



HAL
open science

L'apport du spectrophotomètre dans la thérapeutique d'éclaircissement dentaire : évaluation quantitative des grandeurs colorimétriques de la dent par spectrophotométrie

Kevin Gnanguenon

► **To cite this version:**

Kevin Gnanguenon. L'apport du spectrophotomètre dans la thérapeutique d'éclaircissement dentaire : évaluation quantitative des grandeurs colorimétriques de la dent par spectrophotométrie. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02441443

HAL Id: dumas-02441443

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02441443>

Submitted on 15 Jan 2020

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

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



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

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES

MEMBRE DE

U-PC
Université Sorbonne
Paris Cité

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019

N° 082

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 02 décembre 2019

Par

Kevin GNANGUENON

L'apport du spectrophotomètre dans la thérapeutique d'éclaircissement dentaire : évaluation quantitative des grandeurs colorimétriques de la dent par spectrophotométrie

Dirigée par M. le Docteur Jean-Pierre Attal

JURY

Mme le Professeur Tchilalo BoukpeSSI

Président

Mme le Professeur Élisabeth Dursun

Assesseur

M le Docteur Jean-Pierre Attal

Assesseur

Mme le Docteur Marion Florimond

Assesseur

Tableau des enseignants de la Faculté

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DAVIT-BÉAL Mme DURSUN Mme VITAL	M. COURSON Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN Mme LE NORCY
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme FOLLIGUET M. PIRNAY	Mme GERMA M. TAVERNIER
2. CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER Mme GOSSET	M. BIOSSE DUPLAN M. GUEZ
	CHIRURGIE ORALE	M. MAMAN Mme RADOI	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. MOREAU M. NGUYEN Mme TAÏHI
	BIOLOGIE ORALE	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme SÉGUIER Mme POLIARD	M. ARRETO Mme BARDET (MCF) Mme CHARDIN M. FERRE M. LE MAY
3. RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES	Mme WULFMAN	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TRAMBA
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX	M. SALMON	M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE Mme TILOTTA
	PROFESSEURS ÉMÉRITES	M. BÉRENHOLC Mme BRION M. LASFARGUES M. LAUTROU M. LEVY	M. PELLAT M. PIERRISNARD M. SAFFAR Mme WOLIKOW

Mise à jour le 06 septembre 2019

Remerciements

À Mme le Professeur Tchilalo BoukpeSSI

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui me fait l'honneur et le plaisir de présider ce jury de thèse d'exercice. Je tiens à vous remercier pour ces trois années d'externat, pour votre implication, votre disponibilité ainsi que la qualité de votre enseignement à l'Hôpital. Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma gratitude et de mes sincères remerciements.

À Mme le Professeur Élisabeth Dursun

Docteur en Chirurgie dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris 13

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui me fait l'honneur et le plaisir de participer à ce jury de thèse. Je vous adresse mes sincères remerciements et exprime toute ma considération.

À M. le Docteur Jean-Pierre Attal

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Habilité à Diriger des Recherches

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Vice-Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Qui me fait l'honneur et le plaisir d'être mon directeur de thèse d'exercice. Pour votre confiance, votre patience et votre soutien tout au long de mon écriture, je vous exprime toute ma gratitude. Ce travail est l'accomplissement d'une aventure passionnante mais également, je l'espère, le début de nombreux nouveaux projets en collaboration. Merci pour la qualité de votre enseignement et pour m'avoir initié aux plaisirs de la recherche, vous qui cherchez sans cesse à dessiner les contours de la dentisterie de demain. Veuillez trouver ici, de nouveau, l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements les plus profonds.

À Mme le Docteur Marion Florimond

Docteur en Chirurgie dentaire

Assistant Hospitalo-Universitaire, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Qui me fait l'honneur et le plaisir de prendre part à ce jury de thèse. Pour votre bienveillance, votre disponibilité et votre implication en clinique. Pour la confiance que vous avez eue en moi notamment lorsque vous m'avez demandé d'intégrer votre nouvelle consultation à l'Hôpital. Veuillez trouver l'expression de ma pleine gratitude et de mon profond respect.

À mes parents qui m'ont aidé à grandir et à en arriver là. Je vous suis reconnaissant de tout. Merci pour tout le soutien que vous m'apportez. Je vous dédie cette thèse, aboutissement de votre éducation.

À ma sœur et mon frère, Karen et Stéphane.

À ma deuxième famille qui a toujours été là pour moi, j'ai vraiment de la chance de vous avoir, vous vous reconnaitrez.

Aux Marabouts, Célia, Fred, Jerry, Lise, Emilie, Paul et Blanche (l'adopté) pour tout ces bons moments que l'on a passé ensemble, tout ces fous rires, mention très spéciale au WEI de D1 !!! Zougoulou !!

À la Série A, Ishai, Elissa, Lauren, Jordan, Farah, Alexandra, Fabrice, Charles-Henri : pour ces années d'études et ces soirées que nous avons partagé, je suis très heureux de vous avoir rencontré !

À Alexander, j'ai eu de la chance de tomber sur toi le premier jour de P2 ! T'es un mec en or !

À mon binôme Shahir, started from the bottom, now we're here...Je te souhaite plein de réussite dans ta future carrière d'orthodontiste !

À mon trinôme, Armen, je suis admiratif de ton dévouement et de ta disponibilité, on se revoit très vite autour d'un bon gros burger !

À Mebarka, ma binôme de galère en MEOPA, pour tout ces mardis matin où tu m'as soutenu.

À l'Équipe 21 : Toki, ne change pas, reste fêlé comme tu es ! Boyou, le futur Papa-ours, toujours le bon mot pour rire ! Et le King...David, que de souvenirs et d'aventures rocambolesques, j'espère que ce n'est que le début d'une très longue amitié ! Maintenant que Bruxelles est booké, il va falloir réfléchir à la suite les gars !

À ma promotion d'Ivry, Michel, Matthieu, Mathieu, Clémence, Diane, Célia M, Bettina, Joséphine, Stéphane, Melissa, Ouriel, Johana, Pauline, Gael et tous les autres : Merci d'avoir rendu cet externat si agréable, merci pour l'ambiance et les nombreux Marat. Je vous souhaite, à tous, un parcours professionnel plein de réussite !

À la promo des petits D2 d'Ivry devenus grands, je vous adore !

A la Bleachteam, Tati, Kods, Julie, Marion et Sophie, c'est toujours un plaisir de travailler et partager des projets avec vous, encore plus lorsque cela se fait autour d'un Pic Saint-Loup !

À Nathalie, merci de m'avoir accordé ta confiance lors de mes premiers pas dans la vie professionnelle !

Aux enseignants de Charles-Foix qui m'ont qui m'ont transmis leur savoir et leur passion. Je vous remercie.

A tous ceux que j'ai côtoyé de près ou de loin pendant mes études, je ne vous oublie pas !

Table des matières

INTRODUCTION.....	3
1 : GENERALITES SUR LA LUMIERE ET LES PROPRIETES OPTIQUES DES DENTS NATURELLES ET ECLAIRCIES	5
1.1 LA LUMIERE	5
1.1.1. Définition de la lumière	5
1.1.2. Propriétés optiques du rayonnement lumineux.....	6
1.2 LA COULEUR.....	11
1.2.1. Les 3 dimensions fondamentales de la couleur	11
1.2.2. Modélisation des couleurs et systèmes colorimétriques	16
1.3. LES CARACTERISTIQUES OPTIQUES DES DENTS NATURELLES	19
1.3.1. L'émail	20
1.3.2. La dentine	20
1.3.3. L'espace chromatique des dents naturelles.....	21
1.4. LES MECANISMES DE L'ECLAIRCISSEMENT AMBULATOIRE EXTERNE	22
1.4.1. Composante chimique de l'éclaircissement.....	22
1.4.2. Composante physique de l'éclaircissement	22
1.5. LES CARACTERISTIQUES OPTIQUES DES DENTS ECLAIRCIES	23
2 : LE SPECTROPHOTOMETRE DANS LA THERAPEUTIQUE DE L'ECLAIRCISSEMENT EXTERNE AMBULATOIRE ..	25
2.1. LE SPECTROPHOTOMETRE	25
2.1.1. Définition du spectrophotomètre	25
2.1.2. Description du fonctionnement et de l'utilisation du spectrophotomètre.....	26
2.1.3. Les autres spectrophotomètres sur le marché.....	31
2.2. LE SPECTROPHOTOMETRE DANS LA THERAPEUTIQUE D'ECLAIRCISSEMENT	33
2.2.1. Intérêt diagnostique de l'utilisation du spectrophotomètre.....	33
2.2.2. Intérêt pronostique de l'utilisation du spectrophotomètre	39
2.2.3. Intérêt pédagogique de l'utilisation du spectrophotomètre.....	56
2.3. LES LIMITES DE L'UTILISATION DU SPECTROPHOTOMETRE ET ALTERNATIVES	59
2.3.1 Les limites	59
2.3.2 Les alternatives.....	60
3 : EXPERIMENTATIONS.....	64
3.1. INTRODUCTION	64
3.2. OBJECTIFS	64
3.3. MATERIEL ET METHODE.....	65

3.3.1. 1 ^{ère} expérimentation.....	65
3.3.2. 2 nd expérimentation.....	66
3.4. RESULTATS	66
3.4.1. 1 ^{ère} expérimentation	66
3.4.2. 2 nd expérimentation.....	67
3.5. DISCUSSION	68
3.5.1. La contribution de l'émail et la dentine au b^* de la dent	68
3.5.2. La luminosité de la dent.....	68
3.5.3. L'éclaircissement et l'évolution des paramètres L^* et b^*	68
3.6. CONCLUSION.....	69
CONCLUSION	70
BIBLIOGRAPHIE	71
TABLE DES FIGURES.....	74
ANNEXES.....	77

Introduction

Décrit par Haywood et Heymann en 1989, l'éclaircissement dentaire externe ambulatoire est aujourd'hui reconnu comme un procédé sûr et efficient¹.

Et, alors que la première cause de mécontentement des patients insatisfaits de l'apparence de leur sourire est la couleur de leurs dents², il est surprenant de constater que c'est un traitement peu utilisé par les praticiens français, probablement car ils pensent que cette thérapeutique n'est pas suffisamment médicale.

Pourtant l'OMS définit bien la santé comme étant « un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité ». Des études ayant bien montré un lien entre la couleur des dents et les perceptions sociales³, cela nous conforte dans l'idée que l'éclaircissement dentaire a pleinement sa place comme moyen d'améliorer l'estime de soi, donc les perceptions sociales et, in fine, la santé.

En plus de cette indication « esthétique », l'éclaircissement est parfaitement indiqué dans des situations pathologiques (MIH, fluoroses, amélogénèses imparfaites, traumatismes...) ainsi que dans certains contextes restaurateurs où il est souvent utile d'expliquer au patient que si un éclaircissement doit être envisagé, celui-ci doit précéder les restaurations.

Il y a donc de très nombreuses indications pour cette thérapeutique qui, contrairement aux idées reçues, est bien standardisée par des protocoles décrits dans la littérature scientifique.

Les mécanismes de l'éclaircissement sont aujourd'hui bien décrits en ce qui concerne la composante chimique, correspondant à la digestion des chromophores par oxydation grâce au peroxyde d'hydrogène. Mais il faut également ajouter la composante physique, agissant par l'opacification de l'émail, qui demande encore à être parfaitement élucidé.

Chacune de ces composantes entraîne une modification soit de la quantité de jaune et de rouge, soit de la luminosité de la dent.

Des éléments existent pour suivre l'évolution du traitement d'éclaircissement (teintiers, photographies) mais ceux-ci restent soumis à la subjectivité du praticien. C'est pourquoi l'apport d'un outil permettant l'évaluation objective de cette thérapeutique nous semble nécessaire.

¹ Haywood et Heymann, « Nightguard vital bleaching ».

² Samorodnitzky-Naveh, Geiger, et Levin, « Patients' satisfaction with dental esthetics ».

³ Kershaw, Newton, et Williams, « The influence of tooth colour on the perceptions of personal characteristics among female dental patients : comparisons of unmodified, decayed and "whitened" teeth ».

Nous nous sommes donc intéressés au spectrophotomètre, un équipement nous permettant d'accéder aux différentes coordonnées de la couleur des dents, avant, pendant et après éclaircissement.

Dans le cadre de cette thèse, nous reviendrons tout d'abord sur les bases fondamentales de la lumière et des couleurs. Ensuite nous décrirons brièvement les mécanismes l'éclaircissement dentaire externe ainsi que les caractéristiques optiques des dents naturelles et éclaircies. Dans une seconde partie, nous expliquerons le fonctionnement des spectrophotomètres et nous ferons la synthèse de tout ce que cet équipement peut nous apporter dans les traitements d'éclaircissements. La dernière partie sera destinée à la description d'une expérimentation qui a eu pour objectif de mesurer la contribution de l'émail et de la dentine à la couleur de la dent grâce au spectrophotomètre.

1 : Généralités sur la lumière et les propriétés optiques des dents naturelles et éclaircies

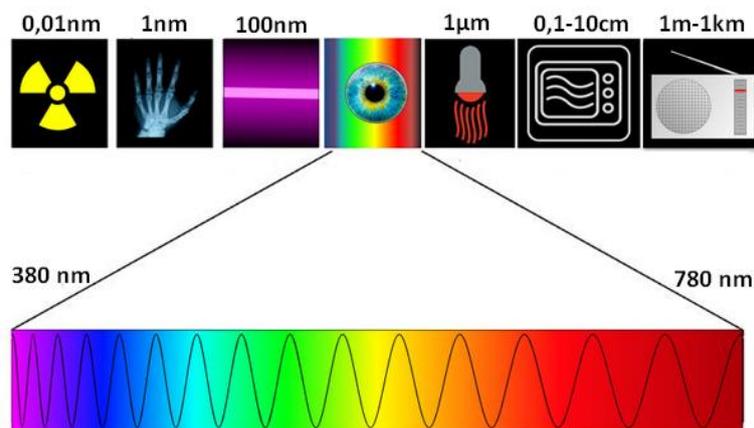
1.1 La lumière

1.1.1. Définition de la lumière

La lumière que nous pouvons percevoir correspond aux ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont comprises entre 380 nm (violet) et 780 nm (rouge). Cet ensemble de longueurs d'onde, perceptible par l'œil humain, est appelé le spectre visible (figure 1). En deçà et au-delà des limites de ce spectre se trouvent les ondes électromagnétiques dites invisibles dont on peut citer les ultraviolets, infrarouges, micro-ondes, ondes radios, rayons X ou Gamma.

Le spectre visible peut être décomposé en plusieurs radiations monochromatiques en passant à travers un prisme.

Figure 1 : Schéma du spectre électromagnétique



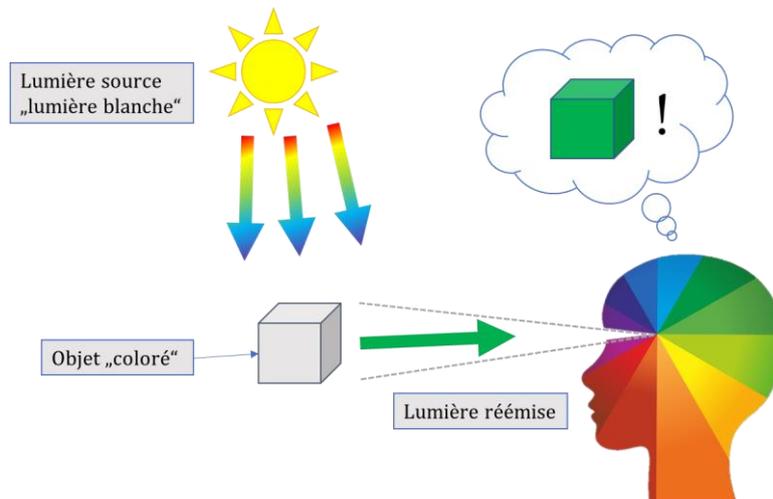
Le spectre visible correspond aux couleurs situées en bas du schéma.

Source : Auteur, 2019.

Le phénomène de couleur est une réponse physico-psychologique à une interaction de trois facteurs : Une lumière source, un objet éclairé et l'expérience subjective de l'observateur qui regarde l'objet (figure 2)⁴.

⁴ Joiner, « Tooth colour : a review of the literature ».

Figure 2 : Perception de la couleur d'un objet



Source : Auteur, 2019.

1.1.2. Propriétés optiques du rayonnement lumineux

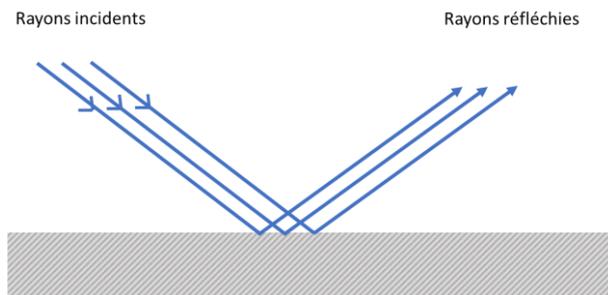
Lorsque la lumière arrive sur un objet, en fonction des propriétés physiques de l'objet, trois phénomènes peuvent se produire. La lumière peut être réfléchiée (réflexion spéculaire ou diffuse), absorbée ou transmise. Ces phénomènes peuvent se produire simultanément et leurs proportions varient suivant les matériaux soumis aux rayonnements⁵.

1.1.2.1. La réflexion spéculaire (du latin speculum, miroir) :

Elle permet à l'œil humain de distinguer un objet brillant.

Cette réflexion ne peut avoir lieu que si la surface réfléchissante est plane ou polie, c'est-à-dire si elle ne présente que des aspérités dont la taille est inférieure à la longueur d'onde du rayon incident.

Figure 3 : Réflexion spéculaire



Source : Auteur, 2019.

⁵ Joiner et Luo, « Tooth colour and whiteness : a review ».

Par exemple, c'est l'aspect qu'on obtient après le polissage d'un composite de restauration ou d'une céramique.

1.1.2.2. La réflexion diffuse :

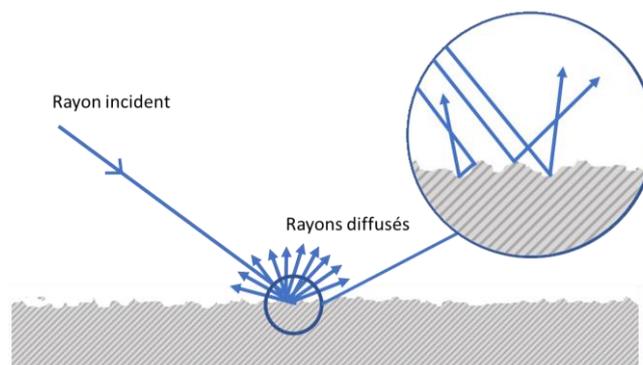
On parle de réflexion diffuse dans le cas d'une surface présentant une certaine rugosité. C'est-à-dire des irrégularités de surface dont l'ordre de grandeur est supérieur à la longueur d'onde du rayon incident. L'onde est non seulement réfléchi mais aussi diffusée par cette surface, c'est à dire réémise dans toutes les directions⁶ (figure 4).

En fait, la surface se conduit comme une infinité de minuscules surfaces dont les orientations varient, et qui, par conséquent, renvoient les rayons dans de multiples directions. Cela est à l'origine de l'aspect mat de surface.

Ces rayons possèdent le même spectre lumineux que la lumière incidente.

La réflexion diffuse donne la luminosité.

Figure 4 : Réflexion diffuse



Source : Auteur, 2019.

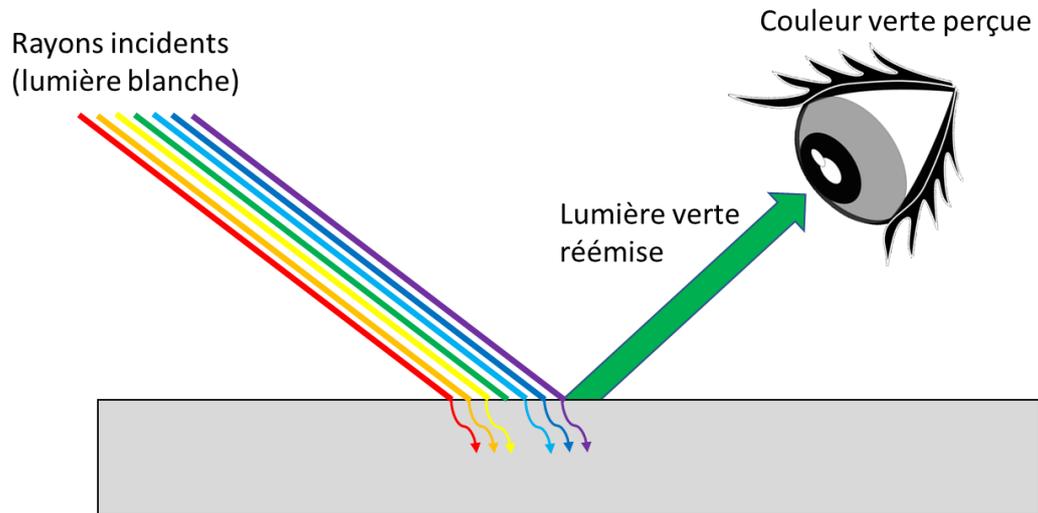
1.1.2.3. L'absorption :

Elle est causée par la diminution de l'énergie d'un rayon lumineux lorsque qu'il entre en contact avec un objet transparent ou semi-transparent. Cette énergie est habituellement transformée en chaleur. Tout rayonnement absorbé est soustrait de la couleur perçue. Ce sont les rayons non absorbés (rayons réfléchis ou transmis) qui détermineront la couleur de l'objet ainsi que ses propriétés complémentaires. On parle alors d'absorption sélective. Par exemple, un objet est considéré comme vert lorsqu'il est éclairé sous une lumière polychromatique et qu'il absorbe toutes longueurs d'onde du visible sauf le vert qui sera réémis (figure 5).

⁶ Valeur, *Sons et lumière*.

Un corps qui absorbe toutes les longueurs d'onde (visible) est perçu comme noir. Un corps qui n'absorbe aucune longueur d'onde est perçu comme blanc.

Figure 5 : Absorption de toutes les longueurs d'onde par la surface sauf le vert



La surface est perçue comme verte par l'œil.

Source : Auteur, 2019.

1.1.2.4. La transmission :

La transmission d'un rayon lumineux à travers un objet peut prendre plusieurs formes : réfraction, diffraction, diffusion.

a) La réfraction :

C'est le phénomène au cours duquel la lumière dévie de sa trajectoire rectiligne en changeant de vitesse lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre. L'indice de réfraction n d'un milieu se définit par le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide c et la vitesse de la lumière dans le milieu v :

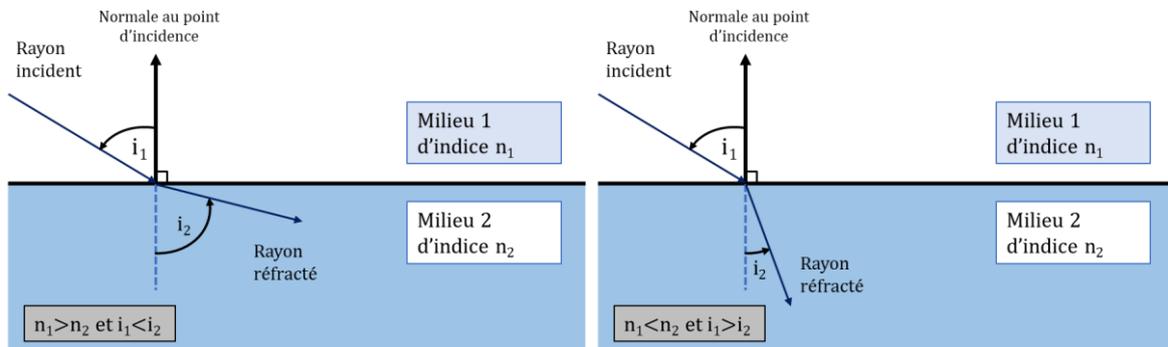
$$n = \frac{c}{v}$$

La réfraction obéit à la loi Snell Descartes :

$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$$

Où n_1 et n_2 sont les indices de réfractifs des deux milieux et $\sin(i_1)$ l'angle du rayon d'incidence et $\sin(i_2)$ de l'angle du rayon réfracté par rapport à la normale (figure 6).

Figure 6 : Schéma de la réfraction lumineuse



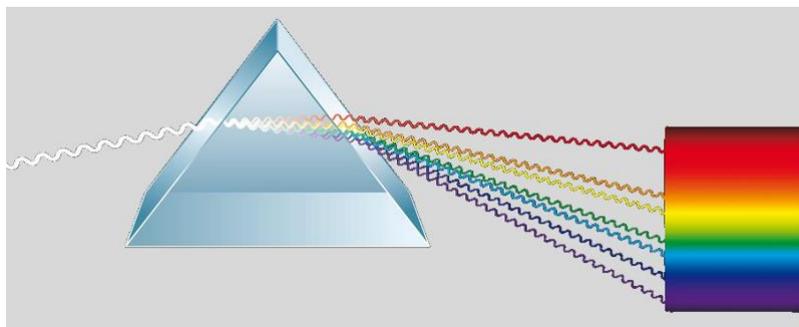
Le faisceau incident va être dévié selon la loi dite de Snell-Descartes

Source : Auteur, 2019.

Exemple d'indices de réfraction : Vide = 1, Air = 1.000293, Eau = 1.333

Elle se manifeste par exemple lors de la décomposition de la lumière blanche en couleur de l'arc-en-ciel lorsqu'elle travers un prisme (figure 7). La déviation dépend la longueur d'onde. Le rouge sera moins dévié que l'orange, l'orange sera moins dévié que le jaune et ainsi de suite.

Figure 7 : Réfraction de la lumière blanche à travers un prisme

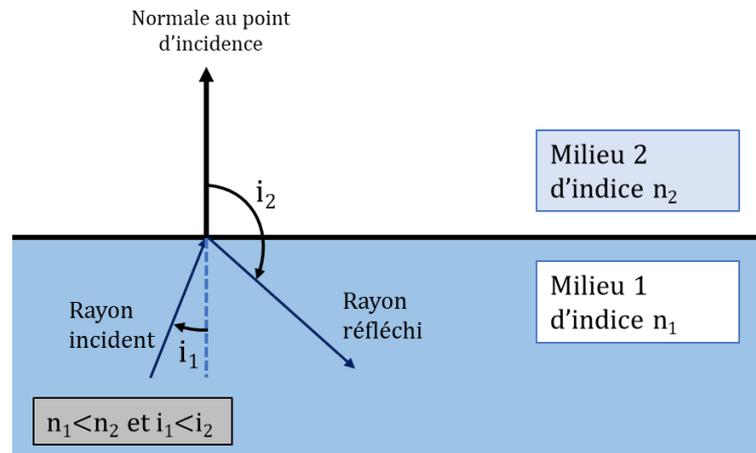


Source : Auteur, 2019.

Cas limite de réfraction (réflexion totale) : il existe une valeur limite de l'angle du rayon incident qui lorsque qu'il passe d'un milieu n_1 à n_2 avec ($n_1 > n_2$) pour laquelle la transmission n'est plus permise vers le second milieu (figure 8). On a alors une réflexion totale et le rayon incident n'est plus réfracté. Par exemple, à la séparation entre le verre (plus réfringent) et l'air (moins réfringent).

La propagation de la lumière dans les tubules dentinaires se ferait de cette façon. La dentine pérītubulaire aurait un indice de réfraction supérieur à celui de la matrice tubulaire⁷. De même pour le fonctionnement des fibres optiques, la lumière rebondit sur les parois internes de la fibre.

Figure 8 : Réflexion totale

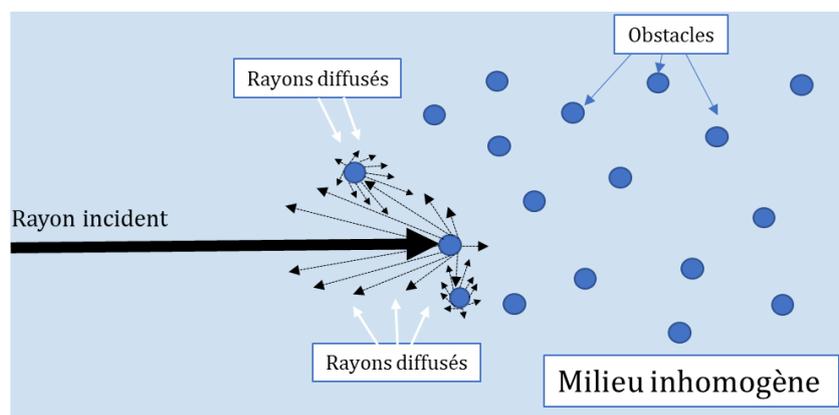


Source : Auteur, 2019.

b) La diffusion :

C'est la déviation d'un faisceau de rayons lumineux dans plusieurs directions en même temps lorsqu'elle travers un milieu inhomogène.

Figure 9 : Diffusion de la lumière à travers un milieu inhomogène



Source : Auteur, 2019.

⁷ Zolotarev et Grisimov, « Architectonics and optical properties of dentin and dental enamel ».

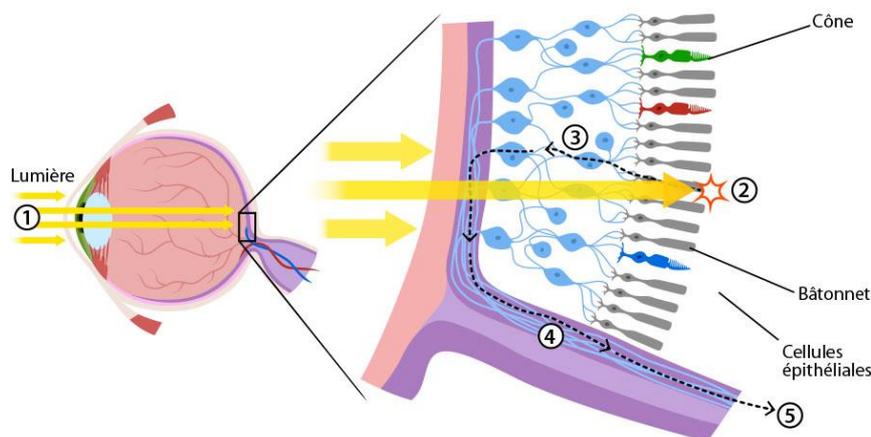
La composition hétérogène des tissus dentaires permet ce phénomène de diffusion de la lumière à travers l'émail et la dentine. Les phases organiques et inorganiques sont à l'origine de diffusions de natures différentes.⁸

1.2 La couleur

La couleur d'un objet dépend fortement de sa réflectance spectrale, c'est-à-dire de la quantité de lumière incidente réfléchiée par la surface pour différentes longueurs d'onde⁹.

Lorsque la lumière atteint les yeux (figure 10), son énergie est absorbée par les photorécepteurs de la rétine et convertie en un signal interprété par le cerveau. De même pour un instrument détecteur qui va capter la lumière et interpréter le signal reçu.

Figure 10 : Schéma du trajet de la lumière à travers la rétine



Interaction avec les cônes et les bâtonnets

Source : Arizona state university, « light eye anatomy », 2017.

Les cônes sont responsables de la vision des couleurs, avec 3 types différents qui réagissent chacun plus ou moins au rouge, au vert ou au bleu. Les bâtonnets sont en revanche responsables de la vision de l'intensité lumineuse et de la vision nocturne. Ils sont environ 1000 fois plus sensibles que les cônes¹⁰.

1.2.1. Les 3 dimensions fondamentales de la couleur

Au début du siècle dernier, Albert. H. MUNSELL a mis au point un atlas qui, pour la première fois, organisait les couleurs selon trois paramètres fondamentaux : la luminosité, la saturation et la teinte.

⁸ Bazos et Magne, « Bio-emulation : biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach : visual synthesis ».

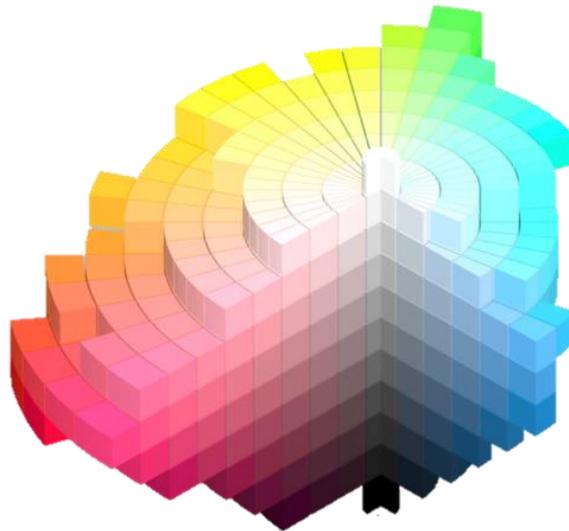
⁹ Joiner et Luo, « Tooth colour and whiteness : a review ».

¹⁰ D'Incau, « Couleur et choix de la teinte en odontologie ».

La représentation complète de la gamme des couleurs peut ainsi être représentée par un volume à trois dimensions : c'est le nuancier de Munsell¹¹ (figure 11).

Dans ce nuancier, chaque couleur possède des coordonnées en rapport avec l'axe vertical (luminosité), le rayon du cylindre (saturation) et la périphérie (teinte). Chacune de ces coordonnées revêt un caractère particulier.

Figure 11 : Espace colorimétrique de Munsell



Source : Structuralcolour, « Munsell color solid », 2018

La relation entre une couleur et une autre devient évident lorsque leur organisation au sein de cet espace cylindrique en 3 dimensions est comprise¹².

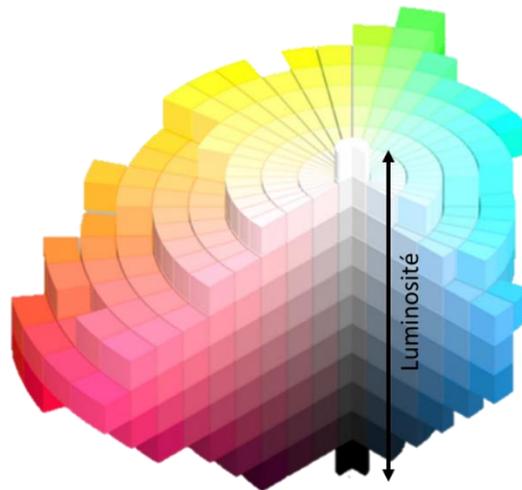
1.2.1.1. Luminosité

Cette variable se nomme parfois Valeur, Brillance, ou Clarté (*Value*, *Brighness* ou *Lightness* en anglais). La luminosité 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. Elle est représentée par l'axe vertical noir/blanc du nuancier de Munsell (figure 12).

¹¹ D'Incau.

¹² Sproull, « Color Matching in Dentistry. Part I. The Three-Dimensional Nature of Color. ».

Figure 12 : Espace colorimétrique de Munsell, axe de la luminosité



Source : Structuralcolour, « Munsell color solid », 2018.

C'est le blanc qui réfléchit le plus la lumière, il est donc la couleur la plus lumineuse et prend la valeur de 100 ; le noir se voit attribuer la valeur de 0 (figure 13).

Figure 13 : Représentation de la luminosité



Echelle de gris : 100 = Blanc, 0 = Noir

Source : Auteur, 2019.

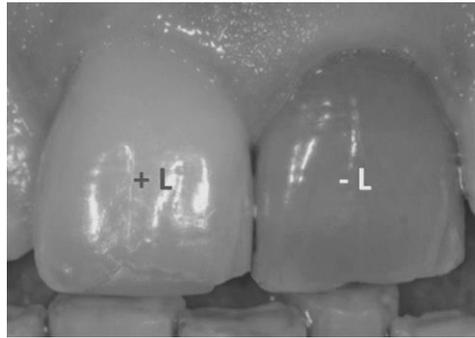
Toutes les couleurs situées sur un même plan de coupe horizontal du nuancier possèdent la même luminosité.

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

Elle peut s'apprécier plus facilement en retirant la chromaticité des couleurs¹³, sur une photographie en noir et blanc comme ci-dessous (figure 14).

¹³ D'Incau, « Couleur et choix de la teinte en odontologie ».

Figure 14 : Photographie en couleur avec retrait de la chromacité



La 11 est plus lumineuse que la 21.

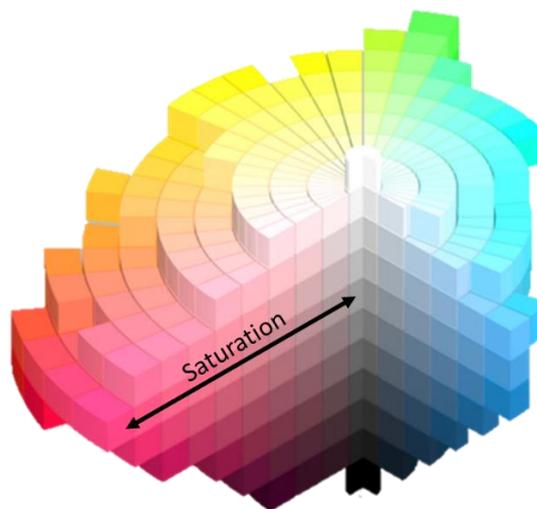
Source : Auteur, 2019.

1.2.1.2. Saturation

La saturation (ou *Chroma* en anglais) représente l'intensité ou la densité d'une couleur¹⁴. Elle définit sa pureté, soit la quantité de pigment pur qu'elle contient.

Dans le nuancier de Munsell, elle varie selon l'axe horizontal (rayon). Plus une teinte est saturée, plus elle se rapproche de la périphérie du cercle. Une couleur est pure (saturée à 100 %) quand elle touche le périmètre (figure 15 et 16)¹⁵.

Figure 15 : Espace colorimétrique de Munsell, saturation



Source : Structuralcolour, « Munsell color solid », 2018.

¹⁴ Fondriest, « Shade matching in restorative dentistry : the science and strategies ».

¹⁵ D'Incau, « Couleur et choix de la teinte en odontologie ».

Figure 16 : Saturation de la couleur bleue



Source : Auteur, 2019.

1.2.1.3. Teinte

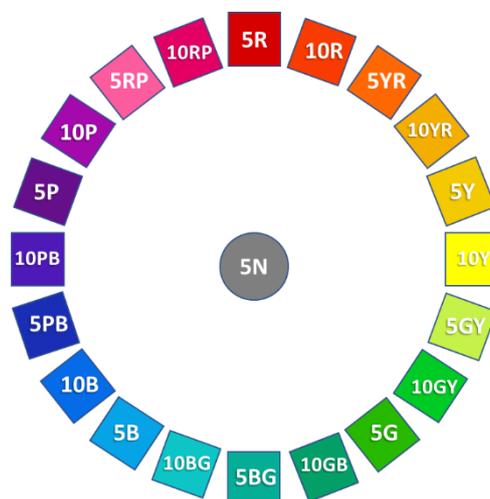
La teinte ou tonalité chromatique, ton, chromaticité (*Hue* en anglais) est la qualité qui distingue une famille de couleurs d'une autre. Elle est caractérisée par la gamme de longueurs d'onde qui est majoritairement réfléchiée par un objet, même si la longueur d'onde exacte de la couleur perçue peut ne pas être présente¹⁶.

Elle correspond aux différentes sensations colorées comme le violet, le bleu, le vert, le bleu, le jaune, l'orange, le rouge et le violet (figure 17).

La teinte est une interprétation physiologique et psychologique d'une somme de longueurs d'onde. Dans le nuancier de Munsell, les teintes sont réparties tout autour de l'axe central.

Parmi les trois dimensions de la couleur, c'est le facteur qui a le moins d'influence dans la prise de couleur des dents.

Figure 17 : Périmètre des couleurs de Munsell



Ici sont représentées 20 teintes de référence du nuancier de Munsell.

Source : Auteur, 2019.

¹⁶ Fondriest, « Shade matching in restorative dentistry : the science and strategies ».

1.2.2. Modélisation des couleurs et systèmes colorimétriques

1.2.2.1. La Commission Internationale de L'éclairage (CIE)

La CIE est une organisation internationale qui traite de l'éclairage et de la mesure des couleurs. Les scientifiques et ingénieurs des pays membres de la CIE travaillent ensemble en comités qui traitent des différents aspects de la lumière et des couleurs. En 1931, la CIE a publié ses premières recommandations majeures sur la colorimétrie, la mesure de la couleur.

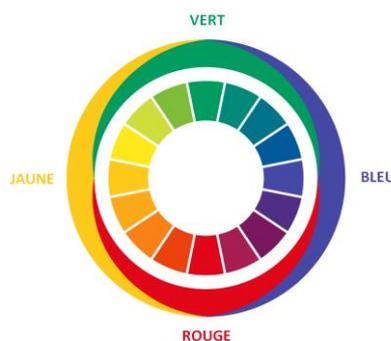
Depuis lors, de nombreuses recommandations supplémentaires ont été formulées et adoptées dans le domaine de la mesure des couleurs. En 1976, la CIE a affiné son modèle colorimétrique et a proposé le modèle CIE $L^*a^*b^*$, un espace chromatique qui repère une couleur suivant 3 coordonnées. Ce système est le plus adapté que l'ancien modèle CIE XYZ pour couvrir le spectre visible par l'œil humain car il permet d'avoir une meilleure interprétation de la perception de couleur et donne un espace colorimétrique uniforme¹⁷.

1.2.2.2. Le système CIE $L^*a^*b^*$

Le L^* correspond à la luminosité perçue dans l'espace colorimétrique CIE $L^*a^*b^*$ (figure 20). Un blanc parfait aurait un L^* de 100, et un noir parfait aurait un L^* de 0.

Les coordonnées a^* et b^* ont leur histoire dans la théorie des couleurs opposées du physiologiste Ewald Hering (1964)¹⁸ qui a proposé que trois paires de sensations colorées opposées produisent toutes les couleurs : rouge et vert ; jaune et bleu ; et noir et blanc (figure 18).

Figure 18 : Schéma des couleurs opposées selon la théorie de Ewald Hering



Source : Auteur, 2019.

¹⁷ Marcus, « Fundamentals of color science ».

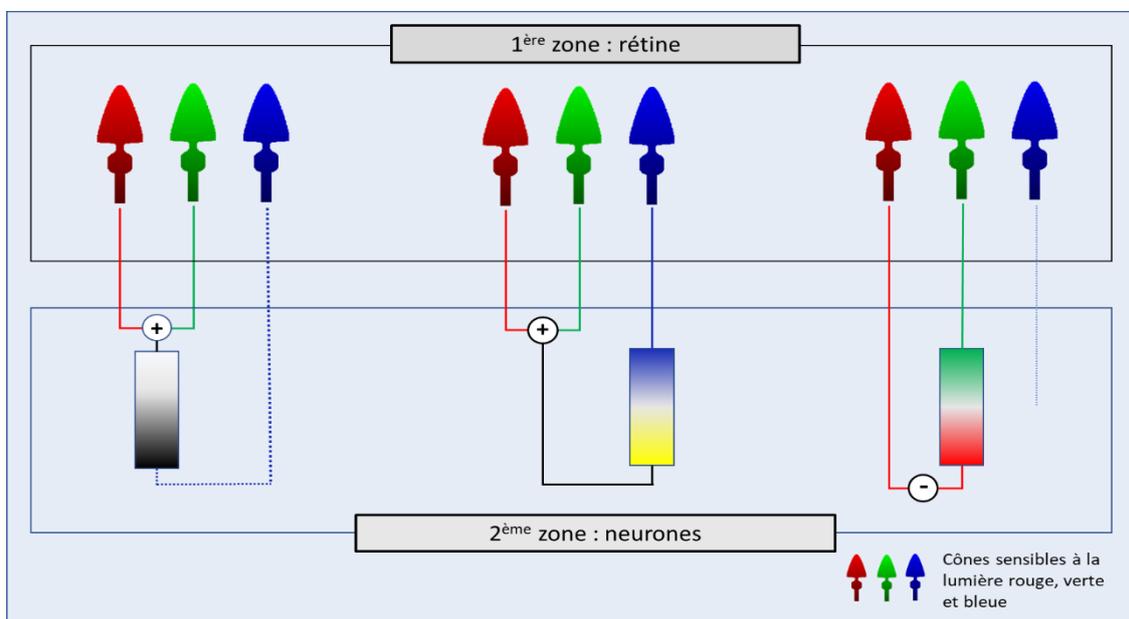
¹⁸ Marcus.p75

Cette théorie s'opposait à celle de la trichromie, qui explique la perception des couleurs grâce à 3 types de cônes sensibles aux 3 couleurs fondamentales en synthèse additive (rouge, vert et bleu).

Et pour tenter d'unifier ces deux théories, historiquement considérées comme incompatibles, la théorie des zones a été proposée par Massof et Bird en 1978.

La théorie des zones (figure 19) dit qu'au niveau de la rétine, la couche des cônes trichromatiques serait suivie d'une zone où les signaux Rouge-Vert-Bleu seraient transformés en signaux antagonistes selon un processus adapté à la luminosité et deux processus adaptés à la perception du chroma (teinte). Les neurones du cerveau seraient donc sensibles uniquement à un système de couleurs antagonistes¹⁹.

Figure 19 : Schéma de la théorie des zones



A gauche, Les cônes sensibles au rouge et au vert se conjuguent pour donner la sensation de luminosité (blanc/noir), le cône sensible au bleu ne jouant qu'un rôle soustractif négligeable. Au centre, cette même conjugaison s'oppose au bleu pour donner la sensation bleu/jaune. A droite, ces mêmes cônes s'opposent pour donner la sensation vert/rouge.

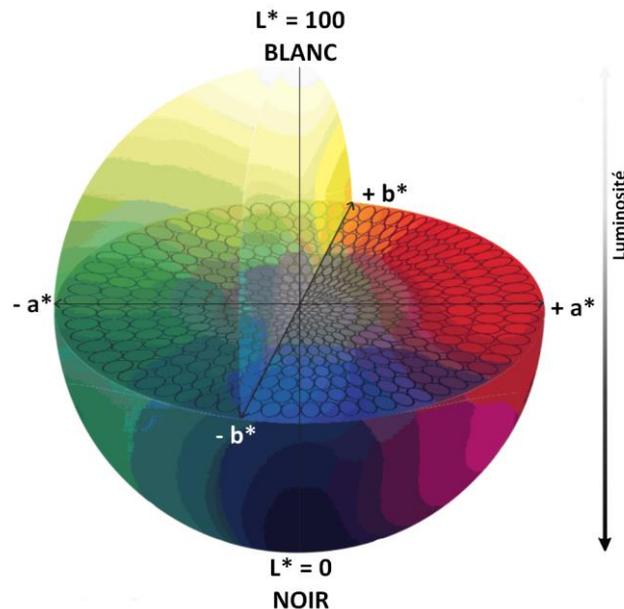
Source : Auteur, 2019.

La coordonnée a^* représente l'axe vert – rouge avec des valeurs inférieures à 0 pour le vert ($-a^* < 0$) et supérieures à 0 pour le rouge ($0 < +a^*$) tandis que la coordonnée b^* représente l'axe bleu – jaune avec des valeurs inférieures à 0 pour le bleu ($-b^* < 0$) et supérieures à 0 pour le jaune ($0 < +b^*$).

¹⁹ Massof et Bird, « A general zone theory of color and brightness vision. i. basic formulation ».

En théorie, l'échelle des valeurs qu'elles peuvent prendre est illimitée mais, le plus souvent, elle comprend 256 niveaux répartis de -127 à $+128$.

Figure 20 : Modélisation de l'espace chromatique CIE $L^*a^*b^*$



Source : Auteur, d'après X-rite Pantone®, 2019.

Les valeurs sont notées avec une étoile « * » pour les distinguer du système « Hunter Lab » proposé en 1966. Il utilise également les valeurs L , a , b avec des formules différentes du système CIE $L^*a^*b^*$ afin de les obtenir.

1.2.2.3. Le système CIE $L^*C^*h^\circ$

Il est également possible de représenter le système CIE $L^*a^*b^*$ à l'aide des 3 paramètres L^* (luminosité) C^* (chroma = saturation) et h° (hue = angle de teinte) sans modifier la répartition des couleurs de l'espace $L^*a^*b^*$ ²⁰.

Le système est identique à l'espace de couleurs $L^*a^*b^*$, sauf que la position d'une couleur dans l'espace est décrite par ses coordonnées polaires, plutôt que par ses coordonnées cartésiennes.

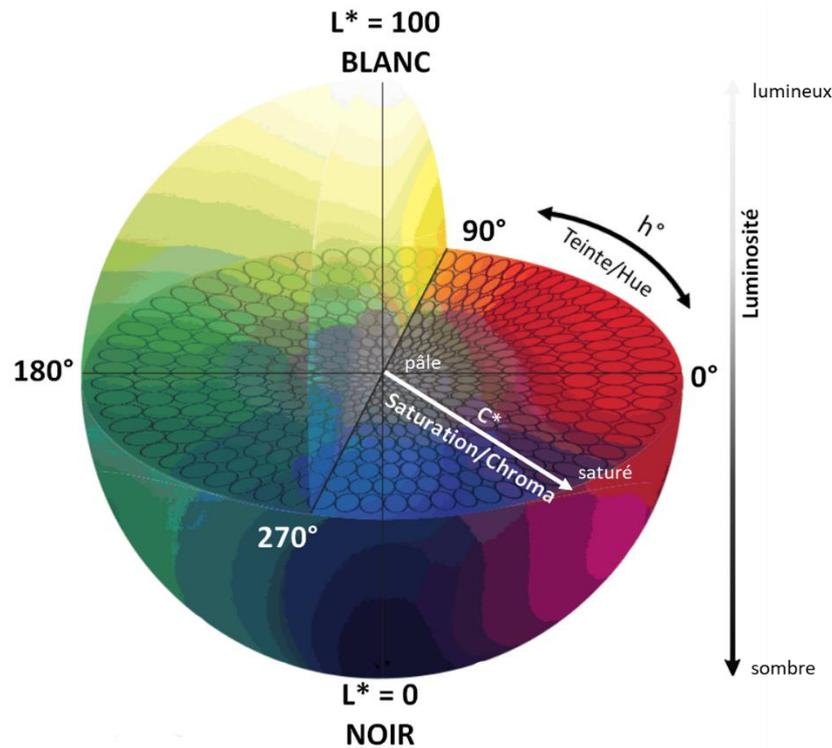
Ce système se rapproche du système de Munsell dans la forme, mais avec les coordonnées spécifiques du système CIE $L^*a^*b^*$.

Avec le système $L^*C^*h^\circ$ (figure 21), la position d'une couleur est définie par la distance sur l'axe L^* (Luminosité, « Value », hauteur de la couleur sur l'axe L^*), par la mesure C^* (Saturation, « Chroma », distance entre l'emplacement de la couleur et l'axe L^*) et par l'angle h° (teinte, hue, angle formé entre l'emplacement de la couleur et l'axe $+a^*$ qui va du centre de la sphère au 0°).

²⁰ Baltzer et Kaufmann-Jinoian, « La définition des teintes de dent ».

La teinte h° s'étendant de 0° à 360° . Les angles qui s'étendent de 0° à 90° représentent les rouges, les oranges et les jaunes. De 90° à 180° , ils représentent les jaunes, les jaunes-verts et les verts. De 180° à 270° , ils représentent les verts, les cyans (bleu-vert) et les bleus. Enfin de 270° à 360° , ils représentent les bleus, les pourpres, les magentas, et reviennent ensuite aux rouges (comme à 0°).

Figure 21 : Modélisation de l'espace chromatique CIE $L^*C^*h^\circ$



Source : Auteur, d'après X-rite Pantone®, 2019.

1.3. Les caractéristiques optiques des dents naturelles

Les propriétés optiques de la dent proviennent de ses tissus durs que sont l'émail et la dentine. Ces deux tissus, de nature distincte, vont avoir des comportements différents vis-à-vis de la lumière. Cela va avoir une répercussion sur les différents types d'interaction qu'elle va avoir.

La dentine est un corps opaque, il va donc beaucoup réfléchir la lumière et va contribuer majoritairement à la couleur de la dent et donc aux paramètres a^* et b^* ²¹.

L'émail est translucide, il agit comme un filtre qui va laisser passer la lumière vers la dentine. Il module la quantité de lumière qui atteint la dentine, donc joue sur le paramètre L^* .

²¹ ten Bosch et Coops, « Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness ».

1.3.1. L'émail

L'émail est une structure cristalline hautement minéralisée, composée en volume de 87 % de matière inorganique (cristaux d'hydroxyapatites), de 11 % d'eau et 2 % de matière organique²².

Les cristaux d'hydroxyapatites permettent la transmission d'une majeure partie de la lumière visible à travers l'émail jusqu'à la dentine. L'émail est donc translucide et influence peu la couleur de la dent²³.

Il existe un phénomène de diffusion lumineuse dans l'émail grâce aux cristaux d'hydroxyapatites²⁴ qui vont interagir avec la lumière de courte longueur d'onde (proche du bleu)²⁵ et laisser passer le reste du spectre. Cette propriété confère à la dent sa teinte bleutée, au niveau des bords libres, caractéristique qu'on appelle l'opalescence²⁶.

L'émail possède également la propriété de fluorescence. Elle est liée à sa partie organique qui va absorber de la lumière dans domaine de l'ultraviolet et la réémettre dans le spectre visible de courte longueur d'onde (proche du bleu)²⁷.

1.3.2. La dentine

La dentine est un tissu moins minéralisé que l'émail et beaucoup plus hétérogène. Elle est composée, en volume, de 50 % de matière minérale, de 30 % de matière organique et de 20 % d'eau²⁸.

Cette hétérogénéité structurale et chimique va grandement influencer la diffusion de la lumière en son sein. Elle contient 15 fois plus de protéines, en pourcentage, que l'émail ce qui va notamment générer son opacité au passage de la lumière ainsi que sa couleur jaune prononcée.

Sur le plan structural, ce sont l'orientation, la densité, le nombre et le diamètre de ces tubules qui jouent un rôle sur la propagation de la lumière²⁹.

La dentine possède également la propriété de fluorescence, qui est en moyenne 3 fois plus élevée en intensité que dans l'émail³⁰. C'est lié au fait que sa partie organique est plus importante que dans l'émail.

²² Simmelink, « Histology of enamel ».

²³ Bazos et Magne, « Bio-emulation : biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach : visual synthesis ».

²⁴ Vaarkamp, ten Bosch, et Verdonshot, « Propagation of light through human dental enamel and dentine ».

²⁵ ten Bosch et Coops, « Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness ».

²⁶ Fondriest, « The optical characteristics of natural teeth ».

²⁷ Lasserre, « Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles ».

²⁸ Piette et Goldberg, *La dent normale et pathologique*.

²⁹ Gabet, « Connaître les mécanismes de l'éclaircissement dentaire externe pour comprendre et traiter les cas difficiles ».

³⁰ Bazos et Magne, « Bio-emulation : biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach : visual synthesis ».

1.3.3. L'espace chromatique des dents naturelles

L'espace chromatique des dents naturelles est fréquemment représenté dans la sphère du système CIE $L^*a^*b^*$ par un volume en forme rhomboïde qui rappelle celle d'une banane.

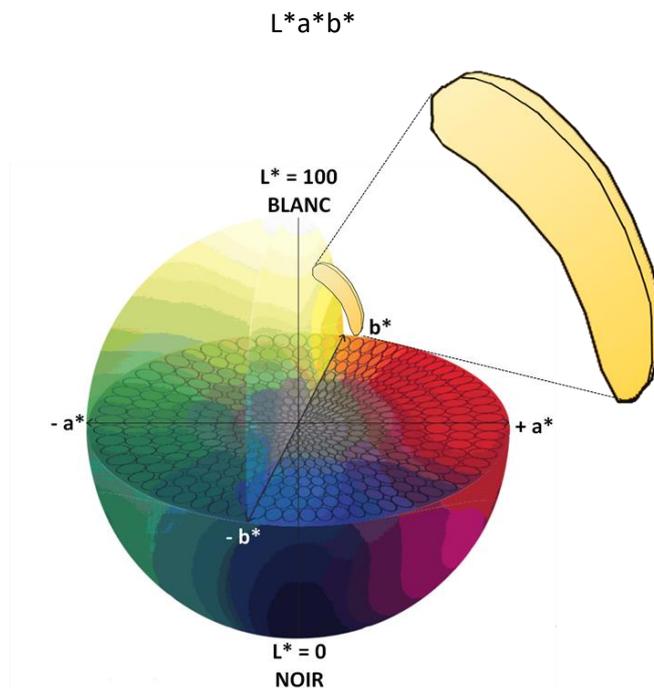
Cet espace se situe entre le rouge clair et le jaune clair et s'étire en longueur le long de l'axe L^* ce qui traduit des variations importantes de luminosité correspondant, vers le haut, aux dents jeunes et vers le bas, aux dents âgées.

Cette zone est globalement haut située dans l'espace chromatique et proche de l'axe central, ce qui signifie que les dents naturelles sont très lumineuses et peu saturées.

L'étroitesse de l'espace dans le sens transversal signifie de faibles variations de saturation alors que, dans le plan horizontal, la « banane chromatique » se situe entre l'axe des jaunes ($+b^*$) et l'axe des rouges ($+a^*$). La teinte des dents est donc plutôt uniforme, jaune/orangée³¹.

Cette zone a une orientation oblique. Sa partie inférieure, plus externe que sa partie supérieure, traduit le fait que les dents sombres sont aussi plus saturées en teinte³².

Figure 22 : Représentation de la « banane chromatique dentaire » dans l'espace colorimétrique CIE



Source : Auteur, d'après X-rite Pantone®, 2019.

³¹ D'Incau, « Couleur et choix de la teinte en odontologie ».

³² Lasserre, « Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles ».

1.4. Les mécanismes de l'éclaircissement ambulatoire externe

1.4.1. Composante chimique de l'éclaircissement

Un chromophore est un groupement d'atomes contenant un ensemble de liaisons multiples conjuguées. Il en résulte une absorption de certaines longueurs d'onde ce qui va leur donner leur couleur. Le peroxyde de carbamide, qui se décompose en peroxyde d'hydrogène et en urée, va dégrader ces liaisons conjuguées et ainsi modifier leur propriété d'absorption de la lumière. Les molécules colorées deviennent alors moins colorées ou incolores (figure 23).

1.4.2. Composante physique de l'éclaircissement

L'émail, naturellement translucide, devient opaque lors de l'éclaircissement. Il réfléchit plus la lumière et en transmet moins (figure 23).

Ce deuxième mécanisme a été décrit plus récemment par Ma et al³³. L'origine de cette opacification n'est pas complètement connue. Plusieurs pistes ont été proposées comme :

- Une action du peroxyde de carbamide qui pourrait diminuer la taille des cristaux d'hydroxyapatite sachant que leur taille augmente avec l'âge³⁴ tandis que la luminosité décroît avec l'âge³⁵.
- Pour Eimar, il y aurait une oxydation de la matrice organique incolore qui se mettent à diffuser la lumière visible³⁶.
- Une faible déminéralisation de surface qui rendrait la couche externe de l'émail plus rugueuse et diffuserait plus la lumière³⁷.
- Une oxydation des acides aminés aromatiques associé aux cristaux d'hydroxyapatites³⁸.
- Selon Goldberg³⁹, l'urée dégrade la matrice organique de l'émail en clivant les liaisons hydrogène des protéines. Cette action de l'urée, engendrerait également une perte des cristaux d'hydroxyapatite intimement liés à cette matrice organique.

³³ Ma et al., « Separate contribution of enamel and dentine to overall tooth colour change in tooth bleaching ».

³⁴ Eimar et al., « The role of enamel crystallography on tooth shade ».

³⁵ Gómez-Polo et al., « Natural tooth color estimation based on age and gender ».

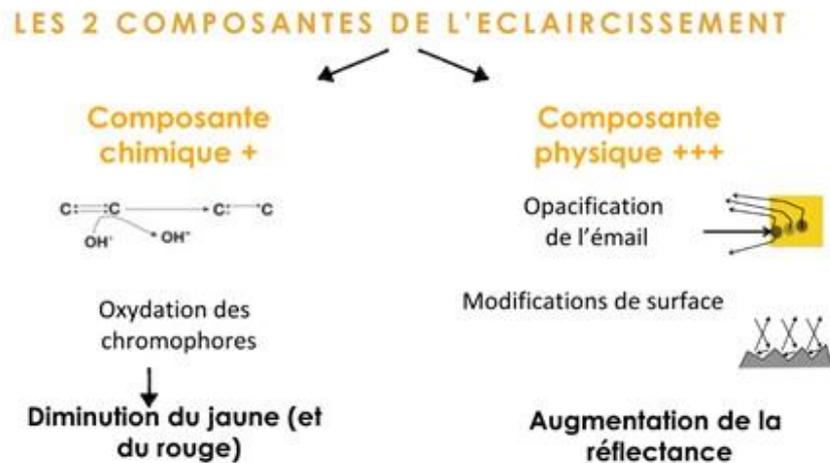
³⁶ Eimar et al., « Hydrogen peroxide whitens teeth by oxidizing the organic structure ».

³⁷ Menezes et al., « Impact of 35 % hydrogen peroxide on color and translucency changes in enamel and dentin ».

³⁸ Guo et al., « New insights into effects of aromatic amino acids on hydroxyapatite ».

³⁹ Goldberg et al., « Action of urea solutions on human enamel surfaces ».

Figure 23 : Les 2 composantes de l'éclaircissement



Source : Gabet, « Connaître les mécanismes de l'éclaircissement dentaire externe pour comprendre et traiter les cas difficiles », 2017.

1.5. Les caractéristiques optiques des dents éclaircies

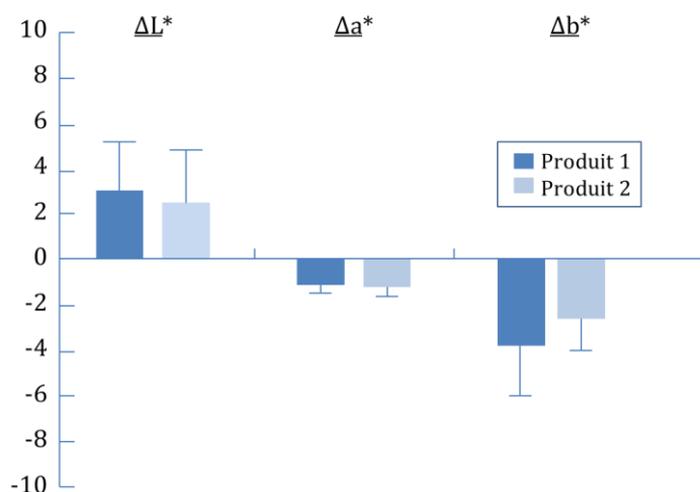
On observe une augmentation de la luminosité de la dent. L'émail, opacifié, réfléchit plus de lumière et masque la dentine sous-jacente.

De plus les chromophores, oxydés ou dégradés, de l'émail et de la dentine réagissent moins (voire plus du tout) avec la lumière visible. Ces deux tissus deviennent moins saturés en couleur et la teinte est moins jaune et moins rouge.

Ces variations sont illustrées dans l'étude de Ishikawa-Nagai et al.⁴⁰ ci-dessous (figure 24 et 25) qui compare l'efficacité de deux produits éclaircissants, à base de peroxyde de carbamide à 10 %, après 14 jours de traitement. Les deltas (ΔL^* , Δa^* , et Δb^*) représentent les différences, pour chaque paramètre, entre les mesures après traitement et les mesures initiales (ex : $\Delta L^* = L^*_{t14 \text{ jours}} - L^*_{t0}$).

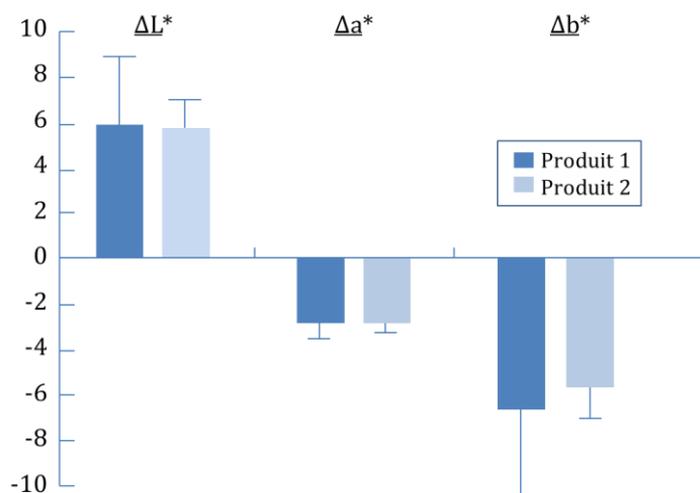
⁴⁰ Ishikawa-Nagai et al., « Comparison of effectiveness of two 10 % carbamide peroxide tooth-bleaching systems using spectrophotometric measurements ».

Figure 24 : Moyenne des valeurs de ΔL^* , Δa^* , et Δb^* pour les incisives



Source : Ishikawa-Nagai et al., « Comparison of effectiveness of two 10 % carbamide peroxide tooth-bleaching systems using spectrophotometric measurements », 2004.

Figure 25 : Moyenne des valeurs de ΔL^* , Δa^* , et Δb^* pour les canines



Source : Ishikawa-Nagai et al., « Comparison of effectiveness of two 10 % carbamide peroxide tooth-bleaching systems using spectrophotometric measurements », 2004.

Résultats :

Sur les 48 patients inclus dans l'étude, les valeurs moyennes de ΔE pour le produit 1 vont de 5,03 à 8,92 et de 5,84 à 9,61 pour le produit 2. Le facteur le plus significatif dans le changement de la couleur est le paramètre b^* suivi du L^* puis du a^* . Les valeurs de L^* augmentent après l'éclaircissement tandis que les valeurs a^* et b^* diminuent. Il n'y a pas, non plus, de différences significatives entre les deux produits testés.

2 : Le spectrophotomètre dans la thérapeutique de l'éclaircissement externe ambulatoire

2.1. Le spectrophotomètre

2.1.1. Définition du spectrophotomètre

Le spectrophotomètre est un équipement permettant de mesurer la couleur des dents naturelles, éclaircies et/ou restaurées. Il permet, scientifiquement, objectivement, rapidement et indépendamment de l'environnement, de déterminer exactement la couleur des dents.

Les premières utilisations de spectrophotomètres en dentisterie pour l'évaluation de couleurs remontent aux années 70⁴¹.

En 1998, une étude menée par Horn et al. a conclu que le spectrophotomètre était plus prédictible et plus fiable que la vision humaine dans l'évaluation de la couleur de dents in vitro⁴².

Le spectrophotomètre atteint une reproductibilité de 80 % entre les mesures tandis que les observateurs humains ne dépassent pas 65 % en utilisant le teintier VITAPAN Classical.

D'autres études similaires reportées par Paul et al, en 2002, les auteurs ont conclu que les mesures avec un spectrophotomètre sont plus précises et reproductibles que celle faite par l'œil humain. Les observateurs n'ont obtenu que 26.6 % de correspondance de teinte contre 83,3 % pour le spectrophotomètre⁴³.

Dans une étude de Kim-Pustaeri, en 2009, en comparaison avec d'autres appareils (spectrophotomètres et colorimètres, caméra digitale avec colorimètre intégré), le spectrophotomètre VITA Easyshade® est le seul instrument de mesure à avoir une précision et une fiabilité supérieures à 90 %⁴⁴.

Dans le cadre de cette thèse nous décrirons le fonctionnement du spectrophotomètre VITA Easyshade® V, car c'est celui que nous utilisons à la consultation de Charles Foix et c'est le dernier modèle disponible pour l'usage clinique depuis 2015 (figure 26).

⁴¹ Pipko et el-Sadeek, « An in vitro investigation of abrasion and staining of dental resins ».

⁴² Horn, Bulan-Brady, et Hicks, « Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade ».

⁴³ Paul et al., « Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth ».

⁴⁴ Kim-Pusateri et al., « Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices ».

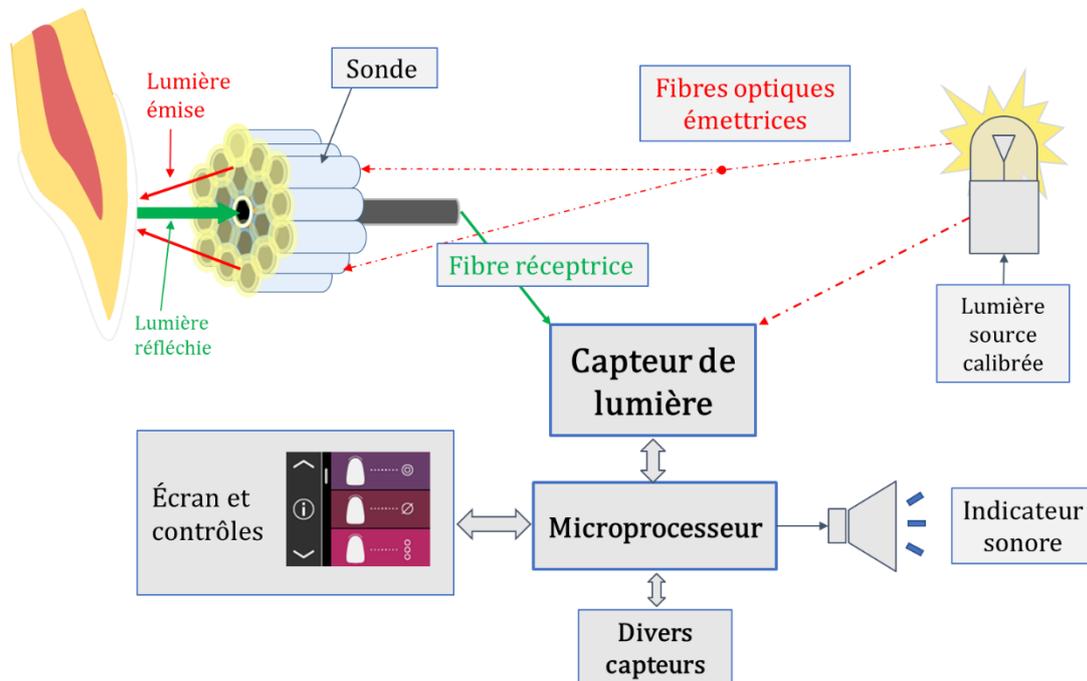
Figure 26 : Spectrophotomètre VITA Easyshade® V



Source : VITA Easyshade®, mode d'emploi, 2015.

2.1.2. Description du fonctionnement et de l'utilisation du spectrophotomètre

Figure 27 : Schéma de principe de fonctionnement du VITA Easyshade® V



Source : Auteur, 2019.

Principe de fonctionnement :

Le spectrophotomètre réalise une mesure ponctuelle du spectre de réflectance de la dent. Pour ce faire, il va émettre un flash de lumière blanche polychromatique générée par une LED de haute puissance à travers des fibres optiques. Cette lumière calibrée correspond à une température de couleur de 6500K (lumière naturelle en plein jour en zone tempérée).

Pour s'assurer de la fiabilité des mesures dans le temps et compenser le vieillissement de la source lumineuse, le spectrophotomètre doit être étalonné sur sa borne avant chaque mesure.

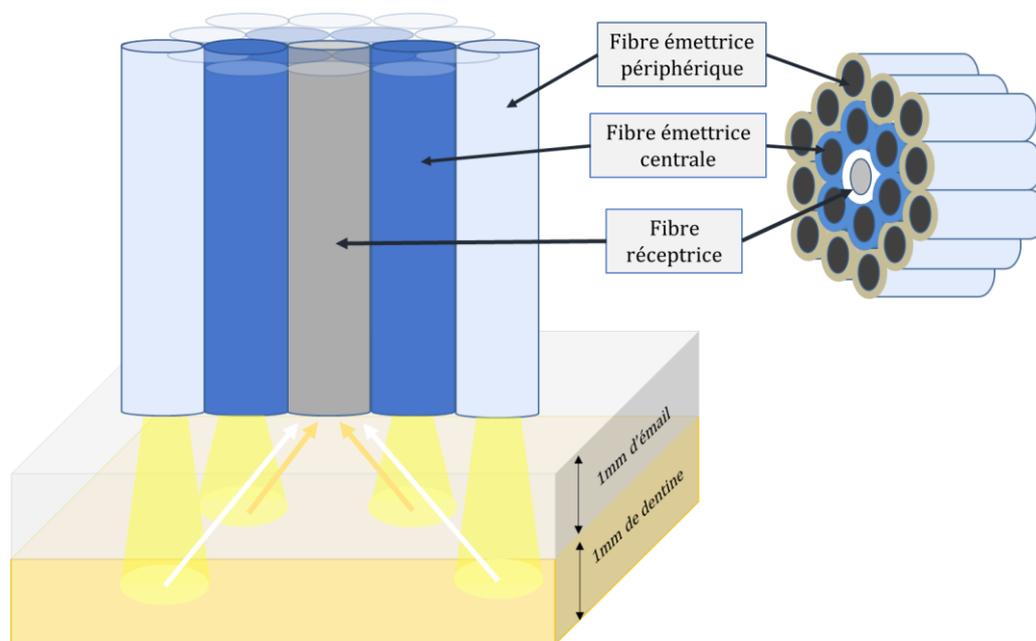
Une balance des blancs est effectuée automatiquement grâce à un bloc d'étalonnage intégré à la borne. Une fois réussie, on peut ensuite réaliser nos mesures.

Lors de cet étalonnage, une mesure du spectre de réflectance du bloc est réalisée. Celle-ci est déjà connue de l'appareil et une comparaison est effectuée entre ces 2 valeurs. Le degré de similitude entre la valeur pré-enregistrée et celle mesurée permet de connaître les caractéristiques de la lumière source émise et ainsi ajuster les données du spectre de réflectance qui sera mesuré sur la dent.

Grâce à ce flash de lumière blanche polychromatique, le spectrophotomètre n'est pas influencé par les conditions lumineuses ambiantes lors de la prise de mesure. C'est ce qui lui donne un avantage par rapport à d'autres instruments de relevé de la couleur⁴⁵.

La mesure du spectre réfléchi se fait au niveau des 2 premiers millimètres de profondeur grâce à ces 2 anneaux lumineux concentriques qui entourent la fibre réceptrice centrale (figure 28).

Figure 28 : Schéma de l'extrémité de la sonde sur spectrophotomètre au contact de la dent



L'anneau central donne l'information de la couleur de la zone superficielle jusqu'à 1mm de profondeur, l'anneau périphérique donne l'information pour la zone profonde jusqu'à 2mm de profondeur.

Source : Auteur, 2019.

La zone mesurée est de 5mm de diamètre et par un calcul à partir de ces deux mesures de profondeurs différentes, on va obtenir les paramètres de la couleur.

⁴⁵ Posavec, Prpić, et Zlatarić, « Influence of light conditions and light sources on clinical measurement of natural teeth color using Vita Easyshade advance 4.0® spectrophotometer : pilot study ».

Ce flux lumineux interagit avec la dent et va être réfléchi en partie. L'autre partie du flux lumineux est transmise et/ou absorbée. Le spectre de la lumière qui retourne vers le spectrophotomètre est donc différent de celui initialement émis.

Plusieurs capteurs sont impliqués pour la réussite de la mesure de la couleur des dents (figure 29).

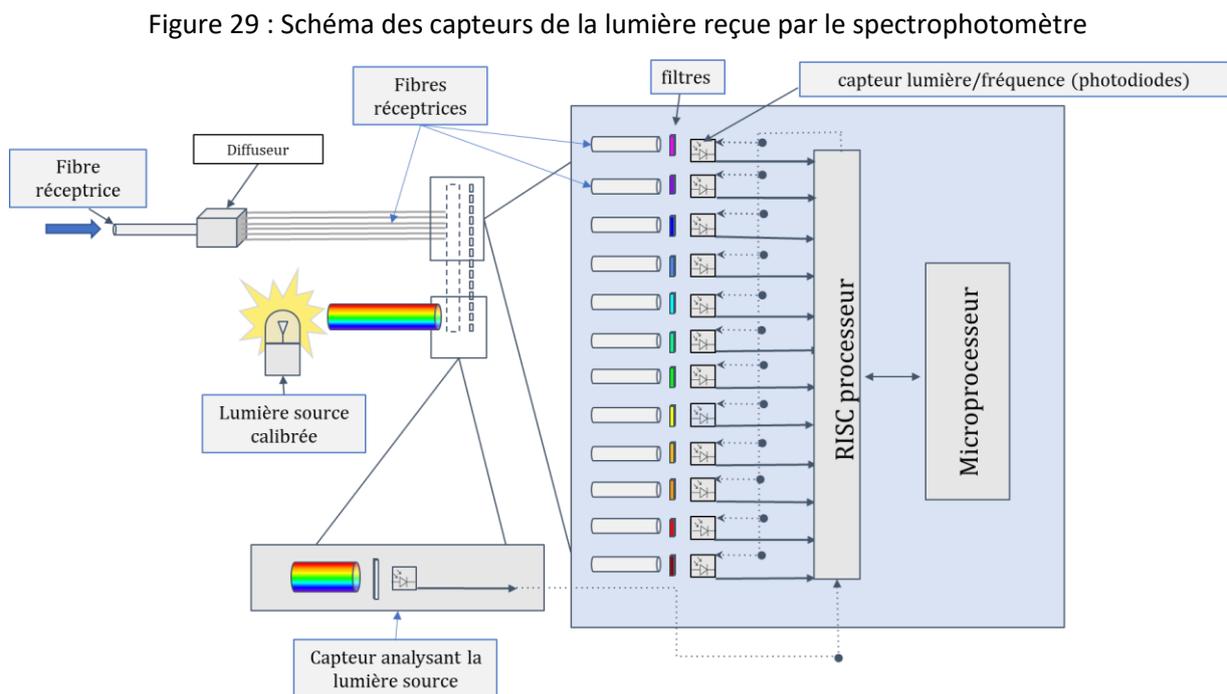
Un premier va contrôler la lumière source émise. En cas de variation, il va soit ajuster ou rejeter la mesure de spectre de réflectance de la dent analysée.

Un second va analyser la lumière reçue par la fibre optique centrale, celle-ci est redirigée vers un "diffuseur" optique puis envoyée dans plusieurs nouvelles fibres optiques de sorties qui finiront leur trajet sur un capteur.

La fibre optique centrale réceptrice est subdivisée en plusieurs fibres optiques à l'intérieur de l'appareil.

Chacune de ces fibres termine son trajet sur un capteur possédant un filtre. Ces filtres découpent le spectre visible en 30 bandes de 10nm ($700 - 400\text{nm} = 300\text{nm}$ divisé par $30 = 10\text{nm}$) (figure 30).

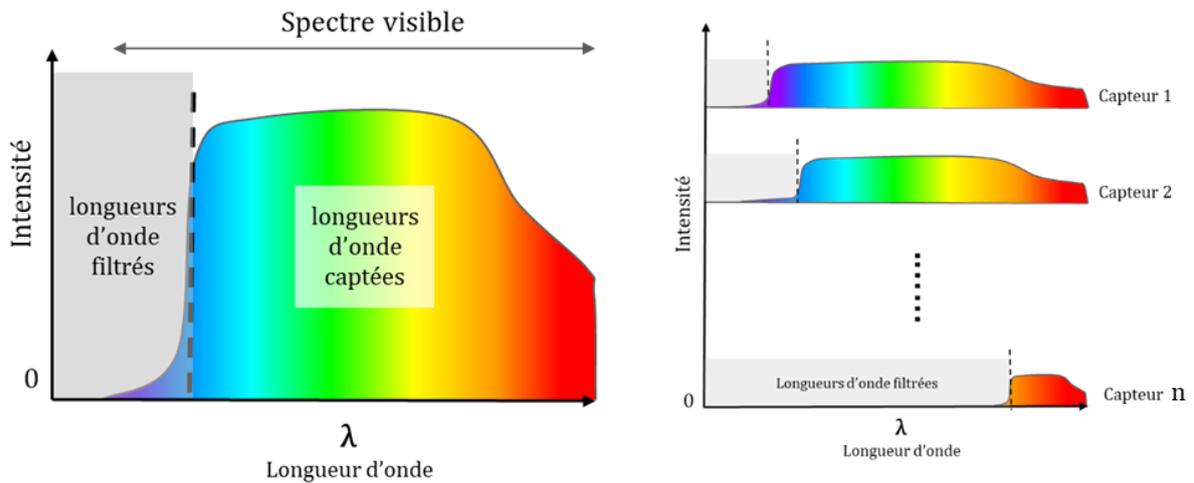
Ces capteurs sont des composants optoélectroniques qui transforment l'intensité lumineuse reçue en courant électrique.



Source : Auteur, 2019.

Chaque filtre laisse passer la partie du spectre de réflectance supérieure à la valeur de coupure du filtre sélectionné et absorbe toutes les longueurs d'ondes inférieures (figure 30).

Figure 30 : Propriétés des filtres analysant une bande de longueur d'onde



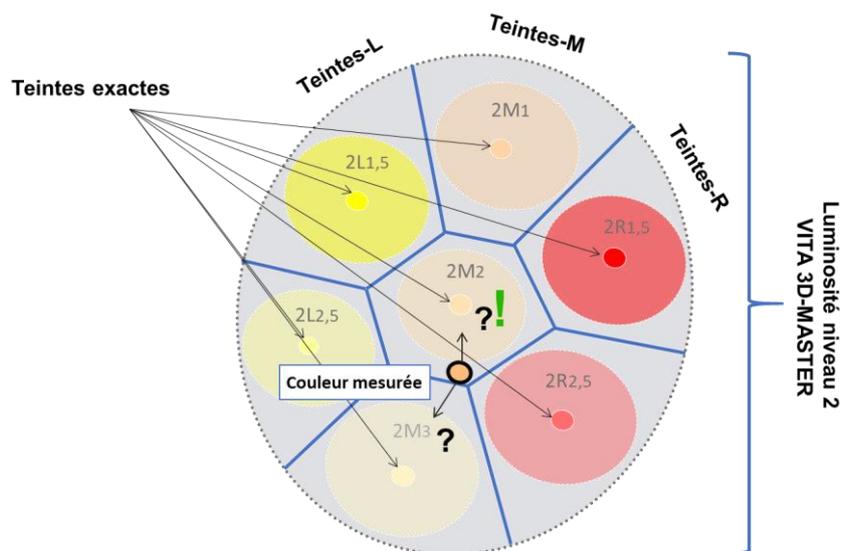
Source : Auteur, 2019.

Le spectre de réflectance total est obtenu par calcul à partir des spectres des différents intervalles de 10 nm.

Grâce à l'analyse de ce spectre de réflectance par le microprocesseur, on va pouvoir déterminer :

- Le degré de correspondance entre la couleur mesurée et les teintiers de VITA (VITA Classical A1-D4, VITA SYSTEM 3D-MASTER et l'indice de blanchiment d'après le VITA Bleachedguide 3D-MASTER) (figure 31, 32 et 33).
- Les coordonnées de la couleur de la zone mesurée dans les systèmes CIEL*a*b* et CIEL*C*h (figure 32).

Figure 31 : Sélection de la teinte 3D Master la plus proche de la couleur mesurée

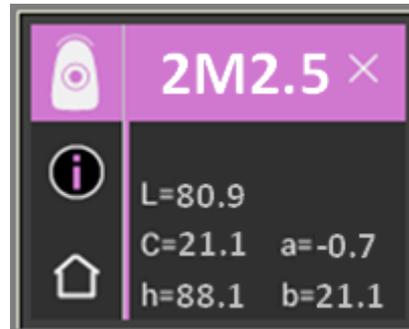


Ici, la couleur mesurée est plus proche de la teinte 2M2 que de 2M3.

Source : Auteur, 2019.

Il est intéressant de noter que le spectrophotomètre nous donne accès à 52 couleurs intermédiaires (en plus des 29 couleurs présentes sur le teintier VITA 3D-Master) que l'on obtient en mélangeant à parts égales les masses VITA 3D-Master. Dans l'exemple ci-dessus (figure 31), la couleur mesurée est située entre 2M2 et 2M3. Elle correspond à une couleur interpolée 2M2.5 (figure 32).

Figure 32 : Affichage des paramètres L*a*b* et C*h° de la dent mesurée

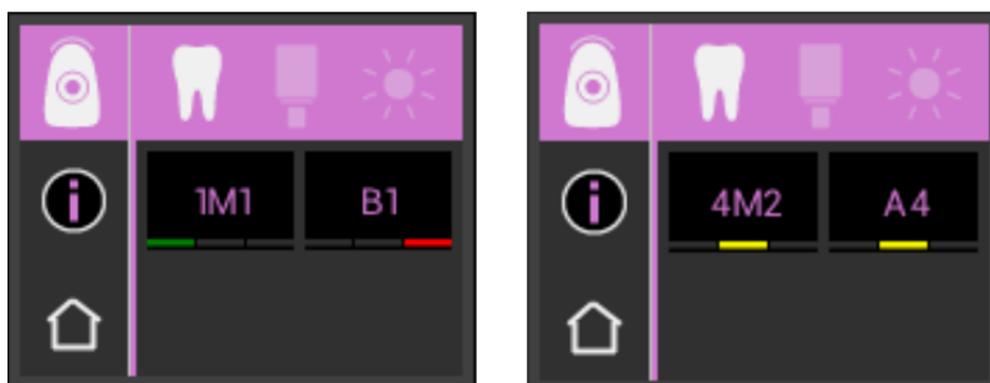


Source : Auteur, d'après VITA Easyshade®, mode d'emploi, 2019.

Un code couleur est intégré dans l'appareil pour indiquer à quel point la couleur mesurée sur la dent est proche de la teinte en équivalent 3D MASTER (figure 33) :

- Si le ΔE est faible, il y a peu ou pas de différence perceptible, entre les 2 couleurs le voyant sera « vert ».
- Si le ΔE est moyen, il y a une différence perceptible entre les 2 couleurs, mais elle reste acceptable, le voyant sera « jaune ».
- Si le ΔE est important, il y a une différence nette entre les 2 couleurs, le voyant sera « rouge ».

Figure 33 : Ecran du Vita Easyshade® V



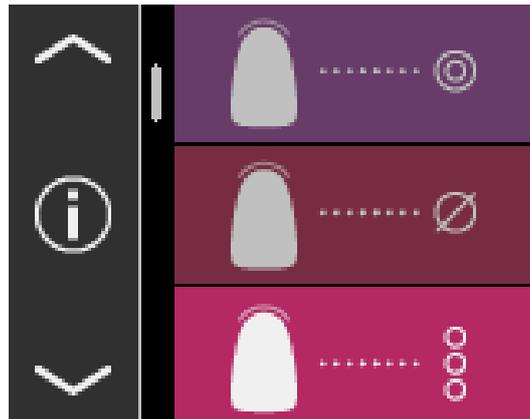
A droite teinte 1M1 avec voyant vert (correspondance totale entre la couleur mesurée et la barrette 1M1, à gauche, 4M2, avec voyant jaune (mesure acceptable)

Source : VITA Easyshade®, mode d'emploi, 2015.

Utilisation :

Après calibration de l'appareil sur socle, la mesure de la couleur de la dent peut débuter. Plusieurs modes de relevé sont disponibles (figure 34) et nous pouvons effectuer soit une mesure ponctuelle, soit une mesure moyenne à partir de plusieurs mesures agrégées (minimum 4, jusqu'à 30 mesures) ou bien des mesures par zone (cervicale, centrale et incisale).

Figure 34 : Menu principal du Vita Easyshade® V



De haut en bas, mesure ponctuelle, mesure moyenne, mesure par zone

Source : VITA Easyshade®, mode d'emploi, 2015.

Ces différents modes sont intéressants pour des dents présentant un fort contraste entre les parties cervicales et incisales ou bien des tâches colorées, afin de suivre l'évolution de ces zones indépendamment les unes des autres.

2.1.3. Les autres spectrophotomètres sur le marché

Le Crystaleye® (Olympus, Japan, 2008) : Il combine les avantages du spectrophotomètre traditionnel avec la photographie numérique. Avec ce système on peut comparer directement des échantillons virtuels de teintier de la base de données de l'ordinateur à l'image de la dent naturelle, en les superposant.

Le ShadeX® (XRite, USA, 2007) : Il est sans fil et compact, son diamètre de sonde est de 3mm et il contient dans sa base de données la majorité des teintiers populaires.

Le SpectroShade Micro® (MHT Optic Research, Suisse, 2001) combine spectrophotomètre à LED et appareil photo numérique. Il effectue une cartographie en 3D de la dent et donne également des informations sur la translucidité. Un guide de positionnement de la dent lors de la prise de mesure peut être affiché sur l'écran de contrôle.

Le Shadepilot® (Degudent, France, 2006) : Il reprend le principe du SpectroShade Micro par le biais d'un autre fournisseur.

Rayplicker® (BOREA, France, 2017) : Il permet d'obtenir en une seule acquisition de cartographier la couleur et la translucidité complètes d'une dent. Le Rayplicker offre la possibilité de choisir son teintier de référence, la résolution de la cartographie de teinte souhaitée (1, 3, 9 ou multizones).

CrystalEye®, ShadeVision® et SpectroShade Micro® et Rayplicker® fournissent une image de la dent entière, tandis que Easysshade® V mesure un spot 5mm de diamètre et Shade-X® mesure un spot de 3mm de diamètre.

On obtient donc des données standardisées, avec des conditions de mesure reproductibles, qui permettent une analyse précise de la couleur de la dent d'intérêt pendant un éclaircissement ou en vue de restaurations.

Figure 35 : Illustration des différents spectrophotomètres sur le marché



Source : Auteur, 2019.

Dans le cadre de la consultation dyschromies à Charles Foix, mise en place il y a 2 ans par le Dr Jean-Pierre Attal et le Dr Gabet Astrid, nous avons beaucoup travaillé sur l'évaluation objective de cette thérapeutique et enregistré les données de plusieurs patients grâce au spectrophotomètre. Nous avons synthétisé, dans la partie ci-dessous, les différents intérêts de l'utilisation de cet équipement lors du suivi de l'éclaircissement.

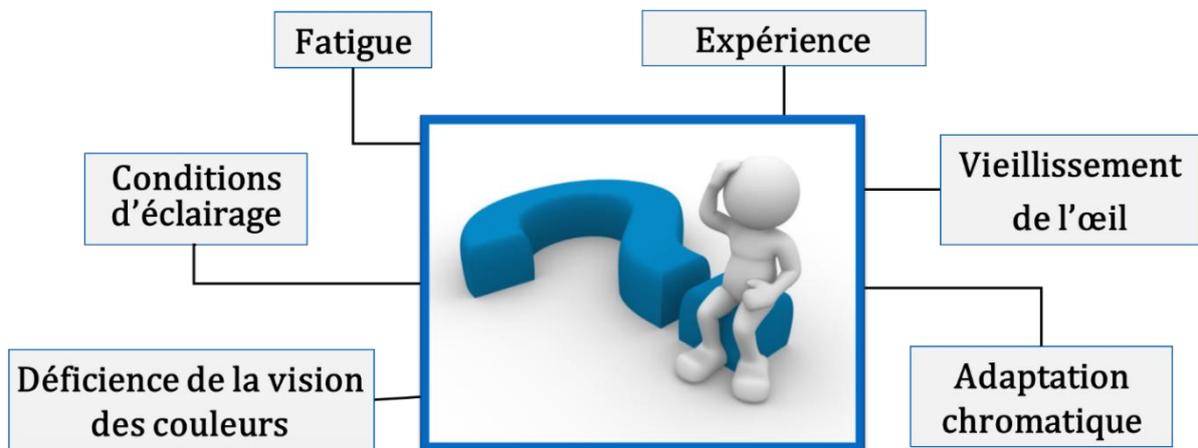
2.2. Le spectrophotomètre dans la thérapeutique d'éclaircissement

2.2.1. Intérêt diagnostique de l'utilisation du spectrophotomètre

Le spectrophotomètre nous donne accès à une mesure physique et objective beaucoup plus fiable que le relevé visuel avec le teintier^{46 47}.

En effet, beaucoup d'éléments influencent la perception des couleurs (figure 36), et cela ne permet pas à l'œil humain d'avoir une évaluation précise et reproductible des couleurs⁴⁸.

Figure 36 : Éléments subjectifs influençant la perception des couleurs



Source : Auteur, 2019.

L'utilisation du spectrophotomètre va nous permet de diagnostiquer les dyschromies dans chaque situation clinique donnée.

La thérapeutique d'éclaircissement répond à 3 grandes catégories d'indications que sont les contextes physiologiques, pathologiques et restaurateurs. Pour chacun de ces contextes, nous avons des paramètres de la couleur qui vont être différents et la mesure des paramètres L^* , a^* et b^* va nous donner les caractéristiques de la dyschromie.

2.2.1.1. Les indications physiologiques de l'éclaircissement :

Ce sont celles liées au vieillissement physiologique⁴⁹ :

Chez les patients jeune (figure 37), à l'émail sain, la coloration naturelle de la dent est jaune. On a un paramètre b^* qui sera toujours supérieur à 15 (limite empirique en dessous de laquelle nous avons

⁴⁶ Paul et al., « Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth ».

⁴⁷ Judeh et Al-Wahadni, « A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection ».

⁴⁸ Fairchild, « Color appearance models and complex visual stimuli ».

⁴⁹ Kim, « A study on the color distribution of natural teeth by age and gender in the Korean population with an intraoral spectrophotometer ».

considéré qu'une dent n'est plus « jaune »). Le paramètre b^* est toujours plus important au niveau des canines, plus saturée en couleur. Il sera supérieur à 20. Et la luminosité moyenne des dents se situera autour de 80. Quant au paramètre a^* est généralement faible (inférieur à 5) voire négatif.

Figure 37 : Paramètres moyens L^* a^* b^* des 6 dents maxillaires chez un patient jeune (<25 ans) avant éclaircissement



Source : Auteur, 2019.

En ce qui concerne les patients plus âgées (>50 ans) (figure 38), on peut avoir une baisse globale de la luminosité de la dent due à la diminution de l'émail en épaisseur. Les valeurs de L^* seront très souvent inférieures à 85 et pouvant aller jusqu'à 70.

Le paramètre b^* va quant à lui augmenter⁵⁰ et être très souvent supérieur à 25.

Figure 38 : Paramètres moyens L^* a^* b^* des 6 dents maxillaires chez une patiente âgée (>50 ans) avant éclaircissement.



L'usure avec le temps a réduit l'épaisseur d'émail, la dent est moins lumineuse.

L'incorporation des colorations extrinsèques augmente significativement le paramètre a^* .

Source : Auteur, 2019.

⁵⁰ Gómez-Polo et al., « Natural tooth color estimation based on age and gender ».

En ce qui concerne les colorations physiologiques extrinsèques (café, thé, cigarettes etc...), on va avoir une augmentation des paramètres **a*** et **b*** dû à l'adsorption des chromophores à la surface de la dent qui vont absorber la lumière dans les longueurs d'onde proche du bleu et du vert et remettre dans les tonalités jaune/rouge.

2.2.1.2. Les indications pathologiques de l'éclaircissement :

- Hypominéralisation Incisive et Molaire (MIH) :

Chez les patients atteints de MIH, en fonction du degré de sévérité, on va avoir des tâches qui peuvent aller du blanc opaque (léger) jusqu'à l'orange-marron (sévère). Cette coloration brune est liée à des inclusions protéiques au sein de l'émail hypominéralisé. Plus l'atteinte est sévère, plus on risque d'avoir des pertes amélaire et les zones exposées vont retenir plus facilement les colorations.

Figure 39 : Dent n°11 avec atteinte MIH légère à sévère



Paramètres **L*** **a*** **b*** de la partie saine de la dent (1/3 cervical) et du centre de la tâche MIH
La partie externe de la tâche est blanche opaque, l'atteinte est légère. La partie centrale, avec perte de substance amélaire et inclusions protéiques, possède une coloration brune. L'atteinte est sévère dans cette zone.

Source : Auteur, 2019.

Le paramètre de **L*** est souvent faible car la lumière ne se propage pas de manière normale à travers l'émail hypominéralisé. Elle n'est pas transmise correctement à la dentine sous-jacente. Elle est dissipée dans l'émail à la structure désorganisée. La luminosité est souvent inférieure à 70. De plus, l'inclusion protéique est responsable de l'augmentation de la quantité de pigment jaune et de rouge. Plus l'atteinte est importante, plus ces paramètres augmentent. On a souvent un **b*** supérieur à 30 et **a*** supérieur à 5.

Figure 40 : Dent n°21 avec atteinte MIH légère à modéré et paramètres colorimétriques de la tache



Partie centrale brune, la périphérie blanc opaque, il n'y a pas de perte de substance dans ce cas. Les mesures sont prises au centre de la tache

Source : Dr Attal, 2018.

- Fluorose :

La fluorose est une hypominéralisation de l'émail, liée à une incorporation excessive de fluor au niveau des tissus durs dentaires au cours de leur formation. Elle se manifeste par des taches (ou bandes colorées), blanchâtres à brunâtres, localisées ou généralisées, aux contours diffus, et toujours symétriques par rapport à l'axe sagittal médian (figure 41).

Figure 41 : Cas de fluorose diffuse, paramètres colorimétriques associés



Les paramètres colorimétriques des dents restent moyens. Au niveau des tâches de fluorose, on constate une légère diminution de la luminosité par rapport à une zone non atteinte. Le trajet de la lumière est perturbé par la zone hypominéralisée.

Source : Dr Attal, 2018.

- Amélogénèse imparfaite/dentinogénèse imparfaite :

Ce sont des pathologies génétiques héréditaires affectant la structure de l'émail ou de la dentine. Ces tissus seront soit hypoplasiques, soit hypomatures, soit hypocalcifiés (figure 42).

Figure 42 : Cas de dentinogénèse imparfaite et paramètres L*a*b* associés



Les défauts de structures amélaire entraînent une perte de translucidité, le trajet de la lumière est très perturbé, on perd en luminosité. La quantité, anormalement importante, de protéines au sein de l'émail est responsable de sa saturation jaune et rouge.

Source : Dr Attal, 2018.

- Nécrose pulpaire ou coloration après traitement endodontique (figure 43) :

On a une augmentation des paramètres **b*** et **a*** par rapport aux dents adjacentes, liée soit aux produits de dégradation des protéines plasmatiques pulpaire pour une dent en voie de nécrose ou bien soit aux débris intra-caméraux pour les dents traitées endodontiquement.

Figure 43 : Dent n°21 traitée endodontiquement et modification des paramètres L*a*b*



La dent est moins lumineuse, plus jaune et plus rouge.

Source : Auteur, 2019.

- Traumatismes :

Les hypominéralisations traumatiques sont les répercussions d'un traumatisme d'une ou plusieurs dents temporaires, sur une ou plusieurs dents permanentes sous-jacentes. Des hypoplasies peuvent y être associées en cas d'atteinte précoce (figure 44).

Figure 44 : Dent n°11 présentant une hypominéralisation et une hypoplasie traumatique.



On a une tache d'hypominéralisation blanche-jaune associée à une coloration brune due au saignement péri-apical à la suite du traumatisme⁵¹, on a donc augmentation du a* et du b* et diminution du L*.

Source : Dr Attal, 2019.

- Tétracyclines :

Les tétracyclines appartiennent à la classe des cyclines et sont des antibiotiques à spectre large d'activité. La prise chez la femme enceinte et chez le jeune enfant entraîne des colorations qui vont du jaune au brunâtre-grisâtre en passant par des teintes bleutée-violacée⁵². L'intensité des colorations dépendra de l'âge de la prise des tétracyclines, de la durée de traitement et du type de molécule. Les tétracyclines forment un complexe insoluble avec le calcium, qui va pouvoir se fixer aux cristaux d'hydroxyapatite pendant la minéralisation de la dent. Ces complexes sont responsables de la coloration des dents (figure 45).

⁵¹ Andreasen et Ahrensburg, « History of the dental trauma guide ».

⁵² Boksman et Jordan, « Conservative treatment of the stained dentition : vital bleaching ».

Figure 45 : Colorations par tétracyclines et paramètres L*a*b* pour la dent n°11



Source : Auteur, 2019.

On constate la présence de coloration en bandes, plus marqué au tiers médian (figure 45). Cette zone est plus rouge et moins lumineuse. Tandis que pour une dent naturelle, on a généralement un gradient de quantité de rouge qui augmente du bord libre vers la zone cervicale. Le profil de luminosité est inversé dans le cas de tétracyclines : elle est plus faible dans la partie médiane qu'aux niveaux du bord libre et cervical. Tandis que pour une dent saine, cette zone médiane est plus lumineuse⁵³.

Connaitre les paramètres **L***, **a*** et **b*** de la dent avant éclaircissement va donc nous donner quelques éléments afin de pouvoir émettre un pronostique en fonction de la situation clinique.

2.2.2. Intérêt pronostique de l'utilisation du spectrophotomètre

2.2.2.1 Expérience de la consultation de dyschromie de Charles-Foix :

Bien qu'il soit habituellement reconnu comme étant difficile d'émettre un pronostic concernant le résultat d'un traitement d'éclaircissement, grâce à notre expérience de la consultation de traitement des dyschromies, à nos connaissances sur les mécanismes d'action de l'éclaircissement, et grâce aux mesures obtenues avec le spectrophotomètre, nous avons pu mettre en évidence certaines situations courantes pour lesquelles nous pouvons prédire les résultats.

Les paramètres initiaux de la dent associés au contexte clinique sont les déterminants de l'évolution de l'éclaircissement. Nous avons pu faire ressortir une hiérarchie dans les paramètres **L***, **a*** et **b***. Du

⁵³ Hasegawa, Ikeda, et Kawaguchi, « Color and translucency of in vivo natural central incisors ».

plus au moins influençant, dans le résultat de la thérapeutique d'éclaircissement, on va avoir la diminution du b^* puis l'augmentation du L^* et enfin la diminution du a^* .

Le tableau suivant résume les éléments de pronostic de l'efficacité de l'éclaircissement en fonction des valeurs mesurées de L^* et b^* (figure 46). Le paramètre a^* sera traité à part.

Généralement, les valeurs maximales qu'on peut espérer atteindre dans les cas les plus favorables avec un patient jeune, à l'émail épais, translucide et des dents très jaunes initialement sont : $L^* \approx 95$, $b^* \approx 10$ pour les incisives ou $b^* \approx 15$ pour les canines et $a^* < 0$.

Dans tous les autres cas, plus le traitement sera prolongé dans le temps, plus on pourra espérer tendre vers ces valeurs. Néanmoins certaines limitations sont inévitables au contexte clinique.

Figure 46 : Pronostic de l'éclaircissement en fonction du L^* , a^* et b^*

	Fort $L^* > 85$	Moyen à faible $85 < L^* < 75$	Très Faible $L^* < 75$
Fort $b^* > 25$			
Moyen $15 < b^* < 25$			
Faible $b^* < 15$			

Excellent pronostic si l'émail est présent en bonne épaisseur (2 à 4 semaines de traitement)	Pronostic réservé (plus de 6 à 8 semaines de traitement)
Bon pronostic (3 à 8 semaines de traitement)	Mauvais pronostic si l'émail est déjà très lumineux ou faible/absent (traitement très long, peu de résultat)

Source : Auteur, 2019.

Nous avons illustré ci-dessous plusieurs cas cliniques correspondant aux différents cas de figures rencontrés chez les patients qui ont réalisé un éclaircissement.

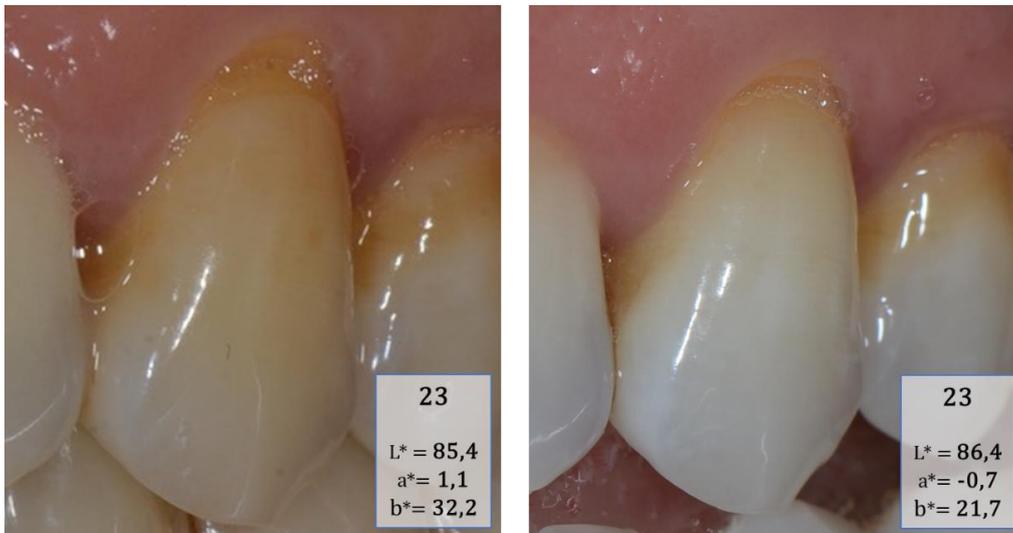
2.2.2.2 Cas cliniques :

I. Dents lumineuses et très jaunes [$L^* > 85$ et $b^* > 25$] :

Sur ces situations, la dent est lumineuse initialement et assez jaune. Comme il n'y a pas de raison d'avoir une diminution de la luminosité, mais qu'on a une bonne chance de diminuer la quantité de jaune (surtout si on applique les gouttières longtemps), le résultat a toutes les chances d'être très bon. C'est pour cela que dans le tableau précédent nous avons noté un excellent pronostic.

Cas clinique n°1 :

Figure 47 : Dent n°23 avant et après éclaircissement et paramètres L*a*b* associées



Source : Auteur, 2019.

L'éclaircissement est plus efficace au niveau de la zone coronaire par rapport à la zone cervicale. Cette dernière est éclaircie mais elle apparaît encore jaune. Il y a peu ou pas d'émail de cette dans cette zone, on perd l'effet de filtre de l'émail et la composante physique de l'éclaircissement liée à l'opacification de l'émail.

La quantité de lumière réfléchié a très peu augmenté pour cette dent. L'amélioration est tout d'abord liée, ici, à la diminution du **b***. Elle résulte de l'oxydation des chromophores et des protéines organiques de la dent ainsi que l'opacification de l'émail, qui agit comme un filtre, qui va laisser moins réfléchir la couleur jaune de la dentine. La dent apparaît plus blanche sans forcément être plus lumineuse.

L'oxydation des chromophores joue sur la diminution du **a*** également. Il devient même négatif (on est plus proche du vert dans la sphère chromatique).

Cas clinique n°2 :

Figure 48 : Bloc incisivo-canin mandibulaire avant et après éclaircissement (polarisées)



L*: min = 85; max = 92,5; moy = **89**
a*: min = 0,7; max = 1,5; moy = **1**
b*: min = 25,5; max = 32,7; moy = **28,4**



L*: min = 89,7; max = 96,3; moy = **93,5**
a*: min = -1,5; max = 0,9; moy = **0**
b*: min = 20,8; max = 26,5; moy = **22,8**

Ici sont affichées les valeurs moyennes pour les 6 dents, ainsi que les valeurs minimales et maximales mesurées pour les paramètres $L^*a^*b^*$. Le filtre polarisant permet retirer les reflets et de mieux apprécier les couleurs.

Source : Dr Attal, 2018.

Dans ce second cas, nous avons un L^* qui augmente de manière plus significative. Le patient est plus jeune que dans le premier cas (moins de 25 ans ici contre plus de 50 ans dans le premier cas). La quantité d'émail est plus importante chez le patient jeune, sa puissance de filtre serait plus importante. La couche d'émail va donc réfléchir plus de lumière incidente sans la transmettre à la dentine. Le L^* augmente. De plus le spectre de réflectance étant moins influencé par la couche dentinaire, la quantité de jaune b^* perçue par un observateur (ici le spectrophotomètre) diminue. La composante chimique agit également pour la diminution du b^* .

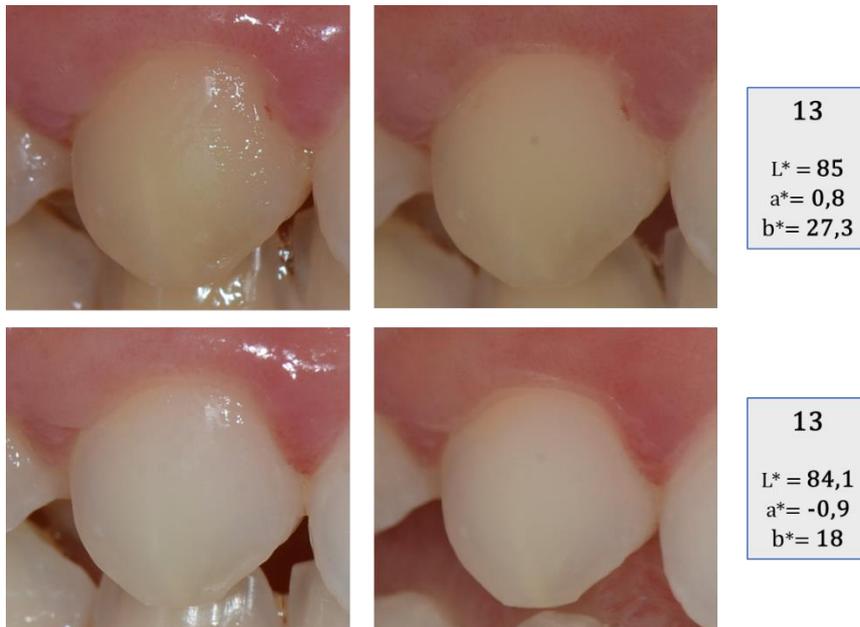
Ainsi, encore plus que pour le cas précédent, le pronostic est excellent pour des dents avec ces paramètres initiaux ($L^* > 85$ et $b^* > 25$) la dent est lumineuse et très jaune, elle va devenir très blanche grâce aux composantes physique et/ou chimique de l'éclaircissement.

Le paramètre a^* influence peu le résultat final, il dépend surtout de la quantité de chromophores présents. Il diminue toujours lors de l'éclaircissement et s'il est élevé (> 5) avant traitement, le résultat n'en sera que meilleur.

Dans certain cas, nous avons constaté que la luminosité peut légèrement diminuer dans les semaines qui suivent la fin du traitement d'éclaircissement. Cela peut être liée à une modification de la chimie de surface par réhydratation ou un relargage tardif de l'oxygène encore présent dans les tissus qui entrainerait une légère réversibilité du phénomène d'opacification.

Cas clinique n°3 :

Figure 49 : Dent 13 avant et après éclaircissement (sans et avec polariseur).



Le résultat est toujours satisfaisant grâce à la diminution du b^* et du a^* malgré la non modification de la luminosité.

Source : Dr Attal, 2018.

II. Dents moyennement lumineuses et très jaunes [$L^*\{75-85\}$ et $b^* > 25$] :

Sur ces situations, la dent est moyennement lumineuse initialement et assez jaune. On a de bonne chance de diminuer la quantité de jaune (surtout si on applique les gouttières longtemps), le résultat a toutes les chances d'être très bon. De plus, le pronostic va aussi dépendre de l'épaisseur d'émail présent. Plus elle est importante, encore meilleur sera le pronostic.

Cas clinique n°1 :

Figure 50 : Bloc incisivo-canin maxillaire et moyennes des paramètres L*a*b*



Fluorose légère à modérée avant et après éclaircissement (4 semaines).

Source : Dr Attal, 2018.

Ces photos présentent une situation de fluorose légère diffuse à localement modérée au niveau de la 21. Les tâches blanches diffuses sont des signes que le trajet de la lumière est perturbé par les zones d'émail hypominéralisées. Le milieu est inhomogène en indice de réfraction. La lumière est déviée plusieurs fois dans la lésion et il en résulte une opacité qui ne laisse pas la lumière être transmise aux couches sous-jacentes. De plus la lumière n'est pas correctement réfléchi au niveau de ces zones. Les dents sont donc moyennement lumineuses.

Lors de l'éclaircissement, ces tâches blanches peuvent apparaître plus étendues en surface, mais le phénomène est réversible à la fin du traitement.

L'éclaircissement va d'abord jouer sur la diminution du contraste entre la couleur naturelle de la dent et les tâches blanches. Les parties non atteintes vont devenir plus lumineuses et moins jaunes. Le L^* augmente et le b^* diminue.

Le traitement aurait pu être poursuivi quelques semaines supplémentaires si on souhaitait encore agir sur la composante chimique.

III. Dents peu lumineuses et très jaunes [$L^* < 75$ et $b^* > 25$] :

Dans ce cas de figure, la quantité d'émail va être déterminante pour le pronostic du résultat.

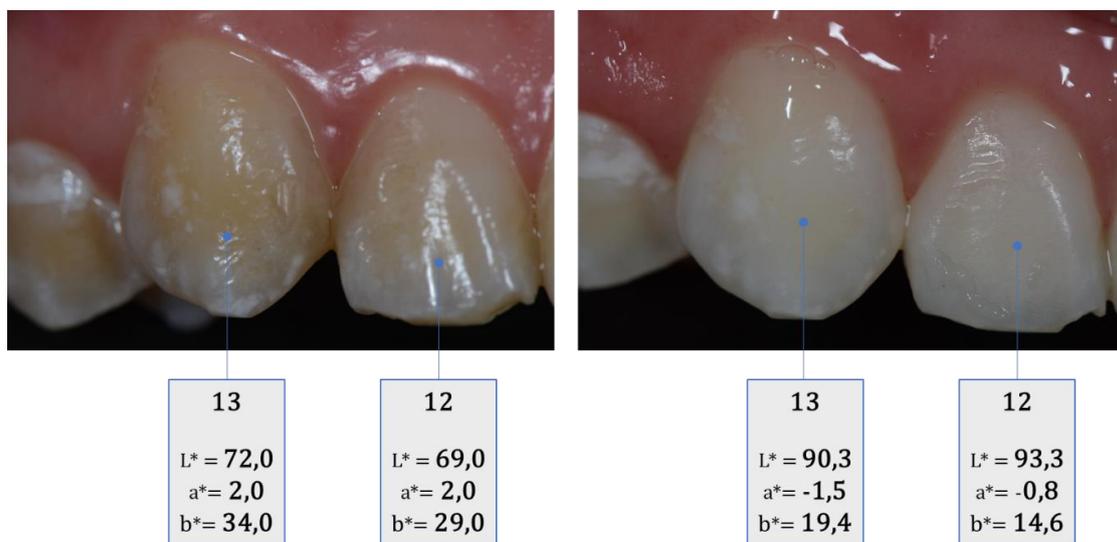
Si l'émail est présent en bonne épaisseur, comme chez un patient jeune par exemple, on va avoir une composante physique importante avec une bonne opacification amélaire. Des dents peu lumineuses $L^* < 75$ peuvent devenir très lumineuse $L^* > 85$.

Si l'épaisseur d'émail présente est faible, comme chez un patient âgé par exemple, on va plus compter sur la composante chimique de l'éclaircissement avec des résultats qui sont probants après un traitement beaucoup plus long. La luminosité va également augmenter en moindre proportion que chez le patient jeune.

Nous allons illustrer par 3 cas cliniques pour lesquels les pronostics vont dépendre de l'épaisseur de l'émail.

Cas clinique n°1 :

Figure 51 : Dents n°12 et 13 avant et après éclaircissement, paramètres L*a*b* associés



Source : Dr Attal, 2018.

La patiente est jeune (<25 ans), c'est un cas de fluorose modérée donc les dents sont peu lumineuses. La phase organique possède une proportion plus importante dans cet émail hypominéralisé et les espaces interprismatiques sont plus larges⁵⁴. Mais il y a une bonne épaisseur d'émail donc le résultat va être excellent. La composante chimique de l'éclaircissement va permettre d'oxyder les chromogènes de l'émail et de la dentine et retirer la coloration jaune. La lumière interagit moins (ou pas) avec les chromophores et l'opacification de l'émail permet de réfléchir plus de lumière et donc la rendre plus lumineuse. Ces 2 phénomènes nous mènent à une diminution du **b*** et une augmentation de la luminosité **L***.

On constate que les taches de fluoroses sont toujours présentes mais la diminution du contraste les rend moins perceptibles.

Un traitement d'érosion-infiltration peut être envisagé en complément pour optimiser le résultat final.

⁵⁴ Denis et al., « White defects on enamel : diagnosis and anatomopathology : two essential factors for proper treatment (part 1) ».

Cas clinique n°2 :

Figure 52 : Dents n°11 et 22 avant et après éclaircissement, paramètres L*a*b* associés



Source : Dr Attal, 2018.

Le patient est âgé (>50 ans), les dents sont peu lumineuses, il y a de l'usure amélaire liée à l'érosion avec des pertes de substances cervicales. La dent est imprégnée de colorations extrinsèques (fumeur et buveur de café) ce qui explique la valeur élevée de **a***.

Le **b*** est élevé car d'une part les dents présentent de nombreuses colorations extrinsèques et intrinsèques et d'autre part l'épaisseur d'émail est plus faible que chez un patient jeune, la couleur est plus influencée par la dentine.

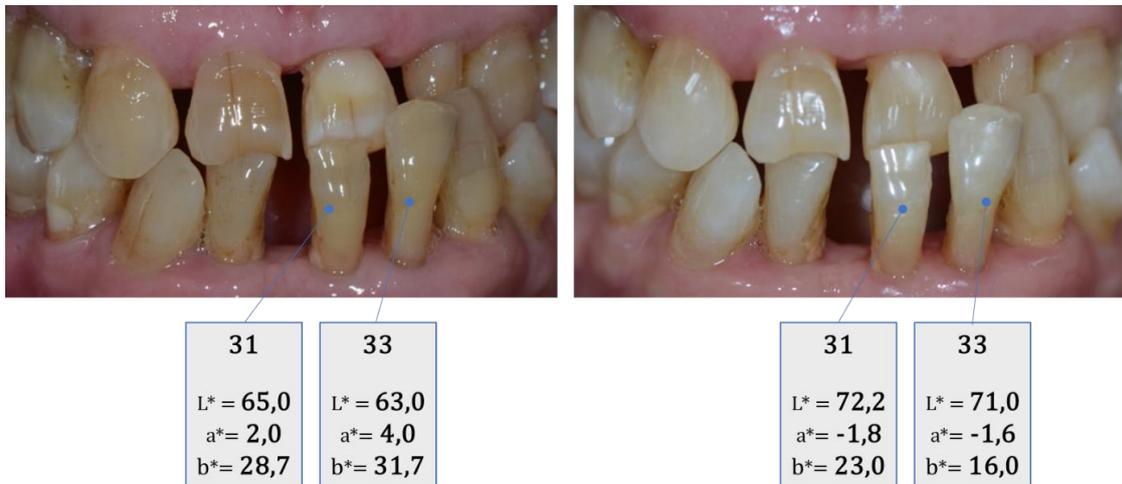
Après la thérapeutique d'éclaircissement, on constate une augmentation de la luminosité, mais on reste dans des valeurs moyennes proche de 80.

Le résultat est moins efficace au niveau des zones cervicales car il n'y a pas d'émail et on perd la composante physique de l'éclaircissement liée à l'opacification amélaire.

La quantité de rouge **a*** diminue également car les chromophores sont facilement oxydés.

Cas clinique n°3 :

Figure 53 : Dents n°31 et 33 avant et après éclaircissement, paramètre L*a*b* associés



Source : Dr Attal, 2017.

La patiente est âgée (<50 ans), les dents sont peu lumineuses et très jaunes. Il y a de l'usure amélaire et une exposition des surfaces radiculaires.

Le traitement ici est long (supérieur à 6 semaines) on agit plus sur la composante chimique de l'éclaircissement en oxydant les molécules chromogènes constitutives de la dentine et de l'émail.

Elles vont renvoyer moins de lumière jaune donc le **b*** va diminuer.

L'opacification de l'émail est présente mais en moindre proportion car l'épaisseur d'émail est plus faible. La luminosité va augmenter mais reste faible. Dans certains cas la luminosité n'augmente pas.

L'éclaircissement de la dentine sur une longue durée assure le résultat du traitement.

Cas clinique n°4 : Tâches de MIH

Figure 54 : Dent n°11 atteinte de MIH, paramètres L*a*b* de la tâche d'hypominéralisation



Source : Auteur, 2019.

C'est une patiente jeune (< 25 ans) atteinte de MIH au niveau de la 11, l'atteinte est légère en périphérie et modérée à sévère au centre avec une perte de substance amélaire superficielle.

Après éclaircissement, on constate qu'on a gagné en luminosité au niveau de la tâche même si elle reste faible. On a également éliminé une partie des chromophores inclus dans la tâche. Il y a moins de rouge et de jaune. La porosité de la tâche contribue à une recoloration assez rapide. En quelques semaines, on peut se retrouver avec les valeurs initiales de **a*** et de **b***.

On pourra compléter le traitement d'éclaircissement avec un traitement d'érosion-infiltration en profondeur en plus d'une restauration directe au composite par stratification qui permettront de masquer la tâche dont on a déjà amélioré les paramètres optiques.

IV. Dents très lumineuses et moyennement jaunes [L*>85 et b*{15 ;25}] :

Dans ce cas, l'épaisseur d'émail est souvent importante et la dent est déjà bien lumineuse. Pour les dents très translucides initialement, le pronostic est très bon car l'opacification amélaire va être efficace. Par contre, lorsque l'émail est déjà opaque, le ΔL^* sera faible et peu perceptible.

La quantité de jaune n'est pas très élevée initialement. Dans certains cas, elle va diminuer rapidement et atteindre les valeurs seuils, dans d'autres cas, la cinétique sera plus lente et le traitement sera plus long pour diminuer la quantité de jaune.

Cas clinique n°1 :

Figure 55 : Incisives mandibulaires avant et après éclaircissement paramètre L*a*b* associés (polarisées)



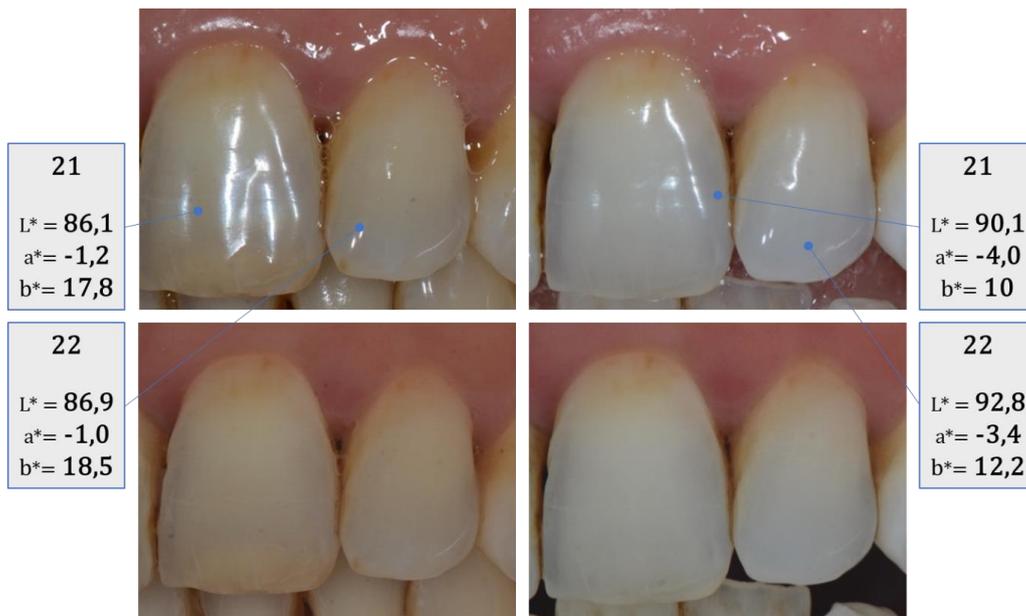
Source : Auteur, 2019.

C'est un cas de fluorose légère chez une patiente jeune (<25 ans), les dents sont déjà très lumineuses (>90 en moyenne) et la luminosité a très légèrement augmenté ($\Delta L^*=1,3$). De même pour la quantité de jaune **b*** qui a diminué seulement de 3 à 4 unités en moyenne (contre un $\Delta b^*>10$ pour les cas favorables).

On constate également que les tâches de fluoroses sont transitoirement plus étendues.

Cas clinique n°2 :

Figure 56 : Dent n°21 et 22 avant et après éclaircissement (sans et avec polariseur)



Source : Dr Attal, 2019.

Patient âgé (>50 ans), mais malgré tout on a une bonne épaisseur d'émail qui est également translucide. Après le traitement d'éclaircissement, on a donc une chance que les dents puissent devenir très lumineuses grâce à l'opacification amélaire qui va permettre à la lumière incidente d'être beaucoup plus réfléchi par la couche d'émail. D'ailleurs c'est ce qui se passe ici.

La quantité de rouge et de jaune diminue jusqu'à presque atteindre les valeurs limites.

On a l'impression que l'émail éclairci renvoi plus de lumière dans les longueurs d'onde proche du vert d'où le paramètre a^* qui progresse dans les valeurs négatives.

Sur les images polarisées, on constate que les bords amélaire sont moins translucides après éclaircissement.

V. Dents moyennement lumineuses et moyennement jaunes : $L^*\{75 ;85\}$ et $b^*\{15 ;25\}$:

Le pronostic est bon à réservé. L'éclaircissement fonctionne en améliorant les paramètres $L^*a^*b^*$.

Néanmoins la différence peut ne pas être aussi marquée que lorsqu'on part de plus loin pour les paramètres L^* et b^* . On va tout de même agir sur les 2 composantes de l'éclaircissement. Une bonne épaisseur d'émail donnera un meilleur pronostic. Le traitement sera un peu plus long.

Cas clinique n°1 :

Figure 57 : Dents n°11 et 21 avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur)



Source : Dr Attal, 2018.

Ici, les dents deviennent très lumineuses, par contre la quantité de jaune reste encore moyenne, surtout au niveau de la 11. Le traitement aurait pu être prolongé pour encore diminuer la quantité de jaune.

La mesure réalisée est plus cervicale sur cette dent car il y a une restauration directe au composite sur la partie incisale, les paramètres sont donc plus importants pour le a^* et le b^* .

On constate également l'apparition d'une tache blanche au niveau du bord incisif signe d'une hypominéralisation sous-jacente.

Cas clinique n°2 :

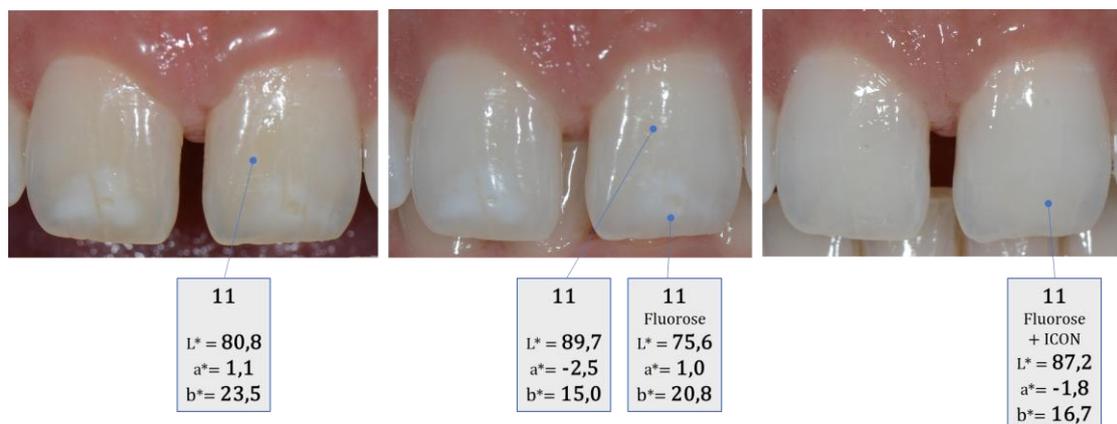
Figure 58 : Incisives maxillaires avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur)



Source : Dr Attal, 2018.

Encore un cas de fluorose légère, la quantité d'émail est importante et les dents sont plutôt translucides. L'opacification va être efficace et l'éclaircissement va donner un bon résultat. Le contraste, entre les tâches et la couleur des dents, a été atténué mais elles sont toujours discernables. La quantité de jaune a diminué grâce la composante chimique, elle est désormais faible (**b* < 15**). Un traitement d'érosion-infiltration peut être envisagé en complément afin de modifier les propriétés optiques des taches pour les faire correspondre avec la couleur des dents, comme illustré ci-dessous.

Figure 59 : Cas d'éclaircissement complété par une thérapeutique d'érosion-infiltration



L'érosion-infiltration a permis de rétablir un trajet correct de la lumière à travers les tissus, elle est mieux transmise et plus réfléchi. La tâche de fluorose infiltrée par l'ICON® est donc plus lumineuse.

Source : Dr Attal, 2018.

VI. Dents peu lumineuses et moyennement jaunes : $L^* < 75$ et $b^* \{15 ; 25\}$:

Dans ce cas, les dents sont peu lumineuses et moyennement jaunes. La quantité d'émail est également déterminante pour le pronostic de l'éclaircissement. Plus il est présent en bonne épaisseur, plus l'opacification amélaire va être importante, plus la luminosité a de grande chance d'augmenter après traitement. La quantité de jaune est moyenne $b^* \{15 ; 25\}$ donc la diminution liée à l'éclaircissement ne sera pas aussi importante que pour les cas avec un b^* élevé. Le pronostic est généralement bon à excellent, voire réservé quand la quantité d'émail est faible.

Cas clinique n°1 :

Figure 60 : Bloc incisif maxillaire avant et après éclaircissement



L^* : min = 59,0; max = 75,0; moy = **66,3**
 a^* : min = -1,5; max = 0,5; moy = **-0,4**
 b^* : min = 14,0; max = 19,0; moy = **16,0**

L^* : min = 72,5; max = 81,0; moy = **76,0**
 a^* : min = -3,4; max = -1,5; moy = **-2,5**
 b^* : min = 10,0; max = 17,5; moy = **13,0**

Source : Dr Attal, 2018.

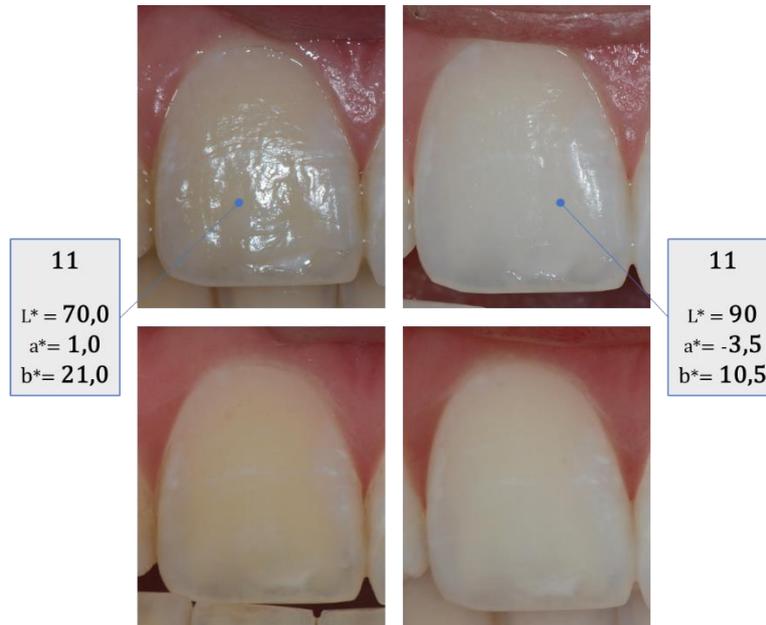
Nous avons ici une patiente âgée (>50 ans), le pronostic est bon à réservé. C'est un cas où les valeurs moyennes montrent leurs limites à cause de l'hétérogénéité des couleurs des dents.

Les dents sont peu lumineuses et présentent peu de coloration dans leur partie moyenne (a^* et b^* faibles).

On a un phénomène d'opacification de l'émail donc la luminosité augmente et les dents apparaissent plus blanches mais leur luminosité reste moyenne. La quantité de jaune a diminué mais le Δb^* est faible.

Cas clinique n°2 :

Figure 61 : Dent n°11 avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur)



Source : Dr Attal, 2019.

Ici le patient est jeune (<25 ans), l'émail est en bonne épaisseur et translucide et le caractère jaune de la dentine sous-jacente n'est pas très marqué. Le pronostic est excellent car l'opacification va être très efficace. On va obtenir une dent très lumineuse et très blanche avec un émail qui va bien filtrer la lumière arrivant sur la dentine. Pour cette dent, à la fin du traitement, on a atteint le maximum du potentiel d'éclaircissement lorsqu'on regarde les paramètres $L^*a^*b^*$.

VII. Dents très lumineuses et peu jaunes : $L^* > 85$ et $b^* < 15$:

Cette configuration n'a été retrouvée chez aucun de nos patients de la consultation avant le traitement d'éclaircissement jusqu'à présent. Pour les dents naturelles, la valeur de b^* est très souvent supérieure à 15. Donc ces valeurs correspondent plutôt à des dents ayant déjà été éclaircies. Le pronostic est réservé voire mauvais en termes d'évolution de ces paramètres en $L^*a^*b^*$.

Tout au mieux, on peut retrouver ces valeurs lors d'une séance de réévaluation chez un patient en cours de traitement. Si on les obtient après 3 semaines de traitement, on peut songer à le prolonger d'une semaine. Si on les obtient après 6 semaines de traitement, il faut arrêter.

VIII. Dents moyennement lumineuses et peu jaunes : $L^* \{75 ; 85\}$ et $b^* < 15$:

Nous sommes dans la même situation que précédemment, parfois les dents ont déjà été éclaircies et elles ont tendance à être grises. Le pronostic est réservé ou mauvais en termes de résultat.

Cas clinique n°1 :

Figure 62 : Bloc incisif maxillaire avant et après éclaircissement



Source : Dr Attal, 2019.

Dans ce cas c'est une patiente âgée (>50 ans) qui avait déjà eu recours à un traitement d'éclaircissement par le passé et souhaitait en réaliser un nouveau pour essayer d'améliorer le résultat. On constate que l'amélioration n'est pas très perceptible. Les 3 paramètres ont augmenté mais dans de très faibles proportions. On peut conclure que le pronostic est mauvais chez les patients ayant un émail fin et qui ont en plus déjà réalisé un traitement d'éclaircissement. De plus l'exposition radiculaire augmente la surface de zones que l'on a toujours du mal à éclaircir.

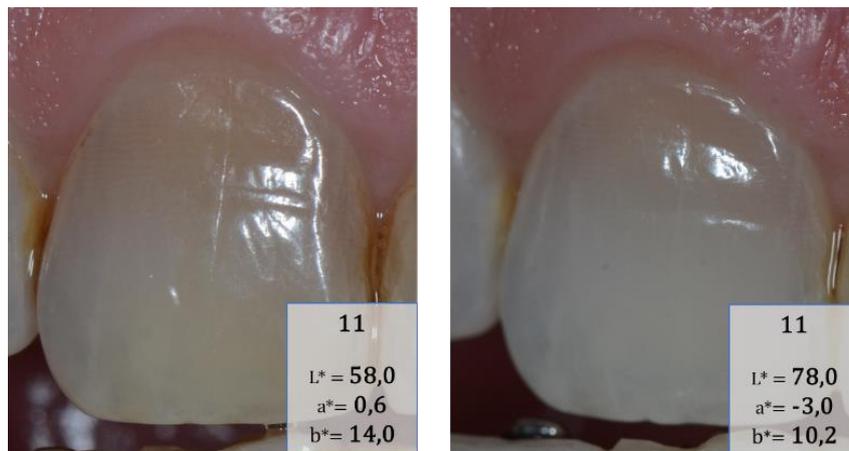
IX. Dents peu lumineuses et peu jaunes : L* < 75 et b* < 15 :

Dans ce cas, les dents apparaissent franchement grises. S'il y a un historique d'éclaircissement, le pronostic va être très réservé voire mauvais. On pourra éventuellement jouer sur la composante chimique en éliminant les colorations extrinsèques mais l'amélioration ne sera pas très significative.

Pour les patients n'ayant jamais eu recours à un traitement d'éclaircissement, le pronostic va dépendre de la présence d'émail en bonne épaisseur car on agira plus sur la composante physique avec une opacification de l'émail.

Cas clinique n°1 :

Figure 63 : Dent n°11 avant et après éclaircissement



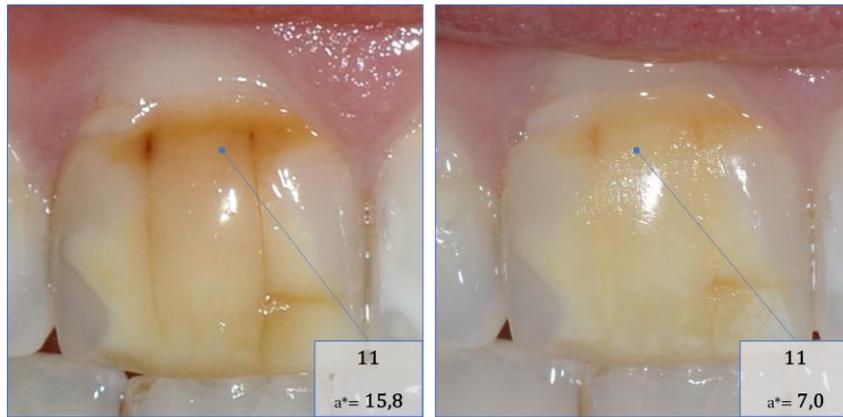
Source : Dr Attal, 2018.

Dans ce cas, les dents sont grises et il n'y a pas eu de traitement d'éclaircissement au préalable. Elles sont peu lumineuses et très peu colorées. Le pronostic est bon car la quantité d'émail présente est importante. La composante physique de l'éclaircissement opacifie l'émail et permet d'augmenter la réflexion lumineuse. En revanche on prévient la patiente qu'on ne pourra pas trop améliorer au niveau des collets. Si elle souhaite moins de coloration à ce niveau il faudra passer par la réalisation d'un composite.

X. Le paramètre a* :

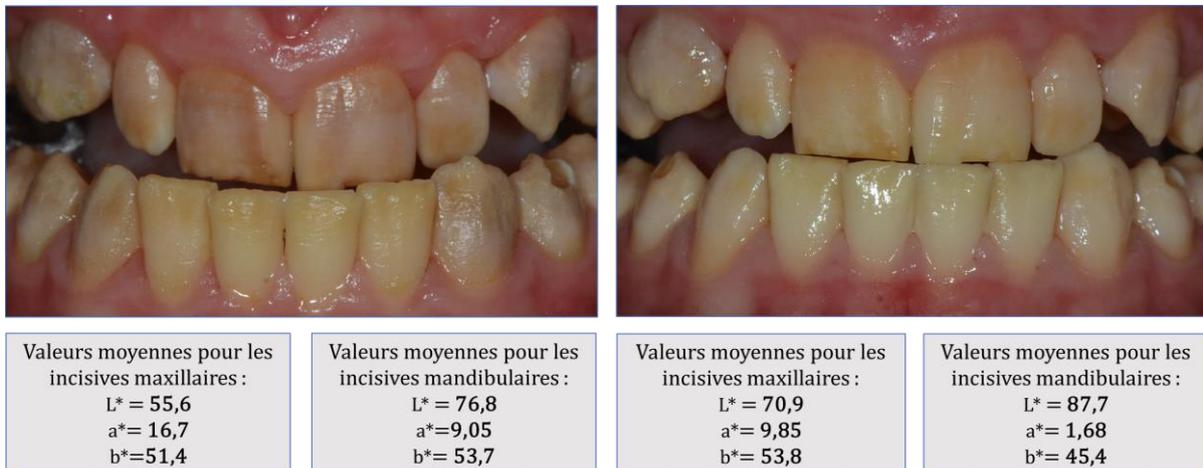
Le paramètre a^* correspond aux colorations extrinsèques absorbées par la dent. Il est généralement compris entre 0 et 5, et dans ces cas, la diminution du a^* va conduire à des valeurs proches de 0, voire négatives. Dans des cas de traumatismes survenus lors de la maturation des germes ou d'anomalies héréditaires (amélogénèse imparfaite, dentinogénèse imparfaite), la quantité de rouge peut devenir très important (supérieur à 10). Le traitement d'éclaircissement va permettre d'éliminer une grande partie de ces colorations. Le paramètre a^* diminuera toujours, même si on peut se retrouver avec des valeurs un peu plus élevées que la normale (figure 64 et 65).

Figure 64 : Diminution du paramètre a* dans un cas de traumatisme



Source : Dr Attal, 2019.

Figure 65 : Dentinogénèse imparfaite et avant et après éclaircissement



Source : Dr Attal, 2018.

2.2.3. Intérêt pédagogique de l'utilisation du spectrophotomètre

La prise photographique est un élément essentiel de l'évaluation de l'éclaircissement. Plusieurs photographies sont indispensables comme celles à l'échelle du visage, du sourire et dento-gingivale et cela avant et après traitement (figure 66). On pourra éventuellement prendre des photos, tout au long du traitement, lors de séance de réévaluation afin d'obtenir un suivi progressif.

Figure 66 : Photographies nécessaires pour le suivi du traitement d'éclaircissement



Source : Auteur, 2019.

Malgré ces éléments photographiques, il est possible que le patient n'arrive pas bien constater le résultat de l'éclaircissement (subjectivité de la perception) et demander à ce qu'on continue le traitement.

C'est à ce moment que le spectrophotomètre est très intéressant. Avec les valeurs colorimétriques pour chaque dent, il est facile d'expliquer au patient qu'une ou plusieurs dents ont quasiment donné leur maximum en potentiel d'éclaircissement et que continuer le traitement entrainerait des changements non significatifs en termes d'éclaircissement.

Figure 67 : Comparaison des photographies et des paramètres L*a*b* avant et après éclaircissement



Source : Auteur, 2019.

Toutes ces valeurs obtenues sont centralisées au sein du logiciel LabEclaircissement® (figure 68), aboutissement d'un projet imaginé par le Dr Jean-Pierre Attal.

Figure 68 : Capture d'écran de la page dossier patient du logiciel LabEclaircissement®

Source : Auteur, 2019.

Ce logiciel nous permet d'avoir accès à toutes les données récoltées par patient (paramètres colorimétriques de chaque dent, photographies) pour chaque séance. On obtient directement les courbes et les indicateurs numériques d'évolution⁵⁵.

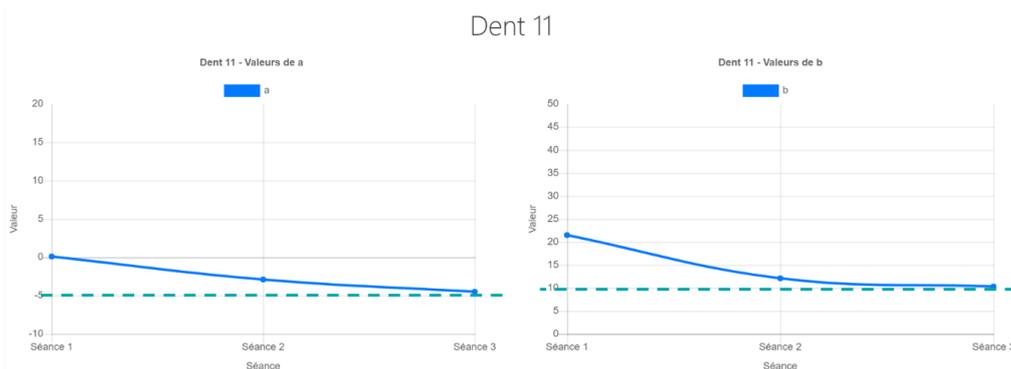
Figure 69 : Paramètres L*a*b* et indices colorimétriques dans le logiciel LabEclaircissement®

		Séance 3 du 15 octobre 2018 00:00:00							
		Praticien : test							
		Date : 15 octobre 2018 00:00:00 (0 minute après début de l'éclaircissement)							
		13	12	11	21	22	23		
w	.	20.79	14.9	13.4	14.63	14.57	25.62	.	.
wID	.	31.64	43.11	51.0	48.34	45.3	22.61	.	.
T3DM	.	1M2	0M3	0M3	1M1	0M3	2M2	.	.
Vitapan Classical	.	A1	B1	B1	B1	B1	A2	.	.
L	.	92.2	95.2	92.7	90.1	92.8	86.4	.	.
a	.	-1.7	-2.9	-4.5	-4.0	-3.4	-0.7	.	.
b	.	19.2	13.8	10.3	10.0	12.2	21.7	.	.
bl	.	8.0	5.0	4.0	4.0	5.0	5.0	.	.

Source : Auteur, 2019.

⁵⁵ Luo et al., « Comparison of the ability of different colour indices to assess changes in tooth whiteness ».

Figure 70 : Courbes d'évolution des paramètres a* et b* dans le logiciel LabEclaircissement®



Dans ce cas, on atteint des valeurs proches de la limite pour chaque paramètre.

Source : Auteur, 2019.

Ces graphiques sont visuellement parlant pour le patient. On peut aisément lui montrer la cinétique d'évolution des paramètres L*, a* et b*. On peut lui expliquer avec le graphique que :

- L'évolution a été rapide au début du traitement et que maintenant ça ralentit car on approche de la fin du traitement.
- Continuer le traitement n'aurait pas beaucoup d'intérêt, on ne va pas gagner grand chose et le peu qu'on gagnerait ne sera pas forcément visible ($\Delta E < 1$). Donc il est temps de s'arrêter.
- On s'est rapproché de la couleur blanche de référence.

Certaines dents sont en décalage par rapport aux autres, on peut continuer ponctuellement le traitement.

2.3. Les limites de l'utilisation du spectrophotomètre et alternatives

2.3.1 Les limites

- L'utilisation du spectrophotomètre nécessite, même si faible, une courbe d'apprentissage afin de correctement positionner la sonde à chaque utilisation. Il peut en résulter un ΔE entre 2 mesures consécutives plus important chez un utilisateur novice que chez un utilisateur expérimenté.⁵⁶ Cela peut être compensé par l'utilisation d'un guide de repositionnement (fastidieux à réaliser pour chaque patient).
- Certains spectrophotomètres donnent une mesure ponctuelle sur 3 à 5 mm de diamètre. Nous n'avons pas une cartographie globale de la dent comme peut le permettre d'autres spectrophotomètres sur le marché. Pour les dents avec une importante démarcation de

⁵⁶ Blum, Horn, et Olms, « A comparison of intraoral spectrophotometers - are there user-specific differences ? »

couleur entre les parties coronaire et cervicale, plusieurs mesures peuvent être prise pour suivre indépendamment l'évolution de ces 2 zones.

- Un diamètre trop faible d'ouverture de la sonde réceptrice entraîne le phénomène de « edge-loss ». ⁵⁷ Pour les surfaces translucides comme la dent, cela s'explique par le fait que plus la longueur d'onde des photons incidents est grande, plus les rayons sont diffusés ou transmis à travers la dent. Les photons « bleus » et « verts », de plus faible longueur d'onde que les photons « rouge » et « jaune », sont moins affectés par ce phénomène et reviennent plus vers la sonde réceptrice. Il en résulte une diminution globale des paramètres $L^*a^*b^*$. Plus le diamètre est petit, plus le phénomène de « edge-loss » est important.
- Nous n'avons que les paramètres $L^* a^* b^*$ tandis que la couleur de la dent est également caractérisée par l'opacité, la fluorescence et l'opalescence ⁵⁸.
- Le coût du matériel peut s'avérer être un frein (coût qui peut être supérieur à 2000€).
- L'utilisation du spectrophotomètre nous donne accès de nombreuses données qu'il va falloir comprendre et interpréter. Des bases en colorimétries sont donc nécessaires.
- Il faut aussi pouvoir stocker toutes ces données et pouvoir les récupérer facilement (d'où la création du logiciel LabEclaircissement® en cours de développement).

2.3.2 Les alternatives

2.3.2.1. Le teintier spécialisé

Comme alternative au spectrophotomètre pour l'évaluation de l'éclaircissement, l'utilisation du teintier VITA Bleachedguide 3D Master est recommandée ⁵⁹ (figure 71).

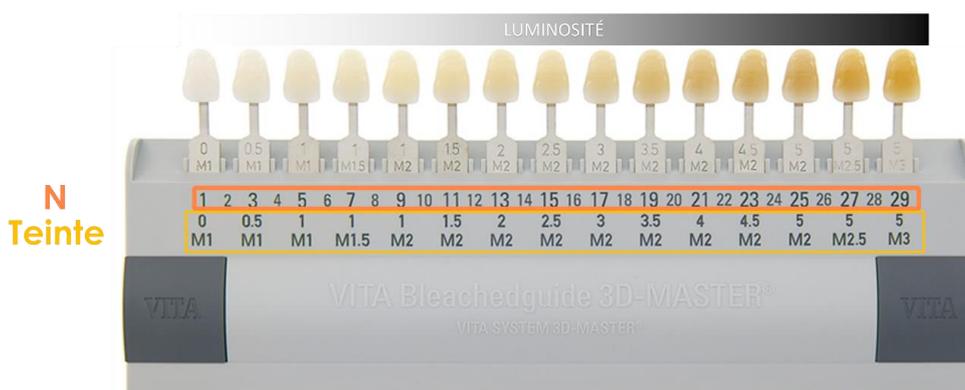
L'avantage de ce teintier par rapport aux teintiers traditionnelles est que les barrettes sont classées par gradient de luminosité de la gauche vers la droite. La luminosité est le paramètre le plus adapté pour évaluer l'éclaircissement dentaire car l'œil humain est beaucoup plus sensible aux variations de luminosité que de chroma (a^* et b^*).

⁵⁷ Bolt, Bosch, et Coops, « Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth ».

⁵⁸ Bazos et Magne, « Bio-emulation : biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach : visual synthesis ».

⁵⁹ Paravina, « New shade guide for tooth whitening monitoring : visual assessment ».

Figure 71 : Teintier VITA Bleachedguide 3D-Master



N = indice de blancheur

Source : VITA®.

Ce teintier nous donne également accès à l'indice blancheur « N », compris entre 1 et 29, avec lequel on peut quantifier le gain de teinte.

Figure 72 : : Cas d'éclaircissement interne et externe sur la dent n°21



Source : Auteur, 2019.

On est passé de N=18 à N=9, on a donc gagné 9 teintes. Néanmoins, cela reste une mesure subjective qui va être influencée par plusieurs paramètres comme vu précédemment.

2.3.2.1. Le filtre polarisant (double polarisation croisée)

La photographie à l'aide d'un filtre polarisant constitue une alternative au spectrophotomètre. On peut visualiser la couleur des tissus dentaires sans la pollution lumineuse des reflets.

Figure 73 : Filtre polarisant Polar_eyes®



Source : PhotoMed, polar_eyes® metz.

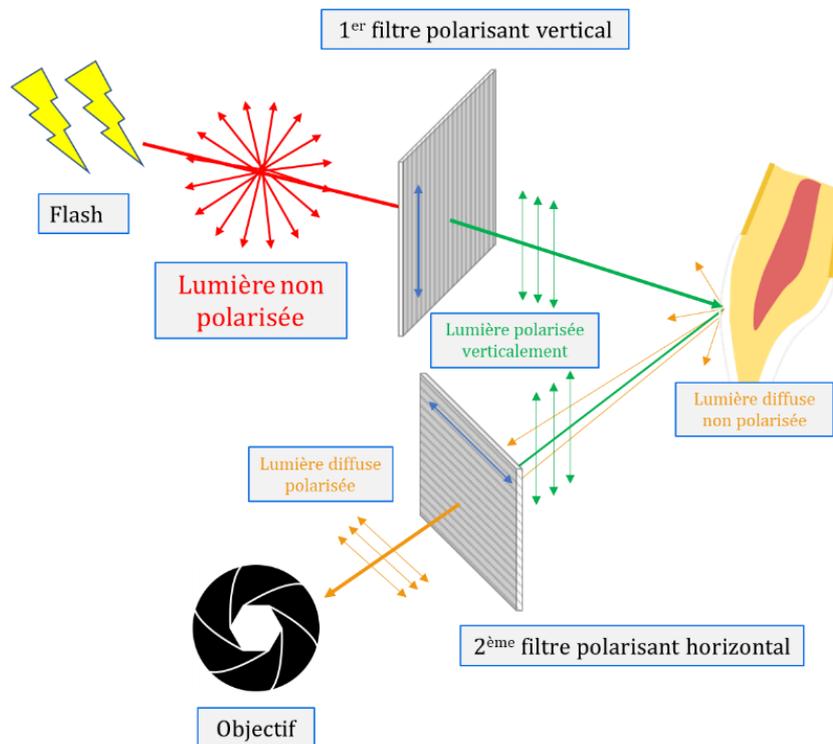
Description du fonctionnement (figure 74) :

La lumière émise par le flash est polarisée une fois par le premier filtre. Elle oscille donc que dans un seul sens de l'espace, donné par l'orientation du filtre.

Elle interagit avec la dent selon les mécanismes décrits précédemment (réflexion, absorption, transmission, diffusion) et la lumière résultante, provenant de la dent, n'est plus polarisée. Elle oscille de nouveau dans tous les sens de l'espace.

Par contre, les reflets du flash qui rebondissent sur la dent oscillent toujours dans le même sens que la lumière polarisée du flash. Ces reflets vont être arrêtés par le deuxième filtre situé au niveau de l'objectif, orienté à 90° par rapport au premier filtre.

Figure 74 : Schéma de principe de la double polarisation croisée de la lumière



Source : Auteur, 2019.

Il en résulte l'absence de réflexion lumineuse (figure 75), la perte des détails de surface (ou caractérisation⁶⁰). C'est comme si la couche d'émail superficielle avait été éliminé et les couleurs apparaissent plus saturées. La couche d'émail est responsable de la réflexion spéculaire qui donne la luminosité de la dent et sa caractérisation de surface. On obtient une dent sans relief avec la couleur des couches sous-jacentes. On peut ainsi confirmer la présence de jaune ou pas derrière les reflets brillants éliminés.

Figure 75 : Comparaison de photographies avec et sans polariseur



Source : Dr Attal.

Associé au teintier VITA Bleachedguide, la prise de la couleur des dents éclaircies peut être standardisée à l'aide du filtre polarisateur.

⁶⁰ Lasserre, « Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles ».

3 : Expérimentations

3.1. Introduction

Nous avons vu que le spectrophotomètre Easyshade® nous donnait accès à 2 mesures des paramètres L^* a^* b^* , l'une concernant le premier millimètre avec l'anneau central de mesure, et l'autre, les deux 1^{ers} millimètres de profondeur grâce à l'anneau externe. Ces mesures étant fiables et reproductibles, il est intéressant de suivre l'évolution de ces 2 mesures après diverses expérimentations.

Sachant que l'épaisseur d'émail est, en moyenne, pour les adultes, de 1mm à sa partie médiane pour les dents antérieures, la mesure sur le 1^{er} mm nous donne donc essentiellement des informations sur l'évolution de la couleur de l'émail. Cette mesure sera plutôt indépendante de la couche de dentine sous-jacente. Avec la mesure sur 2mm, qui intègre globalement le 1^{er} mm d'émail et le premier mm de dentine, nous avons également des informations sur la couche de dentine sous-jacente se situant 1mm sous l'émail. Cette distinction de la couleur, entre celle de l'émail et celle de l'émail et la dentine, pourrait nous permettre de mieux comprendre les mécanismes d'éclaircissement, tout en nous permettant de mieux comprendre ce que mesure réellement les grandeurs L^* a^* b^* .

En effet on devrait pouvoir comprendre quel est le tissu dentaire majoritairement concerné par une augmentation du L^* et la diminution du a^* et du b^* lors de l'éclaircissement. On pourrait aussi probablement affiner notre pronostic de traitement d'éclaircissement si on pose par exemple l'hypothèse que l'oxydation des chromophores se fait plus facilement au sein de l'émail (chromophores libres, concentration maximale de H_2O_2 , aucune dilution de H_2O_2 car peu d'eau dans le tissu...). Ainsi un patient avec un b^* élevé surtout lié à l'émail pourrait être un cas très favorable alors qu'un patient avec un b^* élevé surtout lié à la dentine pourrait être un cas défavorable.

Voici autant d'hypothèses qui nous restent à étudier. L'étude *in vitro* qui va suivre est une première contribution dans ce sens. Nous allons nous concentrer sur les 2 paramètres les plus importants, à savoir L^* et b^* .

3.2. Objectifs

L'objectif de ces expérimentations est de mesurer la contribution de l'émail et de la dentine à la couleur de la dent, grâce au suivi des paramètres L^* et b^* sur 1 et 2mm de profondeur, à l'aide du spectrophotomètre Easyshade®

, et ce, avant et après éclaircissement. Nos résultats seront comparés à ceux obtenues par Ma et al.⁶¹ dans leur évaluation de la contribution séparée de l'émail et de la dentine dans l'éclaircissement.

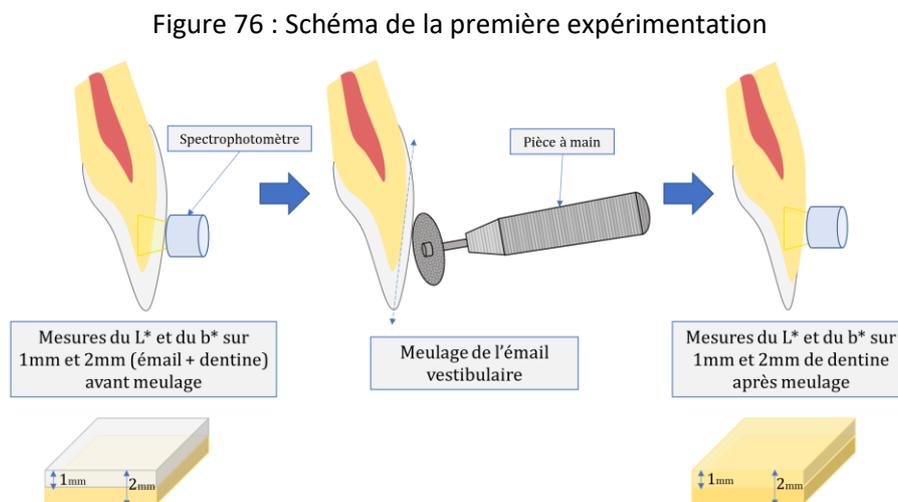
3.3. Matériel et méthode

Nous avons sélectionné des incisives et des canines extraites pour des raisons orthodontiques ou parodontales. Ces dents étaient préalablement conservées dans la chloramine-T à 1 %, à température ambiante. Elles ont été désinfectées à l'éthanol et rincées à l'eau distillé pour les expérimentations. Le spectrophotomètre Easyshade® nous a permis de relever les paramètres L* et b* sur le 1er et 2ème mm de profondeur.

3.3.1. 1^{ère} expérimentation

Pour la première expérimentation, nous avons sélectionné 5 dents, dont nous avons éliminé la couche d'émail vestibulaire par meulage.

Les paramètres L* et b* ont été relevés sur la partie médiane de la dent avant et après meulage de la couche d'émail. Les données obtenues concernent les 1 et 2mm de profondeur.

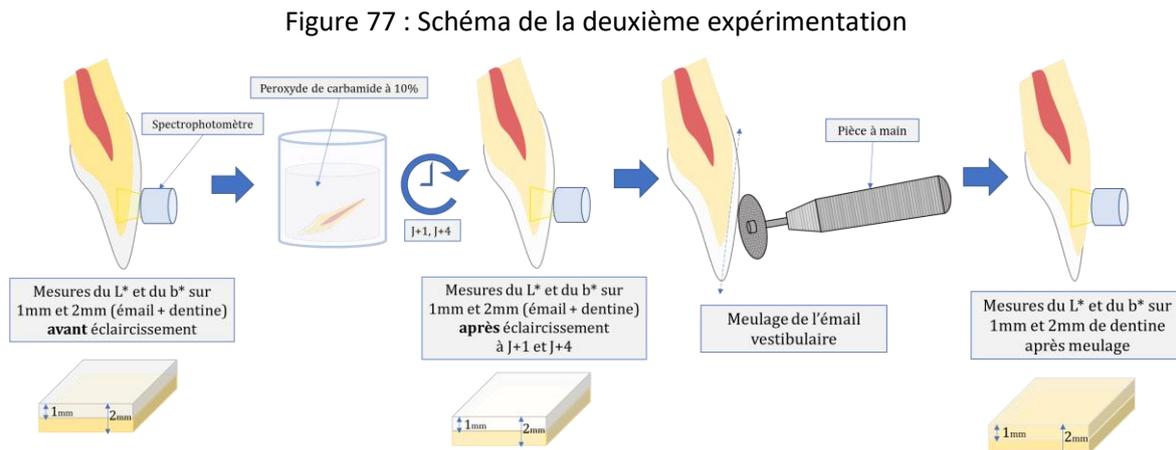


Source : Auteur, 2019.

⁶¹ Ma et al., « Separate contribution of enamel and dentine to overall tooth colour change in tooth bleaching ».

3.3.2. 2nd expérimentation

Pour la seconde expérimentation, nous avons sélectionné 5 autres dents qui ont été plongées dans du peroxyde de carbamide à 10 % (Polanight PC 10 %, SDI®) pendant 4 jours. A la suite de ces 4 jours, nous avons éliminé la couche d'émail vestibulaire par meulage. Le relevé des paramètres L^* et b^* a été effectué avant éclaircissement, à J+1 et J+4 après éclaircissement et enfin après meulage de l'émail vestibulaire.



Source : Auteur, 2019.

3.4. Résultats

L'ensemble des résultats pour chaque dent testée est disponible dans l'annexe.

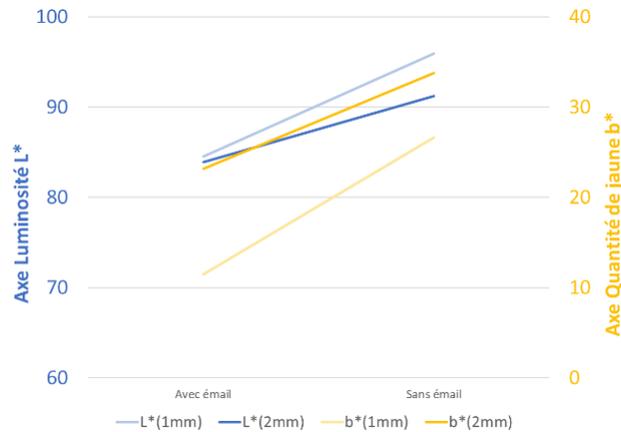
3.4.1. 1^{ère} expérimentation

Les résultats de la première expérimentation sont présentés sur la figure 78. On constate :

- Que le 1^{er} mm d'émail possède des valeurs de L^* proche de l'association émail/dentine sur 2mm. En revanche, lorsque l'émail est éliminé, on note que la luminosité augmente fortement, et ce, plus dans le 1^{er} mm que dans les 2 premiers millimètres. Il semblerait donc que l'essentiel de la luminosité de la dent soit lié au premier mm de dentine et non à l'émail comme on l'imaginait initialement. Et par ailleurs cette forte luminosité de la dentine n'est pas « visible » par la mesure à 2mm sur l'émail.
- Que le 1^{er} mm d'émail possède des valeurs de b^* nettement plus faibles (11,5) que l'association émail/dentine sur 2mm (23,2). Alors que la luminosité de la dentine n'était pas visible sur l'émail à 2mm, on constate ici l'inverse avec le paramètre b^* . On constate également, qu'après élimination de cette couche d'émail par meulage, une augmentation

forte de b^* , et encore plus forte à 2mm. Comme si la couleur de la dentine devenait de plus en saturée au fur et à mesure qu'on se rapproche de la pulpe.

Figure 78 : Evolution des paramètres L^* et b^* après élimination de la couche d'émail



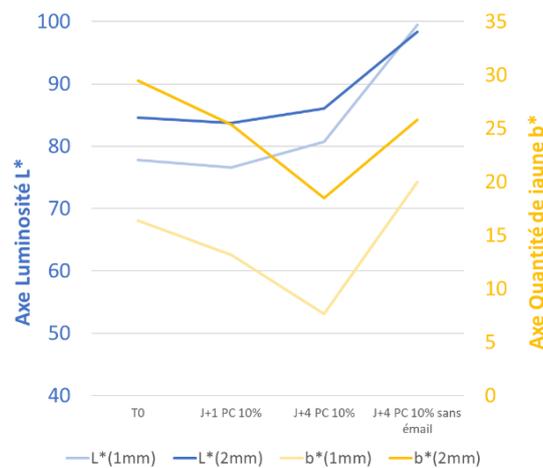
Source : Auteur, 2019.

3.4.2. 2nd expérimentation

Les résultats de la deuxième expérimentation sont présentés sur la figure 79. On constate :

- Qu'après 4 jours plongées dans le peroxyde de carbamide à 10 %, on a globalement une légère augmentation du paramètre L^* . Lorsqu'on retire l'émail, cette luminosité augmente un peu comme précédemment, sans être vraiment influencé par l'éclaircissement.
- Une diminution importante du b^* sur 1 et 2mm, mesuré sur l'émail. En revanche la dentine reste bien jaune, sur 1mm mais surtout sur 2mm.

Figure 79 : Evolution des paramètres L^* et b^* après 4 jour d'éclaircissement puis élimination de l'émail



Source : Auteur, 2019.

3.5. Discussion

3.5.1. La contribution de l'émail et la dentine au b^* de la dent

La couleur de la dent naturelle est définie majoritairement par la dentine qui est un corps plus saturé que l'émail. Ce qui est cohérent avec les résultats de la première expérimentation pour laquelle on obtient un b^* du 1^{er} mm (émail) inférieur au b^* des 2 premiers mm (émail + dentine). Cette valeur est également inférieure aux mesures effectuées sur le 1^{er} mm de dentine après avoir éliminé la couche d'émail. Une faible partie de la saturation est donc portée par l'émail mais l'essentiel par la dentine.

3.5.2. La luminosité de la dent

L'émail naturel est un tissu translucide, il laisse donc passer la lumière. Sa luminosité devrait être plus faible que la dentine, ce que confirme l'expérimentation n°1 avec les mesures de L^* plus importantes pour les 1^{ers} mm de dentine comparé aux 1^{ers} mm d'émail. Notons qu'on entend souvent dire que l'émail apporte de la luminosité à la dent, alors qu'en réalité c'est bien le rôle de la dentine.

3.5.3. L'éclaircissement et l'évolution des paramètres L^* et b^*

Après éclaircissement, on constate une diminution globale de la quantité de jaune b^* sur 1 et 2mm associée à une légère augmentation de la luminosité (expérimentation 2).

L'augmentation de la luminosité sur le 1^{er} mm d'émail serait liée à l'opacification amélaire, l'émail perd en translucidité pour réfléchir une quantité plus importante de lumière⁶². L'émail éclairci filtrerait donc la lumière provenant de la dentine, réduisant son influence sur la couleur de la dent éclaircie. Ce mécanisme a déjà été décrit par Ma et al, dans leur expérimentation, en tant qu'opacification amélaire. D'un point de vue physique, le rôle de filtre de l'émail pourrait être lié à l'absorption des longueurs d'onde proche du jaune (580 nm) et la réémission de longueurs d'onde proche du bleu (480 nm).

Après élimination du 1^{er} mm d'émail éclairci, on a une augmentation importante du b^* sur 1mm (donc 1mm de dentine) dont la valeur se rapproche du b^* mesuré sur les 2 premiers mm (après éclaircissement, émail + dentine). Le b^* de la dent éclaircie serait donc déterminé par la dentine car il diminue de façon plus importante dans l'émail.

L'éclaircissement agirait en partie par la diminution de la quantité de jaune dans l'émail. Diminution liée à l'oxydation des chromophores ou modification des propriétés optiques de l'émail qui émettrait

⁶² Ma et al.

dans les longueurs d'onde proche de bleue (480nm) de façon plus importante que pour une dent non éclaircie...

3.6. Conclusion

Après ces expérimentations on peut tirer les conclusions suivantes :

- 1) La luminosité de la dent naturelle n'est pas spécifique de l'émail, elle est plutôt apportée par la dentine.
- 2) Le b^* est majoritairement lié à la dentine et il diminue nettement après éclaircissement
- 3) La luminosité de l'émail augmente avec l'éclaircissement en s'opacifiant et filtre les photons lumineux en rendant moins visible la dentine.
- 4) Il semble y avoir un gradient de saturation dans la dentine, la dentine profonde étant plus saturée.

Conclusion

L'éclaircissement dentaire est une thérapeutique amenée à être de plus en plus réalisée en cabinet libéral ou l'hôpital. Il devient donc nécessaire de bien poser les indications du traitement, de standardiser son évaluation ainsi que de pouvoir bien pronostiquer les résultats. C'est pourquoi nous nous sommes penchés sur le spectrophotomètre, un outil qui semble répondre à ces questions et ce de façon la plus objective possible, contrairement aux autres méthodes d'évaluations visuelles. Cependant, le spectrophotomètre n'a pas pour vocation d'occulter les autres outils évaluation, il apparait comme un complément qui permet d'obtenir des mesures plus précises et objectives.

Ainsi nous avons vu que la couleur des dents était le résultat de l'interaction entre plusieurs phénomènes complexes et grâce à cet outil nous avons accès une partie de ses caractéristiques, avec la mesure des paramètres colorimétriques $L^*a^*b^*$. Ces paramètres, facilement accessibles, nous permettent d'obtenir des éléments objectifs sur l'évaluation de l'éclaircissement. Et grâce à cela, ils nous donnent la possibilité d'émettre un pronostic sur la réussite du traitement en fonction du diagnostic initial et de savoir si on peut arrêter ou prolonger le traitement. De plus, c'est un outil qui va également nous aider à communiquer avec le patient.

Quant aux expérimentations réalisées, nous avons pu constater des contributions différentes de l'émail et de la dentine à la couleur de la dent ainsi que des cinétiques différentes dans l'évolution des paramètres $L^*a^*b^*$ lors de l'éclaircissement. Il apparait donc logique qu'une mesure plus précise de ces paramètres, en sachant dans quel tissu se situent majoritairement les colorations, nous permettraient d'affiner le pronostic de l'éclaircissement.

D'ailleurs, ce sont des mesures que l'on commence à obtenir sur 1mm et 2mm de profondeur grâce au spectrophotomètre de la consultation de traitement des dyschromies à Charles-Foix. Ainsi ces résultats nous ouvrirons la voie vers une compréhension plus poussée des mécanismes de l'éclaircissement et de son évaluation encore plus précise.

Bibliographie

- Andreasen, J. O., et S. S. Ahrensburg. « History of the dental trauma guide ». *Dental traumatology* 28, n° 5 (2012): 336-44. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2011.01097.x>.
- Baltzer, A., et V. Kaufmann-Jinoian. « La définition des teintes de dent ». *Quintessenz zahntechnik* 30, n° 7 (2004): 726-40.
- Bazos, P., et P. Magne. « Bio-emulation : biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach : visual synthesis ». *The international journal of esthetic dentistry* 9, n° 3 (2014): 330-52.
- Blum, S. L., M. Horn, et C. Olms. « A comparison of intraoral spectrophotometers - are there user-specific differences ? ». *Journal of esthetic and restorative dentistry* 30, n° 5 (2018): 442-48. <https://doi.org/10.1111/jerd.12407>.
- Boksman, L., et R. E. Jordan. « Conservative treatment of the stained dentition : vital bleaching ». *Australian dental journal* 28, n° 2 (1983): 67-72. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1983.tb01081.x>.
- Bolt, R. A., J. J. Bosch, et J. C. Coops. « Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth ». *Physics in medicine and biology* 39, n° 7 (1994): 1133-42.
- Bosch, J. J. ten, et J. C. Coops. « Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness ». *Journal of dental research* 74, n° 1 (1995): 374-80. <https://doi.org/10.1177/00220345950740011401>.
- Denis, M., A. Atlan, E. Vennat, G. Tirlet, et J.-P. Attal. « White defects on enamel : diagnosis and anatomopathology : two essential factors for proper treatment (part 1) ». *International orthodontics* 11, n° 2 (2013): 139-65. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2013.02.014>.
- D’Incau, E. « Couleur et choix de la teinte en odontologie ». In *Esthétique en odontologie*, édité par M. V. Berteretche, 23-37. Malakoff : Editions CdP, 2014.
- Eimar, H., B. Marelli, S. Nazhat, S. Abi Nader, Wala M. Amin, J. Torres, et al. « The role of enamel crystallography on tooth shade ». *Journal of dentistry*, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.11.008>.
- Eimar, H., R. Siciliano, M. N. Abdallah, S. A. Nader, W. M. Amin, P.-P. Martinez, et al. « Hydrogen peroxide whitens teeth by oxidizing the organic structure ». *Journal of dentistry* 40 (2012): 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.08.008>.
- Fairchild, M. D. « Color appearance models and complex visual stimuli ». *Journal of dentistry* 38 (2010): 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.05.008>.
- Fondriest, J. « Shade matching in restorative dentistry : the science and strategies ». *The international journal of periodontics & restorative dentistry* 23, n° 5 (2003): 467-79.
- . « The optical characteristics of natural teeth ». *Inside dentistry* 8, n° 11 (2012). <https://www.aegisdentalnetwork.com/id/2012/11/the-optical-characteristics-of-natural-teeth>.
- Gabet, A. « Connaître les mécanismes de l’éclaircissement dentaire externe pour comprendre et traiter les cas difficiles ». Thèse d’exercice, Université Paris Descartes, 2017.
- Goldberg, M., J. Arends, Jongebloed W. L., J. Schuthof, et D. Septier. « Action of urea solutions on human enamel surfaces ». *Caries research* 17, n° 2 (1983): 106-12. <https://doi.org/10.1159/000260657>.
- Gómez-Polo, C., J. Montero, M. Gómez-Polo, J. A. de Parga, et A. Celemin-Viñuela. « Natural tooth color estimation based on age and gender ». *Journal of prosthodontics* 26, n° 2 (2017): 107-14. <https://doi.org/10.1111/jopr.12345>.

- Guo, Y. R., X. Yang, X. W. Feng, Y. Sa, M. Wang, P. Li, et T. Jiang. « New insights into effects of aromatic amino acids on hydroxyapatite ». *Journal of dental research* 97, n° 4 (2018): 402-8. <https://doi.org/10.1177/0022034517741274>.
- Hasegawa, A., I. Ikeda, et S. Kawaguchi. « Color and translucency of in vivo natural central incisors ». *The journal of prosthetic dentistry* 83, n° 4 (2000): 418-23.
- Haywood, V. B., et H. O. Heymann. « Nightguard vital bleaching ». *Quintessence international* 20, n° 3 (1989): 173-76.
- Horn, D. J., J. Bulan-Brady, et M. L. Hicks. « Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade ». *Journal of endodontics* 24, n° 12 (1998): 786-90. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80002-2).
- Ishikawa-Nagai, S., T. Terui, K. Ishibashi, H. P. Weber, et M. Ferguson. « Comparison of effectiveness of two 10 % carbamide peroxide tooth-bleaching systems using spectrophotometric measurements ». *Journal of esthetic and restorative dentistry* 16, n° 6 (2004): 368-75. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2004.tb00070.x>.
- Joiner, A. « Tooth colour : a review of the literature ». *Journal of dentistry* 32, n° supplement (2004): 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2003.10.013>.
- Joiner, A., et W. Luo. « Tooth colour and whiteness : a review ». *Journal of dentistry* 67 (2017): S3-10. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.09.006>.
- Judeh, A., et A. Al-Wahadni. « A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection ». *Quintessence international* 40, n° 9 (2009): 69-79.
- Kershaw, S., J. T. Newton, et D. M. Williams. « The influence of tooth colour on the perceptions of personal characteristics among female dental patients : comparisons of unmodified, decayed and "whitened" teeth ». *British dental journal* 204, n° 5 (2008): 256-57. <https://doi.org/10.1038/bdj.2008.134>.
- Kim, H.-K. « A study on the color distribution of natural teeth by age and gender in the Korean population with an intraoral spectrophotometer ». *Journal of esthetic and restorative dentistry* 30, n° 5 (2018): 408-14. <https://doi.org/10.1111/jerd.12424>.
- Kim-Pusateri, S., J. D. Brewer, E. L. Davis, et A. G. Wee. « Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices ». *The journal of prosthetic dentistry* 101, n° 3 (2009): 193-99. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(09\)60028-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(09)60028-7).
- Lasserre, J.-F. « Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles ». *Clinic* 28 (2007): 417-40.
- Luo, W., S. Westland, P. Brunton, R. Ellwood, I. A. Pretty, et N. Mohan. « Comparison of the ability of different colour indices to assess changes in tooth whiteness ». *Journal of dentistry* 35, n° 2 (2007): 109-16. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2006.06.006>.
- Ma, X., R. Li, Y. Sa, S. Liang, L. Sun, T. Jiang, et Y. Wang. « Separate contribution of enamel and dentine to overall tooth colour change in tooth bleaching ». *Journal of dentistry* 39, n° 11 (2011): 739-45. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.08.005>.
- Marcus, R. T. « Fundamentals of color science ». In *Color for science, art and technology*, édité par K. Nassau, 31-96. Amsterdam: Elsevier, 1998.
- Massof, R. W., et J. F. Bird. « A general zone theory of color and brightness vision. i. basic formulation ». *Journal of the optical society of america* 68, n° 11 (1978): 1465-71. <https://doi.org/10.1364/JOSA.68.001465>.
- Menezes, R. B., P. D. Silva, P. C. Leal, et A. L. Faria-E-Silva. « Impact of 35 % hydrogen peroxide on color and translucency changes in enamel and dentin ». *Brazilian dental journal* 29, n° 1 (2018): 88-92. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201801553>.
- Paravina, R. D. « New shade guide for tooth whitening monitoring : visual assessment ». *The journal of prosthetic dentistry* 99, n° 3 (2008): 178-84. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60041-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60041-4).
- Paul, S., A. Peter, N. Pietrobon, et C. H. F. Hämmerle. « Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth ». *Journal of dental research* 81, n° 8 (2002): 578-82. <https://doi.org/10.1177/154405910208100815>.

- Piette, E., et M. Goldberg. *La dent normale et pathologique*. Bruxelles : De Boeck université, 2001.
- Pipko, D. J., et M. el-Sadeek. « An in vitro investigation of abrasion and staining of dental resins ». *Journal of dental research* 51, n° 3 (1972): 689-705. <https://doi.org/10.1177/00220345720510030201>.
- Posavec, I., V. Prpić, et D. K. Zlatarić. « Influence of light conditions and light sources on clinical measurement of natural teeth color using Vita Easys shade advance 4.0® spectrophotometer : pilot study ». *Acta stomatologica croatica* 50, n° 4 (2016): 337-47. <https://doi.org/10.15644/asc50/4/7>.
- Samorodnitzky-Naveh, Gili R., Selly B. Geiger, et Liran Levin. « Patients' satisfaction with dental esthetics ». *Journal of the american dental association* 138, n° 6 (2007): 805-8.
- Simmelinck, J. K. « Histology of enamel ». In *Oral development and histology*, par J. K. Avery, 3rd éd. New-York: Thieme, 2001.
- Sproull, R. C. « Color matching in dentistry. part i. the three-dimensional nature of color ». *The journal of prosthetic dentistry* 29, n° 4 (1973): 416-24. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(73\)80019-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(73)80019-8).
- Vaarkamp, J., J. J. ten Bosch, et E. H. Verdonschot. « Propagation of light through human dental enamel and dentine ». *Caries research* 29, n° 1 (1995): 8-13. <https://doi.org/10.1159/000262033>.
- Valeur, B. *Sons et lumière*. Belin. Bibliothèque Scientifique, 2010.
- Zolotarev, V. M., et V. N. Grisimov. « Architectonics and optical properties of dentin and dental enamel ». *Optics and spectroscopy* 90, n° 5 (2001): 753. <https://doi.org/10.1134/1.1374665>.

Table des figures

Figure 1 : Schéma du spectre électromagnétique.....	5
Figure 2 : Perception de la couleur d'un objet.....	6
Figure 3 : Réflexion spéculaire	6
Figure 4 : Réflexion diffuse.....	7
Figure 5 : Absorption de toutes les longueurs d'onde par la surface sauf le vert	8
Figure 6 : Schéma de la réfraction lumineuse.....	9
Figure 7 : Réfraction de la lumière blanche à travers un prisme	9
Figure 8 : Réflexion totale	10
Figure 9 : Diffusion de la lumière à travers un milieu inhomogène.....	10
Figure 10 : Schéma du trajet de la lumière à travers la rétine.....	11
Figure 11 : Espace colorimétrique de Munsell.....	12
Figure 12 : Espace colorimétrique de Munsell, axe de la luminosité.....	13
Figure 13 : Représentation de la luminosité	13
Figure 14 : Photographie en couleur avec retrait de la chromacité.....	14
Figure 15 : Espace colorimétrique de Munsell, saturation	14
Figure 16 : Saturation de la couleur bleue	15
Figure 17 : Périmètre des couleurs de Munsell.....	15
Figure 18 : Schéma des couleurs opposées selon la théorie de Ewald Hering	16
Figure 19 : Schéma de la théorie des zones	17
Figure 20 : Modélisation de l'espace chromatique CIE L*a*b*	18
Figure 21 : Modélisation de l'espace chromatique CIE L*C*h°	19
Figure 22 : Représentation de la « banane chromatique dentaire » dans l'espace colorimétrique CIE L*a*b*	21
Figure 23 : Les 2 composantes de l'éclaircissement.....	23
Figure 24 : Moyenne des valeurs de ΔL^* , Δa^* , et Δb^* pour les incisives.....	24
Figure 25 : Moyenne des valeurs de ΔL^* , Δa^* , et Δb^* pour les canines	24
Figure 26 : Spectrophotomètre VITA Easyshade® V.....	26
Figure 27 : Schéma de principe de fonctionnement du VITA Easyshade®	26
Figure 28 : Schéma de l'extrémité de la sonde sur spectrophotomètre au contact de la dent.....	27
Figure 29 : Schéma des capteurs de la lumière reçue par le spectrophotomètre	28
Figure 30 : Propriétés des filtres analysant une bande de longueur d'onde	29

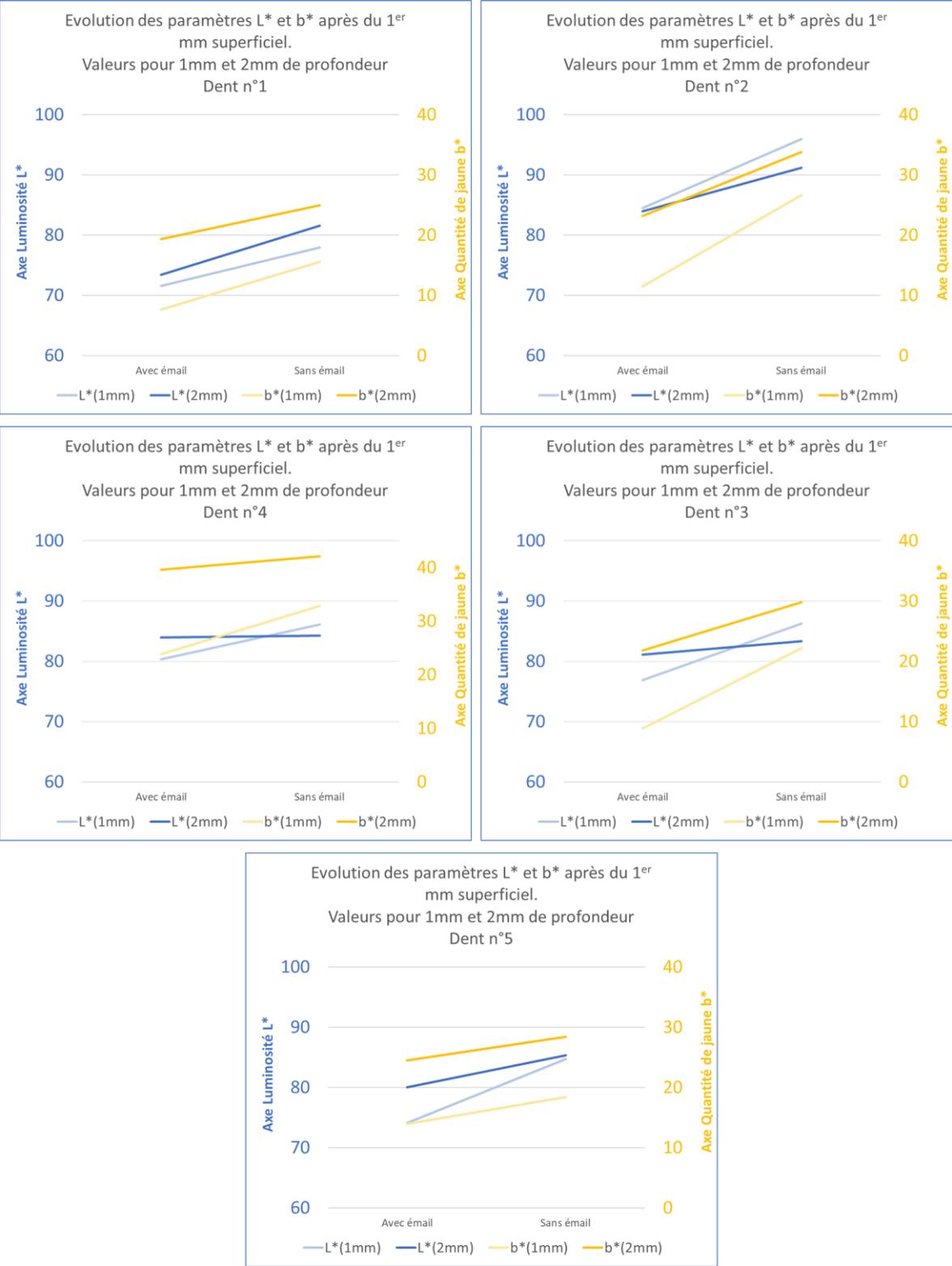
Figure 31 : Sélection de la teinte 3D Master la plus proche de la couleur mesurée.....	29
Figure 32 : Affichage des paramètres L*a*b* et C*h° de la dent mesurée	30
Figure 33 : Ecran du Vita Easyshade®	30
Figure 34 : Menu principal du Vita Easyshade	31
Figure 35 : Illustration des différents spectrophotomètres sur le marché	32
Figure 36 : Éléments subjectifs influençant la perception des couleurs.....	33
Figure 37 : Paramètres moyens L* a* b* des 6 dents maxillaires chez un patient jeune (<25 ans) avant éclaircissement.....	34
Figure 38 : Paramètres moyens L*a*b* des 6 dents maxillaires chez une patiente âgée (>50 ans) avant éclaircissement.....	34
Figure 39 : Dent n°11 avec atteinte MIH légère à sévère	35
Figure 40 : Dent n°21 avec atteinte MIH légère à modéré et paramètres colorimétriques de la tâche	36
Figure 41 : Cas de fluorose diffuse, paramètres colorimétriques associés.....	36
Figure 42 : Cas de dentinogénèse imparfaite et paramètres L*a*b* associés	37
Figure 43 : Dent n°21 dévitalisée et modification des paramètres L*a*b*	37
Figure 44 : Dent n°11 présentant une hypominéralisation et une hypoplasie traumatique.	38
Figure 45 : Colorations par tétracyclines et paramètres L*a*b* pour la dent n°11	39
Figure 46 : Pronostic de l'éclaircissement en fonction du L*, a* et b*	40
Figure 47 : Dent n°23 avant et après éclaircissement et paramètres L*a*b* associées	41
Figure 48 : Bloc incisivo-canin mandibulaire avant et après éclaircissement (polarisées)	42
Figure 49 : Dent 13 avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur).	43
Figure 50 : Bloc incisivo-canin maxillaire et moyennes des paramètres L*a*b*	44
Figure 51 : Dents n°12 et 13 avant et après éclaircissement, paramètres L*a*b* associés.....	45
Figure 52 : Dents n°11 et 22 avant et après éclaircissement, paramètres L*a*b* associés.....	46
Figure 53 : Dents n°31 et 33 avant et après éclaircissement, paramètre L*a*b* associés	47
Figure 54 : Dent n°11 atteinte de MIH, paramètres L*a*b* de la tâche d'hypominéralisation	48
Figure 55 : Incisives mandibulaires avant et après éclaircissement paramètre L*a*b* associés (polarisées)	49
Figure 56 : Dent n°21 et 22 avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur)	49
Figure 57 : Dents n°11 et 21 avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur).....	50
Figure 58 : Incisives maxillaires avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur)	51
Figure 59 : Cas d'éclaircissement complété par une thérapeutique d'érosion-infiltration	51
Figure 60 : Bloc incisif maxillaire avant et après éclaircissement	52
Figure 61 : Dent n°11 avant et après éclaircissement (avec et sans polariseur).....	53

Figure 62 : Bloc incisif maxillaire avant et après éclaircissement	54
Figure 63 : Dent n°11 avant et après éclaircissement.....	55
Figure 64 : Diminution du paramètre a* dans un cas de traumatisme.....	56
Figure 65 : Dentinogénèse imparfaite et avant et après éclaircissement.....	56
Figure 66 : Photographies nécessaires pour le suivi du traitement d'éclaircissement.....	57
Figure 67 : Comparaison des photographies et des paramètres L*a*b* avant et après éclaircissement	57
Figure 68 : Capture d'écran de la page dossier patient du logiciel LabEclaircissement®.....	58
Figure 69 : Paramètres L*a*b* et indices colorimétriques dans le logiciel LabEclaircissement®	58
Figure 70 : Courbes d'évolution des paramètres a* et b* dans le logiciel LabEclaircissement®	59
Figure 71 : Teintier VITA Bleachedguide 3D-Master	61
Figure 72 : : Cas d'éclaircissement interne et externe sur la dent n°21.....	61
Figure 73 : Filtre polarisant Polar_eyes®	62
Figure 74 : Schéma de principe de la double polarisation croisée de la lumière.....	62
Figure 75 : Comparaison de photographies avec et sans polariseur	63
Figure 76 : Schéma de la première expérimentation.....	65
Figure 77 : Schéma de la deuxième expérimentation.....	66
Figure 78 : Evolution des paramètres L*et b* après élimination de la couche d'émail	67
Figure 79 : Evolution des paramètres L* et b* après 4 jour d'éclaircissement puis élimination de l'émail	67

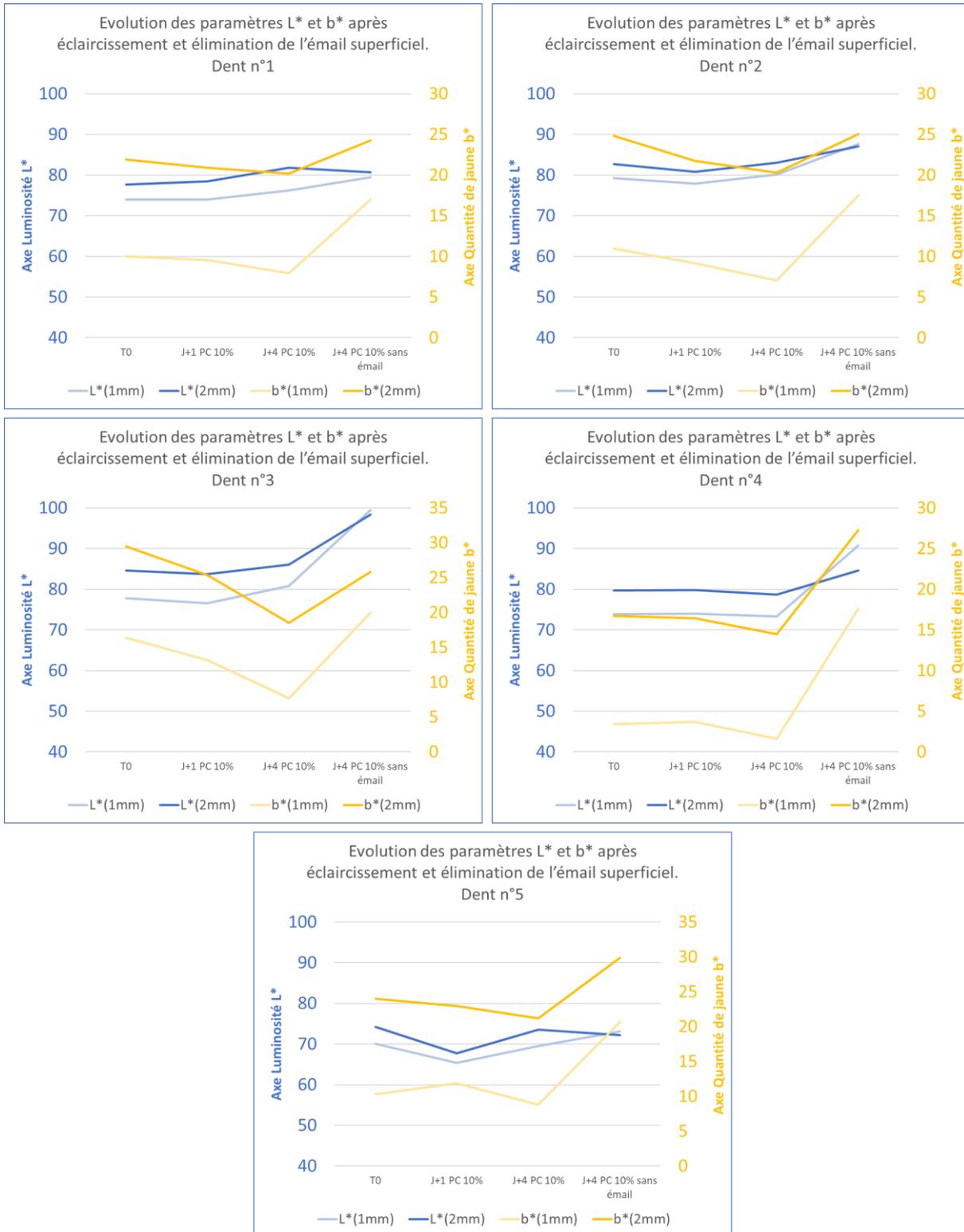
Annexes

Annexe 1 : Expérimentation n°1, courbes d'évolution des paramètres L^* et b^* avant et après meulage de l'émail.....	78
Annexe 2 : Expérimentation n°2, courbes d'évolution des paramètres L^* et b^* avant et après éclaircissement (J+1 et J+4) et après meulage de l'émail	79

Annexe 1 : Expérimentation n°1, courbes d'évolution des paramètres L* et b* avant et après meulage de l'émail.



Annexe 2 : Expérimentation n°2, courbes d'évolution des paramètres L* et b* avant et après éclaircissement (J+1 et J+4) et après meulage de l'émail



Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire
de l'Université Paris Descartes

Docteur Jean-Pierre ATTAL

Professeur Louis MAMAN

Au nom et pour le compte de l'administratrice
provisoire de l'Université Paris Descartes,

Le Doyen Louis MAMAN

L'apport du spectrophotomètre dans la thérapeutique d'éclaircissement dentaire : évaluation quantitative des grandeurs colorimétriques de la dent par spectrophotométrie

Résumé :

Les mécanismes de l'éclaircissement sont aujourd'hui bien codifiés. À une composante chimique qui correspond à la digestion des chromophores par oxydation grâce au peroxyde d'hydrogène, s'ajoute une composante physique par l'opacification de l'émail. Chacune de ces composantes entraîne une modification soit de la quantité de jaune et de rouge, soit la quantité de luminosité. Des éléments existent pour suivre l'évolution du traitement d'éclaircissement (teintiers, photographies) mais ceux-ci restent soumis à la subjectivité du praticien. C'est pourquoi l'apport d'un outil permettant l'évaluation objective de cette thérapeutique nous semble nécessaire. Dans notre cas nous nous sommes intéressés au spectrophotomètre, un outil nous permettant d'accéder aux différentes coordonnées de la couleur des dents, avant, pendant et après éclaircissement. Dans cette thèse, nous reviendrons tout d'abord sur les bases fondamentales de la lumière et des couleurs ainsi que les caractéristiques optiques des dents naturelles et éclaircies. Ensuite nous décrirons brièvement les mécanismes de l'éclaircissement dentaire externe ainsi que les caractéristiques optiques des dents naturelles et éclaircies. Une seconde partie sera dédiée au spectrophotomètre et à son apport dans le traitement d'éclaircissement dentaire. Le tout sera illustré à travers différents cas cliniques ainsi qu'une manipulation expérimentale ayant pour objectif de mesurer la contribution des tissus dentaires à la couleur de la dent.

Discipline :

Dentisterie esthétique

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Blanchiment dentaire -- Dissertation universitaire ; Dentisterie esthétique -- Dissertation universitaire ; Spectrophotométrie -- Thèses et écrits académiques ; Colorimétrie -- Thèses et écrits académiques

English keywords (MeSH) :

Tooth Bleaching -- Academic Dissertation ; Esthetics Dental -- Academic Dissertation

Université Paris Descartes
Faculté de Chirurgie dentaire
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge