, mais différent des constatations de Russel qui n'a observé des variations significatives que des paramètres L^* et a^* après 15 minutes de déshydratation.

La luminosité a augmenté significativement après seulement 10 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. 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 la luminosité qui ne présentait plus de différence significative avec les valeurs initiales à partir de 50 minutes d'expérimentation. La luminosité est revenue à ses valeurs initiales 20 minutes après la dépose du champ opératoire, tout comme dans l'étude de Russel. Burki a observé un retour de la luminosité à ses valeurs initiales après 30 minutes de réhydratation.

Les autres paramètres de la couleur a^* , b^* , C , h° n'étant pas revenus à leurs valeurs initiales, la couleur des dents n'était donc toujours pas la même à la fin du test (après 30 minutes de réhydratation). Burki a fait la même constatation alors que Russel a observé un retour de L^* et a^* à leurs valeurs initiales après 20 minutes de réhydratation, les autres coordonnées n'ayant pas présenté de différences significatives par rapport aux valeurs initiales pendant toute son expérimentation.

Les coordonnées a^* et b^* sont calculées à partir des valeurs tristimulus x, y, z issues du système colorimétrique CIE x,y,z (1931) (18). Sachant que la valeur y est corrélée avec le paramètre L^* , 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 au cours de l'expérimentation de C et h° pourraient donc être expliquées en partie par l'influence des variations de luminosité.

Nous avons établi les mêmes conclusions que Burki sur la non influence du genre (hommes / femmes) sur les variations de coordonnées de couleurs ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* en fonction du temps au niveau des 3 sites étudiés.

Les variations des paramètres de la couleur ΔL^* , ΔC , Δa^* et Δb^* au cours de l'expérimentation n'ont pas présenté de différence significative entre les 3 sites étudiés (cervical, médian et incisal). Seules les variations de tonalité chromatique Δh° au niveau cervical étaient statistiquement moins importantes qu'au niveau des zones médiane et incisale (diminution moins importante pendant la phase de déshydratation et augmentation moins importante pendant la période de réhydratation). On peut conclure que la zone cervicale a été moins affectée par le changement de teinte que les deux autres régions, bien que ce changement de teinte soit resté significatif. Ces résultats contrastent avec l'étude de Burki qui n'a observé aucune différence de variation significative ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* entre les régions cervicale, médiane et incisale.

- 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 10 minutes de déshydratation, les ΔE moyen 5,8, 6,3 et 6,2 correspondant respectivement aux zones cervicale, médiane et incisale, étaient bien supérieurs aux seuils de discrimination in vivo (compris entre 1,9 et 3,7) et égalaient voir dépassaient, en fonction des études, les seuils d'acceptabilité in vivo (compris entre 4,2 et 6,8).

Après 30 minutes de déshydratation, les ΔE moyen 6,8, 7,1 et 7,3 correspondant respectivement aux zones cervicale, médiane et incisale, étaient tous supérieurs aux seuils de discrimination et d'acceptabilité. Ces résultats confirment ceux de l'étude de Burki et nous montrent que la déshydratation des dents entraîne des différences de couleur cliniquement significatives pouvant induire des erreurs lors des restaurations.

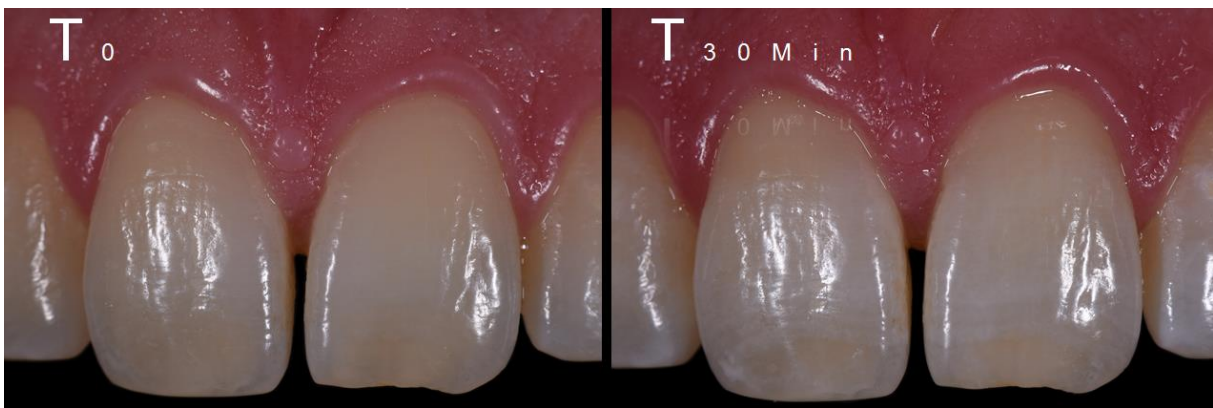


Figure 29 : comparaison avant et après déshydratation : les dents sont plus claires avec une accentuation des caractérisations

10 minutes après la dépose du champ opératoire, les ΔE moyen 2,1 (zone cervical), 2,5 (zone médiane) et 2,5 (zone incisale) étaient inférieurs aux seuils d'acceptabilité mais restaient proches des 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 moyen après 20 minutes de réhydratation étaient inférieurs à 1 au niveau des 3 zones étudiées, donc inférieurs au plus petit seuil de discrimination in vivo (1,9). 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 moyen compris entre 4,3 et 5,5 en fonction du site, donc supérieur 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 20 minutes de réhydratation, la luminosité des dents étudiées était revenue à ses valeurs initiales. 20 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, mais les écarts moyens Δa^* et Δb^* étaient faibles (tableau 5). L'ensemble de ces résultats pourraient expliquer les faibles valeurs de ΔE après 20 minutes de réhydratation.

Tableau 5 : écarts moyens des paramètres a^* et b^* entre l'état initial et 20 et 30 minutes de réhydratation				
zone étudiée	Δa^* 20 min	Δa^* 30 min	Δb^* 20 min	Δb^* 30 min
cervicale	0,2	0,1	0,6	0,3
médiane	0,2	0,1	0,7	0,2
incisale	0,2	0,1	0,7	0,2

D'autre part, à l'état initial, le ΔE moyen entre la zone cervicale et la zone médiane était 4,9, le ΔE moyen entre la zone cervicale et la zone incisale était 8,3 et le ΔE moyen entre la zone médiane et la zone incisale était 3,8. Toutes ces valeurs étaient supérieures aux seuils de discrimination ce qui signifie que les 3 zones étudiées présentaient des différences de couleur cliniquement perceptibles.

- Limites de l'étude :

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. Cependant l'orientation de la sonde perpendiculairement à la surface dentaire à analyser est opérateur-dépendant et peut être source d'erreurs lors des mesures.

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 6 fois, isolant le secteur incisivo-canin maxillaire, ce qui a permis de réduire les tensions sur la feuille et d'empêcher qu'elle ne recouvre une partie du collet.

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

L'échantillon de 20 patients reste faible et des études sont à réaliser sur un échantillon de plus grande étendue afin d'observer si les mêmes résultats sont observés sur un panel de plus grande proportion. Nous nous sommes basés sur la taille de l'échantillon de Burki en sélectionnant une population plus homogène en âge (entre 21 et 28 ans). Cependant avec 20 patients, les résultats ont eu des différences significatives. Pour cette étude, il n'est pas possible d'affirmer que l'échantillon était représentatif de la population française jeune de moins de 30 ans. Les données socio-professionnelles, l'origine des patients n'ont pas été relevées.

IV. CONCLUSION ET IMPLICATIONS CLINIQUES

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 région cervicale. La saturation était très faible, plus élevée au niveau de la zone cervicale par rapport aux parties médiane et incisale. La teinte était 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 et de tonalité chromatique entre les zones médiane et incisale. 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 pour que ses réalisations prothétiques se rapprochent avec le plus d'exactitude possible du naturel.

La déshydratation des dents entraîne des changements de couleur cliniquement significatifs au niveau des 3 zones cervicale, médiane et incisale. Le ΔE moyen observé était supérieur à 6 après 10 minutes de déshydratation et à 7 après 30 minutes. De ce fait, lors d'une restauration conservatrice ou prothétique, si le choix de la couleur des dents est effectué après 10 minutes de déshydratation, la différence entre la couleur de la restauration (composite ou couronne) et la couleur réelle de la dent sera perceptible par la majorité des praticiens et plus de 50% d'entre eux jugeront cette restauration inacceptable et décideront de la refaire.

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 10 premières minutes de la phase de déshydratation.

Après la pose du champ opératoire, les dents sont devenues plus lumineuses et plus saturées en jaune. La variation moyenne de luminosité (ΔL^* moyenne), tout site confondu, était supérieur à 4 après seulement 10 minutes de déshydratation. Le teintier VITA SYSTEM 3D-MASTER propose cinq groupes de luminosité, toujours à la même distance les uns des autres dans l'espace de couleurs ($\Delta L = 4$) (19). Après 10 minutes de déshydratation, les zones cervicale, médiane et incisale des dents étudiées sont donc passées dans un groupe de plus grande luminosité (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 luminosité L^* qui ne présentait plus de différence avec les valeurs initiales après 20 minutes de réhydratation. Cependant, les paramètres a^* , b^* , C , h° 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 20 minutes de réhydratation au niveau des 3 zones étudiées, le ΔE moyen observé étant inférieur à 1.

Les variations des paramètres de la couleur ΔL^* , ΔC , Δh° , Δa^* et Δb^* en fonction du temps au niveau des 3 sites étudiés n'ont pas présenté de différence significative entre les hommes et les femmes.

Les variations des paramètres de la couleur ΔL^* , ΔC , Δa^* et Δb^* au cours de l'expérimentation n'ont pas présenté de différence significative entre les 3 sites étudiés (cervical, médian et incisal). Seules les variations de tonalité chromatique Δh° au niveau cervical étaient statistiquement moins importantes qu'au niveau des zones médiane et incisale (diminution moins importante pendant la phase de déshydratation et augmentation moins importante pendant la période de réhydratation). On peut conclure que la zone cervicale a été moins affectée par le changement de teinte que les deux autres régions, bien que ce changement de teinte soit resté significatif.

Dans notre pratique quotidienne, de nombreuses procédures (aspiration, utilisation du spray d'air, prise d'empreintes, utilisation 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 (10 minutes) et la durée de réhydratation *in vivo* nécessaire pour que la différence de couleur par rapport à l'état initial ne soit plus perceptible (20 minutes). Par conséquent, le relevé de la couleur des dents naturelles doit être effectué en début de séance avant toute intervention pouvant entraîner un assèchement du site. En cas d'oubli, et pour ne pas transmettre des informations erronées au technicien de laboratoire, le relevé peut être reporté à une séance ultérieure.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : spectre de la lumière blanche (source : profil-couleur)	10
Figure 2 : la lumière est nécessaire pour percevoir les couleurs	11
Figure 3 : localisation de la rétine au niveau de l'œil et courbes d'absorbances des cônes et des bâtonnets (pointillés) pour l'Homme (source : ac-nice)	12
Figure 4 : Cylindre de Munsell (source : handprint)	12
Figure 5 : Système CIE L*a*b* (source : documentation VITA).....	14
Figure 6 : Systèmes CIE L*C h° (sources : handprint et documentation VITA).....	15
Figure 7 : l'espace chromatique des dents naturelles dans la sphère chromatique CIE L*a*b* (source : documentation VITA)	17
Figure 8 : représentation dans l'espace CIE L*a*b* du calcul de la différence de couleurs ΔE entre 2 points colorés A et B (source : E. D'Incau)	18
Figure 9 : teintier VITA Toothguide 3D MASTER®	23
Figure 10 : Teintier VITA Toothguide 3D MASTER® en niveaux de gris avec échantillons rangés par ordre de luminosité décroissante de la gauche vers la droite.....	24
Figure 11 : Organisation du teintier Toothguide 3D-MASTER® (source : documentation VITA)	24
Figure 12 : étalonnage du VITA Easyshade® à gauche et capteur à droite.....	27
Figure 13 : (A) étalonnage de l'appareil, (B) relevé de couleur en mode "mesure ponctuelle" (1er dessin sur l'écran) ou mode "mesure 3 zones" (3ème dessin sur l'écran), (C) résultat d'une mesure exprimée dans le système CIE L*, a*, b*, C, h° et la teinte 3D Master associée	28
Figure 14 : Fidélité, Justesse et Exactitude	28
Figure 15 : guides de positionnement pour le relevé de couleur au niveau cervical, médian et incisal	33
Figure 16 : placement correct du capteur du spectrophotomètre VITA EASYSHADE ADVANCE 4.0® (documentation VITA)	34
Figure 17 : relevé de couleur à l'état initial avec guide en place et photo avec référentiel teintier 3D Master.....	35
Figure 18 : champ opératoire mis en place.....	36
Figure 19 : essayage des guides de positionnement champ opératoire en place.....	36
Figure 20 : relevé de la couleur pendant la période de déshydratation de la dent.....	37
Figure 21 : Luminosité moyenne au niveau cervical médian et incisal	40

Figure 22 : 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	41
Figure 23 : 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	42
Figure 24 : angles minimum et maximum de tonalité chromatique à l'état initial au niveau des zones cervicale, médiane et incisale.....	43
Figure 25 : évolution des paramètres L^* pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)	46
Figure 26 : évolution des paramètres a^* et b^* pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)	47
Figure 27 : évolution des paramètres C et h° pendant les périodes de déshydratation (de 0 à 30 minutes) et de réhydratation (de 30 à 60 minutes)	49
Figure 28 : chevauchement des 3 zones mesurées	52
Figure 29 : comparaison avant et après déshydratation : les dents sont plus claires avec une accentuation des caractérisations	56

Les autorisations d'utilisation des schémas ont été demandées par e-mail aux différents éditeurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. Savard G, Tirlet G, Attal J. La dentisterie esthétique: pourquoi maintenant? *Fil Dent.* mai 2007;(23).
2. Machado AW. 10 commandments of smile esthetics. *Dent Press J Orthod.* août 2014;19(4):136-57.
3. Samorodnitzky-Naveh GR, Geiger SB, Levin L. Patients' satisfaction with dental esthetics. *J Am Dent Assoc* 1939. juin 2007;138(6):805-8.
4. Dérivé M. La couleur. Presses universitaires de France; 2000.
5. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent.* 2004;32 Suppl 1:3-12.
6. Lasserre J, Pineau S. Les fondamentaux de la couleur. In: *Prise de teinte Des techniques conventionnelles aux techniques électroniques.* Paris ADF 2010. p. 5-30.
7. Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. *Dent Clin North Am.* avr 2004;48(2):v, 341-58.
8. Lasserre J, POP I, d'Incau E. La couleur en odontologie. 1ère partie : Déterminations visuelles et instrumentales. *Cah Prothèse.* 2006;(135):25-39.
9. Zyman P, Jonas P. Le choix de la teinte...vers un protocole rationnel. *Réal Clin.* 2003;14(4):379-92.
10. Berteretche MV, Bégin M, Béry A, Charrier JB, Decup F, Galletti C, et al. Esthétique en odontologie. Éditions CdP; 2014.
11. Lasserre J, Lafargue H. Allégorie de la forme, intégration biologique, couleur et forme : quel est le critère le plus important dans nos restaurations céramiques? *Réal Clin.* 2010;21(4):253-62.
12. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. 1973. *J Prosthet Dent.* nov 2001;86(5):453-7.
13. Lasserre J, Leriche M. L'illusion du naturel en prothèse fixée. *Cah Prothèse.* déc 1999;(108):7-20.
14. Fondriest J. La couleur en prothèse dentaire : science et stratégies. *Parod - Dent Restaur.* 2003;23(5):467-77.
15. Ortet S, Humeau A, Monleau J, Lucci D, Etienne J, Faucher A. Le relevé de couleur : techniques avancées partie I. *Inf Dent.* 21 sept 2005;(32):1929-33.
16. Lasserre J. Les 7 dimensions de la couleur des dents naturelles. *Clinic (Paris).* juill 2007;28:417-30.

17. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent.* 2008;36 Suppl 1:S2-7.
18. Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. In vivo measurement of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil.* sept 2000;27(9):786-92.
19. Baltzer A, Kaufman-Jinoian V. La définition des teintes de dent. *Quintessenz Zahntech.* juill 2004;30:726-40.
20. 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.* févr 2009;22(1):72-4.
21. Etienne O, Baixe S, Barthélémy H, Dal Gobbo F. Enregistrer et transmettre les informations chromatiques. In: *Prise de teinte Des techniques conventionnelles aux techniques électroniques.* Paris ADF 2010. 2010. p. 31-61.
22. Johnston WM. Color measurement in dentistry. *J Dent.* 2009;37 Suppl 1:e2-6.
23. Kuehni R, Marcus R. An experiment in visual scaling of small colour differences. *Colour Res Appl.* 1979;(4):83-91.
24. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res.* déc 1989;68(12):1760-4.
25. 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.* oct 1987;3(5):246-51.
26. Ragain J. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Colour Res Appl.* 2000;(25):278-85.
27. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent.* avr 2007;97(4):200-8.
28. 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.* juill 2012;40 Suppl 1:e10-7.
29. Burki Z, Watkins S, Wilson R, Fenlon M. A randomised controlled trial to investigate the effects of dehydration on tooth colour. *J Dent.* mars 2013;41(3):250-7.
30. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *J Dent.* juin 2014;42(6):637-44.
31. Daries C. *Relevé de la couleur au cabinet dentaire: connaissances et moyens d'optimisation actuels.* Toulouse; 2013.

32. Lasserre J, Amine M, Koubi S, Laborde G, Chevalier J, Ubassy B, et al. La fluorescence : une dimension essentielle dans le mimétisme des restaurations céramiques. *Réal Clin*. 2010;21(4):281-8.
33. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent*. avr 2000;83(4):418-23.
34. Lasserre J. le sourire au fil du temps : notions de vieillissement.
35. De Hauss Bonzca C, Nicolas E, Hüe O. Choix de la couleur en odontologie : l'influence de l'expérience est-elle une réalité? *Cah Prothèse*. mars 2011;(153):23-9.
36. Lasserre J, Pineau S. Le relevé de la couleur: quelles sont les évolutions instrumentales? *Fil Dent*. nov 2008;(37):30-2.
37. Ortolan SM, Persic S, Celebic A, Mehulic K. Comparison of time consumption and color matching results of different dental occupational groups. *Int J Prosthodont*. oct 2013;26(5):478-86.
38. 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.
39. 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*. mars 2010;103(3):139-47.
40. 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*. févr 2009;25(2):276-81.
41. Ahn J-S, Lee Y-K. Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. *J Prosthet Dent*. juill 2008;100(1):18-28.
42. Analoui M, Papkosta E, Cochran M, Matis B. Designing visually optimal shade guides. *J Prosthet Dent*. oct 2004;92(4):371-6.
43. 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*. Paris ADF 2010. 2010. p. 62-71.
44. Zyman P. Des machines qui annoncent la couleur [Internet]. 2010. Disponible sur: www.lefildentaire.com
45. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent*. mars 2009;101(3):193-9.
46. 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*. avr 2007;16(2):93-100.

47. 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. sept 2012;43(8):649-59.
48. 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*. juin 2014;42(6):742-5.
49. Judeh A, Al-Wahadni A. A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. oct 2009;40(9):e69-79.
50. Stevenson B. Current methods of shade matching in dentistry: a review of the supporting literature. *Dent Update*. juin 2009;36(5):270-2, 274-6.
51. Tirlet G, Attal J. L'érosion - infiltration : une nouvelle thérapeutique pour masquer les taches blanches. *Inf Dent*. 26 janv 2011;(4):12-7.
52. Attal J, Denis M, Atlan A, Vennat E, Tirlet G. L'infiltration en profondeur, un nouveau concept pour le masquage des taches de l'émail – partie I. *Inf Dent*. 15 mai 2013;(19):75-9.
53. Luk K, Tam L, Hubert M. Effect of light energy on peroxide tooth bleaching. *J Am Dent Assoc* 1939. févr 2004;135(2):194-201; quiz 228-9.
54. O'Brien W, Hemmendinger H, Boenke K, Linger J, Groh C. color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater*. mai 1997;(13):179-85.

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 :

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 moins de trente ans.****Résumé :**

Objectifs : Evaluer chez le patient jeune 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 21 et 28 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 toutes les 10 minutes pendant 30 minutes (période de déshydratation de la dent). 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 ainsi que pendant la période de réhydratation, excepté la luminosité L* qui ne présentait plus de différence significative avec les valeurs initiales après 20 minutes de réhydratation. **Conclusion** : Les dents sont devenues plus claires et plus saturées lorsqu'elles étaient déshydratées. 20 minutes de réhydratation ont été nécessaires pour ne plus percevoir de différence de couleur ($\Delta E < 1$). 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 of less than thirty years.*Summary:**

Objectives: To assess in the young patient 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 21 and 28, sex ratio = 1) were recruited. Spectrophotometric measurements were taken before dehydration and after rubber dam isolation every 10 min for 30 min. Test teeth were allowed to rehydrate and measurements 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* colour coordinates. **Results**: All colour coordinates showed significant differences during the periods of dehydration and rehydration, except L* after 20 min rehydration. **Conclusions**: Teeth became lighter and more saturated when dehydrated. 20 minutes were necessary to no longer perceive colour difference ($\Delta E < 1$). Most daily procedures lead to dehydration. It is important that the shade matching procedure is carried out 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

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