

Année 2008

Thèse n° 6

**Apport de la photographie dans la gestion
de l'esthétique en prothèse fixée.**

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

présentée et soutenue publiquement par

LARDEUX Grégoire
(12 novembre 1981)

le 13/03/2008 devant le jury ci-dessous :

<i>Président</i>	<i>Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI</i>
<i>Assesseur</i>	<i>Monsieur le Docteur Yves AMOURIQ</i>
<i>Assesseur</i>	<i>Monsieur le Docteur Stéphane CARBONNELLE</i>

Directeur de Thèse : Monsieur le Docteur François BODIC

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

TABLE DES MATIERES

Table des matières	1
Introduction	10
1- Esthétique en prothèse fixée	13
<i>1-1- Paramètres et objectifs de l'esthétique</i>	15
1-1-1- Objectifs principaux	15
1-1-2- Paramètres pour le sourire	16
<i>1-2- Les différentes références de l'esthétique</i>	17
1-2-1- Références du cadre facial	17
1-2-1-1- Référence horizontale	17
1-2-1-1-1- La ligne bipupillaire	17
1-2-1-1-2- Le contour labial	17
1-2-1-1-3- La ligne du sourire	19
1-2-1-2- Références verticales	21
1-2-1-3- Références sagittales	21
1-2-1-3-1- Soutien de la lèvre supérieure	21
1-2-1-3-2- Rapport avec la lèvre inférieure	22
1-2-1-3-3- Plan d'occlusion	22
1-2-2- Références phonétiques	22
1-2-3- Symétrie et diversité	23
1-2-3-1- La variété dans l'unité	23
1-2-3-2- Symétrie	24
1-2-4- Proportion et idéal : le nombre d'or	25
<i>1-3- Agencements des dents</i>	27
1-3-1- Position des bords libres	27
1-3-2- La forme de l'arcade	28
1-3-2-1- L'arcade à tendance carrée	28
1-3-2-2- L'arcade à tendance triangulaire	28
1-3-2-3- L'arcade à tendance ovoïde	29
<i>1-4- Perspective et illusion : morphologie de la couronne</i>	29

1-4-1- Les dimensions de la dent	30
1-4-2- Le volume de la dent	30
1-4-3- Le profil d'émergence et le parodonte	31
1-4-4- Modification de l'apparence	31
1-4-4-1- Modification de l'apparence de la dent.....	31
1-4-4-2- Modification de l'apparence des dents les unes par rapport aux autres	32
<i>1-5- Détermination de la couleur des dents</i>	<i>33</i>
1-5-1- Couleur d'une dent naturelle.....	33
1-5-1-1- La pulpe	33
1-5-1-2- La dentine	34
1-5-1-3- L'émail.....	34
1-5-2- Conditions pour la détermination de la couleur.....	35
1-5-3- Dimension de la couleur des dents.....	36
1-5-3-1- La tonalité chromatique ou teinte	36
1-5-3-2- La saturation	36
1-5-3-3- La luminosité	36
1-5-3-4- La translucidité	37
1-5-4- Etat de surface.....	37
1-5-5- Choix de la couleur	38
1-5-5-1- Matériel pour la prise de teinte	38
1-5-5-2- Variation de la couleur de base.....	40
1-5-5-3- Teinte de l'émail, translucidité et répartition.....	41
<i>1-6- Différentes méthodes d'analyse esthétique</i>	<i>41</i>
1-6-1- Le guide esthétique de Paris et Faucher	41
1-6-2- Check-list modifiée de Belser par Magne.....	42
<i>1-7- Eléments souhaitables pour un sourire attractif d'après Garber et Salama.....</i>	<i>43</i>
2- Photographie : appareil et fonctionnement	44
<i>2-1- Image et vision des couleurs</i>	<i>46</i>
2-1-1- Oeil : constitution et fonctionnement.....	47
2-1-1-1- Constitution de l'œil humain	48
2-1-1-2- Structure de la rétine	49

2-1-1-3- Accommodation.....	50
2-1-1-4- Sensibilité de l'œil	51
2-1-1-4-1- Sensibilité spectrale.....	51
2-1-1-4-2- Sensibilité globale	51
2-1-1-5- Résolution de la vision par rapport à un appareil	52
2-1-1-6- Adaptation de la vision aux conditions environnementales	53
2-1-1-6-1- Adaptation au spectre et à la température de couleur de l'illuminant.....	53
2-1-1-6-2- Adaptation de l'œil au contraste simultané.....	53
2-1-1-6-3- Adaptation de l'œil aux faibles éclairagements	54
2-1-1-6-4- La perception visuelle et ses erreurs.....	54
2-1-1-7- Les limites de l'œil	55
2-1-2- La vision des couleurs.....	55
2-1-2-1- La lumière.....	56
2-1-2-2- Les modes d'obtention de la couleur	57
2-1-2-2-1- Synthèse additive : mode RVB.....	58
2-1-2-2-2- Synthèse soustractive : mode CMJN.....	59
2-1-2-3- Les trois dimensions de la couleur.....	60
2-1-2-4- Le contraste	60
2-2- <i>De l'argentique au numérique</i>	61
2-2-1- Généralités sur l'appareil argentique	61
2-2-1-1- Fonctions.....	62
2-2-1-2- Reflex ou compact	62
2-2-1-3- La pellicule	63
2-2-1-3-1- Le format	63
2-2-1-3-2- La sensibilité.....	64
2-2-1-3-3- La diapositive	64
2-2-1-3-4- Le négatif couleur.....	65
2-2-2- Comparaison entre la photographie argentique et la photographie numérique	65
2-2-2-1- Avantages de l'argentique sur le numérique	66
2-2-2-2- Avantages du numérique sur l'argentique	66

2-2-2-3- Inconvénients du numérique	67
<i>2-3- Principe de fonctionnement de l'appareil photographique</i>	
<i>numérique</i>	69
2-3-1- Généralités	69
2-3-2- Les différents types d'APN	70
2-3-2-1- Compacts et ultra-compacts	70
2-3-2-2- Boîtiers classiques	71
2-3-2-3- « Bridges camera »	71
2-3-2-4- Reflex numériques	72
2-3-3- Le capteur	72
2-3-3-1- Fonctionnement du capteur	73
2-3-3-2- Différents types de capteur	73
2-3-3-2-1- Le capteur CCD	73
2-3-3-2-2- Le capteur super CCD	75
2-3-3-2-3- Le capteur CMOS	75
2-3-3-2-4- Le Fovéon X3	76
2-3-3-3- Qualité, dimensions et sensibilité d'un capteur	77
2-3-3-3-1- Qualité d'un capteur	77
2-3-3-3-2- Dimensions d'un capteur	78
2-3-3-3-3- Sensibilité d'un capteur	78
2-3-4- Critères de choix d'un photoscope	79
2-3-4-1- Le nombre de pixels	79
2-3-4-1-1- Le pixel	79
2-3-4-1-2- Le nombre de pixels	80
2-3-4-2- Le système de visée	80
2-3-4-2-1- Ecran moniteur	81
2-3-4-2-2- Le viseur oculaire	82
2-3-4-3- L'objectif	83
2-3-4-3-1- Le diaphragme	84
2-3-4-3-2- Choix du couple vitesse/diaphragme	86
2-3-4-3-3- La balance des blancs	87
2-3-4-3-4- La profondeur de champ	88
2-3-4-3-5- Longueur focale et angle de champ	88

2-3-4-3-6- L'hyperfocale	90
2-3-4-3-7- Les rapports de reproduction	90
2-3-4-3-8- La résolution de l'objectif	90
2-3-4-3-8-1- Les lentilles	91
2-3-4-3-8-2- Aberrations dues aux lentilles simples	92
2-3-4-3-8-3- Le pouvoir séparateur de l'objectif	93
2-3-4-3-9- Les différents types d'objectif	93
2-3-4-3-9-1- Objectifs à focale normale	93
2-3-4-3-9-2- Objectifs à longue focale	94
2-3-4-3-9-3- Grand angle	94
2-3-4-3-9-4- Zoom : objectifs à focale variable	94
2-3-4-3-10- Zoom numérique	95
2-3-4-4- Les types d'accus	95
2-3-4-4-1- Piles	95
2-3-4-4-2- Accumulateurs	95
2-3-4-5- Le flash	96
2-3-4-6- Le type et la capacité du support mémoire	97
2-3-4-6-1- PC-CARD (ou PCMIA)	98
2-3-4-6-2- COMPACTFLASH (CF)	98
2-3-4-6-3- SMARTMEDIA (SM)	99
2-3-4-6-4- MEMORY STICK (MS)	99
2-3-4-6-5- SECURE DIGITAL (SD)	100
2-3-4-6-6- XD-PICTURE CARD (XP)	100
2-4- La gestion de l'image par l'informatique	101
2-4-1- Transfert des images sur l'ordinateur	101
2-4-1-1- Connexion à l'ordinateur	102
2-4-1-1-1- BUS et concentrateur BUS	102
2-4-1-1-2- IEEE-1394	102
2-4-1-2- Interfaces équipant les systèmes de photographie numérique	103
2-4-1-3- Transfert des données de la carte mémoire sur l'ordinateur	103
2-4-1-3-1- Transfert APN/ordinateur	103

2-4-1-3-2- Liaison appareil/imprimante	103
2-4-1-4- Format de transfert des images	103
2-4-2- Le stockage	105
2-4-2-1- Les supports magnétiques : le disque dur	105
2-4-2-1-1- Les disques internes	105
2-4-2-1-2- Les disques sur tiroir	105
2-4-2-1-3- Les disques externes	105
2-4-2-1-4- Les disques autonomes	106
2-4-2-2- Les supports optiques	106
2-4-2-3- Les visualiseurs	107
2-4-3- L'impression	107
2-4-3-1- Les imprimantes	107
2-4-3-1-1- Imprimante à jet d'encre	107
2-4-3-1-2- Imprimante à sublimation	107
2-4-3-1-3- Imprimante laser	108
2-4-3-1-4- Imprimante Pictbridge	108
2-4-3-2- La résolution	108
2-4-3-3- Le format	109
2-4-3-4- Le papier	109
2-4-3-5- Calibrer son imprimante	110
2-4-4- L'écran	111
2-4-5- La retouche photographique	112
2-4-5-1- Recadrage	113
2-4-5-2- Redimensionnement et rééchantillonnage	113
2-4-5-3- Rotation	113
2-4-5-4- Tampon de duplication	114
2-4-5-5- Amélioration de l'exposition d'une photographie	114
2-4-5-6- Symétrie horizontale	114
2-4-5-7- Lasso magnétique	114
2-4-5-8- Les niveaux	115
2-4-5-9- Les courbes	115
2-4-5-10- Les couleurs	115
2-4-5-11- Filtre d'accentuation	116
2-4-5-12- Pixellisation	116

2-4-5-13- Prévisualisation thérapeutique	116
3- Photographie au cabinet dentaire	117
<i>3-1- Matériel nécessaire à la macrophotographie</i>	
<i>intrabuccale</i>	118
3-1-1- Macrophotographie	118
3-1-2- APN et ordinateur	119
3-1-2-1- Le matériel en photographie argentique	119
3-1-2-1-1- Le boîtier	119
3-1-2-1-2- L'objectif et les compléments optiques	119
3-1-2-1-3- Le flash	120
3-1-2-1-4- Les films	121
3-1-2-2- APN et matériel informatique	121
3-1-2-2-1- APN	121
3-1-2-2-2- Le matériel informatique	124
3-1-3- Instrumentation spécifique à la macrophotographie	
<i>intrabuccale</i>	125
3-1-3-1- L'éclairage	125
3-1-3-1-1- Le flash	126
3-1-3-1-2- Les diffuseurs de lumière	127
3-1-3-2- Le trépied	128
3-1-3-3- Les contrasteurs	128
3-1-3-4- Les écarteurs	128
3-1-3-5- Les miroirs	129
3-1-3-6- Le repousse-langue écarteur avec miroir	130
3-1-4- Position et prise de vue	131
3-1-4-1- Généralités	131
3-1-4-2- Prise de vue en prothèse fixée	132
3-1-4-2-1- Technique de prise de vue	132
3-1-4-2-1-1- Cadrage	132
3-1-4-2-1-2- Axe de prise de vue	132
3-1-4-2-1-3- Prise de vue en prothèse	133
3-1-5- L'appareil « presse-bouton »	135
3-1-6- Erreurs à ne pas commettre en photographie clinique	136

3-1-6-1- Les erreurs techniques	136
3-1-6-2- Les problèmes relatifs à l'APN	137
3-1-6-2-1- La profondeur de champ	137
3-1-6-2-2- Problèmes avec l'autofocus	138
3-1-6-2-3- Les ombres	138
3-1-6-2-4- Problèmes liés au matériel	139
3-1-6-3- Erreurs de positionnement	139
3-2- <i>Application de la photographie au cabinet dentaire</i>	139
3-2-1- Générale	140
3-2-1-1- D'un point de vue légal	140
3-2-1-1-1- Le devoir d'information	140
3-2-1-1-2- Moyens de protection	141
3-2-1-2- D'un point de vue clinique	142
3-2-1-2-1- Pour le patient	142
3-2-1-2-1-1- Attente du patient et subjectivité	142
3-2-1-2-1-2- Education du patient	143
3-2-1-2-1-3- La motivation du patient	144
3-2-1-2-2- Pour le praticien	144
3-2-1-2-2-1- Recherche clinique	144
3-2-1-2-2-2- Réalisation des dossiers patients	144
3-2-1-2-2-3- Gain de temps	145
3-2-1-2-2-4- Echange avec les confrères et publications	145
3-2-2- Application spécifique à la gestion de l'esthétique en prothèse fixée	146
3-2-2-1- Aide au diagnostic esthétique	146
3-2-2-1-1- Déterminer ce qui est réalisable	146
3-2-2-1-2- La capture numérique de la teinte	146
3-2-2-1-3- Détermination des structures internes et de la translucidité	147
3-2-2-2- Moyens de contrôle	147
3-2-2-3- Apport de la communication laboratoire/dentiste	148
3-2-2-3-1- Les premiers adjuvants de la communication laboratoire/dentiste	149

3-2-2-3-1-1- Le fichier esthétique.....	149
3-2-2-3-1-2- Les simulations	150
3-2-2-3-2- Gestion de l'esthétique en prothèse et photographie·	150
3-2-2-3-2-1- Transmission de données esthétiques	150
3-2-2-3-2-1-1- Aspect général du patient	152
3-2-2-3-2-1-2- Forme et position des dents	152
3-2-2-3-2-1-2-1- Forme des dents	152
3-2-2-3-2-1-2-2- Position des dents	153
3-2-2-3-2-1-3- Etat de surface	154
3-2-2-3-2-1-4- La couleur	154
3-2-2-3-2-2- Transmission informatique du relevé des couleurs	156
3-2-2-3-2-2-1- Transmission au laboratoire des photographies numériques	157
3-2-2-3-2-2-1-1- Télétransmission.....	157
3-2-2-3-2-2-1-2- Envoi de la carte mémoire.....	157
3-2-2-3-2-2-2- Le protocole FIDELA	157
3-2-2-3-2-2-3- Autres logiciels issus de la photographie numérique	159
3-2-2-3-2-3- Contrôle de l'essayage	159
3-2-2-3-2-4- Autres possibilités d'apport de la photographie	160
Conclusion	161
Glossaire.....	164
Table des illustrations	165
Autorisations de reproduction	168
Références bibliographiques	174

INTRODUCTION

D'après la définition du Petit Larousse, la photographie est « une technique permettant de fixer l'image des objets sur une surface rendue sensible à la lumière par des produits chimiques ». Quel intérêt cette technique peut avoir dans le cadre d'un exercice dentaire ? Dans quelle situation et comment pouvons-nous l'utiliser ?

Le développement rapide des technologies, en particulier numérique, se traduit par leur utilisation au sein des cabinets dentaires. On le voit déjà au travers des progiciels dentaires, des caméras endobuccales, et surtout de la radiographie numérique. La question que l'on se pose est de savoir comment l'appareil photographique (autant argentique que numérique) peut être une aide à notre exercice quotidien.

On constate aujourd'hui une augmentation de l'emploi de la photographie dans les cabinets dentaires (notamment des appareils photographiques numériques). Auparavant, cette technique n'était utilisée que par les enseignants et les chercheurs. Seuls les orthodontistes s'en servent pour leur exercice quotidien, et ceci depuis déjà longtemps. Cette augmentation répond-elle à une mode ou à un réel apport dans notre exercice ?

Aujourd'hui l'esthétique prend une place de plus en plus importante dans la société. Quels éléments devons-nous recueillir pour optimiser une restauration prothétique à visée esthétique ? De ce fait, il est nécessaire de connaître les critères esthétiques dentaires. Nous allons donc rappeler les différents paramètres esthétiques nécessaires à l'intégration de la prothèse dans l'ensemble des structures environnantes buccales et faciales.

Il est intéressant de connaître le fonctionnement et la constitution d'un appareil photographique pour savoir lequel utiliser. On recherche un maniement pratique, rapide et ce à moindre coût.

La photographie cherche à imiter le fonctionnement d'un œil humain. Nous devons donc être informés de la manière dont un œil enregistre l'image. La vision des couleurs est également à étudier pour savoir dans quelles conditions (lumière, environnement) on peut prendre un cliché.

Nous abordons dans un dernier temps les différentes possibilités de la photographie en dentisterie (information du patient, communication entre confrères...) en

détaillant plus particulièrement la gestion de l'esthétique en prothèse fixée, notamment la communication avec le laboratoire, et l'apport possible de la photographie dans ce domaine. Nous expliquons également le matériel nécessaire et la façon de l'utiliser pour réaliser des photographies acceptables.

Nous recherchons donc à montrer si la photographie a un réel intérêt dans notre exercice et à voir de quelle manière optimiser les prises de vue des chirurgiens dentistes en cas d'utilisation de cette technique.

1-ESTHETIQUE EN PROTHESE FIXEE

Selon la définition du Larousse, « l'esthétique est la science du beau et de la sensation qu'il fait naître en nous » ; ce qui montre combien cette science est subjective, puisqu'il fait apparaître la notion de « relativisme esthétique » selon laquelle ce qui est beau pour un observateur ne l'est pas forcément pour un autre **(60)**.

Selon cette même définition, l'esthétique entraîne la notion de sensibilité, c'est-à-dire une réaction de sensation, une stimulation de l'organe des sens et d'affectivité, qui fait éprouver plaisir ou douleur, émotions, sentiments **(60)**.

La chirurgie dentaire esthétique se définit comme la science de copier la nature et d'intégrer nos soins dans le contexte buccal, les rendant aussi invisibles que possible.

Cependant, il ne faut pas croire que la seule intuition doit guider la dentisterie esthétique. Un certain nombre de critères fondamentaux de l'esthétique nous permettent d'obtenir un sourire agréable.

1-1- Paramètres et objectifs de l'esthétique

Selon Loomis (44), « la création de la beauté n'est pas seulement une question d'introspection, mais d'abord l'interprétation de la forme selon la proportion, la perception et l'éclairage ». Des critères objectifs peuvent donc être utilisés par le clinicien pour obtenir une estimation critique des éléments comme la symétrie, la proportion et la diversité (20). Il est primordial de les respecter lorsque l'on voit l'importance de l'esthétique, notamment à travers les médias.

1-1-1- Objectifs principaux

D'une part, on cherche à créer des dents aux proportions agréables, qu'elles soient intrinsèques, c'est-à-dire les proportions de la dent elle-même (forme, largeur, épaisseur...), ou les unes par rapport aux autres (par exemple, des incisives centrales de taille adaptée par rapport aux canines et aux incisives latérales). D'autre part, il faut créer un agencement dentaire en harmonie avec la gencive, les lèvres et le visage du patient (20).

A cela, nous pouvons ajouter que les problèmes esthétiques d'un patient ne pouvant respecter ces deux objectifs rentrent dans la notion de « réhabilitation esthétique ». Il s'agit dans ce cas-là de recréer complètement l'esthétique du patient ; il n'y a plus de référence dentaire possible ; on se base alors sur le visage et l'aspect général du patient pour la restauration prothétique ; il faut tout refaire. Si le traitement esthétique permet le respect de ces objectifs, alors celui-ci est considéré comme étant une « intégration esthétique » (13).

1-1-2- Paramètres pour le sourire (20)

Lors du sourire, il existe quatre paramètres aidant le clinicien à déterminer l'exposition adéquate des dents, leur taille, leurs agencements et leurs rapports au visage au cours du diagnostic et du traitement.

Le premier de ceux-ci est le cadre facial et ses références. Il permet d'avoir une première vue sur la forme, les standards de mesure ou de construction qui interviennent ensuite dans le traitement.

Le deuxième est la proportion. Elle permet de déterminer les standards de perfection, de beauté ou d'excellence, la proportion étant le rapport d'une partie à une autre.

La troisième est la symétrie, de la dent et de la dent par rapport aux autres, c'est-à-dire le rapport de la taille, la forme, la position réelle par rapport à une ligne de démarcation ; c'est une aide précieuse pour le clinicien lors d'une réalisation esthétique.

Enfin, la perspective (« science qui enseigne à représenter les objets sur un plan, de la manière qu'ils apparaissent à la vue, en gardant la distance et les situations » **(83)**) et l'illusion (« erreur qui semble jouer de nos sens, les tromper » **(83)**) complètent ces quatre paramètres. Ils concernent les techniques de représentation en surface plane ou courbe des relations spatiales entre objets **(20)**.

De plus, le sourire trouve son équilibre et son harmonie dans l'esthétique dentaire et gingivale. Un défaut dans les tissus environnants ne peut pas être compensé par la qualité des prothèses dentaires, et vice-versa **(47)**.

1-2- Les différentes références de l'esthétique

Les dents doivent être en harmonie avec les trois cadres faciaux : le visage dans son ensemble, les lèvres, et la gencive **(20)**.

D'après Chiche et Pinault **(20)**, ce sont les relations qui existent entre les éléments dentaires, les lignes de référence horizontale et verticale, et le contour labial qui créent l'harmonie du visage. Cette harmonie est rompue lorsqu'il existe une inclinaison latérale importante des dents dans le plan frontal esthétique, une inclinaison verticale de la ligne interincisive, un sourire gingival marqué.

1-2-1- Références du cadre facial

1-2-1-1- Référence horizontale

Elle comprend l'effet T du visage, le parallélisme et la symétrie. Pour cela, on prend en compte la ligne bipupillaire, la ligne ophryaque et le contour labial. Dans un visage séduisant, ces lignes donnent l'impression d'harmonie et d'horizontalité **(3)**.

1-2-1-1-1- La ligne bipupillaire

On recherche l'orientation du plan incisif et du contour gingival par rapport à la ligne bipupillaire, une similitude de la courbure du plan incisif et de la lèvre inférieure, afin d'obtenir une impression générale de parallélisme **(20) (42)**.

1-2-1-1-2- Le contour labial

La longueur et la courbure des lèvres influencent énormément l'importance de la surface exposée des dents au repos et au cours de la fonction. Ainsi, les règles concernant l'exposition des dents au repos, la forme des lèvres et l'alignement de la lèvre inférieure

et du plan esthétique doivent alors être respectées. Cette exposition semble en effet devoir être adaptée à la longueur de la lèvre (13). Selon Vig et Brundo, l'exposition des dents maxillaires au repos peut varier de 0.59 mm à 3.65 mm selon le sexe, l'âge et la longueur de la lèvre supérieure (79). Et selon Chiche et Pinault, l'exposition moyenne des dents maxillaires doit être de 1 à 2 mm (20).

Le contour des lèvres revêt une importance toute particulière dans la restauration esthétique. D'une part, le contour de la lèvre supérieure sert à évaluer la longueur de l'incisive centrale visible au repos et durant le sourire. Le contour peut prendre différentes formes selon la position des commissures pendant le sourire et découvrir plus ou moins la face mésio-vestibulaire des dents cuspidées. Cela détermine le nombre de dents exposées, pouvant aller de six à douze dents. D'autre part, le contour de la lèvre inférieure sert à évaluer la situation vestibulo-linguale des incisives maxillaires et la courbe du plan incisif (13) (20). Selon Lombardi, la coïncidence des bords libres incisifs avec la lèvre inférieure est essentielle à un sourire gracieux (43). Pour Rufenacht, la cohésion de la composition dento-faciale est renforcée par le parallélisme des lignes passant par les contacts interdentaires et les bords libres incisifs avec la lèvre inférieure (68).



Figure n°1: le contour labial, rapport entre les lèvres et les dents (d'après le Dr. Farsirotu sur esthetiquedentaire.com) (17)

1-2-1-1-3- La ligne du sourire (65)



Figure n° 2: sourires (d'après le Dr. Farsirotu sur esthetiquedentaire.com) (17)

La ligne du sourire est une courbe virtuelle convexe vers le bas, dépendant de la position, la motilité, l'épaisseur, la forme et la tonicité des lèvres. Les bords libres des incisives centrales et latérales, ainsi que les pointes cuspidiennes des canines déterminent également cette ligne. A ceci s'ajoute le degré de visibilité des dents et de la gencive qui doit être pris en compte avant toute restauration esthétique.

Cette ligne peut prendre différentes formes (convexe, plus prononcée chez la femme que chez l'homme ; rectiligne, due à l'usure et à l'âge ; en « ailes de mouette », si les incisives latérales sont plus courtes que les canines et les incisives centrales ; concave) ; on peut aussi en définir trois types :

- ✓ sourire bas découvrant une partie des dents antérieures
- ✓ sourire moyen découvrant les dents et les papilles interdentaires
- ✓ sourire haut ou gingival découvrant les dents et une large partie de la gencive attachée, voire alvéolaire

On connaît l'importance du contour labial et de la position des lèvres supérieure et inférieure déterminant la hauteur et l'alignement des bords libres des dents antérieures maxillaires.

On connaît aussi l'importance de la position vestibulo-linguale du tiers incisif des incisives centrales maxillaires et des longueurs. L'espace négatif, délimité par le fond sombre de la cavité buccale et les corridors vestibulaires, joue également un rôle dans l'harmonie du sourire. En effet, l'espace négatif donne un effet dynamique et de profondeur au sourire et met en évidence la forme des bords libres incisifs, des

embrasures incisives, des faces vestibulaires et pointes cuspidiennes des dents postérieures.



Figure n° 3: la ligne du sourire et le rapport des dents avec la lèvre inférieure (d'après le Dr. Farsirotu sur esthetiquedentaire.com) (17)



Figure n° 4: la ligne du sourire et le rapport des dents avec la lèvre supérieure ; sourire gingival ou haut (d'après le Dr. Farsirotu sur esthetiquedentaire.com)(17)

Il ne faut pas oublier qu'aujourd'hui, les patients, et la société en général, recherchent une impression de jeunesse et de dynamisme ; et l'usure liée à l'âge n'est pas en adéquation avec cette recherche. Les incisives centrales saillantes à la morphologie impeccable, aux embrasures interincisives bien dessinées avec une ligne du sourire convexe symbolisent la jeunesse. L'âge, la vieillesse, sont plus représentés par une réduction des embrasures interincisives et un sourire rectiligne (20).

Dans cette recherche d'harmonie, le parallélisme rigoureux entre ces lignes de référence, et leurs positions relatives par rapport à l'axe sagittal médian ne sont pas forcément nécessaires, mais il doit donner une impression d'harmonie (13).

1-2-1-2- Références verticales (la ligne sagittale médiane)

La référence verticale est la ligne sagittale médiane, qui sert à évaluer la position et l'orientation de la ligne interincisive (éléments les plus marquants sur lesquels s'accroche le sourire) et les malpositions des dents par rapport à cette ligne. La verticalité de la ligne interincisive semble plus cruciale que son décalage latéral. La ligne sagittale médiane correspond à l'axe de symétrie du visage **(20)**.

Une autre verticale très fiable existe : le milieu du philtrum. Un léger décalage entre la ligne interincisive et ces lignes verticales est bien mieux toléré qu'une obliquité avec celles-ci **(65)**.

Pour obtenir un sourire agréable, on recherche une symétrie proche de la ligne sagittale médiane (pour les incisives centrales maxillaires) et des asymétries progressivement rencontrées dans l'agencement et la forme des dents (au niveau des incisives latérales) participant ainsi au charme et à la personnalité du sourire de l'individu. Le rendu esthétique doit produire une impression plaisante et naturelle sans établir un alignement géométrique trop ordonné et symétrique **(65)**.

1-2-1-3- Références sagittales (20)

Le dessin des lèvres supérieures et inférieures est un élément d'appréciation du profil qui doit servir de guide à la situation des dents. La convexité du profil est déterminée par l'importance de l'avancée ou du retrait des lèvres et du menton.

1-2-1-3-1- Soutien de la lèvre supérieure

La position des dents maxillaires contrôle la position de la lèvre supérieure et affecte plus particulièrement les lèvres minces et proéminentes que les lèvres épaisses et rentrées ou verticales.

Le support labial est un meilleur guide pour la situation des dents que pour celle de leurs bords incisifs (les deux tiers cervicaux contribuent plus au support labial que le tiers incisif).

1-2-1-3-2- Rapport avec la lèvre inférieure

Le rapport des bords libres des incisives maxillaires avec la lèvre inférieure sert de guide à l'appréciation générale de la longueur et de la position de ces bords. Ce rapport peut être déterminé par des références phonétiques tels que « F » et « V » et permet de déterminer la position de l'inclinaison linguale du tiers incisif des incisives centrales maxillaires. Les bords incisifs sont alors en contact précis avec le bord interne de la ligne vermillon de la lèvre inférieure. Ces rapports dento-labiaux doivent être compatibles avec le trajet de fermeture de la lèvre inférieure.

1-2-1-3-3- Plan d'occlusion

Le plan d'occlusion coïncide avec le plan de Camper, plan joignant le bord inférieur de l'aile du nez au bord supérieur du tragus auriculaire. Le plan d'occlusion est déterminé par les bords incisifs des dents antérieures et les surfaces occlusales des dents cuspidées.

1-2-2- Références phonétiques (60)

Il en existe quatre :

- ✓ le M, pour les rapports mandibulaires et l'exposition des incisives au repos
- ✓ le F, pour l'inclinaison linguale du tiers incisif des incisives centrales maxillaires, et, comme nous l'avons vu précédemment, pour le rapport avec la lèvre inférieure
- ✓ le V, pour les mêmes raisons que le F
- ✓ le S, pour la dimension verticale phonétique

1-2-3- Symétrie et diversité (20) (60)

Dans le cadre d'une restauration esthétique, on recherche une régularité, un équilibre dans l'agencement dentaire ; mais l'asymétrie est permise. Les patients ont le désir d'un sourire équilibré (symétrie horizontale ou rayonnante) ; il s'agit pour le praticien de faire comprendre au patient les différentes possibilités de simulation de prothèse fixée (sourire naturel ou sourire que l'on remarque).

Cette symétrie doit être naturelle et harmonieuse. D'après Paris et Faucher (60), il faut une unité dans la variété, mais de la diversité dans l'unité ; les variantes sont possibles, sinon on risque la monotonie. L'unité est un préalable essentiel à l'ordre dans l'agencement et repose sur le respect de la proportion et de la symétrie.

1-2-3-1- La variété dans l'unité (60)

Lors d'une restauration esthétique, nous réalisons une composition dentaire (organisation des dents entre elles et leur rapport avec les lèvres). De ce fait, trop d'« unité » peut être synonyme d'uniformité et de monotonie ne suscitant aucun plaisir esthétique.

D'une part, l'unité sera atteinte par le mouvement, l'organisation, la symétrie, l'harmonie et les correspondances. Il existe deux types d'unité :

- ✓ l'unité statique (formes géométriques et régulières)
- ✓ l'unité dynamique (formes vivantes actives et croissantes)

Si aucun mouvement n'apparaît dans l'unité, ce sera une unité statique. S'il existe du mouvement dans l'organisation, nous aurons une unité dynamique.

Les correspondances et la similarité peuvent permettre d'atteindre l'unité. La similarité est une force d'attraction ou de cohésion entre des objets dissemblables ; c'est donc un facteur d'unité. On peut considérer la symétrie comme une forme de similarité. Les correspondances permettent de créer des ressemblances répétées et réparties au sein de la composition dentaire, ce qui renforce l'effet d'entité. Dans le domaine

odontologique, on recherche des correspondances de couleur (teinte), de forme, de texture (état de surface) ou de lignes (axes).

D'autre part, il faut atteindre une certaine variété, par exemple, dans les contrastes, naissant de l'opposition entre les formes, les tailles, les couleurs, les lignes. Ces contrastes doivent rester légers et apporter quelques variantes pour personnaliser le sourire.

Pour rompre la monotonie d'un sourire, il faut l'animer, caractériser un bord, une zone de transition, l'état de surface de la dent, créer de légers chevauchements dentaires, de légères rotations. En apportant de petites irrégularités, on rompt l'unité par des forces ségrégatives, tout en respectant l'aspect réaliste des dents restaurées.

La couleur, la forme, les lignes, l'organisation spatiale des masses sont les facteurs qui peuvent contribuer à un centre d'intérêt. Une dominance faible est une force de cohésion qui amène une unité statique et monotone.

1-2-3-2- Symétrie (20) (60)



Figure n° 5: axe de symétrie passant par le milieu du philtrum (d'après le Dr. Farsirotu sur esthetiquedentaire.com) (17)

La symétrie se réfère à la régularité ou à l'équilibre dans la disposition des formes ou des objets. Dans le cadre d'une restauration esthétique, nous recherchons une certaine symétrie. Mais il faut savoir que, dans un visage harmonieux, plus on est proche de la ligne sagittale médiane, plus on est symétrique ; à l'inverse, plus on s'en éloigne, plus on est asymétriquement précis ; c'est-à-dire que nous aurons souvent des incisives centrales

symétriques et avec peu de différences ; ces dernières augmentent lorsque l'on passe aux incisives latérales et ensuite aux canines. En effet, lorsque l'on regarde une denture naturelle, on constate qu'elle est toujours asymétrique, mais avec subtilité.

Il existe deux types de symétries :

- ✓ la symétrie horizontale : statique, elle montre des éléments identiques de gauche à droite suivant une séquence régulière ; psychologiquement prévisible et confortable, mais monotone ; ce que veulent souvent les patients
- ✓ la symétrie rayonnante : statique ou dynamique, elle s'organise à partir d'un axe central et les parties droite et gauche sont des images miroirs ; on la dit dynamique lorsque les éléments sont légèrement différents, mais équilibrés de part et d'autre de l'axe central.

A cette symétrie, il faut donc prendre en compte les variations naturelles :

- ✓ lignes interincisives décalées (30% des cas)
- ✓ légère différence entre les deux incisives centrales
- ✓ incisives latérales asymétriques (beaucoup plus asymétriques que les centrales)
- ✓ festons gingivaux des incisives latérales non alignés

Le naturel de la reconstruction prothétique sous-entend le respect de ces différences (différence de longueur des canines maxillaires, asymétrie et obliquité du maxillaire, festons gingivaux non alignés...).

1-2-4- Proportion et idéal : le nombre d'or (50) (72)

Idéalement, avant toute incorporation de variation et de caractérisation dans une restauration prothétique esthétique, il faut faire une étude et une reproduction de la forme des dents. On se doit également de respecter les proportions géométriques et arithmétiques ; la beauté est l'harmonie des proportions. La proportion détermine la dimension optimale des incisives centrales et les meilleurs rapports entre incisives centrales, latérales et canines maxillaires (20).

De ce fait, en terme de proportion et d'idéal, on se doit de parler du nombre d'or, appelé par Platon la « section », et plus tard la « section d'or ». C'est l'architecte romain Vitruve qui met en pratique cette idée : « pour qu'un espace divisé en deux parties inégales soit esthétique et agréable à l'œil, le rapport entre la partie la plus petite et la partie la plus grande doit être la même qu'entre cette dernière et le tout ». Ainsi, la seule possibilité est que le nombre d'or soit égal à 1.618. En vue frontale, si le diamètre mésio-distal de l'incisive latérale est de 1, celui de l'incisive centrale est donc de 1.618 et celui de la canine de 0.618 (si l'on regarde le patient de face, du fait de la courbure de l'arcade et donc de la rotation mésio-distale de la canine). Le nombre d'or « n » est tel que $n=(1/n)-1$. Pour obtenir une harmonie dans le sourire, il est donc possible d'utiliser le nombre d'or. Mais, en tant que tel, ce nombre est difficilement utilisable. Snow en a donc facilité son utilisation ; les diamètres mésio-distaux de chacune des dents du secteur antérieur sont évalués par rapport à la dimension globale de ce même secteur ; chacune des incisives centrales représente alors 25% de la largeur de ce secteur, chacune des latérales 15%, et chacune des canines 10% **(18) (71)**. Lombardi avait montré l'importance du nombre d'or en tant qu'outil en esthétique dentaire : les dents antérieures sont visuellement plus plaisantes quand leurs largeurs visibles de face sont proportionnelles au nombre d'or **(43)**. Mais il ne faut pas oublier que le nombre d'or n'est qu'un outil, et non une règle absolue en dentisterie esthétique ; il nous permet d'éviter des erreurs de proportion **(13) (60)**.



La largeur de l'incisive latérale représente 63% de la largeur de la centrale.

$$\frac{b}{a} = 0.63$$

$$B = 9 \times 0.63 = 5,67\text{mm}$$

Figure n° 6: on constate que ce résultat respecte le nombre d'or, soit $1/1.618=0.63$ (d'après le Dr. Farsirotu sur esthetiquedentaire.com) (17)

1-3- Agencements des dents

1-3-1- Position des bords libres

En restauration prothétique esthétique, la position des bords libres incisifs maxillaires est primordiale. Elle influence tout d'abord les références phonétiques (« F », « V »), ainsi que la position des incisives maxillaires par rapport à la lèvre inférieure, le soutien de la lèvre supérieure et la ligne du sourire. Ensuite, cette position doit être modelée par rapport à la disposition des dents antérieures, par rapport à la lèvre supérieure, la distance entre le fond du vestibule et le bord libre des incisives centrales avoisinant (en moyenne) 22 mm. Enfin, cette position est fonction du guide antérieur et de la canine **(65)**.

Les erreurs fréquentes que l'on rencontre dans le positionnement des bords libres sont :

- ✓ trop vestibuler les bords incisifs (insuffisance de réduction des préparations entraînant un surcontour de la couronne)
- ✓ modifier radicalement la position originelle du bord incisif sans le tester avec les couronnes provisoires élaborées à partir des maquettes en cire diagnostique entraînant une modification du guide antérieur **(20)**

D'autre part, il faut tenir compte du surplomb incisif et de la supracclusion incisive. On détermine le surplomb incisif avec les modèles d'étude, ou les modèles avec couronnes provisoires (modèles de référence). On utilise à ce moment-là une clé silicone du modèle de référence pour réaliser la maquette en cire de l'armature ; on prend en compte l'épaisseur de la céramique et les situations vestibulo-linguale et mésio-distale. La différence entre le surplomb de référence et le surplomb de la couronne ne doit pas dépasser 0.5 mm, sinon on risque de créer un gêne phonétique **(20)**.

Pour la supracclusion incisive, quatre moyens existent pour obtenir des couronnes à la longueur adaptée à la situation clinique du patient:

- ✓ dessiner les bords incisifs des modèles de référence sur le modèle antagoniste
- ✓ mesurer la longueur des dents sur le modèle de référence

- ✓ mesurer la longueur de la couronne provisoire
- ✓ modeler la table incisive à partir du modèle de référence et du modèle antagoniste de façon à ce que la tige incisive de l'articulateur grave une butée précise dans la résine acrylique lorsque les arcades sont en occlusion en bout à bout ; la longueur de la couronne est réglée dans cette même position limite (20)

1-3-2- La forme de l'arcade (20)

La forme de l'arcade influence l'agencement des dents antérieures et la profondeur de l'aspect du sourire, point important en restauration prothétique esthétique. Différents caractères sont à prendre en compte pour déterminer un type d'arcade :

- ✓ la position des incisives maxillaires
- ✓ la distance intercanine
- ✓ l'alignement des dents, leurs malpositions possibles

1-3-2-1- L'arcade à tendance carrée

Ce type d'arcade se caractérise par des incisives maxillaires quasiment sur la ligne intercanine, apparaissant ainsi plutôt de face, donc en largeur réelle. On a donc une distance intercanine importante. De ce fait, les incisives se retrouvent avec peu de malpositions ou de rotations, donnant au sourire un aspect de « palissade ».

1-3-2-2- L'arcade à tendance triangulaire

On se retrouve ici avec, en vue occlusale, un groupe incisivo-canin disposé en « V » et une distance intercanine nettement moins importante, dus au manque de place.

On a donc nécessairement des incisives latérales et des canines en malposition, allant de la simple rotation au chevauchement.

1-3-2-3- L'arcade à tendance ovoïde

C'est la forme intermédiaire entre les deux arcades précédentes. Les dents antérieures suivent harmonieusement la courbe de l'arcade. Il existe rarement des rotations ou des malpositions. Seules les deux incisives centrales peuvent ne pas suivre la courbe.

1-4- Perspective et illusion : morphologie de la couronne

Pour une réalisation prothétique, le praticien doit déterminer la forme générale de la dent, son agencement et sa position sur l'arcade. Si les références sont insuffisantes, il peut réaliser des provisoires avec de possibles modifications, un projet en cire, un montage des dents... En plus, grâce aux photos (profil, face, intrabuccales), il peut sensibiliser le prothésiste au besoin du patient et lui donner une idée plus précise du volume et de la forme de la dent **(20)**.

En l'absence de référence, le praticien peut s'aider de théories, telles celles de Lombardi sur le sexe, l'âge, la personnalité, afin de déterminer la tendance morphologique du patient. Selon Lombardi, à chaque âge, sexe et personnalité correspond une dent antérieure différente : l'âge est exprimé par l'incisive latérale et la personnalité par la canine **(43)**. A l'inverse, Yamamoto soutient qu'il n'y a pas de corrélation entre la morphologie des dents antérieures et les caractères « âge, sexe et personnalité » **(83)**.

Comme nous l'avons dit précédemment, des bords incisifs convexes et des embrasures incisives profondes donnent un aspect plus jeune et féminin alors que des bords incisifs rectilignes et des embrasures peu profondes donnent une impression plus âgée et masculine.

1-4-1- La dimension des dents (65)

La forme globale des dents et l'harmonie sont reflétées par leur dimension et par leur rapport largeur/longueur exprimé en pourcentage. Lorsque ce rapport augmente, la dent paraît plus large ; s'il diminue, elle paraît plus étroite.

Il est donc important, lorsque nous n'avons plus de repère, de connaître les hauteurs et largeurs moyennes des dents antérieures ainsi que les variations naturelles ou un rapport avec l'âge et les parafunctions.

1-4-2- Le volume de la dent (65)

Au niveau des faces vestibulaires des dents antéro-supérieures, la caractérisation et l'illusion de largeur et de hauteur des dents sont mises en évidence par leurs morphologies axiales, la situation des contacts proximaux et leurs reliefs ; ces reliefs étant mis en évidence par les lignes de transition, les bombés, les convexités et les points hauts vestibulaires, les proéminences, les lobules et les profils d'émergence. Ainsi, au niveau de ces reliefs, nous pouvons différencier deux sens :

- ✓ le sens occluso-cervical avec une proéminence curviligne suivant le contour gingival et correspondant au maximum de convexité situé à la jonction du tiers cervical et des deux tiers incisif, et avec une surface légèrement convexe au dessus et au dessous de cette ligne
- ✓ le sens mésio-distal avec deux lignes de transition verticales entre les faces proximales et la face vestibulaire, plus ou moins marquées selon qu'il existe ou non des dépressions interlobulaires

Pour apprécier l'ensemble des caractéristiques de la morphologie dentaire, une vision et une notion de reproduction tridimensionnelle, grâce à une observation attentive des dents sous plusieurs angles, sont indispensables.

1-4-3- Le profil d'émergence (20) et le parodonte (65)

Cela concerne la forme générale de la dent, les embrasures cervicales et la santé parodontale. Le praticien doit savoir gérer l'esthétique et la santé parodontale. De ce fait, il faut faire attention à la non apparition du tissu gingival sur le maître-modèle, ce qui entraînerait le non respect du sulcus sur le MPU, ainsi que le non respect de la papille interdentaire. Il revient donc au praticien de préciser le profil d'émergence en fonction du blanchiment de la gencive marginale et de la compression de la papille interdentaire lors de la mise en place des couronnes, ou d'utiliser un modèle global.

Ainsi, la relation établie entre les dents et le parodonte intervient dans le résultat esthétique. La forme, le contour, la couleur et la santé de la gencive marginale sont à évaluer lors de la visibilité des tissus gingivaux pendant la fonction. Afin d'optimiser le résultat esthétique, un traitement chirurgical ou orthodontique préprothétique peut être indiqué, selon le résultat de l'examen du parodonte. Le développement de la chirurgie plastique parodontale permet d'améliorer des défauts parodontaux ou de prévenir leur apparition. Selon le cas, les techniques utilisées seront l'élongation coronaire, le comblement de crête, le recouvrement radiculaire, ou leur combinaison.

1-4-4- Modification de l'apparence (20)

1-4-4-1- Modification de l'apparence de la dent

Cette modification peut se faire de deux manières :

- ✓ élargissement et rétrécissement : dans ce cas-là, on joue sur la variation de la silhouette de la dent et la réflexion de la lumière ; on peut ainsi donner l'impression d'une dent plus ou moins volumineuse ; le rapprochement des lignes de transition verticales associé à l'augmentation de la convexité de sa face vestibulaire, pour une incisive centrale légèrement trop large, donnera l'impression qu'elle est plus étroite

- ✓ raccourcissement et allongement : obéissent aux mêmes règles que précédemment, c'est-à-dire la variation de la forme et du contour de la silhouette des dents et la réflexion de la lumière ; on peut ainsi donner l'illusion d'une dent plus courte ou plus longue ; si le tiers cervical des incisives est courbé vers la gencive, la lumière est réfléchi vers le haut ; à l'inverse, si le tiers cervical est courbé lingualement, cela réfléchit la lumière vers le bas

1-4-4-2- Modification de l'apparence des dents les unes par rapport aux autres

La longueur ou la situation d'une dent sont perçues par comparaison ou par contraste avec celles des dents adjacentes.

Dans la perception des contrastes, on peut raccourcir une latérale pour donner l'impression d'allonger la centrale, ou transformer la latérale en « fausse canine » pour l'allonger.

Dans la perception des axes, on peut vestibuler, ou non, les couronnes.

Dans la perception des couleurs, on constate que les canines sont plus saturées que les incisives qui ont généralement la même teinte. Pour une restauration prothétique, on réalise une transition douce avec une saturation progressive de la couleur de l'incisive centrale vers la canine. La luminosité est plus forte pour l'incisive centrale que pour la latérale, d'où la prédominance des incisives centrales.

On obtiendra un résultat harmonieux si l'on crée de la diversité et si l'on personnalise les couronnes.

1-5- Détermination de la couleur des dents

Pour déterminer la couleur d'une dent, il faut prendre en compte le résultat complexe de phénomènes entraînant la perception colorée ; ils se situent à trois niveaux (65) :

- ✓ au niveau physique par l'interaction de la lumière avec la matière
- ✓ au niveau psychophysique : les cellules photoréceptrices de la rétine captent la lumière qui induit des impulsions sensorielles transmises au centre visuel du cortex occipital de l'encéphale
- ✓ au niveau psychosensoriel : le cerveau transforme les informations reçues en une perception consciente de la lumière et de la couleur

Cette transformation reste subjective ; elle dépend de l'expérience antérieure. Cela varie donc d'un individu à un autre (65).

1-5-1- Couleur d'une dent naturelle (20) (65)

L'épaisseur, la structure et la composition de la pulpe, l'émail et la dentine interviennent dans la couleur de la dent du fait de leurs propriétés optiques différentes.

1-5-1-1- La pulpe

Située au centre de la dent, elle est de couleur rouge sombre. La cavité pulpaire rétrécit avec l'âge ; d'un volume important chez le jeune donnant un aspect rosé, son impact chez le sujet âgé sur la couleur est moindre.

1-5-1-2- La dentine

Sa composition est à 70% de minéraux, 20% de substances organiques, 10% d'eau. Entourant la pulpe, la dentine est responsable de la couleur de la dent. Son faible degré de minéralisation par rapport à l'émail et sa forte proportion en substances organiques entraîne une dentine primaire opaque. D'autre part, du fait des canalicules dentinaires, une diffraction sélective de la lumière s'effectue ; certains rayons sont réfléchis, d'autres absorbés. La dentine secondaire est plus minéralisée et moins opaque.

1-5-1-3- L'émail

Tissu le plus dur et le plus minéralisé de l'organisme (95% de substances minérales), l'émail est translucide et possède des propriétés optiques dépendant de sa composition et de son épaisseur.

Selon les niveaux de la dent, l'épaisseur diffère :

- ✓ le bord libre ne possède généralement que de l'émail d'1.5 mm chez les jeunes, avec une translucidité particulière (effet d'opalescence avec un bord incisif bleuté)
- ✓ au tiers moyen, la couche d'émail s'affine et la translucidité diminue
- ✓ l'opacité augmente au collet des dents du fait d'un émail très fin (0.2/0.3 mm)

La faible minéralisation et la forte épaisseur de l'émail chez le sujet jeune entraînent un émail peu translucide et lumineux. Par contre, avec l'âge, l'émail est plus minéralisé, et plus fin, donc très translucide, voire transparent ; on peut voir la dentine sous-jacente.

1-5-2- Conditions pour la détermination de la couleur (65)

La dent est un volume optiquement actif dans les trois dimensions ; une partie de la lumière arrivant sur la dent est réfléchiée et perçue par l'œil, l'autre est absorbée et transmise.

Les critères subjectifs influencent la détermination de la couleur. Il faut donc avoir une approche méthodique et pragmatique pour réduire autant que possible la part de subjectivité au profit de critères objectifs.

Lors de la prise de la couleur, l'éclairage doit être stable et équilibré : la lumière du jour neutre (12H, ciel légèrement nuageux, exposé au nord) est idéal. Cependant, ce n'est pas facile à obtenir ; beaucoup de paramètres entrant en compte : la latitude, l'altitude, la saison, les conditions climatiques, l'heure de la journée. Il est donc plus judicieux d'utiliser la lumière artificielle car celle-ci ne varie pas **(65)**.

On définit la lumière par sa température de couleur. La lumière du jour standard de référence internationale est de 6500°K. En odontologie, on utilisera une lumière de 5300°K (indice de rendu colorimétrique supérieur à 90%), voire de 5000°K (courbe spectrale mieux équilibré). Pour un confort visuel optimal, un éclairage lumineux entre 1200 et 1600 lux sera nécessaire.

D'autre part, nous devons avoir un environnement neutre :

- ✓ faire attention à la décoration du cabinet ; celle-ci doit présenter des couleurs neutres (gris clair, beige clair, ou blanc cassé) ; on doit également éviter de déterminer la couleur avec un tableau ou une photographie colorés en arrière-plan
- ✓ utiliser un champ achromatique pour cacher la couleur des vêtements du patient
- ✓ éliminer le rouge à lèvres, le maquillage...
- ✓ s'affranchir de la couleur rouge de la gencive et des muqueuses en isolant la dent avec des caches de couleur gris/bleu
- ✓ le patient doit présenter des dents aux surfaces propres ; il est placé face à la lumière et l'observateur dos à celle-ci

1-5-3- Dimension de la couleur des dents (65)

La tonalité chromatique, la luminosité et la saturation sont les trois dimensions de la couleur d'une dent selon la classification de Munsell. Outre cela, nous pouvons ajouter une quatrième dimension, la translucidité, une cinquième, l'opalescence, et une sixième, la fluorescence.

1-5-3-1- La tonalité chromatique ou teinte

Elle permet de différencier une famille de couleur d'une autre. En fait, elle correspond à la longueur d'onde dominante du spectre visible de la lumière réfléchiée par la dent.

1-5-3-2- La saturation

On la définit comme étant la quantité de pigments contenus dans la tonalité chromatique, la couleur sera alors plus ou moins intense ou pâle. Elle mesure la proportion de couleur pure dans la sensation globale. La dent sera entièrement saturée par une couleur si l'on ne trouve que des pigments de cette couleur. Généralement, une dent comporte plusieurs pigments colorés dont un type est en majorité. Selon la quantité de pigments retrouvés, la dent sera plus ou moins saturée par cette couleur.

1-5-3-3- La luminosité

Elle correspond à la quantité de photons qu'une dent d'une certaine couleur peut réfléchir. On aura ainsi une dent plus ou moins claire ou foncée, selon qu'elle renvoie ou émet plus ou moins de lumière. La dissociation de la luminosité est mise en évidence par

une vision en noir et blanc des dents. C'est le facteur le plus important dans la détermination de la couleur.

1-5-3-4- La translucidité

Elle exprime la perméabilité optique d'un corps. On parle de translucidité à partir du moment où la lumière incidente est diffuse plus ou moins régulièrement et dans tous les sens à travers un matériau. Ainsi la translucidité peut être définie comme le rapport entre la lumière incidente qui traverse et celle retransmise par l'objet.

Elle varie avec l'âge. Plus opaques jeunes, les dents augmentent en translucidité en vieillissant. L'état de surface des dents influence la translucidité.

Ces différentes dimensions sont à mettre en commun pour évaluer la couleur d'une dent.

1-5-4- Etat de surface (20)

Associé à d'autres facteurs, elle détermine l'originalité et le caractère d'une dent.

Nous distinguons différents états de surface :

- ✓ présence de stries de croissance, de direction horizontale, plus ou moins profondes
- ✓ granité de surface (surtout chez les jeunes)
- ✓ fissures de l'émail provoquant une rupture dans la surface de réflexion
- ✓ défauts issus d'une amélogénèse imparfaite
- ✓ absence de défaut (surface lisse et brillante)

Différents facteurs peuvent influencer l'état de surface :

- ✓ l'âge : peu de stries de croissance sur les dents âgées, alors qu'elles sont nombreuses chez le sujet jeune

- ✓ la position de la dent : les faces vestibulaires des incisives et canines supérieures sont plus lisses qu'à la mandibule du fait d'une protection moindre
- ✓ la dureté de l'émail qui est plus ou moins sensible à l'usure naturelle selon les individus

I-5-5- Choix de la couleur (20)

1-5-5-1- Matériel pour la prise de teinte

Différents « matériels » sont nécessaires pour une prise de teinte correcte et complète :

- ✓ teintier
- ✓ fiche pour le schéma de la teinte
- ✓ teintiers accessoires
- ✓ photographies instantanées ou diapositives
- ✓ « lumière du jour »
- ✓ environnement neutre
- ✓ lampe (plus ou moins)
- ✓ colorant sous forme de résine fluide
- ✓ échantillons de teintier
- ✓ miroir
- ✓ dent humide avec élimination des pigments de coloration

Il faut savoir que, lors du choix de la teinte, la première impression est la plus importante (on ne regarde la dent et l'échantillon du teintier pas plus de 10 à 20 secondes, sinon on a une diminution de la sensibilité au jaune). On rapproche du centre de la dent l'échantillon de teintier le plus ressemblant.

Il existe différents échantillons :

- ✓ A : fréquent chez le jeune
- ✓ B : plus jaune, plus fréquent

- ✓ C : sous-type B, chez les adultes d'âge moyen
- ✓ D : sous-type A, rare

Il existe également des spectrophotomètres (i.e. des appareils de prise de « teinte » automatique). On a par exemple Easyshade ou Chromatis.

Ces appareils permettent de définir numériquement les teintes des dents naturelles ou de contrôler celles des restaurations en céramique. Cette technique offre de nombreux avantages (80):

- ✓ Rapidité de la prise de teinte et facilité de manipulation
- ✓ Grande précision des mesures (spectrophotomètre)
- ✓ Aucune influence de la lumière
- ✓ Aucune interférence de l'utilisateur
- ✓ Objectivité
- ✓ Possibilité de déléguer la prise de teinte
- ✓ Sonde de mesure pratique
- ✓ Affichage sur écran avec touches tactiles et affichage en plusieurs langues
- ✓ Saisie quantitative de la teinte
- ✓ Indication de la teinte sur la base des teintiers VITA 3D MASTER et VITAPAN Classical
- ✓ Logiciel pour concevoir une « formule de teinte laboratoire »
- ✓ Contrôle de la qualité au laboratoire



Figure n° 7: appareil VITA Easyshade (photographie Dr. Y. Amouriq)



Figure n° 8: résultat lors d'une mesure avec Easyshade, (photographie Dr. Y. Amouriq)

1-5-5-2- Variation de la couleur de base

Il peut exister différentes variations :

- ✓ modification de l'orangé (tonalité de l'orangé, soit dans le corps de la dent, soit au collet de celle-ci)
- ✓ variation en fonction de la situation (quatre grandes familles) : la tiers incisif, une répartition de la teinte uniforme, le tiers cervical, le tiers moyen
- ✓ 15% de la couleur des dents ne correspondent pas au teintier
- ✓ le laboratoire : la teinte de base est déterminée par le praticien en regardant les dents adjacentes à la dent préparée, donc en regardant une couche émail/dentine ; la luminosité de la céramique sera contrôlée par rapport à la dentine résiduelle de la préparation ; d'où une possible variation de la teinte lors de la pose de la couronne car le couple dentine/céramique peut avoir une couleur différente que le couple émail/dentine

1-5-5-3- Teinte de l'émail, translucidité et répartition

La qualité et la répartition de la couche céramique d'émail superficielle permet d'obtenir une restauration prothétique opaque blanchâtre jusqu'au transparent vitreux.

Chez le patient jeune, l'émail est peu minéralisé et réfléchissant, donc la dent blanche et très lumineuse. Chez le patient adulte, l'émail est translucide, voire transparent, donc la dent plus terne et plus orangée.

Il faut faire attention lorsque l'on compare la luminosité de la dent naturelle à celle du teintier. Si la dent a une luminosité intense, on a une dentine peu saturée, très lumineuse avec un émail opaque et réfléchissant ; et inversement (20).

1-6- Différentes méthodes d'analyse esthétique (13) (46) (60)

Il existe différents types d'analyse esthétique. Nous ne parlerons ici que de deux méthodes sans les détailler : la méthode de JC Paris et AJ Faucher (la seule disponible en français), et la check-list esthétique modifiée de Belser par Magne (2003) dans son ouvrage « Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition ».

Ces méthodes sont un recueil d'informations anatomiques, morphologiques et esthétiques du patient.

1-6-1- Le guide esthétique de Paris et Faucher (60)

Différentes parties permettent de former ce guide :

- ✓ le visage : appréciation du parallélisme des lignes de référence horizontale, de l'équilibre des trois étages de la face et de la position des lèvres dans une vue de profil

- ✓ le sourire : évaluation des rapports qu'entretiennent les dents antérieures avec le cadre labial, de l'orientation esthétique, de la position et de l'orientation du milieu incisif (également à l'échelle du visage)
- ✓ l'occlusion
- ✓ la composition dentaire et gingival : taille, forme, couleur et alignements des dents, alignements et forme des collets gingivaux ; évaluation des proportions dentaires selon le nombre d'or

L'appréciation de ce guide esthétique se fait en présence du patient et en utilisant un protocole photographique de 12 clichés et une analyse de 40 points, ainsi qu'avec des empreintes d'étude coulées et montées sur articulateur. La durée de la séance est d'environ une heure.

1-6-2- Check-list modifiée de Belser par Magne (46)

Cette check-list se présente en deux parties :

- ✓ 14 critères fondamentaux objectifs : santé gingivale, fermeture de l'embrasure gingivale, zénith du contour gingival, équilibre des festons gingivaux, niveau de contact interdentaire, dimension relative des dents, éléments de base de la forme dentaire, caractérisation de la dent, état de surface, couleur, configuration des bords incisifs, ligne de la lèvre inférieure, symétrie du sourire
- ✓ 4 critères subjectifs : variation de la forme des dents, arrangement et position des dents, hauteur coronaire relative, espace négatif

Le nombre de critères pour cette méthode est donc bien inférieur à celle du guide esthétique de Paris et Faucher. Cependant, elle demande plus d'expérience et de connaissance de l'analyse à l'échelle du visage que pour la première qui guide entièrement le praticien.

I-7- Eléments souhaitables pour un sourire attractif **d'après Garber et Salama (33)**

Trois composants :

- ✓ dents : couleur, position, forme
- ✓ gencive : santé gingivale (absence d'inflammation), harmonie et continuité de forme, symétrie du feston des incisives centrales, équilibre des incisives latérales et des cuspides des prémolaires par rapport à la ligne labiale
- ✓ lèvres : définissant la zone esthétique selon trois formes de sourire (haut, bas et moyen) ; la géométrie de la ligne gingivale suit le contour de la lèvre supérieure ; la ligne incisive, ou ligne des bords libres, suit la forme de la lèvre inférieure

2- PHOTOGRAPHIE : APPAREIL ET **FONCTIONNEMENT**

Etymologiquement, la photographie est « l'écriture de la lumière ». Elle dépend de la qualité de la lumière, quelque soit le sujet. Sans la lumière, il n'y a pas de photographie (11).

Que la photographie soit numérique ou argentique, le principe reste le même : la lumière vient frapper un récepteur photosensible créant une image qui, secondairement, par différents procédés, pourra être visualisée.

2-1- Image et vision des couleurs

Préalablement à l'étude de l'appareil photographique, il est intéressant d'étudier ce que l'on essaie de copier dans ce domaine, l'œil humain, et ce que l'on essaie d'obtenir, la vision des couleurs. La photographie peut-elle soutenir la comparaison avec notre système visuel ? Est-elle réellement un support intéressant capable de remplacer l'œil dans la vision des couleurs ? Il convient donc d'étudier succinctement le fonctionnement de notre système oculaire et de la vision des couleurs.

Œil	Appareil photographique
Cristallin	Objectif
Iris	Diaphragme
Pupille	Ouverture
Rétine	Papille
Accommodation	Mise au point

Tableau n°1 : comparaison œil/appareil photographique

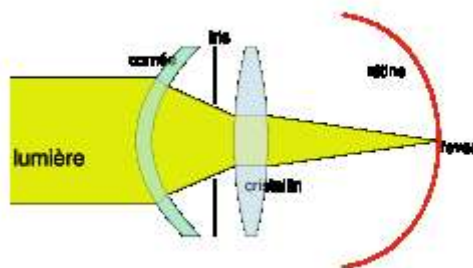


Figure n° 9: le modèle optique, l'œil (d'après Yann Gavet, sur wikipedia.org) (82)

2-1-1- Œil : constitution et fonctionnement

La vision diffère d'une personne à l'autre ; elle est bien sûr due à notre système visuel, l'œil humain, organe essentiel et complexe, que l'on peut diviser en trois parties, l'œil anatomique, le nerf optique et le cerveau qui recueille et interprète les informations visuelles. Cette interprétation de la part du cerveau explique la différence de vision selon les personnes. A cela, ajoutons que l'œil et l'appareil photographique ne fonctionne pas de la même façon. Les études de l'œil et de la vision marqueront ces différences (4) (9) (35).

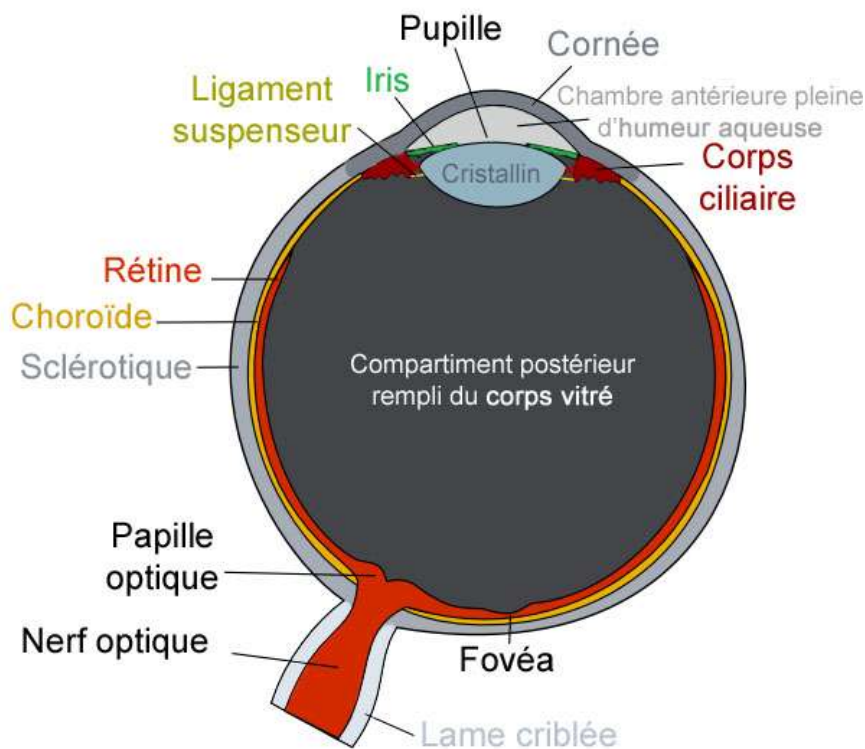


Figure n°10 : schéma anatomique de l'œil (d'après wikipedia.org) (82)

2-1-1-1- Constitution de l'œil humain (4) (9)

D'un diamètre en moyenne de 20 mm, le globe oculaire peut tourner à l'intérieur de l'orbite grâce aux muscles oculomoteurs. Il est à peu près sphérique. Limité et protégé par la sclérotique, l'œil humain est constitué à l'avant par la cornée transparente. En dessous, on retrouve la choroïde, membrane opaque constituant la chambre postérieure, qui est tapissée par la rétine en sa surface interne. Cette rétine photosensible est issue du nerf optique. La chambre antérieure de l'œil se situe entre la cornée et la face antérieure du cristallin ; celle-ci est remplie d'humeur aqueuse. La chambre principale, elle, est remplie d'humeur vitrée.

Frappant l'œil, la lumière va traverser différentes parties :

- ✓ La cornée : premier dioptré convergent, avec l'humeur aqueuse
- ✓ L'iris : diaphragme dont l'ouverture varie avec la pupille
- ✓ Le cristallin : lentille biconvexe dont le corps ciliaire (muscle à tension réflexe) fait varier la courbure de la face antérieure

Nous avons donc un système optique convergent complexe qui est simplifié dans « l'œil réduit de Listing » : une seule lentille mince à 15 mm de la rétine et à 5 mm en arrière de la cornée.

Une première différence par rapport l'appareil photographique est à noter : la surface de projection de l'œil est une calotte sphérique concave (capteur plat dans un appareil photographique numérique) qui assure un éclairage homogène et supprime la plupart des aberrations géométriques.

2-1-1-2- Structure de la rétine (4) (9)

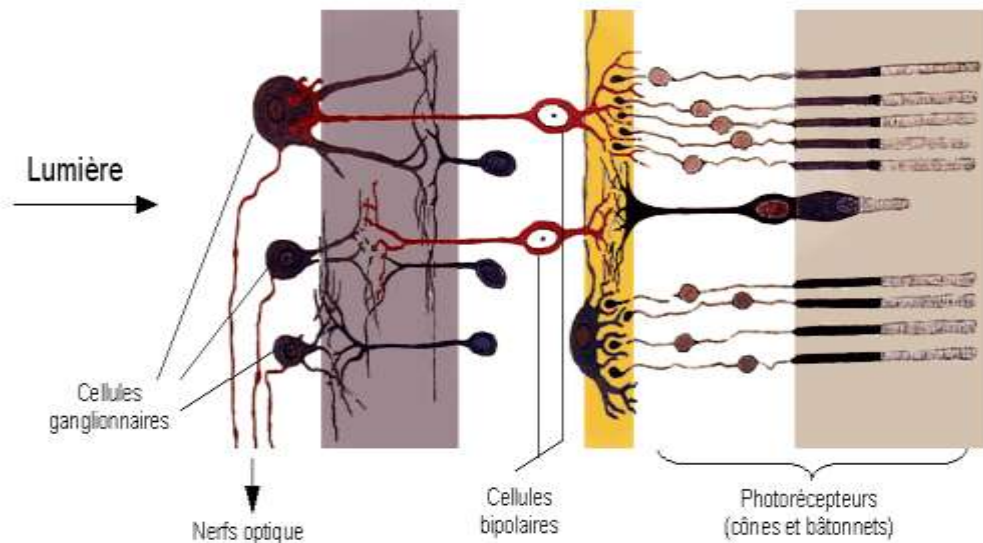


Figure n°11 : organisation axiale de la rétine (d'après wikipedia.org) (82)

Nous avons vu que la rétine est issu de l'épanouissement du nerf optique et tapisse le fond de l'œil par la superposition de plusieurs couches de cellules. Ces couches montrent des connexions bidirectionnelles entre les cellules ganglionnaires (synapses) et les cellules bipolaires. Le traitement des images et des couleurs commence donc avant que les informations n'arrivent au cerveau.

Au point d'insertion du nerf optique, ou point aveugle, ou *punctum caecum*, la rétine est insensible. Sa sensibilité et sa résolution sont maximales au niveau de la fovéa ou tâche jaune (2 mm de diamètre) qui se situe dans l'axe optique.

Les cellules sensorielles de la vue se situe dans la couche interne de la rétine et comportent deux types :

- ✓ Les bâtonnets : environ 120 millions ; répartis sur la zone périphérique de la rétine, en dehors de la fovéa ; stimulation par les variations de luminance (image en noir et blanc), y compris sous les faibles éclaircissements
- ✓ Les cônes : environ 6 millions ; servent à la vision des couleurs ; situés sur la fovéa pour les cônes rouges et verts, sur la zone périphérique pour les cônes bleus ; l'hypothèse de Thomas Young est vérifié par l'expérimentation selon laquelle l'œil utilise trois récepteurs sensibles au

violet-bleu, rouge, vert ; c'est le principe de la synthèse additive des couleurs (que nous verrons ultérieurement)

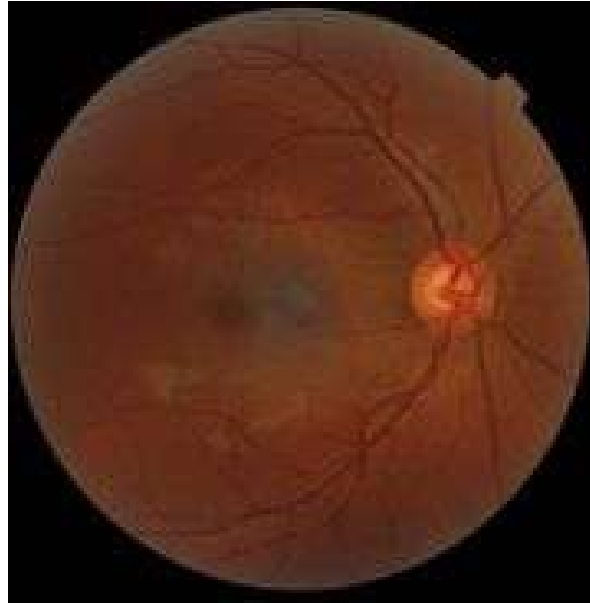


Figure n°12 : rétino-graphie (d'après wikipedia.org) (82)

2-1-1-3- Accommodation (9)

Le mécanisme d'accommodation s'effectue via les muscles du corps ciliaire qui agissent par un acte réflexe. La face antérieure du cristallin va alors se bomber plus ou moins en fonction de la distance de l'objet regardé. L'œil fait la mise au point sur la distance maximale (punctum remotum) lorsque le corps ciliaire est relâché. L'œil s'accommode sur la distance minimale (punctum proximum) si les muscles sont en contraction maximale. L'œil normal voit donc à l'infini sans accommoder, avec la moindre fatigue oculaire.

Les instruments optiques (viseur optique ou reflex d'un appareil photographique) ont une vergence oculaire calculée par l'accommodation de l'œil de l'utilisateur sur l'infini. Mais, il existe des défauts de l'œil qui viennent interférer : la myopie, l'hypermétropie, la presbytie.

2-1-1-4- Sensibilité de l'œil (4) (9)

La sensibilité de l'œil met en avant deux différences avec le système photographique et sa surface photosensible (capteur ou film) :

- ✓ La grande étendue des éclairements acceptés par le système visuel
- ✓ Le système visuel « non cumulatif » contrairement au facteur temps de l'appareil photographique

2-1-1-4-1- Sensibilité spectrale

La sensibilité spectrale est définie par le spectre visible. Celui-ci correspond dans la région du spectre électromagnétique à l'étendue des longueurs d'onde allant approximativement de 400 à 700 nm. L'œil distingue dans ce spectre plus de 200 couleurs pures, mais avec divers degrés de discrimination. La notion essentielle est que la sensation de luminosité relative éprouvée par l'œil varie en fonction de la longueur d'onde.

Cette sensibilité est mise en évidence par le phénomène de Purkinje. En vision diurne, le sommet de cette sensibilité se situe à 555 nm (vert-jaune) ; en vision nocturne, elle se situe à 510 nm (bleu-vert).

Il faut savoir également que l'œil est plus sensible au vert (545 nm). Dans la lumière blanche distinguée par l'œil, on aura 59% de vert, 29% de rouge (580 nm) et 12% de bleu (440 nm). Ceci explique la composition des pixels d'un capteur numérique que nous verrons plus tard.

2-1-1-4-2- Sensibilité globale

L'œil humain détecte une image pour des éclairements allant de 0.001 lux à 100000, soit de 1 à 100 millions d'indice de luminance. La variation réflexe d'ouverture de la pupille ne va participer que très peu à cette adaptation, son diamètre ne variant que

de 2 à 8 mm, ce qui contrôle le niveau d'éclairement dans un rapport de $8^2/2^2$, soit de 1 à 16 d'indice de luminance seulement.

Nous retrouverons donc en vision diurne (photopique) les cônes actifs avec vision des couleurs et excellente résolution, et en vision nocturne (scotopique), les cônes sont inactifs, seuls les bâtonnets servent pour une vision achromatique et de faible résolution.

Si l'éclairement ne dépasse pas 850 lux, les bâtonnets interfèrent dans la sensation des couleurs recueillies par les cônes. Si cet éclairement est inférieur à 3 lux, seuls les bâtonnets sont actifs.

Une nouvelle différence est à noter avec le système photographique : si, en dessous d'un certain seuil, l'œil ne perçoit plus les couleurs, l'appareil photographique le peut car sa surface sensible offre une capacité d'intégration cumulative. Sachant que la couleur dépend de la longueur d'onde et non de son intensité, on peut ainsi obtenir des superbes images avec de faibles éclairagements. Ceci est un avantage pour notre exercice du fait du côté sombre de la bouche.

2-1-1-5- Résolution de la vision par rapport à un appareil (4) (9)

Ce qui permet la résolution est le pouvoir séparateur de l'œil. Celui-ci exprime la capacité à séparer les plus fins détails. Sa valeur optimale est celle pour laquelle un détail (contrastant avec son environnement) est confondu avec un point.

En photographie, évaluer la résolution d'une image revient à photographier une mire normalisée de lignes alternativement blanches et noires de même longueur ; le pas de la mire est de plus en plus fin. Cela permet de mesurer le pouvoir résolvant de l'objectif. On effectue de même pour le pouvoir séparateur de l'œil.

Il faut toujours garder à l'esprit que seule la résolution de l'image photographique peut être quantifiée par les lois de l'optique (via ce système de mire). La « netteté apparente » d'une image dépend, elle, d'autres facteurs non quantifiables :

- ✓ La réponse physiologique : subjective, dépendant de l'acuité visuelle, de la distance d'observation, du niveau d'éclairage de l'image
- ✓ Les traitements logiciels subis par l'image

Il faut également noter que la résolution de l'œil est plus faible en chrominance (vision des couleurs) qu'en luminance (vision noir et blanc, autrement dit les niveaux de gris). Cette mauvaise résolution de notre système oculaire pour les couleurs a permis d'utiliser devant le capteur CCD d'un APN un filtre mosaïque de séparation trichrome mobilisant 4 pixels pour chaque couleur ; alors qu'en luminance, chaque pixel joue son rôle quant à la résolution de l'image finale.

2-1-1-6- Adaptation de la vision aux conditions environnementales (4) (9)

2-1-1-6-1- Adaptation au spectre et à la température de couleur de l'illuminant

Notre système visuel permet la correction des écarts de température de couleur de l'illuminant : il est accompli automatiquement par le cerveau. Ceci n'est pas possible avec le capteur CCD ou le film ; on doit l'équilibrer en fonction de la température de l'illuminant.

On notera surtout que notre œil adapte la balance visuelle des couleurs même si le spectre de l'illuminant est discontinu et/ou qu'il contient des raies spectrales très dominantes.

2-1-1-6-2- Adaptation de l'œil au contraste simultané

L'œil accepte une grande étendue de luminance et s'y adapte automatiquement et quasi-instantanément, dans les cas de passage de l'ombre à la lumière, par la variation de diamètre de la pupille, ce qui correspond à une variation de luminance de 1 à 16.

Un capteur CCD ou un film n'accepte simultanément qu'une étendue très limitée de luminance de la scène. En revanche, le mécanisme de variation du diamètre de la pupille est bien simulé par le diaphragme, mais dans une amplitude plus étendue.

2-1-1-6-3- Adaptation de l'œil aux faibles éclairagements

Sous les faibles éclairagements, la sensibilité de l'œil est des milliers de fois supérieure à la vision photopique. L'accoutumance à l'obscurité se fait en 30 minutes environ pour atteindre son maximum.

2-1-1-6-4- La perception visuelle et ses erreurs (4) (9) (23)

Il existe un délai de perception. En effet, celle-ci n'est pas instantanée : un court délai de 0.15 seconde (fort éclairage) à 0.35 seconde (faible éclairage) sépare le moment du stimulus visuel et celui où l'on perçoit l'image.

Il existe aussi un phénomène de persistance rétinienne : l'image reste imprimée environ 0.1 seconde. A cela ajoutons que les couleurs de la scène sont perçues avec un retard de 20 ms, alors que la luminance par les bâtonnets après un retard de 100 ms.

Pour le dictionnaire Petit Robert, « la perception visuelle est la fonction par laquelle l'esprit se représente les objets. Perception du monde extérieur par les organes de la vue ; mécanisme physiologique par lequel les stimuli lumineux donnent naissance à des sensations. »

D'après le dictionnaire Littré, la perception est « l'acte par lequel l'esprit perçoit l'objet qui fait impression sur les sens. Toute sensation, tout phénomène de sensibilité spéciale ou générale se compose de trois actes différents : l'impression, la transmission, la perception. »

Cette perception visuelle peut largement être faussée, notamment via des illusions optiques. Quelques exemples peuvent être cités :

- ✓ Une reproduction de Kavisza : deux triangles superposés semble apparaître, mais, en fait, c'est une invention de notre système visuel
- ✓ Les contours illusoires de Ehrenstein : les interruptions de la trame suggèrent le tracé d'une dent, mais il n'y en a pas.
- ✓ Le laboratoire psychologique et anachronique de Thomassen et le parallélogramme de Sender : les segments sont égaux, mais, à la vue, semblent différents

Toutes ces illusions d'optique sont intégrées à nos habitudes visuelles sans qu'il y ait une imperfection de nos sens. Ces erreurs de perception peuvent avoir de graves conséquences dans notre exercice quotidien, notamment dans le domaine de la prothèse fixée à visée esthétique.

2-1-1-7- Les limites de l'œil (19)

On constate qu'un certain nombre de facteurs peuvent limiter notre système visuel. On retrouve ainsi :

- ✓ La fatigue rétinienne : lors de phénomènes de persistance rétinienne, après une exposition à des couleurs trop vives, il faut un temps de repos considérable pour que l'œil récupère
- ✓ La mauvaise mémoire des couleurs : nécessité de comparer deux objets pour déterminer leurs différences
- ✓ Les effets d'arrière-plan : peuvent venir perturber notre champ de vision
- ✓ La différence de perception des couleurs : daltonisme
- ✓ Les conditions d'éclairage : une mauvaise analyse des couleurs peut provenir d'un défaut d'éclairage
- ✓ Le jugement : stress, heure du jour, fatigue, conditions ambiantes peuvent fausser l'analyse de la couleur
- ✓ L'âge : la cornée jaunie devient moins flexible avec l'âge

2-1-2- La vision des couleurs

La couleur d'un objet n'existe que si une source lumineuse le frappe. La couleur est une sensation qui nécessite (75) :

- ✓ Des éléments physiques

- ✓ Des processus physiologiques
- ✓ Une interprétation psychosensorielle

La vision des couleurs s'appuie sur trois mécanismes **(75)** :

- ✓ Les caractéristiques physiques de la couleur
- ✓ Le mécanisme physiologique du traitement du signal lumineux : photons
→ cellules nerveuses de la rétine → nerf optique → cerveau
- ✓ Le mécanisme psychosensoriel d'interprétation et de reconnaissance de la forme, de la couleur et de l'état de surface, au niveau cérébral **(36)**

2-1-2-1- La lumière **(19) (64) (65) (75)**

La lumière ou éclairage conditionne la vision humaine. Phénomène ondulatoire, la lumière est caractérisée par sa longueur d'onde et son énergie. Le spectre des couleurs visibles pour l'œil humain s'étend de 380 nm (limite de l'infrarouge) à 800nm (limite de l'ultraviolet) ; cela constitue une partie restreinte du rayonnement électromagnétique.

On ne peut voir la couleur s'il n'y a pas de lumière. Pour voir un objet, il faut :

- ✓ Que ce soit une source lumineuse
- ✓ Ou qu'il transmette la lumière
- ✓ Ou qu'il réfléchisse la lumière d'une source lumineuse

La source lumineuse, naturelle ou artificielle, fait varier la couleur des objets. Il existe donc différents types de lumière : la lumière chaude (incandescente) liée à la température de la matière, et la lumière froide (luminescence) dépendant de la nature des atomes ou des molécules qui composent la matière.

Globalement, on classe les sources lumineuses selon la température de couleur : comparaison avec le spectre d'émission d'un corps noir porté à une température donnée. Le corps noir serait un corps transformant la totalité de l'énergie reçue en lumière. La température de couleur vire au rouge quand la température thermique baisse, et au bleu si elle hausse. La température de couleur s'exprime en degré Kelvin (°K).

Les sources lumineuses appelées « illuminants standards » sont au nombre de 5 :

- ✓ Illuminant standard A : lampe à filament de tungstène, température de couleur de 2850°K
- ✓ Illuminant standard B : lumière directe du soleil à midi, 4874°K
- ✓ Illuminant standard C : lumière moyenne du jour (soleil et ciel bleu), 6774°K
- ✓ Illuminant standard D : lumière du jour dans un ciel uniformément brumeux, 6500°K ; D50 (énergie aux pôles, 5000°K) ; D65 (énergie en zone tempérée, 6500°K) ; D75 (énergie à l'équateur, 7500°K)
- ✓ Illuminant standard F : pas de lampe fluorescente standard ; chaque type de lampe fluorescente possède sa propre courbe d'énergie

Plusieurs facteurs peuvent faire varier la composition spectrale de la lumière :

- ✓ La latitude
- ✓ L'altitude : les longueurs d'onde courtes prédominent
- ✓ L'heure de la journée : la lumière solaire est plus riche en grandes longueurs d'onde le matin et le soir
- ✓ La technologie employée (néon, ampoules...)

Pour choisir ou réaliser une teinte, le meilleur éclairage correspond à la norme internationale D65. Il s'agit d'un éclairage dit de « lumière du jour » permanent et régulier du 1^{er} janvier au 31 décembre ; ce serait une journée de septembre, vers 10 heures du matin, avec un ciel bleu couvert par 3/5 de nuages blancs épars, sous notre latitude et sans parasites ; la température de couleur est de 6504°K.

2-1-2-2- Les modes d'obtention de la couleur (4) (22) (75)

Nous avons vu que la perception des couleurs varie beaucoup selon les personnes, les conditions, l'environnement... Il est donc difficile de définir la couleur, d'autant plus que la couleur n'appartient pas à l'objet, mais résulte de la soustraction que fait celui-ci d'une partie plus ou moins importante de telle ou telle radiation contenue dans la lumière blanche qui l'éclaire. Nous dirons donc que la couleur est la sensation perçue par notre

système visuel (œil et cerveau) lorsque les objets que nous regardons reçoivent une lumière dont les longueurs sont comprises entre 400 et 700 nm.

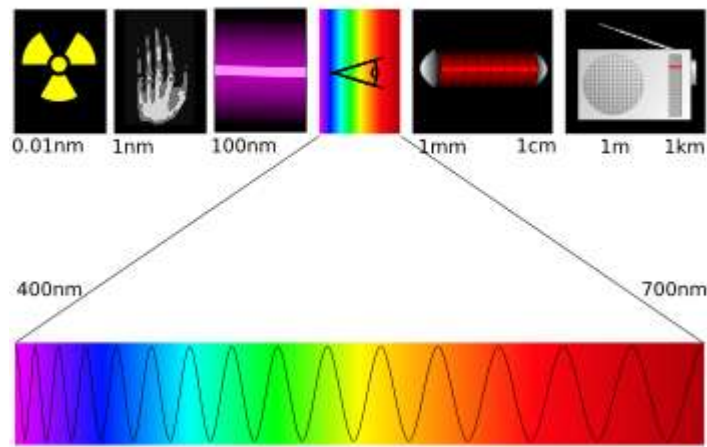


Figure n° 13: illustration du spectre électromagnétique (d'après Tatoute, sur wikipedia.org) (82)

2-1-2-2-1- Synthèse additive : mode RVB

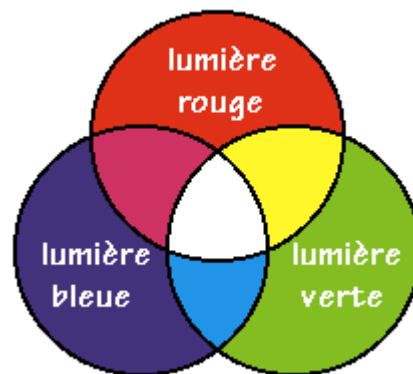


Figure n°14 : synthèse additive (d'après absolutphoto.com) (1)

Cette synthèse est basée sur le principe que la lumière blanche est constituée par les trois couleurs primaires Rouge, Vert et Bleu (RVB). C'est le principe utilisé pour l'affichage des écrans vidéo et pour l'image numérique. Elle prend exemple sur la capacité de l'œil à visualiser l'ensemble du spectre coloré visible à partir des trois types

de cônes. A partir de ces trois couleurs primaires, on peut obtenir les trois couleurs secondaires :

- ✓ Cyan = bleu + vert
- ✓ Magenta = bleu + rouge
- ✓ Jaune = rouge + vert

Ici le noir correspond au résultat de l'absence d'une source lumineuse.

2-1-2-2-2- Synthèse soustractive : mode CMJN

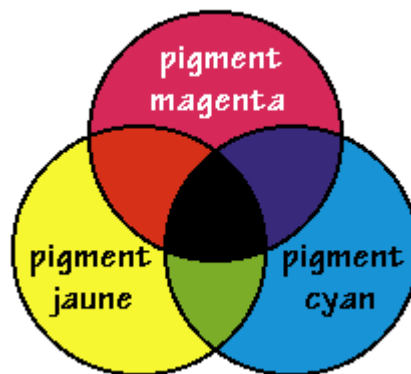


Figure n°15 : synthèse soustractive (d'après absolutphoto.com) (1)

Dans ce cas, on inverse les couleurs primaires et secondaires : les premières deviennent le cyan, le magenta et le jaune, et les secondes le rouge, le vert et le bleu. Le principe est que la lumière est filtrée par soustraction de certaines de ses composantes colorées. On l'utilise dans le mode d'impression des photographies.

Dans ces techniques d'impression, les superpositions des trois couleurs primaires ne donneront jamais de noir pur. On emploiera donc le noir comme quatrième couleur ; d'où le mode CMJN (Cyan, Magenta, Jaune, Noir).

2-1-2-3- Les trois dimensions de la couleur (75)

Tout comme nous les avons vu précédemment, les trois dimensions de la couleur sont la tonalité chromatique ou teinte, la saturation et la luminosité (système TSL).

Nous ajouterons seulement que Henry A. Munsell (peintre américain) a créé en 1815 une représentation de l'ensemble des couleurs sous la forme d'un arbre coloré prenant en considération ces trois dimensions. Cet arbre est composé d'un axe vertical allant du noir au blanc par échelons successifs de gris. Dans le plan horizontal, autour de l'axe central, sont disposées les teintes.

Ce système est largement utilisé par de nombreux logiciels de traitement d'image. Son intérêt majeur réside dans une approche plus psychologique que physique.

2-1-2-4- Le contraste (75)

La perception colorée dépend beaucoup de l'environnement dans lequel se situe l'objet que l'on regarde. Dans notre exercice quotidien, l'environnement a une influence prépondérante dans le choix de la couleur. Les lèvres et les tissus gingivaux peuvent le fausser.

On parle de phénomène de red shift lorsqu'un objet voit sa composante chaude absorbée par son environnement, ce qui l'entoure, et apparaît ainsi plus gris et moins lumineux.

2-2- De l'argentique au numérique

2-2-1- Généralités sur l'appareil argentique

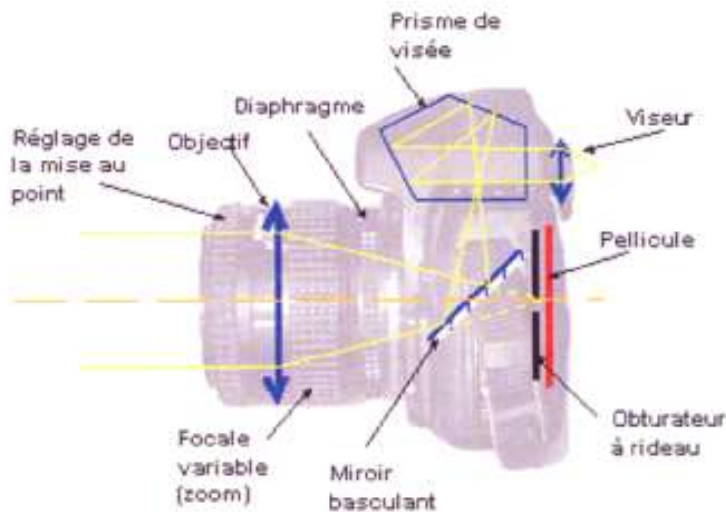


Figure n° 16: constitution d'un appareil photographique argentique (d'après wikipedia.org) (82)

Un appareil analogique est constitué en trois parties ; le système de lentilles assure la mise au point de l'image ; le diaphragme et l'obturateur modulent la quantité de lumière qui arrivera au niveau du film photosensible. Le déclenchement de l'obturateur permet l'entrée de la lumière qui, via le système de lentilles et le diaphragme vient frapper la pellicule où se fixe l'image ; la pellicule est ensuite envoyée au laboratoire pour son développement.

2-2-1-1- Fonctions (11)

L'appareil photographique argentique possède trois fonctions principales :

- ✓ Le maintien de la pellicule assuré par le corps de l'appareil étanche à la lumière ; il permet l'avancement de la pellicule de la planéité pendant la prise de vue
- ✓ La formation de l'image réalisée par l'objectif et son système de mise au point pour avoir une image nette sur la pellicule
- ✓ Le dosage de la lumière, manuellement ou automatiquement en jouant sur l'obturateur, déterminant le temps de pose, et le diaphragme permettant le passage plus ou moins important de la lumière

2-2-1-2- Réflex ou compact (11)

Le système de visée des appareils réflex se fait à travers l'objectif. De nombreux accessoires peuvent être ajoutés; notons que l'objectif peut être interchangeable. Les réflex peuvent exister soit en « tout manuel » soit en « tout automatique », et de larges applications sont possibles, notamment dans le domaine dentaire.

Les appareils dits compacts sont moins indiqués pour la pratique odontologique (macrophotographie...). Ils sont en général automatiques avec un objectif non interchangeable. Les applications étant limitées, ils sont réservés pour des utilisations courantes (photographie de vacances...).



Figure n° 17: appareil compact APS Konica BMS 100 (d'après wikipedia.org) (82)

2-2-1-3- La pellicule (4)

Différents procédés chimiques interviennent dans la capture de l'image par la pellicule. Les procédés photographiques en argentique reposent sur la sensibilité aux radiations lumineuses des cristaux d'halogénure d'argent, composés chimiques combinant l'argent et un halogène : le brome, le chlore ou l'iode **(4)**.

Une pellicule est constituée de différentes couches **(4)**:

- ✓ La couche antirayures transparente protégeant l'émulsion
- ✓ L'émulsion : élément essentiel de la pellicule adhérent au support par le substratum
- ✓ Le substratum
- ✓ Le support
- ✓ La couche antihalo : évite les problèmes de réflexion de la lumière sur le support qui pourraient perturber la netteté de l'image
- ✓ La couche anticurl : rigidifie le film

2-2-1-3-1- Le format (11)

Le format de la pellicule détermine le format de l'appareil. Il existe quatre types de format de pellicule différents :

- ✓ Le 24*36 : film de 35 mm avec perforations latérales

- ✓ Le moyen format : film de 60 mm de large environ, sans perforations
- ✓ Le grand format : pas vraiment un appareil photographique, mais très proche d'une chambre noire ; pour les applications professionnelles, difficilement utilisable en odontologie
- ✓ L'APS : nouveau format encore plus petit que le 24*36

2-2-1-3-2- La sensibilité (11)

La sensibilité s'exprime en ISO (Organisation Internationale de Normalisation). C'est l'échelle de la sensibilité des surfaces sensibles (pellicule en photographie argentique, capteur en numérique). Elle caractérise la sensibilité de la pellicule ou du capteur à la lumière. Elle est définie par la norme ISO 5800 (1987). Une sensibilité élevée signifie que la surface photosensible nécessite moins de lumière et donc une exposition plus faible. En dessous de 100 ISO, cette sensibilité est faible. En numérique, la qualité du piqué est optimale à partir de 100 ISO. En argentique, la norme moyenne se situe entre 100 et 400 ISO. Le grain est d'autant plus visible que la sensibilité est élevée ; une sensibilité faible avec une certaine finesse de grain permet des agrandissements importants.

2-2-1-3-3- La diapositive (11)

La luminosité d'une diapositive est nettement supérieure au tirage papier, notamment aux faibles et moyennes sensibilités. Utilisée sur grand écran, sous obscurité, avec un projecteur et une salle adaptée, son impact est maximum ; mais sa mise en œuvre est souvent jugée trop lourde.

2-2-1-3-4- Le négatif couleur (11)

Type de pellicule le plus répandu, il est utilisé pour des tirages sur papier. Contrairement à la diapositive, il tolère les erreurs d'exposition. Le négatif couleur permet de couvrir tous les besoins des faibles sensibilités (paysages, macrophotographie...) jusqu'aux sensibilités élevées pour les photographies où la luminosité est insuffisante (pour les appareils compacts qui ont en général un objectif qui laisse peu entrer la lumière).

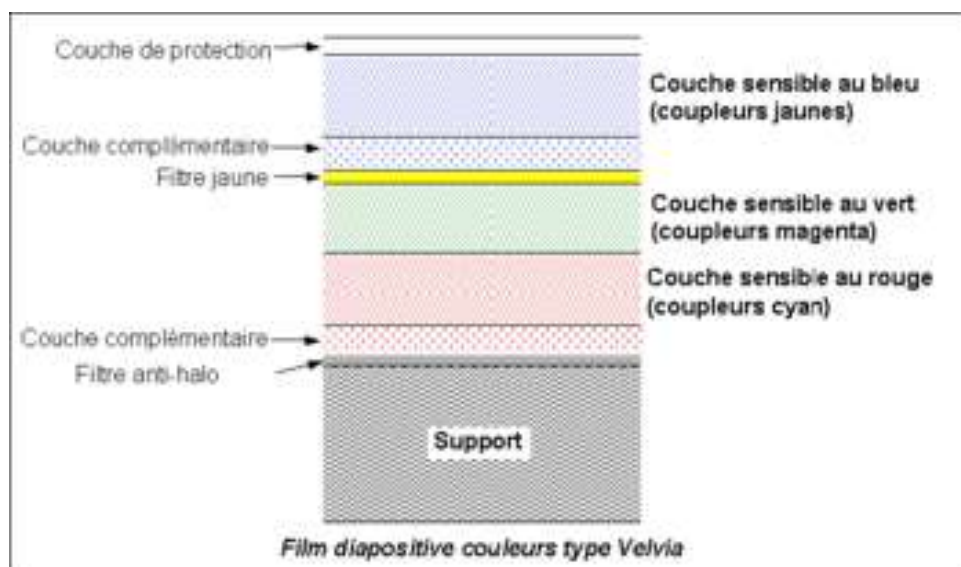


Figure n° 18: film diapositive couleurs type Velvia (d'après wikipedia.org) (82)

2-2-2- Comparaison entre la photographie argentique et la photographie numérique (75)

Comme nous l'avons vu précédemment, la photographie argentique est le résultat d'une impression, par exposition à la lumière, de l'image sur un film plastique enduit d'un réactif photosensible (la pellicule). Le film doit ensuite être envoyé au laboratoire, développé et tiré sur papier.

La photographie numérique utilise un capteur photosensible. L'image est ensuite stockée dans une mémoire informatique. La constitution d'un appareil photographique

numérique (APN) est le même que pour celui d'un appareil analogique : le diaphragme, l'obturateur, le système de lentilles. Seul le système d'enregistrement change. Le capteur photosensible se situe derrière le diaphragme et enregistre l'image en synergie avec le processeur d'image et un média de stockage.

2-2-2-1- Avantages de l'argentique sur le numérique (36)

Pour obtenir une image numérique correcte, il faut un capteur d'environ 2 Mpixels, ce qui permet un tirage de 10*15 cm. Par comparaison, une photographie argentique correspond à des capteurs numériques de 11 Mpixels ; et une diapositive à un capteur de 25 à 30 Mpixels.

La profondeur des couleurs et la continuité tonale sont supérieures en argentique qu'en numérique. Ajoutons à cela une sensibilité pour les films argentiques de 25 à 3200 ISO, alors que les capteurs vont de 50 à 1000 ISO ; ceux-ci présentent des faiblesses dans les basses lumières pouvant créer un bruit numérique rendant inexploitable les images.

Un autre avantage de l'argentique se situe au niveau des déclenchements de la photographie qui est de 0.2 seconde après la pression du bouton, opposé à 0.8 pour le numérique augmentant le risque de « bougé ».

La photographie numérique présente également des inconvénients en ce qui concernent les difficultés à restituer les tons clairs, ou encore le fait que la compression JPEG réduit la qualité.

2-2-2-2- Avantages du numérique sur l'argentique (4) (25) (48) (59) (60)

La grande profondeur de champ de l'APN, due au capteur, donne un avantage pour la macrophotographie et pour la pratique odonto-stomatologique.

Le numérique présente de grands intérêts en termes d'utilisation et d'ergonomie. Un viseur numérique est moins bon que celui d'un argentique, mais l'écran LCD permet

une plus grande facilité d'emploi. De plus, le coût et la pollution sont moindres. D'un point de vue usage, on trouve comme intérêt :

- ✓ Production rapide d'image
- ✓ Suppression rapide et facile des images pauvres
- ✓ Pas besoin de pellicule, donc pas de développement au laboratoire, et moins de perte de temps
- ✓ Coût diminué de l'agrandissement
- ✓ Facilité d'édition et de stockage des images (difficile avec l'argentique)
- ✓ Intégration facilitée dans les présentations et les publications
- ✓ L'équilibre des couleurs peut être réalisé sans l'utilisation de filtres
- ✓ Amélioration rapide des techniques
- ✓ Affichage des différentes possibilités sur le même capteur
- ✓ Balance des blancs dans le cas de sources lumineuses diverses plus facile
- ✓ Economie à l'usage
- ✓ Communication améliorée (avec le patient, les confrères, le prothésiste)

Des améliorations de l'image par l'intermédiaire de logiciels spécialisés sont possibles en photographie numérique. La qualité de prise de vue est meilleure en argentique, mais les corrections possibles en numérique ne sont pas négligeables.

Pour sa facilité d'utilisation, la photographie numérique est plus indiquée pour la pratique dentaire ; et ceci d'autant plus que les photoscopes (APN) tendent à se rapprocher de la qualité des appareils analogiques ; l'écart est de plus en plus faible au fil des années. Aujourd'hui, l'utilisation du numérique semble se généraliser.

2-2-2-3- Inconvénients du numérique (4) (9)

Il est important de bien connaître les inconvénients du numérique car, aujourd'hui, c'est essentiellement l'APN qui est utilisé en cabinet.

Il en existe sur le plan mécanique, mais aussi sur le plan qualitatif :

- ✓ Equipement électrique (câbles, fils) important, dépendance électrique (piles, batteries)

- ✓ Fragilité (à la chaleur, à l'humidité, aux chocs)
- ✓ Réparations coûteuses
- ✓ Obsolescence rapide
- ✓ Connaissances informatiques nécessaires pour l'exploitation des images
- ✓ Temps et travail supplémentaires
- ✓ Risque d'excès de confiance
- ✓ Le bruit numérique remplace le grain argentique
- ✓ Viseur rarement de type reflex
- ✓ Eclairage au flash souvent peu évolué et décalé par rapport à l'axe de l'objectif
- ✓ Temps de latence au déclenchement
- ✓ Nécessité de compléments optiques car faible rapport de grossissement

Ces différents inconvénients n'existent plus lors de l'usage de boîtiers 24*36 à objectifs interchangeables de type professionnel. On peut y connecter un objectif macro et un flash de type annulaire identiques à ceux de l'argentique. Mais ils restent relativement chers.

2-3- Principe de fonctionnement d'un appareil de photographie numérique

2-3-1- Généralités (35) (73)

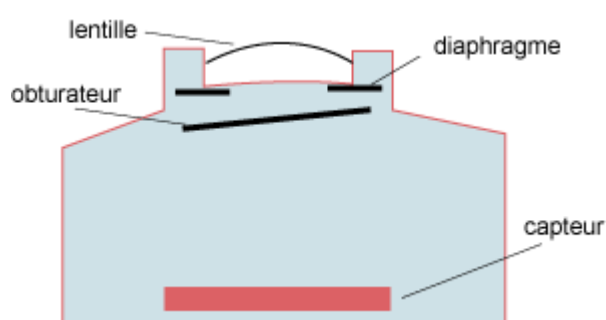


Figure n° 19: APN simplifié (d'après absolutphoto.com) (1)

On peut dire que les APN sont des scanners portables ; mais ils ne s'arrêtent pas aux images 2D. Ils contiennent une lentille (comme un appareil standard) qui fait converger la lumière sur un plan photosensible (le capteur CCD : Charge Coupled Device = dispositif à transfert de charge), incapable de conserver une image durablement contrairement à la pellicule.

Le CCD est divisé en pixels ; plus le nombre de pixels est grand, plus la résolution est importante, et meilleure sera la qualité de la photographie (d'où un prix plus élevé). Chaque pixel est converti en une valeur numérique déterminée par la couleur et l'intensité de la lumière durant l'exposition photographique. Un logiciel interne transforme cette valeur en image qui est ensuite stockée (disquette, memory card). On transmet ensuite cette image sur un ordinateur. On a ainsi une production d'images rapide et une utilisation souple donnant un grand avantage au numérique sur l'argentique.

2-3-2- Les différents types d'APN (75)

L'appareil photographique est un dispositif complexe. La qualité finale d'une photographie dépend des qualités respectives des constituants de l'appareil, notamment de l'objectif (dispositif optique) et de la surface photosensible.

2-3-2-1- Compacts et ultra-compacts



Figure n° 20: Compact numérique (d'après absolutphoto.com) (1)

Non adapté à notre profession, ils sont de petite taille, compacts et légers, avec un objectif fixe non interchangeable, rétractable, et un viseur optique décalé. On ne peut y ajouter de compléments optiques ; le zoom, s'il existe, est peu important ; et le mode macro est rare, et peu performant pour la photographie dentaire.

Dans le cas de ces appareils, trop d'inconvénients vont se présenter. Souvent, les constructeurs augmentent le nombre de pixels avec la même surface de capteur, diminuant ainsi la sensibilité. Ou encore, ils vont augmenter la grandeur de l'écran LCD, on peut donc penser qu'il y aura un plus grand confort de visée ; mais ils n'augmentent pas la surface du capteur ; si l'écran était plus petit, l'image serait plus petite, mais plus nette.

2-3-2-2- Les boîtiers classiques

Très répandus, ils sont de qualité variable allant de moyen à très bon. Possédant un objectif fixe non interchangeable, ils peuvent néanmoins recevoir des compléments optiques très importants dans notre spécialité. Le viseur optique est séparé de l'objectif, ce qui peut entraîner des problèmes de parallaxe en prise de vue rapprochée.

NB : parallaxe = l'image de l'objectif et celle enregistrée sur la surface photosensible n'est pas la même (7).

2-3-2-3- Les « bridges camera »



Figure n° 21: Bridge numérique (d'après absolutphoto.com) (1)

Les « bridges camera » présentent un écran LCD situé au fond de l'objectif comme viseur électronique, viseur d'environ 1 cm et de plus de 200000 pixels. On peut ainsi évaluer exactement l'image capturée par le capteur CCD, alors que les viseurs optiques coupent une partie de cette image. On voit à travers le capteur, on évalue directement le cadrage, l'exposition et l'équilibre des couleurs. Par contre, il consomme plus d'énergie qu'un viseur optique.

Ayant un objectif non interchangeable, ils possèdent un zoom puissant au fort grossissement et un stabilisateur d'image éliminant ainsi tout risque de « bougé ».

2-3-2-4- Les reflex numériques

Ce sont les appareils les plus sophistiqués, mais aussi les plus chers. Lourds, ils sont également plus compliqués à manier et demande d'être rompu à ce genre d'appareil.

Ce sont les seuls à avoir des objectifs interchangeables ; ils présentent également une gamme de compléments optiques ou de flashes.

La visée se fait au travers de l'objectif, par l'intermédiaire d'un miroir placé à 45° devant l'obturateur qui réfléchit la lumière provenant de l'objectif. On parle de visée aérienne.

2-3-3- Le capteur (59) (61) (75)

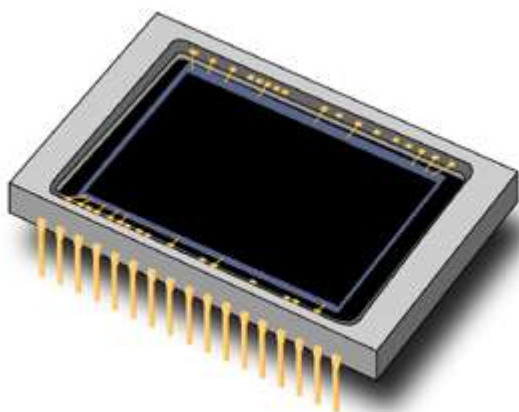


Figure n° 22: capteur numérique CCD (d'après absolutphoto.com) (1)

Inventé par les laboratoires Bell, c'est un circuit photoélectrique fixé au fond du boîtier dont le rôle est de convertir les rayons lumineux qui le frappent en une image fixe, tout comme les pellicules argentiques (4)

2-3-3-1- Fonctionnement du capteur (75)

Les capteurs possèdent une couche de silicium semi-conducteur. Les photons (la lumière), s'ils possèdent suffisamment d'énergie, pénètrent dans le silicium par l'intermédiaire de photodiodes, et provoquent une excitation des électrons.

Ces capteurs possèdent également un filtre infrarouge. Normalement, seuls les photons de fréquence supérieure à l'infrarouge ont l'énergie nécessaire. Le filtre permet d'être sûr de ne pas avoir d'erreur sur l'image (si jamais des photons de fréquence infrarouge passent).

On va alors passer d'un signal analogique (lumière) à un signal numérique en langage binaire (0 ; 1) au niveau du capteur. Ce signal est ensuite traité par un processeur d'image de l'appareil afin de créer une bonne image.

2-3-3-2- Différents types de capteurs

Il en existe 4 :

- ✓ Le capteur CCD (Charge Coupled Device ou circuit à transfert de charges)
- ✓ Le capteur Super CCD
- ✓ Le capteur CMOS (Complementary Metal Oxyde Semiconductors)
- ✓ Le capteur Fovéon X3 (firme Fovéon)

2-3-3-2-1- Le capteur CCD (22) (24) (54) (70)

La surface du capteur CCD est constituée de multiples photosites (cellules photosensibles de 4 à 10 microns) formant un réseau. Selon la quantité de lumière reçue, chaque photosite va produire des charges électriques (les électrons). En l'état actuel, nous aurions une image en noir et blanc. On ajoute donc sur les photosites des filtres de couleur : un filtre de Bayer.

Pour un pixel, nous avons besoin de 4 photosites. On a donc besoin de 4 microlentilles colorées devant les 4 photosites : 2 vertes, 1 rouge, 1 bleu (prédominance du vert dans la lumière blanche).

Un canal de transmission (ou canal de transfert de charges) achemine ensuite la charge électrique accumulée dans le photosite. Cela se fait entre ces derniers qui ne sont pas jointifs. On arrive alors au convertisseur analogique/numérique de l'appareil qui traite les signaux (les amplifie, les quantifie...) afin d'obtenir le pixel correspondant aux 4 photosites. La couleur d'affichage du pixel sera calculée par interpolation des valeurs des 4 photosites.

Le transfert de charges peut s'effectuer de plusieurs manières :

- ✓ Transfert interligne : chaque photosite est associé à un canal de transfert ; les charges sont transférées des photosites horizontalement vers le registre associé, puis verticalement vers le registre de sortie jusqu'au convertisseur analogique/numérique ; ceci permet une acquisition rapide de l'image, mais réduit la sensibilité et la finesse de l'image ; ceci est bon pour la caméra vidéo
- ✓ Transfert de trame : idem que précédemment, sauf que les colonnes de transfert et d'acquisition sont alignées verticalement
- ✓ Transfert pleine trame : les photosites sont couplés verticalement et toutes les lignes verticales sont transférées en parallèle vers le registre de sortie

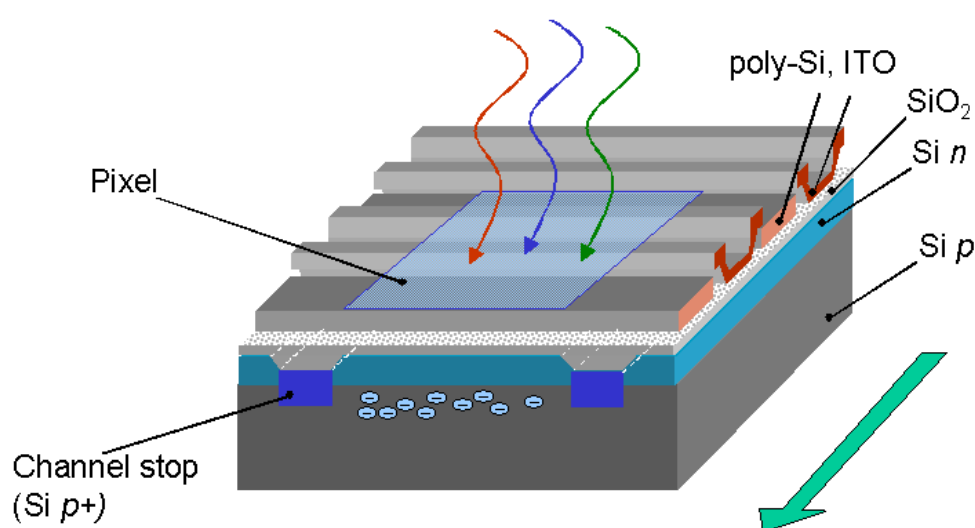


Figure n°23 : une vue 3D simplifiée d'un capteur CCD (d'après wikipedia.org)

(82)

2-3-3-2-2- Le capteur Super CCD (75)

Contrairement au capteur CCD, les photosites sont octogonaux au lieu d'être carrés. Ils sont organisés en nid d'abeilles ce qui permet un gain de place. De part son organisation spatiale, le capteur Super CCD est capable d'analyser toutes les lignes sans tomber dans les canaux de transfert situés entre les photosites. On obtient ainsi une résolution comparable aux caractéristiques de perception de l'œil humain.

Dans ce capteur, à partir d'un photosite, on peut obtenir 1.7 pixel. Le calcul d'interpolation se fait à partir d'éléments physiques existants et non à partir de logiciel comme dans le capteur CCD. On a donc une résolution à moindre coût vu que la résolution du capteur est fonction de sa taille (nombre de photosites).

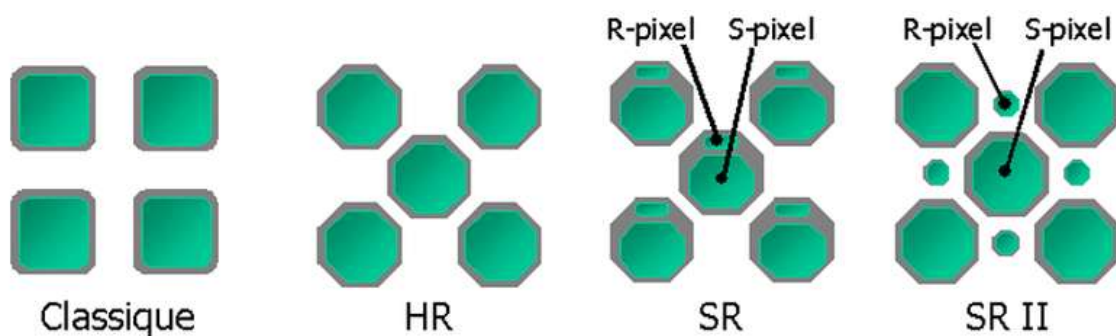


Figure n° 24: évolution des capteurs CCD (d'après wikipedia.org) (82)

2-3-3-2-3- Le capteur CMOS (75)

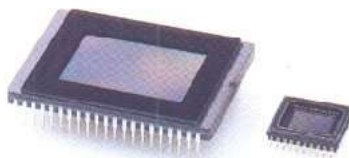


Figure n°25 : capteur CMOS (d'après absolutphoto.com) (1)

Les capteurs CMOS (Complementary Metal Oxyde Semiconductors) sont des circuits électroniques gravés dans le silicium fabriqués selon le même procédé que les puces d'ordinateur, ce qui permet de réduire considérablement les coûts de fabrication.

Contrairement aux capteurs CCD, il n'y a pas de transfert de charges. Chaque photosite est indépendant. La charge reçue par celui-ci est directement convertie en tension utilisable ; chaque photosite possède son propre amplificateur, d'où une diminution du temps d'acquisition. Ces capteurs consomment moins d'énergie.

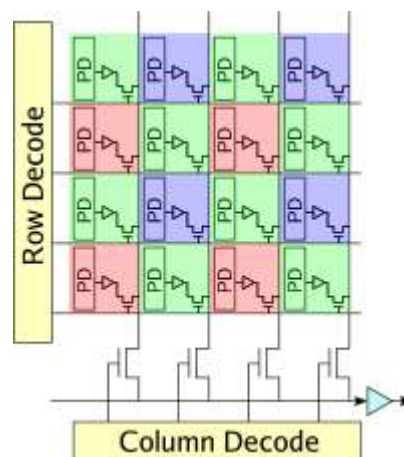


Figure n°26: illustration du mécanisme du capteur CMOS (d'après wikipedia.org) (82)

2-3-3-2-4- Le Fovéon X3 (75)

Ce capteur est de technologie CMOS et présente 3 niveaux superposés de photosites enregistrant chacun une couleur différente :

- ✓ Le bleu est absorbé par la matrice superficielle
- ✓ Le vert par la couche médiane
- ✓ Le rouge par la matrice la plus profonde

La couleur est ainsi obtenue directement sur le photosite. Il en résulte une plus grande rapidité d'accès et une meilleure qualité de rendu des couleurs.

Dans un capteur CCD, l'image est créée par interpolation car un photosite n'enregistre qu'une couleur (soit 1/3 de l'image). Le Fovéon X3 mesure les lumières rouge, verte et bleue à chaque emplacement dans le plan de l'image. Comme un seul photosite définit les trois composantes de la lumière, il n'y a pas de calcul d'interpolation de la couleur ; la sensibilité est augmentée et la disponibilité de l'image est plus rapide puisque le traitement se fait en une image.

2-3-3-3- Qualité, dimensions et sensibilité d'un capteur (75)

2-3-3-3-1- Qualité d'un capteur

La qualité d'une photographie s'apprécie par le respect du sujet original et par l'absence de défaut. Le rendement (ou sensibilité), l'efficacité de transfert, la linéarité du signal obtenu, la capacité des pixels et les défauts internes font la qualité d'un capteur.

Le rendement est la quantité d'électrons émis pour chaque photon reçu (50% pour un capteur CCD).

L'efficacité de transfert est le nombre d'électrons perdus au cours du transfert. Ceci peut générer un bruit sur l'image (bruit de transfert). L'image aura alors un aspect granuleux avec une mauvaise représentation de détails les plus fins. C'est une « image bruitée ». Un capteur CCD perd un électron sur 100000.

La capacité des pixels varie de 50000 à 1 millions d'électrons et est liée à la taille des pixels.

Isolés ou par groupe, les défauts internes des capteurs peuvent être des photosites morts (sans détectivité), des photosites chauds (quiaturent très vite), des photosites froids (réagissant mal aux faibles flux).

La linéarité du signal obtenu doit être proportionnel au flux reçu.

NB : bruit numérique = une image numérique peut également présenter un aspect granuleux avec une mauvaise représentation des détails les plus fins ; c'est une image bruitée due à des altérations ou des déformations du signal (75).

2-3-3-3-2- Dimensions du capteur

Le format de référence en photographie argentique est le 35 mm qui correspond à la taille de la pellicule de 24 mm de hauteur sur 36 mm de largeur, soit un ratio de 2/3.

La taille des capteurs est très inférieure à celle des films de 35 mm et ont la plupart du temps un ratio de 4/3. Ceci a des conséquences sur la qualité de l'image et la longueur focale des objectifs.

2-3-3-3-3- Sensibilité du capteur

En numérique, la sensibilité de l'appareil peut varier de 100 à 1600 ISO par amplification du signal, le capteur lui-même ne changeant pas de sensibilité. Cependant cette amplification augmente également le bruit de l'image. On peut régler cette sensibilité manuellement ou le capteur peut le faire automatiquement.

II-3-4- Critères de choix d'un photoscope

II-3-4-1- Le nombre de pixels (59)

II-3-4-1-1- Le pixel



Figure n° 27: différents degrés de pixellisation (d'après wikipedia.org) (82)

L'image numérique, en mode bitmap, est composée de pixels. Pixel est la contraction de l'expression anglaise Picture Element. La structure d'une image numérique est donc discontinue. Chaque pixel possède une couleur, un contraste, une luminosité : l'ensemble, placé côte à côte, forme l'image.

La résolution (capacité de restituer les détails fins) dépend de la densité des pixels d'une image numérique (exprimé en point par pouce, ppp, dds per inch).

Pour une densité de pixels suffisamment élevée, et une dimension inférieure à 0.1 mm pour une image vue à 30 cm de distance, l'œil opère une fusion des couleurs entre les pixels et nous donne l'illusion d'une image continue. Il cesse de percevoir les différents pixels. Un agrandissement de l'image entraînerait une pixellisation de celle-ci. On constaterait que l'image est discontinue.

Le langage informatique d'une image bitmap traduit chaque pixel en une valeur, selon son niveau de gris, si l'image est en noir et blanc ; en rouge, vert et bleu si elle est en couleur. Une image ne comportant que du noir et du blanc aura ses pixels traduits en deux valeurs : 0 (blanc) et 1 (noir).

2-3-4-1-2- Le nombre de pixels

Ce critère dépend avant tout de l'utilisation que l'on fait de l'appareil. Pour l'utilisation informatique (visualisation sur écran, internet, transmission par courrier électronique), il faut une résolution de 640*480 pixels.

Une résolution de 800*1000 pixels est nécessaire pour des impressions de qualité photo au format carte postale (10-15 cm).

Pour des agrandissements au format A5 (15*21 cm), on choisit un appareil de 1 à 2 Mpixels minimum.

On doit prendre en compte le nombre de photosites que possède un capteur et le nombre maximal que le photoscope est capable de délivrer.

2-3-4-2- Le système de visée (7) (40) (57)

Il existe trois types différents de système de visée :

- ✓ Viseur oculaire optique sans écran moniteur
- ✓ Ecran moniteur sans viseur oculaire
- ✓ Ecran moniteur et viseur oculaire

2-3-4-2-1- Ecran moniteur



Figure n° 28: écran moniteur sur APN (d'après wikipedia.org) (82)

Tous les APN actuels sont équipés d'un écran moniteur parfois orientable avec un volet, ou fixe à l'arrière du boîtier. Leur taille varie de 4 à 6.5 cm de diagonale. Il possède plusieurs fonctions :

- ✓ Cadrage de la photographie (même dans des positions impossibles avec le viseur oculaire ainsi que pour les vues rapprochées)
- ✓ Paramètres de la prise de vue
- ✓ Visualiser les photographies enregistrées et les supprimer
- ✓ Accès à la visualisation des différents menus de réglage de l'appareil

Il présente tout de même quelques inconvénients :

- ✓ Très faible résolution ne permettant pas de juger réellement de la qualité de l'image enregistrée
- ✓ Grande consommation d'énergie
- ✓ Visibilité de l'écran quasi-nulle dans les conditions de scène fortement éclairée nécessitant le recours à la visée oculaire
- ✓ Risque de bouger lors du déclenchement

Jusqu'à nos jours, les écrans moniteurs étaient toujours un afficheur à cristaux liquides (ACL ou LCD = Liquid Cristal Display). Mais il existe maintenant des alternatives ; les écrans OLED (Organic Light Emitting Diode), LCOS (Liquid Cristal On Silicon), FLC (Ferroelectric Liquid Cristal). Ces écrans présentent d'autres avantages :

- ✓ Auto-lumineux, ils ont une plus grande luminosité
- ✓ Ils peuvent être observés autrement que pleine face avec un grand angle de vision
- ✓ Moindre consommation d'énergie
- ✓ Ecrans plats et souples d'un niveau de brillance et de finesse supérieur aux LCD
- ✓ Ils n'ont pas besoin de rétro-éclairage
- ✓ Ils limitent les phénomènes de rémanence de l'image

2-3-4-2-2- Le viseur oculaire (5) (7) (75)

Le viseur oculaire permet d'éviter le risque de bouger au déclenchement contrairement à l'écran moniteur. On place en effet l'appareil contre le visage.

Il existe trois types de système de visée oculaire :

- ✓ Visée reflex : système purement optique procurant une visée directe à travers l'objectif (TTL : Through The Lens) composé d'un oculaire, d'un prisme, d'une lentille correctrice, d'un verre de visée et d'un miroir pivotant ; avantages : cadrage précis, luminosité, affichage des données de prise de vue, contrôle de la profondeur de champ
- ✓ Visée simple de type Galilée (compacts) : petite fenêtre constituée d'une lentille, situé à proximité de l'axe de l'objectif ; très lumineux, mais cadrage moins large que l'image enregistrée (difficilement exploitable pour des photographies rapprochées)
- ✓ Viseurs électroniques couleur EVF (Electronic View Finder) : minuscule moniteur à cristaux liquides restituant directement l'image du capteur ; employé sur les appareils à zone optique dépassant 4X (bridges caméra) ; l'image est lisible même en ambiance lumineuse ; pas de parallaxe ; inconvénients : image grossière à basse résolution, ne permettent de juger

de l'équilibre des couleurs, de l'exposition, de la netteté, du bougé, du contraste, de la profondeur de champ ; retard à l'affichage, d'où problème au déclenchement.

2-3-4-3- L'objectif (56) (83)



Figure n° 29: Différents types d'objectif (d'après absolutphoto.com) (1)

L'objectif photographique est un système optique convergent formé de plusieurs lentilles, donnant des images réelles sur la surface sensible de l'appareil. La distance focale, l'ouverture relative et l'angle de champ caractérisent un objectif. Son rôle est de permettre la formation d'une image nette sur le plan film.

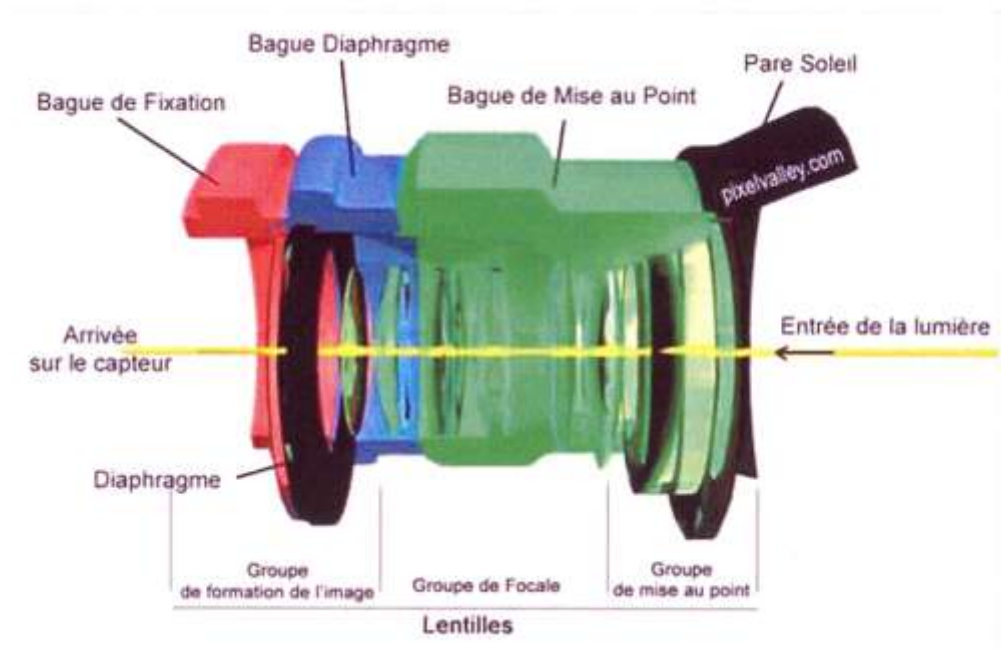


Figure n° 30: constitution d'un objectif (d'après absolutphoto.com) (1)

En comparaison de la photographie argentique, il doit être d'une performance plus élevée en numérique, car la lumière est concentrée sur une surface plus petite que la pellicule 24*36.

On peut avoir différents types d'objectifs : soit des objectifs à focale fixe (photoscopes d'entrée de gamme), soit des objectifs à focale variable (zoom à translation interne ou zoom extractible). L'objectif peut également être fixe, ou un même appareil (notamment les reflex numériques) permet un large choix d'objectifs (limité par la marque du boîtier) **(75)**.

Lorsque l'on choisit un appareil, il vaut mieux prendre un appareil avec moins de pixels que voulus, mais avec un zoom qui permet de cadrer confortablement grâce à de multiples focales.



Figure n° 31: objectif vu de face (d'après absolutphoto.com) (1)

2-3-4-3-1- Le diaphragme (11) (75)

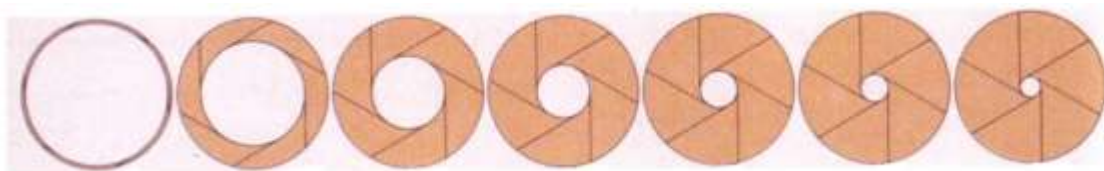


Figure n° 32: vues de diaphragme aux ouvertures suivantes f/2, f/2.8, f/4, f/5.6, f/8, f/11, f/16 (d'après absolutphoto.com) (1)

Le diaphragme est l'élément mécanique permettant de contrôler l'ouverture. C'est un système à lamelles disposées à l'intérieur de l'objectif et centré dans l'axe optique. La variation de son diamètre d'ouverture réduit ou augmente le passage de la lumière. Il agit comme l'iris de l'œil.

L'ouverture désigne le rapport entre la distance focale et le diamètre de la pupille d'entrée de l'objectif photographique. En le modifiant, on contrôle la profondeur de champ et la quantité de lumière venant impressionner le capteur numérique.

Les valeurs d'ouverture représentent le diamètre d'ouverture par rapport à la focale. On les retrouve sous la forme : f/1.4, f/2, f/2.8, f/4, f/5.6, f/8, f/11, f/16, f/22... Le diaphragme évolue donc selon la racine carrée de 2. A chaque changement de cran du diaphragme (s'il passe de f/2 à f/2.8 par exemple), on diminue de moitié la surface d'ouverture, donc on diminue de moitié la quantité de lumière qui pénètre par l'objectif.

Ouverture	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32
Quantité de lumière	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512

Tableau n°3 : rapport entre l'ouverture et la quantité de lumière(d'après Brenguier) (11)

Il faut se souvenir que plus le chiffre du diaphragme est élevé, plus le diaphragme est fermé, et inversement.



Figure n°33 : les types d'ouverture du diaphragme (d'après absolutphoto.com) (1)

2-3-4-3-2- Choix du couple vitesse/diaphragme **(11) (14)**

Un deuxième paramètre intervient au niveau de l'objectif, c'est la vitesse, la durée d'exposition de la photographie, le temps pendant lequel la lumière frappe le capteur (le temps durant lequel le diaphragme est ouvert). On l'exprime en fraction de secondes (1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, ..., 1/1000).

Il est donc important de bien choisir le temps d'exposition et l'ouverture pour avoir la bonne quantité de lumière passant par l'objectif.

Au sein des appareils photographiques, il existe une cellule intégrée (ou posemètre) qui permet de mesurer la quantité de lumière réfléchie, ce qui permet d'ajuster l'ouverture du diaphragme et la vitesse d'obturation. Ce contrôle peut se faire manuellement ou automatiquement. On cherche donc à obtenir un couple vitesse/diaphragme permettant d'obtenir la meilleure photographie.

La cellule intégrée des photoscopes fonctionne selon le mode TTL: Through The Lens, à travers la lentille (de l'objectif). La cellule étant placée à côté du capteur, la lumière mesurée est exactement celle parvenant au capteur. Ces cellules vont fonctionner de différentes façons **(14)**:

- ✓ Méthode globale : moyenne de la quantité de lumière sur toute la scène photographiée (pour les photographies à faible contraste)
- ✓ Méthode pondérée centrale : calcul de la quantité de lumière au niveau de la zone centrale de l'image
- ✓ Méthode matricielle (ou segmentée, ou multizone intelligente) : interaction de plusieurs cellules, chacune mesurant une partie de l'image ; cette méthode permet d'identifier et d'exposer correctement diverses situations (sujet lumineux décentré, sujet à contre-jour)
- ✓ Méthode spot (ou sélective) : calcul d'une partie réduite de l'image

Sur les photoscopes, il existe deux principaux programmes permettant de contrôler ce couple :

- ✓ La priorité vitesse (S pour Speed) réglant la rapidité d'obturation (durée d'exposition)
- ✓ La priorité diaphragme (A pour Aperture) réglant la quantité de lumière traversant l'objectif

Généralement, si l'on règle la vitesse, l'appareil va régler l'ouverture, et inversement. Il est possible, rarement, de modifier l'un ou l'autre paramètre indépendamment ; c'est ce que l'on peut utiliser en macrophotographie en favorisant l'ouverture du diaphragme dans le but de maîtriser la profondeur de champ.

Pour un même couple vitesse/diaphragme, on peut associer un nombre : « l'indice de lumination » (IL). Pour différentes valeurs de diaphragme et de vitesse, on obtiendra finalement le même couple ; on simplifie donc en lui donnant une valeur IL.

Diaphragme	16	11	8	5.6	4
Vitesse	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000

Tableau n°4 : exemple pour un IL de 14 (d'après Brenguier) (11)

Cette notion va permettre des corrections d'exposition. Lorsque l'on passe d'une valeur IL à l'autre, on réduit ou on double de moitié l'exposition de la photographie. On peut ainsi corriger manuellement de plus ou moins 1, 2, 3 IL l'exposition, sachant que l'appareil agit surtout sur la durée d'exposition. Une valeur IL négative diminue la luminosité, une valeur positive l'augmente.

On peut également prendre plusieurs clichés en sur-exposant ou en sous-exposant par rapport à la valeur d'exposition initiale : c'est la technique de bracketing.

2-3-4-3-3- La balance des blancs (7)

La balance des blancs permet de maîtriser la température de couleur des sources lumineuses. Afin de reproduire fidèlement une scène, l'APN a besoin d'une base sur laquelle établir son étalonnage ; on utilise donc le blanc. Celui-ci dépend du type d'éclairage ; il est donc nécessaire d'indiquer à l'appareil ce qu'il doit considérer comme blanc, afin d'obtenir un étalonnage des couleurs correct. On applique alors devant le viseur un carton blanc sous l'éclairage de la scène, ceci en mode manuel ; on utilise les

modes préréglés pour les appareils automatiques. Ces derniers sont au minimum deux : intérieur (correction de la dominante orangée) et extérieur (élimination de l'aspect bleuté). Le réglage de la balance des blancs est indispensable pour éviter les aberrations chromatiques.

2-3-4-3-4- La profondeur de champ (12) (75)

La profondeur de champ représente la zone de netteté autour de la distance de mise au point. Elle dépend directement du diaphragme : plus il est fermé, plus la profondeur de champ est grande. Cette zone de netteté s'étend : 1/3 devant, 2/3 derrière le plan de mise au point du sujet photographié.

La profondeur de champ est fonction de quatre paramètres (11) :

- ✓ La longueur focale de l'objectif : plus on a une longue focale, plus la profondeur de champ est faible
- ✓ L'ouverture du diaphragme : la profondeur de champ est d'autant plus importante que l'ouverture est réduite
- ✓ La distance du sujet à l'appareil photographique : plus la distance est faible, plus la profondeur de champ est réduite
- ✓ Le diamètre du cercle de confusion de l'œil humain : la profondeur de champ est réduite si la diamètre est faible

2-3-4-3-5- Longueur focale et angle de champ (75)

La distance focale d'une lentille correspond à la distance du point nodal de celle-ci (son centre) jusqu'au point de convergence des rayons lumineux. La distance séparant le centre optique de l'objectif, réglé sur l'infini, du plan du capteur correspond à la longueur focale de l'objectif. C'est l'une des principales caractéristiques de l'objectif.

Lorsque la longueur focale est égale à la diagonale de la surface photosensible, on parle d'objectif de focale normale car il n'y a ni agrandissement, ni réduction de l'image.

L'angle de champ correspond au champ embrassé (champ de vision) par l'objectif. Il dépend directement de la focale de l'objectif et de la dimension du capteur.

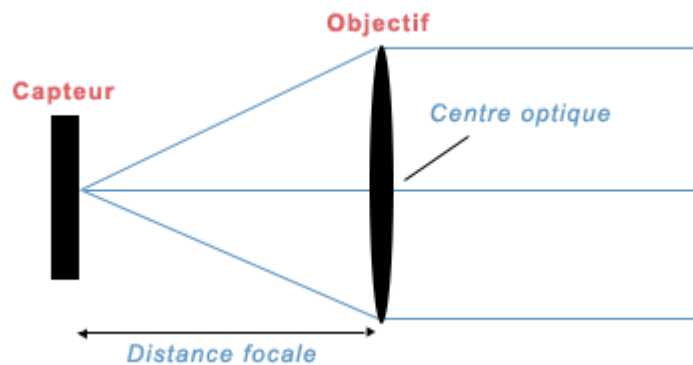


Figure n°34 : Distance focale (d'après absolutphoto.com) (1)

Ces deux paramètres vont permettre de classer les objectifs en trois catégories :

- ✓ Les grands angles de focale inférieure à 35 mm avec un angle de champ de 63°
- ✓ Les objectifs de focale normale entre 40 et 65 mm avec un angle de champ égal à celui de l'œil humain
- ✓ Les téléobjectifs de focale supérieure à 65 mm

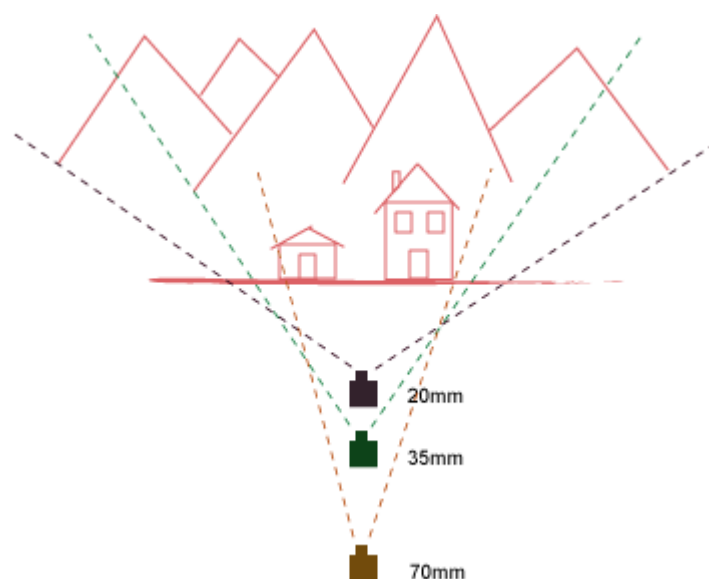


Figure n° 35: angle de champ selon l'APN (d'après absolutphoto.com) (1)

2-3-4-3-6- L'hyperfocale (10) (11)

C'est la plus courte distance pour laquelle la profondeur de champ s'étend jusqu'à l'infini de l'échelle des distances. La netteté s'étend vers l'avant jusqu'à une certaine distance, l'hyperfocale, lorsque la mise au point est réglée sur l'infini.

L'hyperfocale dépend de trois paramètres :

- ✓ La longueur focale de l'objectif
- ✓ L'ouverture du diaphragme
- ✓ Le cercle de confusion de l'œil humain : diamètre dépendant de la taille de l'image et de la distance à laquelle elle est observée

On peut calculer la profondeur de champ à partir de l'hyperfocale.

En pratique, il suffit d'ajuster la limite de la fourchette de la profondeur de champ sur le symbole infini.

2-3-4-3-7- Les rapports de reproduction (4)

C'est le rapport entre la taille de l'image du sujet, sur la photographie, et la taille réelle du sujet. Plus nous nous rapprochons du sujet, plus ce rapport tend vers l'égalité entre la taille de l'objet photographié et celle de l'image obtenue. Au-delà, nous allons agrandir l'objet, c'est-à-dire que l'objectif va jouer un rôle de loupe.

2-3-4-3-8- La résolution de l'objectif (10) (11) (75)

La résolution de l'objectif est souvent meilleure au centre que sur les bords. La fermeture du diaphragme de quelques crans permet une nette amélioration, mais entraîne des phénomènes de diffraction qui nuisent à la résolution (75)

Les phénomènes de diffraction sont les rayons parasites résultant de l'arrivée de la lumière sur les bords du diaphragme. Ces rayons parasites arrivent ensuite en désordre sur

la surface photosensible, entraînant une image un peu voilée. Ce phénomène reste négligeable à grande ouverture car la quantité de lumière arrivant sur la surface photosensible est importante. Par contre, il faut savoir que la quantité de lumière parasite, avec la fermeture du diaphragme, diminue beaucoup moins vite que la quantité de lumière principale. Le voile formé sur l'image est d'autant plus marqué **(11)**

2-3-4-3-8-1- Les lentilles **(75)**

Les objectifs sont composés d'un certain nombre de lentilles (convergentes, divergentes, asphériques) aux défauts inverses, s'annulant les uns les autres. Il ne faut pas oublier que l'axe optique doit être respecté. Les lentilles sont donc montées centrées et perpendiculaires à cet axe, sur une rampe hélicoïdale (collées ou séparées)

Le principe du zoom (objectif à focale variable) provient du fait que ces groupes de lentilles se déplacent les uns par rapport aux autres. L'ensemble optique des lentilles se rapproche ou s'éloigne de la surface photosensible selon la distance du sujet, permettant la mise au point.

Le verre utilisé pour les lentilles doit être le plus transparent possible et ne doit pas être teinté. On limite aussi au maximum l'absorption du flux lumineux le traversant. En fonction de l'objectif, on peut avoir de 5 à 15 lentilles.

Une lentille simple convergente forme une image réelle inversée et circulaire des objets situés devant elle. En photographie, on utilise la distance focale pour exprimer la puissance d'une lentille (en dioptries). La distance focale est l'inverse de cette puissance. 5 dioptries donnent une distance focale de $1/5 = 0.2 \text{ m} = 200 \text{ mm}$.

2-3-4-3-8-2- Aberrations dues aux lentilles (15)

L'association de plusieurs lentilles va corriger les défauts de chacune. Une lentille simple peut en effet engendrer un certain nombre d'aberrations :

- ✓ Le vignettage : on observe une diminution de la luminosité associée à un flou au niveau des contours de l'image ; ceci est dû aux rayons lumineux en provenance des bords de l'image qui sont partiellement bloqués par le cadre de l'objectif ; ce sont les objectifs grand angle et les zooms (ceux à grande ouverture) qui en souffrent le plus ; il peut être corrigé en fermant le diaphragme de un ou deux crans
- ✓ Les aberrations chromatiques : présence de couleurs floues ou présence de franges colorées sur le pourtour de l'image ; ceci est dû au fait que les longueurs d'onde courtes sont plus réfractées que les longues ; les éléments d'une même image ne vont pas converger sur le même plan ; on a donc une perte de résolution et de contraste
- ✓ Les aberrations sphériques : les rayons lumineux parallèles traversant le bord d'une lentille convergent en un point focal plus proche de la lentille par rapport aux rayons lumineux traversant la lentille en son centre ; on obtient une image douce, à faible contraste, qui semble recouverte d'un fin voile ; une fois encore, ce sont les objectifs à grande ouverture qui en souffrent le plus
- ✓ Reflets : ceux-ci provoquent des phénomènes de lumière diffuse ou d'images fantômes ; ils sont dus à la lumière incidente ; chaque surface air/verre non traitée réfléchit environ 5% de la lumière incidente

Pour le dernier défaut, il existe un traitement antireflet. Il s'agit d'un traitement multicouche (vaporisation sous vide de films d'épaisseur différente) permettant d'éliminer les reflets de toutes les longueurs d'onde du spectre lumineux visible. Il durcit également le verre de la lentille frontale qui devient moins fragile aux rayures. Il augmente le contraste en filtrant le passage de la lumière parasite. Il offre une balance de couleurs exceptionnelle.

2-3-4-3-8-3- Le pouvoir séparateur de l'objectif **(10)** **(75)**

La résolution de l'objectif désigne sa capacité à reproduire des détails fins. Le pouvoir résolvant (ou pouvoir séparateur) définit la capacité de l'objectif à discriminer un certain nombre de lignes au millimètre. Ce pouvoir doit être supérieur à la résolution du capteur CCD. On l'exprime en valeur numérique, 150 lignes au millimètre par exemple (observés au microscope bien sûr). Il varie en fonction de la longueur d'onde de la lumière.

Différents paramètres interviennent dans la netteté finale de l'image :

- ✓ Le contraste
- ✓ Les résolutions relatives du capteur
- ✓ L'écran
- ✓ Le papier d'impression
- ✓ Le pouvoir séparateur de l'œil humain
- ✓ Le pouvoir séparateur de l'objectif

2-3-4-3-9- Différents types d'objectifs **(75)**

Ils sont classés en fonction de leur longueur focale.

2-3-4-3-9-1- Objectifs de focale normale

Pour les objectifs standards, la longueur focale est à peu près égale à la diagonale de la surface sensible. Les objectifs standards des APN ont une focale variant de 5 à 28 mm ; on donne à ce moment-là l'équivalence de la focale au format 35 mm.

Le format 35 mm (film argentique) a une focale comprise entre 35 et 70 mm. Leur angle de champ est équivalent à celui de l'œil.

2-3-4-3-9-2- objectifs à longue focale

Avec une focale supérieure à 70 mm, ils permettent le grossissement du sujet. Leur angle de champ est donc réduit ; le temps d'exposition doit être court (éviter le risque de « bougé »). Ils sont moins lumineux que les objectifs standard. D'autres caractéristiques apparaissent :

- ✓ Profondeur de champ réduite
- ✓ Ecrasement de la perspective
- ✓ Atténuation de la convergence de lignes de fuite

2-3-4-3-9-3- Grand angle

Nous avons ici une longueur focale inférieure à 35 mm ; on peut visualiser un large champ, avec une profondeur de champ importante. Une forte convergence des lignes de fuite modifie la perspective. On a moins de risque de « bougé ».

2-3-4-3-9-4- Zoom : objectifs à focale variable

On retrouve un grand nombre de lentilles disposées en groupes pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres.

Les caractéristiques du zoom sont ses focales extrêmes, ses ouvertures maximales relatives (zoom à sa focale la plus courte : ouverture maximale la plus importante) et son amplitude (rapport de grossissement entre ses focales extrêmes) qui doit être au minimum de trois fois.

Il faut faire attention à la multiplication des groupes de lentilles ajoutant nécessairement des déformations et des aberrations accentuées à certaines focales.

2-3-4-3-10- Zoom numérique

Certains constructeurs proposent des zooms numériques. Ils s'avèrent être inutiles : ce système ne produit qu'un grossissement de l'image observée entraînant une perte de résolution de l'image. Il vaut donc mieux débrayer ce zoom.

2-3-4-4- Le type d'accus **(30) (75)**

Un APN ne peut fonctionner sans électricité stockée dans des piles ou accus. Il s'agit en effet de faire marcher un certain nombre de composants demandant beaucoup d'énergie : le capteur CCD, le zoom électrique, l'autofocus, la carte mémoire, la flash, le viseur électronique, l'écran moniteur.

Nous allons donc trouver une alimentation soit à piles, soit à accumulateurs.

2-3-4-4-1- Les piles

Non rechargeables, les piles boutons au lithium, au coût élevé, présentent une autonomie acceptable. Les piles alcalines ont une autonomie faible ; elles sont rechargeables ou non.

2-3-4-4-2- Accumulateurs

Il en existe plusieurs types :

- ✓ Les batteries lithium-ion : meilleure autonomie, rechargeables près de 500 fois, taille spécifique, prix élevé
- ✓ Les batteries Ni-MH (Nickel-Metal-Hydrure) : recharges aisées, taille standard, bonne autonomie, coût raisonnable

- ✓ Les batteries Ni-Cd (Nickel-Cadmium) : économiques, autonomie de moins de 2 heures

Certains auteurs comme René Bouillot (9) mettent en évidence l'arrivée prochaine de la mini-pile à combustible rechargeable illico avec une petite cartouche chimique à glisser dans l'appareil. Il permettra de ne plus se munir pour la photographie de piles de rechange ou de son chargeur. Pour les dentistes, cela a moins d'importance car l'on peut brancher l'APN sur le secteur.

2-3-4-5- Le flash (7) (75)



Figure n°36 : flash NG36 Nissin (d'après wikipedia.org) (82)

Les APN possèdent généralement un petit flash intégré : il n'est pas suffisant. Dans le monde médical, on utilise plus particulièrement un flash électronique de courte durée et d'une puissance lumineuse importante.

Le nombre guide est la caractéristique principale du flash : il exprime sa puissance et correspond au produit de la distance du sujet par l'ouverture du diaphragme. Cela nous donne la distance maximale de portée du flash à une ouverture donnée. Il est basé sur un film de 100 ISO.

Même si le flash intégré offre toutes les fonctionnalités possibles avec un éclair électronique de qualité (parfois trop puissant), il faut que l'APN dispose de modes de base : automatique, foncé, inhibé, anti-yeux rouges et synchronisation lente. Il doit pouvoir faire une « correction d'exposition au flash ».

Un flash externe aura un nombre guide plus élevé et peut produire un éclairage indirect, contrairement au flash intégré. L'APN doit pouvoir recevoir ce type de flash, car le flash intégré n'est pas utilisable pour des photographies intrabuccales.

2-3-4-6- Le type et la capacité du support mémoire (9) (77)

Gardons à l'esprit que la carte mémoire n'est pas un critère prioritaire de choix, mais il peut faire pencher la balance pour un type d'appareil. En photographie numérique, on utilise essentiellement la carte mémoire (qui remplace le film de l'appareil argentique).

La carte mémoire est un support de stockage amovible des données informatiques créées lors des photographies. On peut les assimiler à des petits disques durs avec moins de mémoire. Elles utilisent la « mémoire flash » qui est une mémoire à semi-conducteur, non volatile et réinscriptible, telle une mémoire vive mais dont les données restent lors de la mise hors tension.

Le temps de transfert des données sur la carte mémoire participe à la relative lenteur des APN au même titre que le temps de mise au point de l'autofocus et le temps de latence au déclenchement.

L'analyse de trois critères permet le choix d'une carte mémoire :

- ✓ La possession d'appareils utilisant déjà des cartes nomades
- ✓ Les caractéristiques techniques de la carte mémoire
- ✓ Le coût de la carte mémoire

Il existe six principaux formats de carte mémoire.

2-3-4-6-1- PC-CARD (ou PCMIA)

Utilisée dès 1990 sur des APN, la PC-CARD présente comme intérêt d'être au format du port lecteur/enregistreur (et modem). Le transfert des données sur l'ordinateur peut ainsi se faire directement.

Elles sont dites ATA (Advanced Technology Attachment). Leurs capacités vont de 32 Mo à 1.6 Go. On lui préfère la carte de format CompactFlash.

2-3-4-6-2- CompactFlash (CF)



Figure n° 37: CompactFlash (d'après absolutphoto.com) (1)

Créée en 1994 par ScanDisk, elles sont les filles de la PC-CARD. Très compactes, elles sont compatibles avec les systèmes conçus pour la PC-CARD, en particulier les ordinateurs portables. Leur capacité va de 32 Mo à 1Go (jusqu'à 2, 4, 8 Go pour les professionnels). Il en existe de deux types : CF I et CF II.

Son plus grand avantage réside dans son contrôle de gestion qui n'existe pas chez la SmartMedia. Il leur permet deux choses :

- ✓ Etre reconnu par tout système d'ordinateur
- ✓ Fonctionner sur 3.3 ou 5 V

Aujourd'hui, un APN de 3 MP ou plus doit impérativement être équipé d'un lecteur acceptant les CF de type II de 5 mm (et également de la CF I), et ceci pour deux raisons :

- ✓ Une plus grande capacité de stockage que la CF I
- ✓ Ce format accepte le minidisque dur « microdrive » (d'une capacité de 1 Go)

Le contrôleur incorporé apporte deux avantages :

- ✓ Une plus grande rapidité de lecture
- ✓ Une compatibilité directe USB

2-3-4-6-3- SmartMedia (SM)



Figure n°38: SmartMedia (d'après absolutphoto.com) (1)

Souple et ultraplate, elle est de dimensions voisines de la CF. Elle est utilisée par Fuji et Olympus, et est développée par Toshiba. Elle utilise également les deux tensions 3.3 et 5 V.

Contrairement à la CF, elle n'a pas de contrôleur. Mais elle intègre des logiciels de gestion et assure en option différentes fonctions (surtout chez Olympus) telles panorama, calendrier, décors...

Sa capacité va de 16 à 128 Mo.

Elle est aujourd'hui abandonnée pour la XD-Picture Card ; les APN de haute résolution de précédente génération possédaient un deuxième lecteur pour cartes de type CF.

2-3-4-6-4- Memory Stick (MS)



Figure n°39 : Memory Stick (d'après absolutphoto.com) (1)

Sony l'utilise pour le stockage et le transfert de données dans divers domaines : photographie numérique, audio, vidéo, musique, informatique...

Les capacités vont de 32 à 512 Mo. Les bridges Sony sont pourvus d'un deuxième lecteur pour les cartes CF.

2-3-4-6-5- Secure Digital (SD)

Développé par Matsushita/Panasonic, SanDisk et Toshiba, elle remplace la MultiMedia Card (MMC).

Sa capacité est de 32 à 512 Mo. Pour les professionnels, elle peut aller de 1 à 16 Go. Elle est donc une sérieuse concurrente de la CF. Elle la remplace fréquemment pour les APN (sauf Fuji et Olympus), et même sur les reflex numériques récents.

2-3-4-6-6- XD-Picture Card



Figure n°40 : XD-Picture Card (d'après absolutphoto.com) (1)

Développée par Toshiba, elle remplace la SM (trop ancienne). Ses capacités vont de 16 Mo à 8 Go. Son plus grave défaut est de ne pas être compatible avec d'autres appareils que Fuji et Olympus.

II-4- Gestion informatique de l'image

Il existe trois caractéristiques principales pour un ordinateur voulant répondre aux nécessités de l'imagerie numérique (9) :

- ✓ Rapidité et puissance de calcul : plus de 2 Ghz
- ✓ Grande capacité de mémoire vive (RAM) : au moins 256 Mo, voire 512 ou 1 Go
- ✓ Grand volume de disque dur : jusqu'à 300 Go (même plus avec les disques externes)

On se doit donc d'être équipé d'un ordinateur de génération récente.

A noter que la gestion de la mémoire d'un ordinateur dépend de trois paramètres :

- ✓ La quantité maximum de mémoire acceptée par la carte mère
- ✓ Le nombre d'emplacement pour mettre des barrettes de mémoire vive
- ✓ La capacité des barrettes de mémoire vive

2-4-1- Transfert des images sur l'ordinateur

Pour cela, nous avons besoin d'une interface efficace. L'interface est le port entrée/sortie des données numériques. Aujourd'hui, le bus série IEEE-1394 assure des taux de transfert élevés ; on le nomme également Firewire, ou USB (Universal Serial Bus) version 2.0 (High Speed).

N.B. : il existe différents types d'interface possibles que nous ne détaillerons pas : le port série, le port parallèle, le port SCSI, Ethernet ; en ce qui concerne la photographie numérique, seuls les ports BUS et Concentrateur BUS, ou IEEE-1394 nous intéressent.

2-4-1-1- Connexion à l'ordinateur

2-4-1-1-1- BUS et Concentrateur BUS (9)

Les ordinateurs sont pourvus d'une interface USB 1.0 avec un débit maximum de 12 Mbits/s ou 1.5 Mo/s et d'une interface USB 2.0 avec un débit de 480 Mbits/s (60 Mo/s).

Le concentrateur USB dit « Hub » est une petite de jonction munie d'un câble de connexion ou port USB de l'ordinateur permettant ainsi d'avoir plusieurs connecteurs USB (2, 4, 6). Ce dispositif est utile quand l'ordinateur ne possède que deux connexions USB. Ceci est plus rare aujourd'hui, les ordinateurs étant généralement fortement équipés en ports USB.

2-4-1-1-2- IEEE-1394 (9)

C'est un bus série rapide, développé par Apple et Texas Instruments au début des années 1990, et normalisée en 1995 par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Le taux de transfert des données est très élevé. Un boîtier concentrateur peut également être utilisé. Il est de plus en plus utilisé sur les équipements professionnels : reflex ou dos numériques, scanners, imprimantes...

	Débit maximum en bits/s	Débit maximum en Mo/s
USB 2.0 High Speed (série)	480	60
Firewire/IEEE-1394 (série)	400	50
Firewire 800/IEEE-1394 b (série)	800	100

Tableau n°5: débit de transfert assuré par les interfaces (d'après R. Bouillot) (9)

En photographie numérique, seules deux interfaces nous intéressent comme en témoigne ce tableau.

2-4-1-2- Interfaces équipant les systèmes de photographie numérique (9)

Pour notre exercice quotidien, et pour la gestion du flux important des données, il est conseillé que l'APN utilisé soit muni d'une interface USB 2.0 ou IEEE-1394. D'ailleurs, la plupart des photoscopes ou des reflex numériques récents en sont équipés.

2-4-1-3- Transfert des données de la carte mémoire sur l'ordinateur

2-4-1-3-1- Transfert APN/ordinateur (9)

Il existe différentes possibilités permettant ce transfert :

- ✓ Le câble USB fourni généralement avec l'APN
- ✓ La station d'accueil également fourni avec l'APN (bas de gamme)
- ✓ Le lecteur de carte mémoire (parfois intégré à l'ordinateur)
- ✓ Le transfert par infrarouge ou WIFI
- ✓ Sur les ordinateurs portables, on peut utiliser un adaptateur PC-CARD s'insérant dans le port PCMCIA

2-4-1-3-2- Liaison appareil/imprimante (9)

Certains APN peuvent se connecter directement sur l'imprimante. Cela ne comporte pas un très grand intérêt pour nous.

2-4-1-4- Format de transfert des images (29) (75)

Pour pallier au poids du fichier, et pour transférer de manière optimale les images, on doit faire une compression des images. Il est toujours conseillé de réaliser les prises de

vue avec la qualité maximale offerte par l'APN. Par la suite, nous pourrions réaliser une compression des images selon leur utilisation.

Il existe donc différents types de format d'images :

- ✓ Format RAW : format brut des données enregistrées par le capteur sans aucune compression, ni traitement logiciel ; format non universel (pas utilisé par tous les logiciels)
- ✓ Format TIFF : format universel utilisé par Windows et Mac OS ; non compressé
- ✓ Format JPEG : format compressé ; avantages : facilité d'utilisation, on peut choisir le taux de compression, on gère les couleurs sur un mode de 24 bits (16 millions de couleurs) ; inconvénients : ne gère pas les calques (utilisés sur les logiciels de retouche), compression avec perte irréversible

Il est donc conseillé d'enregistrer l'image sous un format non compressé (TIFF ou RAW), puis de réaliser des modifications, et enfin de réaliser la compression (JPEG) **(28)**.

Nous avons également le format DICOM (Digital Imaging and COmmunication in Medicine) qui permet une méthode de communication pour les différents équipements d'imagerie médicale numérique. Ceci permet de normaliser et de faciliter les échanges de données entre confrères.

Il existe d'autres formats graphiques disponibles sur certains logiciels de retouche d'images (nous n'entrerons pas dans les détails) : le format GIF (Graphic Interchange Format) pour le web, le format PNG (Portable Network Graphics), le format BMP (windows), le format PhotoCD (Kodak, numérisations des films et des photographies argentiques), le format PICT (Macintosh), le format PSD (Adobe Photoshop), le format EPS (Encapsulated Post Script)

2-4-2- Le stockage (9)

2-4-2-1- Les supports magnétiques : le disque dur

Un disque dur est un support magnétique permettant le stockage des données, ainsi que leur utilisation par l'ordinateur pour un bon fonctionnement. Son avantage est d'avoir une grande capacité associée à une vitesse d'accès aux données importante.

2-4-2-1-1- Les disques internes

Ils sont installés sur l'ordinateur et ne pourront être déplacés. Ils vont permettre le stockage des données et leur installation.

2-4-2-1-2- Les disques sur tiroir

C'est une alternative simple et peu onéreuse aux disques internes. Monté sur un emplacement de 5.25'', il se compose de deux parties :

- ✓ Une section fixe pourvu d'un rail
- ✓ Une section mobile (le tiroir contenant le disque dur)

On peut donc déplacer ce disque dur sur un autre ordinateur du moment que celui-ci possède une partie fixe.

2-4-2-1-3- Les disques externes

On peut les raccorder à l'ordinateur via les interfaces classiques que sont l'USB, le port SCSI, le PC-Card... On peut ensuite, après stockage des données, le raccorder à n'importe quelle machine.

2-4-2-1-4- Les disques autonomes

Lorsque nous ne pouvons pas transférer les images d'un APN sur un ordinateur directement, on peut utiliser un disque autonome. Celui-ci se compose :

- ✓ D'un disque dur
- ✓ D'une alimentation
- ✓ D'une interface permettant de raccorder les principaux types de mémoire des APN

Sinon ils peuvent être utilisés comme disque dur normal s'ils sont reliés à un ordinateur. Mais le coût est important.

N.B. : il existe également comme support magnétique des cartouches (Jaz, Zip...), mais ce type est de moins en moins utilisé et peu intéressant (taille réduite, peu fiable et onéreux).

2-4-2-2- Les supports optiques (9)

L'enregistrement sur support optique à l'aide d'un laser peut permettre le stockage des données. Il existe différents types de support optique disponibles :

- ✓ Le CD-R (enregistrable et non effaçable) et le CD-RW (enregistrable et effaçable environ 1000 fois) : 650 à 700 Mo de capacité
- ✓ Le DD-R et le DD-RW : 1.3 Go de capacité, la densité d'information est donc double par rapport aux précédents (d'où le nom de DD) ; peu pratique car non lu par les lecteurs CD et DVD actuels (équipement spécial)
- ✓ Le DVD-R et le DVD-RW : capacité de 4.7 Go, mais prix supérieurs aux CD
- ✓ Le DVD-Ram et le DVD+RW : autres possibilités de graveurs disponibles

Il va sans dire que l'utilisation de ces supports optiques nécessitent des ordinateurs équipés de graveur.

2-4-2-3- Les visualiseurs (9)

Ce sont des logiciels qui permettent de feuilleter les images numériques. Ils font office d'album. On va ainsi pouvoir trier les images et les mettre dans des dossiers constituants autant d'albums. On peut également avoir accès au diaporama qui permet d'afficher les images d'un dossier soit manuellement, soit automatiquement. Il existe plusieurs logiciels possibles : ACDSee, Exif, FotoAlbum, FotoStation, PhotoExplorer...

2-4-3- L'impression (9) (75)

2-4-3-1- Les imprimantes

2-4-3-1-1- Imprimante à jet d'encre

Ces imprimantes, leurs têtes d'impression, utilisent des cartouches remplies d'encre liquide. La tête proprement dite est percée de fins canaux remplis d'encre, et un système piézo-électrique, ou d'un chauffage électrique, qui produit des variations de pression expulsant des gouttelettes sur la feuille, formant des points. Nous allons donc avoir une impression ligne par ligne.

On peut contrôler la finesse des gouttelettes et mélanger celles-ci pour obtenir des couleurs. Nous pouvons donc obtenir à partir de ces imprimantes des impressions « qualité photo ».

2-4-3-1-2- Imprimante à sublimation

La sublimation est le passage d'un corps de l'état solide à l'état gazeux sans passer par la phase liquide. Ici, le corps est l'encre. Pour cette technique, on va avoir besoin :

- ✓ De cartouches spéciales contenant une teinture cireuse
- ✓ De papier spécial pouvant recevoir les couleurs par transfert thermique

Une montée brutale en température entraîne une transformation de la teinture en gaz qui se diffuse sous la forme d'une mince couche sur le papier. Les couleurs utilisées vont être le jaune, le magenta et le cyan. Elles sont déposés par la tête d'impression l'une après l'autre (et non ensemble comme pour les jets d'encre).

Pour cette technique, on aura des tons perçus comme continus (à la différence des jets d'encre donnant une mosaïque), en faisant de meilleures imprimantes. Mais l'écart entre elles et les imprimantes haut de gamme à jet d'encre s'est amenuisé. Leur avantage réside dans une utilisation simplifiée et un coût de revient facile à calculer puisque l'encre et le papier se trouve en kit.

2-4-3-1-3- Imprimante laser (22)

L'élément principal d'une imprimante laser est un petit tambour rotatif dont le revêtement présente les propriétés d'accumuler et de retenir une charge électrostatique. A partir de ce tambour, et par un procédé complexe de transfert de charge, on va pouvoir réaliser une impression de bonne qualité.

Vu le coût élevé d'une imprimante, une utilisation intensive est à privilégier. A noter que le prix du papier est faible.

2-4-3-1-4- Imprimante Pictbridge (22)

Par une norme définie par la CIPA (Camera and Imaging Product Association), elles permettent la communication directe avec l'APN sans passer par l'ordinateur. Mais cela se révèle peu intéressant pour l'exercice au cabinet dentaire.

2-4-3-2- La résolution (22)

Plus la résolution est élevée, meilleure sera la qualité de l'impression. Une imprimante à sublimation thermique possède une résolution allant de 300 à 400 points par pouce (ppp) ; ceci constitue réellement les points de l'image.

L'impression laser ou jet d'encre note leur résolution par le nombre de points qu'il dépose sur le papier. Or un certain nombre de ces points servent pour un seul pixel : d'où

un nombre de résolution plus élevé (720, 1200, 2800 ppp), mais pas forcément une qualité supérieure à la sublimation thermique.

La résolution affichée n'est pas nécessairement un critère absolu de qualité.

2-4-3-3- Le format (22)

Il est conseillé de se limiter au format de carte postale (6*9 cm). Le tirage risque d'être de moins bonne qualité si le format d'impression est trop grand.

Le format étant fonction de la puissance de l'APN, un photoscope de 1 à 2 Mpixels nécessite de se limiter à une impression au format A4.

2-4-3-4- Le papier (22)

Il revêt une certaine importance pour les imprimantes à jet d'encre ; il faut prendre du papier de la marque qui correspond à l'imprimante. Pour l'impression laser, les colorants ne pénètrent pas le papier, ils restent en surface ; d'où une moindre importance du papier.

Il existe ainsi différents types de papier :

- ✓ Papier normal : pour une impression de faible résolution, avec un grammage de 60 à 100 g/μm² ; supporte mal la charge d'encre
- ✓ Papier couché : favorise la diffusion contrôlée et la stabilisation des encres avec une surface plus lisse et blanche que la papier normal ; par contre, incurvation du côté imprimé
- ✓ Papier vinyle : rigidité supérieure grâce à une surface plastique ; avec un traitement de surface, bonne compatibilité avec les encres ; aspect plus mat et moins lisse que pour le papier de photographie argentique ; prix peu élevé, bonne conservation des colorants dans le temps, mais séchage de plus d'une heure
- ✓ Papier « qualité photo » : presque du papier argentique ; se compose d'une couche résine, d'une couche assurant la qualité du blanc, d'une couche

assurant l'absorption des encres, d'une couche où se forme l'image qui donne l'aspect final plus ou moins brillant ; prix élevé

2-4-3-5- Calibrer son imprimante (31)

Pour calibrer une imprimante, il faut gérer différents paramètres :

- ✓ Le type d'encre (celle de la marque de l'imprimante)
- ✓ Le type d'imprimante (celle de la marque de l'imprimante)
- ✓ La résolution de l'impression

On va tout d'abord étalonner l'imprimante à l'aide d'une mire (stockée dans un fichier de référence) dont le tirage doit sécher pendant 24 heures.

Le logiciel de création de profil compare ensuite l'impression au fichier de référence grâce à un spectrophotomètre (ou d'un scanner) et crée un profil ICC correspondant au trio papier/encre/résolution utilisé.

N.B. : ICC (International Color Consortium) : organisation internationale visant à promouvoir des solutions de gestion des couleurs établis sur des profils ICC qui caractérisent les écarts, par rapport à une norme étalon, dans la reproduction des couleurs des différents périphériques de la chaîne graphique.

2-3-4- L'écran (31)

La taille minimale d'un écran doit être de 17 pouce, plat de préférence pour un gain de place et un confort de travail optimal.

Il existe différents types d'écran :

- ✓ Ecrans à tube cathodique (ou CRT) : angle de vision plus large, bon rendu des couleurs ; mais encombrants et dépensiers en énergie (se font de plus en plus rare)
- ✓ Ecrans à cristaux liquides (LCD) : moins bon rendu des couleurs ; mais légers et commodes
- ✓ Ecrans à plasma : très bon rendu des couleurs ; mais chers et durée de vie limitée

De plus en plus utilisés, les écrans plats affichent 266000 couleurs étendues à 17 millions par dithering.

L'écran également doit être calibré. Cela revêt une importance toute particulière pour la retouche photographique. Différents paramètres sont à prendre en compte :

- ✓ Moniteur en fonction depuis au moins 30 minutes (voire 60)
- ✓ Environnement neutre autour du moniteur
- ✓ Réglages avec les conditions habituelles d'éclairage ambiant

Pour calibrer son écran, on doit jouer sur :

- ✓ La luminosité maximum, le point blanc sur l'écran
- ✓ Le gamma
- ✓ La température des couleurs
- ✓ La luminosité minimum, le point noir sur l'écran

On utilise pour cela un appareil de mesure.

Un logiciel de calibrage (il en existe plusieurs) envoie ensuite des couleurs RVB à l'écran qui, grâce à une sonde colorimétrique, les compare aux couleurs idéales. On crée un profil ICC propre à ces conditions de réglage.

N.B. : l'ensemble des logiciels de calibrage (imprimante et écran) sont issus des logiciels de retouche d'image.

2-4-5- La retouche photographique (32) (75)

Il faut garder à l'esprit qu'il existe une multitude de logiciels de retouche d'image. Nous n'abordons que généralement ce que l'on peut faire avec ces logiciels.

Malgré une photographie présentant un certain nombre de défauts, on peut tout de même exploiter le cliché, grâce aux nombreux logiciels de retouche photographique, mais jusqu'à un certain point (exit les images floues ou abîmées de manière trop importante).

On pourra ainsi corriger :

- ✓ Un manque de luminosité
- ✓ Une dominante de couleur (rouge ou vert)
- ✓ Un mauvais cadrage (non alignement)
- ✓ Un arrière-plan visible (doigt, rétracteur...)
- ✓ Un léger flou (sur une petite partie de l'image)
- ✓ Un reste alimentaire, la plaque dentaire
- ✓ Une bulle de salive
- ✓ De la poussière sur la lentille de l'objectif
- ✓ Une rayure sur diapositive à photographier

Il est à noter qu'une simulation du plan de traitement peut être réalisée par cette retouche.

Quelques principes de base sont à respecter lors de la retouche de la photographie :

- ✓ Retouche d'abord réalisée sans compression de l'image, et enregistrée systématiquement après le travail
- ✓ Les calques d'une image doivent être enregistrés sans les fusionner (les retouches s'effectuent sur les calques)
- ✓ Après modification, compression de l'image (format JPEG) ; ne pas compresser plusieurs fois une image, car dégradation importante de la qualité

2-4-5-1- Recadrage (31)

On utilise cette fonction pour différentes raisons :

- ✓ Supprimer un détail en bordure d'image (écarteur, doigts, organes périphériques)
- ✓ Sélectionner une partie de l'image

On travaille le plus souvent en haute résolution.

2-4-5-2- Redimensionnement et rééchantillonnage (31)

Le redimensionnement correspond à une diminution ou une augmentation de la taille de l'image. Cela entraîne une diminution ou une augmentation de la résolution. Mais le poids du fichier reste le même puisque le nombre de pixels ne change pas.

On a un rééchantillonnage quand le poids du fichier change avec le redimensionnement. On sera donc confronter à deux cas :

- ✓ Le sous-échantillonnage : le logiciel de retouche d'image supprime des pixels et crée une image de petite dimension sans modifier la résolution finale
- ✓ Le sur-échantillonnage : le logiciel de retouche ajoute des pixels en se basant sur les pixels adjacents et augmente soit la taille de l'image ; on a alors une baisse de qualité (léger flou ou perte de détails fins) peu visible si l'augmentation ne dépasse pas 30%

2-4-5-3- Rotation (40)

On peut mettre horizontal une photographie prise verticalement grâce à cet option. On pratiquera une rotation de 90° dans le sens horaire ou anti-horaire.

2-4-5-4- Tampon de duplication (32) (75)

Cet outil va permettre de copier une partie de l'image sur les zones à supprimer.
On pourra ainsi pallier à certains défauts :

- ✓ Une partie des lèvres visibles
- ✓ Une tâche sur l'objectif...

2-4-5-5- Amélioration de l'exposition d'une photographie (32) (75)

Pour cela, on utilise l'outil luminosité/contraste ; on peut grâce à lui ajuster facilement les tons clairs et foncés des clichés. Par exemple, on peut assombrir les dents antérieures rendues plus blanches par le flash.

On utilise alors aussi l'outil contraste permettant d'éclaircir les tons clairs et d'assombrir les tons foncés, améliorant ainsi l'apparence de certaines photographies.

2-4-5-6- Symétrie horizontale (75)

Cet outil est utile pour les clichés pris dans un miroir. On peut donc rétablir le fait qu'il s'agit du côté gauche ou droit du patient.

2-4-5-7- Lasso magnétique (75)

Il s'agit d'un outil de sélection. Il agit en s'ancrant automatiquement à la linière des pixels de couleur différents. La zone sélectionnée peut être ensuite supprimée.

2-4-5-8- Les niveaux (32)

Le logiciel de retouche d'image, via la commande des niveaux, peut apporter des corrections sur :

- ✓ Un manque de contraste
- ✓ Une image trop sombre à l'impression
- ✓ Un manque de détails dans les hautes lumières
- ✓ Un manque de détails dans les ombres

2-4-5-9- Les courbes (32)

Après avoir réglé les niveaux, cet outil permet de :

- ✓ Relever des détails
- ✓ Eclaircir ou assombrir une image
- ✓ Corriger les couleurs

En modifiant les courbes, on peut renforcer un cliché bien exposé mais trop contrasté.

2-4-5-10- Les couleurs (75)

Pour régler la gamme des tons et la balance des couleurs d'une image, on utilise des calques de réglage. Ils permettent de revenir en arrière et de procéder à des réglages successifs de la tonalité sans perdre les données du calque contenant l'image. Mais cela augmente la taille de l'image et demande plus de mémoire vive sur l'ordinateur.

2-4-5-11- Filtre d'accentuation (32)

Cet outil sert à accentuer la netteté de l'image. On l'utilise en dernier car il implique un rééchantillonnage du cliché en modifiant les couleurs de certains pixels (dégradation de l'image).

2-4-5-12- Pixellisation (32)

Appliqué au niveau des yeux du patient, il permet l'anonymat de celui-ci tout en gardant le reste du visage discernable.

2-4-5-13- Prévisualisation thérapeutique (60) (75)

On peut réaliser via le logiciel de retouche de véritables « wax-up numériques ». D'après Bertrand Tervil **(75)**, « cette technique peut avoir un impact très fort sur le patient dans sa prise de décision. Mais elle peut également devenir source de conflit si le résultat final n'est pas en adéquation avec la prévisualisation photographique ».

Ici on parle de transformation des images impliquant la réalisation des restaurations à l'identique. Ceci rajoute une pression sur le praticien. « La retouche photographique permet (presque) tout, mais n'autorise pas tout » **(75)**.

3- PHOTOGRAPHIE AU CABINET DENTAIRE : **APPORT ET UTILISATION**

3-1- Matériel nécessaire à la macrophotographie intrabuccale

3-1-1- La macrophotographie (60)

« La macrophotographie est la photographie des petits objets donnant une image plus grande que nature » (Petit Larousse).

On parle de macrophotographie pour définir les prises de vue intrabuccales avec des rapports de grossissement supérieurs ou égaux à 1. En odontologie, l'intérêt de la macrophotographie se voit en format 35 mm avec un rapport 1/1 permettant de photographier simplement le groupe incisivo-canin.

La macrophotographie présente différents intérêts :

- ✓ Montrer au patient par comparaison ce qu'il en était au début, avant le traitement, et à la fin, après le traitement
- ✓ Analyser le cas avec différentes prises de vue : compléments des études cliniques, moulage et radiologique ; véritable empreinte esthétique
- ✓ Communiquer plus aisément avec le patient et le laboratoire

En photographie numérique, il suffit d'utiliser des rapports d'agrandissement de 0.3/1 et 0.5/1 ; cela s'apparente alors plus à de la « photographie rapprochée ». On retrouve un système macro pour la plupart des APN.

3-1-2- Appareil photographique et support informatique

3-1-2-1- Le matériel en photographie argentique (48) (60)

3-1-2-1-1- Le boîtier

On utilise un appareil type reflex 24*36 « TTL ou flash », à objectifs interchangeables, et modélisé pour le confort.

Le système de mise au point autofocus n'est pas indispensable, vu que la mise au point doit toujours être effectuée en mode manuel.

2-1-2-1-2- L'objectif et les compléments optiques

L'objectif doit être d'une focale proche de 100 mm de type MACRO permettant d'obtenir directement le rapport 1/1.

Avec ce type d'objectif, une distance importante est gardée entre le sujet photographié et l'appareil. Ceci est intéressant, notamment pour les prises de vue des dents postérieures ; on ne se positionne pas ainsi trop près de la bouche ; on optimise l'action du flash.

Les compléments optiques sont des systèmes simples qui se placent au bout de l'objectif. En réduisant la distance minimale de mise au point, ils permettent d'obtenir un rapport de reproduction élevé.

3-1-2-1-3- Le flash

Il existe une cellule intégrée placée près du film qui permet de mesurer la quantité de lumière directement à travers l'objectif. On a donc un flash électronique fonctionnant suivant le principe du flash TTL (Through The Lens : à travers l'objectif). On aura ainsi une exposition correcte de la vue, sans tenir compte des accessoires ajoutés, et quelques soient le diaphragme et/ou le rapport de reproduction utilisés.

Deux types de flash peuvent convenir en macrophotographie intrabuccale :

- ✓ Un flash de type annulaire : placé au bout de l'objectif ; en fermant le diaphragme, on obtient un grande profondeur de champ avec un éclairage circulaire d'une forte intensité
- ✓ Un flash latéral : il donne un meilleure perception de la couleur, de la translucidité et de l'état de surface



Figure n°41 : Minolta R-1200 flash annulaire (d'après PTJ International) (63)

3-1-2-1-4- Les films

Pour la pratique odontologique, il est nécessaire d'utiliser des films inversibles diapositifs. On facilite ainsi l'archivage et les projections. On prend donc un film de sensibilité moyenne (100 ISO) car l'éclairage est suffisant avec flash et scialytique.

NB : il existe des systèmes de photographie instantanée, comme le Polaroid Macro SLR 5, permettant de réaliser des tirages papier de bonne qualité, qui peuvent être immédiatement exploités ; il est le seul sur le marché.

3-1-2-2- APN et matériel informatique (61) (75)

3-1-2-2-1- APN



Figure n°42 : Kit Canon A 95 (d'après PTJ International) (63)

Pour résumer ce que l'on a dit précédemment sur le matériel photographique, un APN de 3 Mpixels est suffisant pour réaliser des photographies de bonne qualité ; les moniteurs informatiques ont généralement une matrice UXGA de 1600*1200=1920000 pixels. Avec ce type d'appareil, on peut réaliser une impression 13*18 cm de bonne

qualité. Un photoscope de 5 Mpixels permettra juste de recadrer la photographie après la prise de vue.

Des accessoires doivent pouvoir être ajoutés sur l'APN, notamment des flashes externes, des diffuseurs, des convertisseurs de focales adaptées à la macrophotographie. Outre la qualité des composants optiques et du flash, celle de la restitution des couleurs n'est pas à négliger pour une bonne reproductibilité des tons clairs.

Le processeur d'image est très important également : il est composé d'une puce et d'un firmware (logiciel interne) ; ce dernier doit permettre des prises de vue simples, reproductibles et être ergonomiques.

Quelques fonctions sont indispensables en odontologie :

- ✓ Un mode macro
- ✓ Un mode portrait
- ✓ Un mode de sélection de la réalisation de la prise de vue
- ✓ Un mode priorité de l'ouverture sur la vitesse
- ✓ Des possibilités de réglages manuels (mieux adaptés à notre exercice)
- ✓ Une mesure spot ou pondérée
- ✓ La balance des blancs
- ✓ La possibilité de mettre à jour le firmware

Actuellement, tous les appareils numériques avec objectifs interchangeables sont adaptés à la pratique dentaire.



Figure n°43 : Canon EOS 400D-face (d'après PTJ Internaional) (63)



Figure n°44 : Objectifs macro (d'après wikipedia.org) (63)

3-1-2-2-2- Le matériel informatique (2)

Il est conseillé de posséder du matériel récent. Cependant il est difficile de définir l'ensemble des équipements informatiques nécessaires à la photographie au cabinet dentaire ; et ceci à cause des progrès constants que connaissent à la fois les ordinateurs, imprimantes et autres... et les APN. De plus il existe beaucoup de logiciels différents selon l'appareil photographique que l'on possède.

Nous prendrons comme exemple le logiciel Adobe Photoshop CS3 (dernier logiciel de Adobe qui reste une référence) et indiquerons la configuration minimale pour un PC et pour un Mac :

✓ Windows :

- Microsoft Windows XP avec Service Pack 2 ou Windows Vista Edition Familiale Premium, Edition Intégrale, Professionnel et Entreprise (certifié pour les éditions 32 bits)
- 512 Mo de RAM
- 64 Mo de RAM vidéo
- 1 Go d'espace disque disponible (espace supplémentaire requis pendant l'installation)
- Résolution d'écran 1024*768 avec carte vidéo 16 bits
- Lecteur DVD-ROM
- Quick Time 7 pour les fonctionnalités multimédias
- Connexion internet ou téléphonique pour l'activation du produit
- Connexion internet haut débit pour l'accès Adobe Stock Photos et d'autres services

✓ Macintosh :

- Processeur Power PC 64 ou 65 ou Intel multicœur ou Intel
- Mac OS X v10.4.8.10.5 (Léopard)
- 512 Mo de RAM
- 64 Mo de RAM
- 2 Go d'espace disque disponible (espace supplémentaire requis durant l'installation)
- Résolution d'écran 1024*768 avec carte vidéo 16 bits
- Lecteur DVD-ROM

- Quick Time 7 requis pour les fonctionnalités multimédias
- Connexion internet ou téléphonique requise pour l'activation du produit
- Connexion internet haut débit pour l'accès Adobe Stock Photos et d'autres services

3-1-3- Instrumentation spécifique à la macrophotographie intrabuccale

3-1-3-1- L'éclairage (11) (75)

Le milieu buccal est un milieu sombre. Pour obtenir une image sans aide extérieure, on va alors utiliser :

- ✓ Une ouverture de diaphragme réduite, pour une profondeur de champ suffisante
- ✓ Un temps d'exposition long (pour une qualité de lumière suffisante) incompatible à la netteté de l'image

La lumière du scialytique (20000 lux et 4500°K) étant insuffisante, il est nécessaire d'utiliser un flash. Les avantages sont conséquents :

- ✓ Courte durée du flash
- ✓ Grande intensité de lumière
- ✓ Température de couleur avec les caractéristiques de celle du jour
- ✓ Utilisation simple

On sera donc amené à adjoindre à l'appareil photographique un flash pour permettre d'obtenir une qualité correcte de l'image.

3-1-3-1-1- Le flash (75)

L'usage d'un flash intégré n'est pas conseillé. Souvent excentré, il manque de puissance et engendre des ombres marquées inesthétiques, du fait de sa nature unidirectionnelle.

Si l'on fait un portrait, un flash compact de studio de faible puissance convient. Pour la macrophotographie intrabuccale, un flash annulaire semble le plus adapté (éviter un flash externe). Il donne une lumière homogène et produit des images sans relief. Ceci est un désavantage pour la photographie esthétique.

Ces flashes annulaires font parti des flashes macro tout comme les flashes constitués de deux ou quatre tubes continus qui peuvent être bilatéraux et permettre un effet tridimensionnelle des dents, en modulant l'intensité de l'éclair de certains tubes. Mais ils sont préférables aux flashes annulaires. On ne peut cependant pas les adapter aux appareils reflex.

On peut ajouter les dispositifs composés de diodes (DENTOCLED) permettant un éclairage puissant qualité « lumière du jour ». Tout comme les flashes intégrés, leur caractère unidirectionnel en fait de piètres aides en photographie esthétique.

Il faut faire également attention à la présence de reflets de flash, inconvénient commun à tous ces dispositifs.

3-1-3-1-2- Les diffuseurs de lumière (67)



Figure n°45 : APN équipée d'un diffuseur de lumière posé sur l'objectif (d'après PTJ International) (63)

Les diffuseurs de flash captent la lumière émise par celui-ci et la diffuse de manière plus ou moins homogène sur le sujet. On évite ainsi les ombres trop marquées en obtenant une lumière plus douce. De plus, ces systèmes évitent les reflets typiques des flashes macro.

Ces dispositifs sont préconisés par les flashes intégrés à l'appareil. La composition de ces diffuseurs comprend :

- ✓ Un complément optique se fixant devant l'objectif et permettant d'obtenir une distance de mise au point fixée généralement à 13 cm
- ✓ Un diffuseur : en matière plastique semi-transparent
- ✓ (Deux miroirs réfléchissants la lumière pour un éclairage homogène des deux côtés de l'arcade)

Il existe deux types de diffuseurs :

- ✓ Un diffuseur plat pour adoucir la lumière et la concentrer au centre du cadre
- ✓ Un diffuseur bulbe pour adoucir la lumière et la diffuser autour de l'objectif à la manière d'un flash annulaire

3-1-3-2- Le trépied (22)

Peu utile en macrophotographie intrabuccale (du fait de la position des prises de vue), il peut s'avérer nécessaire pour les photographies extrabuccales sans flash en lumière du jour. Si on a un temps de prise supérieur à 1/60 de seconde, il permet d'éviter les flous de « bougé ».

3-1-3-3- Les contrasteurs (7) (53)

Placés comme un miroir occlusal, ils augmentent le contraste en créant un fond noir et en éliminant les éléments inutiles. Ils sont réalisés en aluminium anodisé et sont utilisés pour la réalisation de présentation.

S'il faut prendre ses précautions pour le choix de la teinte lorsqu'on les utilise, ils peuvent s'avérer intéressant pour montrer les régions translucides de la dent (bord libre incisif par exemple).

3-1-3-4- Les écarteurs (8) (61)

En métal ou en matière plastique autoclavable, ils dégagent le champ de prise de vue en écartant les éléments anatomiques sans intérêts (lèvres, langue, joue), éliminant ainsi les risques de zones d'ombre. La zone à photographier est ainsi dégagée et on optimise l'illumination du sujet. Il faut éviter autant que possible les écarteurs transparents colorés.

Les plus utilisés sont les écarteurs plastiques transparents, plus confortables pour le patient et à utiliser. Ils ont une durée de vie plus courte que les métalliques car ils deviennent vite cassants et fragiles.

Les écarteurs en métal sont dépolis pour éviter les reflets. Mais ceci ne les enlève pas complètement et entraîne des erreurs en faussant le système TTL du flash. Ils ne sont pas recommandés.

Utilisés par paire, on évite de les faire apparaître sur la photographie si possible.



Figure n°46: photographie écarteurs en place (photographie Dr. F. Bodic)

III-1-3-5- Les miroirs (7) (53)

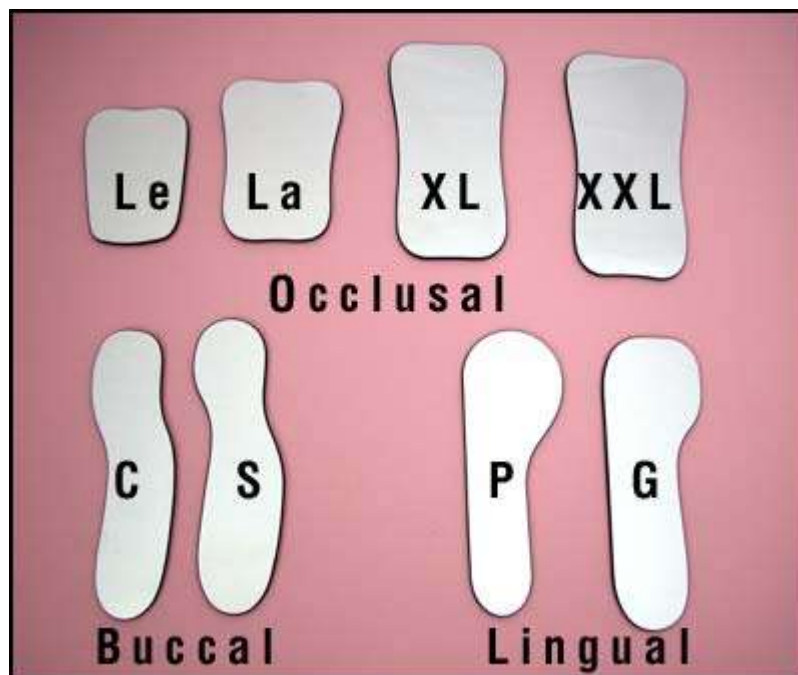


Figure n°47: différents types de miroir (d'après PTJ International) (63)

Stérilisables, plans ou grossissants, ils permettent de photographier les faces dentaires sans avoir à se contorsionner. Cela facilite les prises de vue indirectes (occlusales, vestibulaires, linguales ou palatines, les secteurs postérieurs). La plupart des photographies peuvent être prises par un miroir occlusal et un miroir jugal ; pour compléter, on peut ajouter un miroir lingual ; ils peuvent être de grande ou de petite taille. Ces miroirs sont réalisés en verre épais traité par métallisation (couche argentée), et sont autoclavables. Il en existe en métal poli, mais cela entraîne des dédoublements d'images et ils sont plus sensibles aux rayons.

Ils vont former une image dans un même plan. La profondeur est donc diminuée ce qui facilite la prise de vue avec une mise au point plus facile.

Gardons en mémoire quelques points pour améliorer les photographies :

- ✓ Eviter les phénomènes de buée : en préchauffant le miroir, en insufflant de l'air avec une seringue, en appliquant un liquide anti-buée, en faisant aspirer le patient la bouche et en le faisant expirer par le nez
- ✓ Ne prendre que l'image capturée par le miroir
- ✓ Avoir des miroirs avec manche pour éviter les doigts sur le miroir

Pour le nettoyage des miroirs, il ne faut pas les laisser séchés. Il faut les décontaminés ou les faire trempés dans de l'eau ou entre deux compresses humides. Les ultrasons risquent d'entraîner des rayures. On peut utiliser deux types de miroir :

- ✓ Miroir à métallisation biface : réversibles, pour les formes asymétriques
- ✓ Miroir à métallisation monoface constitué d'une lame en acier inoxydable malléable se logeant dans une glissière au dos du miroir sur la face métallisée, écartant la joue ; pour les faces vestibulaires ; il sert d'écarteur et de miroir

3-1-3-6- Le repousse-langue écarteur avec miroir (7)

La langue peut être un gêne lors de photographies, il convient donc de l'écarter. Il existe des dispositifs en acier inoxydable équipé de miroirs écartant la joue et la langue. On obtient une vue directe, une linguale, une vestibulaire.

Enfin, l'aspiration et la soufflette permettent de gérer la salive pour que celle-ci n'aille pas sur les miroirs.

3-1-4- Position et prise de vue

3-1-4-1- Généralités (7)

Standardiser les prises de vue permet d'obtenir des clichés reproductibles et référencés ; cela permet également d'amoindrir les divergences d'un cliché à l'autre. On calibre ainsi les résultats. Ces divergences sont généralement dues à l'éclairage, la distance du sujet, la distance focale, l'incidence, et à l'utilisation de certains angulaires.

Quelques recommandations sont à respecter :

- ✓ Neutralité des fonds de scène (gris 18%, bleu moyen) : éviter les murs noirs ou blancs ; si ce n'est pas possible, un réglage de l'exposition sera réalisé
- ✓ Réglage de la balance des blancs sur automatique dans le cas de sources lumineuses mixtes ; pour une source lumineuse unique, utiliser le programme correspondant en automatique ou régler manuellement avec une feuille blanche dans les conditions d'exposition
- ✓ Position stable du praticien sur ses jambes : avant-bras le long du corps et main gauche soutenant l'objectif
- ✓ Distance focale reproductible afin d'éviter les distorsions
- ✓ Respect des principes photographiques : éclairage correct ; faire attention au fait qu'un APN voit ses performances diminuées en basse lumière ; pour des vitesses plus lentes que 1/45 de seconde, une cellule externe est conseillée ; et pour des vitesses supérieures à 1/60 de seconde, un trépied est nécessaire

- ✓ Utilisation du même APN dans des conditions d'éclairage identiques à chaque prise de vue : reproductibilité de la position du sujet et constance de la distance APN/sujet
- ✓ Réglage de la température de couleur en s'aidant d'un certain gris à 18% dans le cas de sources lumineuses multiples ; la colorimétrie de clichés sera ainsi mieux calibrée pour une meilleure exploitation

En macrophotographie, il est judicieux de faire la mise au point manuellement et à l'aide de l'autofocus.

3-1-4-2- Prise de vue en prothèse fixée

3-1-4-2-1- Technique de prise de vue (4)

3-1-4-2-1-1- Cadrage

C'est une opération qui consiste à inscrire le sujet de la photographie à l'intérieur du format de notre image. Ceci s'effectue dans le viseur de notre appareil reflex en fonction du rapport de reproduction le plus approprié : on choisit un cadrage aussi serré que possible afin d'éliminer tous les détails hors sujet.

On choisit de préférence un rapport de reproduction standard, soit de 1/10 à 1/1.

3-1-4-2-1-2- Axe de prise de vue

C'est la ligne qui unit l'œil du photographe derrière l'oculaire de son appareil au centre du cadrage. Cet axe doit être le plus orthogonal possible par rapport au plan moyen de la zone photographiée.

Nous photographions une cavité buccale exigüe et des zones d'arcade inaccessibles en vision directe ; nous utilisons donc des miroirs appropriés selon la partie de l'arcade à photographier, tout cela dans une bonne position.

La position des pieds de l'opérateur est importante car elle conditionne sa stabilité, d'où l'absence de « bougé ».

3-1-4-2-2- Prise de vue en prothèse (32) (49)

Lorsque l'on réalise des prises de vue pour la prothèse fixée, deux types de photographies sont possibles : des photographies extrabuccales et intrabuccales.

Pour les photographies extraorales, nous allons avoir quatre prises de vue :

- ✓ Vue de face sans sourire
- ✓ Vue de face avec sourire
- ✓ Vue de profil
- ✓ Vue de $\frac{3}{4}$

Les vues de face demandent de cadrer la photographie du haut de la tête jusqu'à la limite du cou. La ligne bipupillaire doit être parallèle au plancher. Le scialytique est dirigé directement vers le patient (cela diminue les yeux rouges). L'arrière-plan doit être composé d'un matériel non réfléchissant ou d'un fond lumineux pour éliminer les ombres. On doit également faire en sorte d'éliminer tout ce qui peut nuire à la photographie (poignées de porte, cheveux...) : ceci est valable pour toutes les prises de vue.

On ne réalise la prise de vue que d'un seul profil (le droit) sauf si l'on constate des asymétries faciales. La photographie doit comporter, pour le profil et le $\frac{3}{4}$, l'arrière de la tête jusqu'au bout du nez. La tête remplit l'image. On peut ne pas avoir l'arrière du crâne. Le plan de Francfort doit être horizontal. Le scialytique doit être dirigé de manière à ce que l'ombre du patient soit projeté à l'arrière de celle-ci. Avec le flash, on doit obtenir l'effet similaire.

Pour ces prises de vue extraorales, différentes erreurs peuvent se produire :

- ✓ Mauvaise représentation des tissus mous ou du squelette due à une inclinaison trop importante de la tête en avant ou en arrière
- ✓ Attention aux cheveux longs : les faire attacher pour qu'ils ne cachent pas le visage

A ces photographies extrabuccales, on peut ajouter, dans le cadre d'une restauration esthétique, une vue du sourire (de commissure à commissure).

Les photographies intraorales peuvent être divisées en trois :

- ✓ Vues antérieures : de face, avec le scialytique directement sur la bouche du patient
- ✓ Vues buccales : le plan d'occlusion doit être horizontal ; le cadre doit être rempli par les dents, de la face mésiale de l'incisive centrale jusqu'à la face distale de la première molaire, et en arrière si possible ; la lentille doit être perpendiculaire aux surfaces occlusales des dents postérieures pour éviter la sous-estimation de la décroissance sagittale, et l' « effet parallaxe »
- ✓ Vues avec miroir : on ne doit voir que ce qu'il y a sur le miroir (pas de vue directe des incisives) ; pour cela, il faut être symétrique aux surfaces occlusales lors de la prise de vue ; le patient doit pencher la tête et ouvrir la bouche le plus grand possible ; il faut faire attention à la sous-exposition de la photographie possible lors de ces prises de vue ; on compense donc par une ouverture plus grande que prévu pour avoir plus de lumière rentrant dans l'objectif

Pour un travail prothétique, il faut au moins quatre vues par patient :

- ✓ Vue de face
- ✓ Vue du sourire
- ✓ Vue occlusale de l'arcade dentaire supérieure
- ✓ Vue occlusale de l'arcade dentaire inférieure

Si la restauration est antérieure, pour une bonne communication avec le prothésiste, on doit envoyer trois images supplémentaires :

- ✓ Vue du sourire sans anesthésie en taille 1/1 pour montrer la position labiale naturelle
- ✓ Vue du sourire après la préparation dentaire en taille 1/1 pour mettre en évidence l'espace entre la face occlusale de la ou les dents préparées et la face occlusale des dents antagonistes
- ✓ Vue en gros plan 2/1 de la préparation dentaire humidifiée en présence de la teinte choisie

3-1-5- L'appareil « presse-bouton » (35)

Développé par le Docteur Batave, il s'agit d'un appareil dont le logiciel a été modifié et adapté aux conditions particulières de luminosité, de colorimétrie et d'agrandissement rencontrées dans les milieux médicaux et dentaires. Il en existe deux versions :

- ✓ Olympus Camedia 4000 Medical D (4 Mpixels)
- ✓ Olympus Camedia 5050 Medical D (5.5 Mpixels)

Dotés de compléments optiques et d'un diffuseur de lumière, il suffit de tourner le sélecteur sur la position ASM pour que l'appareil soit prêt à photographier. Un voyant lumineux devient fixe quand la mise au point est bonne. La distance de prise de vue doit se situer entre 12 et 15 cm. Aucune compression n'affecte la qualité des photographies ; leur exploitation est optimale.

On peut utiliser pour ce type d'appareil les deux types de diffuseur. On trouve cet appareil auprès de la société MULTI-AXES.



Figure n°48: Kit Olympus Camedia C-5000 zoom (d'après PTJ International) (63)



Figure n°49: Kit Olympus macro (d'après PTJ International) (63)

3-1-6- Erreurs à éviter en photographie clinique (49)

Une étude faite à partir de cas orthodontiques montre les erreurs possibles (communes aux deux types d'appareil photographique, argentique et numérique) réalisées lors d'un enregistrement d'images.

Deux groupes d'erreurs peuvent être mises en évidence :

- ✓ Un choix inadéquat de l'équipement pour la photographie clinique
- ✓ Un enregistrement moyen ou une position inapproprié du sujet

3-1-6-1- Les erreurs techniques

Un équipement correct est requis pour des photographies cliniques de haute qualité, ce qui inclus l'APN ou l'appareil argentique avec un système macro, un flash, un arrière-plan approprié, de la lumière correcte et des assistants bien entraînés. Le grossissement des vues intraorales avec miroir, et extraorales, en utilisant l'objectif (dont une partie indique l'installation requise pour la longueur focale adaptée à chaque vue standard) doit se faire dans une position prédéterminée, le sujet ne bougeant pas.

Ces erreurs concernent tout d'abord les écarteurs. L'assistant les tenant doit normalement les tenir latéralement et vers l'avant. Or, instinctivement, il le tient de la façon opposée.

Elles peuvent également survenir avec les miroirs. Nous l'avons vu précédemment, les miroirs de verre, bien que plus chers que les métaux polis, sont plus appropriés à la photographie intrabuccale. La première erreur qui peut se produire vient d'une réflexion de lumière inadéquate de la part du miroir ; cela arrive s'ils sont mal entretenus ou abîmés. La deuxième erreur est s'il on oublie de compenser par une ouverture de diaphragme plus importante pour assurer une bonne illumination des photographies avec miroir, les miroirs réfléchissants en effet la lumière, mais pas complètement ; il faut donc les aider.

3-1-6-2- Les problèmes relatifs à l'APN

3-1-6-2-1- La profondeur de champ

Un certain nombre d'APN moyen (entre les APN de grande consommation et les APN professionnels) permettent une ouverture réduite à $f/11$. Quand on prend des photographies avec ces APN, la profondeur de champ sera réduite et une partie de la photographie intraorale sera en dehors du plan focal. On sait que la profondeur de champ se distribue approximativement $1/3$ devant et $2/3$ derrière ce plan.

Le désavantage de ces petites profondeurs de champ avec des photographies prises avec de larges ouvertures peut être diminué en se focalisant sur la face distale de l'incisive latérale, permettant ainsi d'avoir les incisives centrales et les canines.

Avec les APN professionnels (Fuji S1 Pine-Pix Pro, Nikon SB29 flash), on peut aller jusqu'à $f/32$. Cette ouverture minuscule permet une profondeur de champ suffisante pour avoir les incisives, et les deuxième prémolaires dans la zone de netteté si le plan focal est positionné sur la face mésiale des canines. Pour les prises intraorales (buccales et occlusales), on peut avoir toute la région intéressée dans le même plan si la tenue des écarteurs et la position du sujet sont correctes ; la profondeur de champ ne serait alors pas un problème.

3-1-6-2-2- Problèmes avec l'autofocus

Un certain nombre d'APN ont des difficultés à focaliser la photographie avec une installation autofocus, du fait du manque de contraste des lignes de netteté dans la zone intéressée. La solution à ce problème est de contrôler manuellement cette focalisation. Le clinicien décide ainsi de lui-même la distance qui doit le séparer du patient pour prendre le cliché et il l'installe manuellement sur l'appareil. La distance enregistrée, on bouge l'APN vers l'avant ou l'arrière jusqu'à ce que l'image soit nette sur l'écran.

0.2 m est la bonne distance pour des photographies intraorales. Pour les extraorales, un essai doit être fait en se focalisant sur la paupière inférieure pour s'assurer que le champ comprenne ce qui se situe de la pointe du nez jusqu'à l'oreille.

3-1-6-2-3- Les ombres

Ces problèmes sont inévitables à un moment ou un autre lorsque l'appareil utilise un flash :

- ✓ Monté latéralement, on a une ombre sur une prise de profil
- ✓ Monté au-dessus, une ombre apparaît sur une prise de face

Et ceci, malgré l'utilisation de miroirs, réflecteurs ou diffuseurs.

En ce qui concernent les photographies extraorales, on peut utiliser un écran illuminé en arrière-plan ou un écran sombre non réfléchissant, pour maximiser la qualité de l'image.

Parmi les vues intraorales, la solution avec un flash monté sur le côté est de mettre l'APN à l'envers par rapport au corridor sombre buccal. Le flash illumine ainsi la partie qui va être dans l'ombre dans la bouche. On effectue ensuite une rotation de 180° de l'image une fois prise.

Le même problème se pose avec les vues occlusales à cause de la proximité entre l'APN et le patient. On peut alors s'éloigner du patient pour augmenter l'illumination.

3-1-6-2-4- Problèmes liés au matériel

Des erreurs peuvent survenir si la carte mémoire est abîmée, ou encore s'il y a de la poussière sur le capteur CCD.

3-1-6-3- Erreurs de positionnement

Nous rencontrerons des problèmes si l'on ne respecte pas les positions requises pour les prises de vue, ou encore s'il existe une différence de taille entre le patient et le clinicien.

D'autres soucis peuvent arriver si nous ne faisons attention à l'environnement : cheveux, vêtements, matériels, personnes apparaissant en arrière-plan, écarteurs, salive...

3-2- Application de la photographie au cabinet dentaire

Nous observons donc aujourd'hui que les APN peuvent être une option attractive pour les dentistes prêt à incorporer cette technologie dans leur exercice quotidien **(26)**. Nous avons en effet vu précédemment que l'utilisation de la photographie numérique pouvait être rapide et facile si l'on sait s'en servir (d'où l'intérêt d'avoir un assistant spécialisé dans la photographie comme le préconisent certains auteurs, notamment américains) **(21)**.

Il s'agit donc de mettre à profit les avantages de la technologie numérique. Pour beaucoup, elle est le progrès le plus significatif en dentisterie ; on peut y avoir accès tout de suite ; les images peuvent être ajoutées, tournées, assombries, clarifiées selon notre souhait **(21)**. A cela ajoutons que l'informatisation accrue des cabinets dentaires et la télétransmission qu'oblige cette informatisation, entraînent nécessairement une

augmentation de l'utilisation des APN qui serait une aide certaine pour notre exercice quotidien **(6) (62)**.

En dentisterie esthétique, la communication est un critère important. Elle s'établit avec le patient : cela nous permet de l'informer au mieux et de lui expliquer la thérapeutique ; on peut également mieux comprendre les souhaits et les attentes du patient. Elle s'établit aussi avec le laboratoire de prothèse, condition indispensable à la réussite de tout traitement.

L'apport de la photographie numérique dans cette communication peut être une grande aide. Pour le praticien, le numérique va être un outil de communication, mais également un aide au diagnostic esthétique.

3-2-1- Application générale

3-2-1-1- D'un point de vue légal (8) (21)

La photographie numérique a grandement facilité la possibilité de documentation, ce qui présente un intérêt autant clinique qu'informatif. Le nombre de dentistes impliqués dans des procédures est de plus en plus important, et cela ne va pas en diminuant. Il n'y a pas de raison d'éviter cet enregistrement de situations cliniques pouvant être délicates et de les stocker pour des besoins de documentation. Cela permet au dentiste de mieux se défendre si une procédure légale est engagée par le patient (même si la photographie n'a pas de valeur légale). De plus, l'augmentation de la chirurgie implantaire ou des traitements esthétiques tout céramique ainsi que les restaurations multiples, du fait de leur coût, nécessite une documentation précise.

3-2-1-1-1- Le devoir d'information (8) (56)

Le praticien a un devoir d'information vis-à-vis de son patient. D'après l'arrêt de la cour de cassation du 21 février 1961 (1^{ère} chambre civile), « le praticien doit employer

un expression simple, approximative, intelligible et loyale, permettant au malade de prendre la décision qu'il estime s'imposer. Le dialogue thérapeutique doit donc être à la portée du malade et de ses facultés de compréhension ».

Le code de déontologie médicale en son article 35 reprend les termes de l'arrêt Guidi (cour de cassation, le 20/01/1987) sur l'obligation d'information à l'égard du malade par le médecin. « Le médecin doit à la personne une information loyale, claire et appropriée sur son état, les investigations et les soins qu'il lui propose. Tout au long de la maladie, il tient compte de la personnalité du patient dans ses explications et veille à leur compréhension ».

Aujourd'hui, par l'arrêt Hédreul de 1997, le praticien devient celui qui doit apporter la preuve que ses soins sont conformes aux règles établies : « celui qui légalement tenu d'une obligation particulière d'information doit apporter la preuve de l'exécution de cette obligation... alors que le médecin est tenu d'une obligation particulière d'information vis-à-vis du patient et qu'il lui incombe de prouver qu'il a exécuté cette obligation ». Ceci rend difficile notre travail car il reste compliqué d'informer un patient sur l'ensemble des risques encourus par nos soins (même minimes), et donc difficile de prouver que cela a été fait, sinon en lui faisant signer un volumineux document.

L'apport de la photographie est ici indéniable, du moins pour mieux informer le patient. Une documentation des différentes restaurations prothétiques pourra être visionnée par le patient et permettre d'éclaircir le discours du praticien.

3-2-1-1-2- Moyens de protection (76)

Les clichés pré-, per- et postopératoires peuvent être une aide précieuse pour montrer l'efficacité d'un traitement entrepris, notamment dans le domaine de la prothèse fixée à visée esthétique. Grâce à la photographie numérique, la facilité de stockage et d'archivage des clichés évitera la perte d'images qui peuvent s'avérer décisives.

Lorsqu'un traitement esthétique complexe débute, il est conseillé de se faire une documentation par la photographie. Ainsi, lorsqu'un patient se plaint du résultat d'un

traitement, on peut lui montrer ce qu'il en était avant et le comparer avec les images postopératoires.

Une autre raison pour effectuer cette documentation est si l'on se retrouve face à un patient suspicieux, ou anxieux, ou interrogateur.

On va pouvoir dater et stocker toutes ces images. Cette documentation peut être très utile pour les compagnies d'assurance qui pourraient ainsi vérifier le rendu du traitement.

3-2-1-2- D'un point de vue clinique

3-2-1-2-1- Pour le patient

3-2-1-2-1-1- Attente du patient et subjectivité

De nombreux patients, mécontents de leur esthétique dentaire, ne sont pas capables d'identifier les causes de leur insatisfaction. Le travail du praticien est d'interpréter leur demande sans se laisser influencer ni par leur autodiagnostic, ni par leur enthousiasme à entamer un traitement. Le praticien doit rendre le patient conscient des aspects de son sourire que l'on peut améliorer. Cette éducation du patient est fondamentale car elle doit lui permettre de changer sa perception du sourire et de prendre conscience qu'il existe des différences entre un sourire « parfait » et un sourire personnalisé **(13)**. De plus, un des critères principaux de jugement et de satisfaction du patient est fonction de l'intégration esthétique de ses restaurations **(65)**.

Il faut toujours avoir à l'esprit que le résultat esthétique dépend de l'intégration harmonieuse de critères fondamentaux au sein du sourire et, finalement, de l'individu **(46)**.

Il est donc intéressant de montrer au patient des photographies de son visage et de sa denture pour qu'il se rende compte de ce qui est possible et pour une meilleure compréhension des tenants et aboutissants du traitement.

Une librairie d'images cliniques permet une éducation du patient. Avec une préparation adéquate des clichés, un praticien peut montrer les traitements alternatifs basés sur les traitements déjà effectués sur d'autres patients. Quand le patient voit ces photographies et reçoit les informations orales et écrites satisfaisantes, la décision pour un traitement est facile et rapide.

Il est conseillé de réaliser des listes des procédures les plus utilisées dans notre exercice ; comme ça, lorsque le cas se présente, on peut fournir immédiatement les images concernées et optimiser la prise de décision du traitement. On peut ajouter une photographie du sourire du patient pour lui expliquer certaines données esthétiques compte tenu de la position de ses dents, ou de son parodonte : il est important de différencier ce qui est souhaitable de ce qui est réalisable.

Il existe un système de prévisualisation esthétique. A partir du diagnostic esthétique et des modèles du patient, on peut transférer un wax-up sur l'image du patient. On visualise donc le résultat esthétique avant que tout traitement irréversible soit réalisé. On peut effectuer des retouches, ceci grâce aux logiciels de traitement d'image.



Figure n°50 : photographie de la bouche du patient avec les provisoires en place
(on donne ainsi une idée au patient du résultat prochain du traitement)
(photographie de F. Bodic)

3-2-1-2-1-3- La motivation du patient **(23) (56)**

Plus le praticien se fait comprendre des patients, plus ceux-ci seront aptes à être motivés pour le traitement. Pour l'utilisation de l'APN, on peut mettre en évidence le problème esthétique d'un patient comme une anomalie de forme, de position, de couleur d'une ou d'un groupe de dents.

Le fait de montrer un certain nombre d'exemples augmente également l'adhésion du patient à la démarche thérapeutique.

L'apport de la photographie numérique, par son aspect instructif, est une aide indéniable dans la communication praticien/patient. Elle facilite l'obtention du consentement éclairé du patient concernant l'aspect esthétique du projet prothétique.

3-2-1-2-2- Pour le praticien

3-2-1-2-2-1- Recherche clinique **(21)**

Il est facile de visualiser le potentiel pour la recherche clinique que pourraient générer la collecte de centaines de photographies de différents dentistes recueillies lors de traitements prothétique, orthodontique ou parodontal. Si ces images étaient stockées pour la recherche clinique, celles-ci pourraient être utilisées par les praticiens pour les aider dans certains traitements, ou les aider à choisir du matériel ou la technique à utiliser.

3-2-1-2-2-2- Réalisation des dossiers patients **(27)** **(62) (81)**

Un dossier clinique entièrement numérisé des patients pourrait être créé : préparations, empreinte, prothèses, chirurgies, bilans radios... Un dossier ainsi mémorisé pourra être visualisé à loisir, ce qui peut être important lors de réalisation de traitement prothétique complexe. De plus, l'archivage est aisé.

On peut également grâce à cela comparer les étapes avant et après traitement et voir la qualité des résultats.

En comparaison à la photographie argentique, le stockage numérique permet de pallier à la grande quantité de photographies possibles : soit sur un support optique, soit sur un support magnétique. De plus, l'utilisation d'un visualiseur thématique permet de retrouver facilement les images. Enfin, la conservation du numérique dépasse largement le film argentique. On a une qualité constante dans le temps.

3-2-1-2-2-3 Gain de temps **(22) (23)**

Avec le numérique, il n'y a pas de laboratoire photographique. On peut donc transférer rapidement les photographies au prothésiste en même temps ou avant que le travail n'arrive à celui-ci.

3-2-1-2-2-4- Echange avec les confrères et publications **(37) (56) (73)**

La photographie permet une meilleure communication entre confrères. On insère les images dans une lettre ou un email, et le confrère peut ainsi mieux comprendre les conclusions cliniques. Ces clichés peuvent être également intéressants pour les staffs ou les publications, ainsi qu'en cours pour un meilleur apprentissage des étudiants. Le numérique permet une insertion rapide et facile dans les cours.

Même si l'on peut scanner les photographies argentiques, il est tout de même plus facile d'utiliser un APN pour le transfert vers l'ordinateur. Il est donc simple d'insérer au sein d'un cours, d'un article ou d'une conférence des photographies numériques pour illustrer un cas clinique.

L'article 5-2 du code de déontologie régit l'utilisation de ces clichés, les chirurgiens-dentistes étant tenu au secret professionnel : « en vue de respecter le secret professionnel, tout chirurgien-dentiste doit veiller à la protection contre toute indiscretion des fiches cliniques, des documents et des supports informatiques qu'il peut détenir et

utiliser concernant les patients. Lorsqu'il utilise ses observations médicales pour des publications scientifiques, il doit faire en sorte que l'identification de patients soit impossible ». Ceci est facile à obtenir avec les logiciels de retouche dans la photographie numérique.

3-2-2- Application spécifique à la gestion de l'esthétique en prothèse fixée

3-2-2-1- Aide au diagnostic esthétique

3-2-2-1-1 Déterminer ce qui est réalisable (84)

Un logiciel de retouche permet donc un système de prévisualisation esthétique utilisé par le praticien afin de conforter son choix thérapeutique. On évalue ainsi le potentiel du traitement esthétique avant d'entamer un acte irréversible.

3-2-2-1-2- La capture numérique de la teinte (41) (78) (85)

Le facteur le plus important dans la détermination de la couleur est la luminosité. La saturation et la tonalité chromatique varient d'un groupe de dents à l'autre ; alors que la luminosité des arcades est le paramètre le plus constant. Comme nous l'avons vu précédemment, la luminosité correspond à l'échelle de gris du solide de Munsell. Cette échelle de gris est utilisée par le teintier VITAPAN 3D MASTER en classant les différents groupes de dents sur cette échelle. Ainsi, la photographie numérique noir et blanc sera d'un apport non négligeable dans des cas complexes.



Figure n°51 : teintier VITAPAN 3D MASTER et VITAPAN Classical
(photographie Y. Amouriq)

3-2-2-1-3- Détermination des structures internes et de la translucidité (41)

Le logiciel de traitement d'image permet une modification de la photographie numérisée. C'est en travaillant sur les courbes de niveaux, notamment les bleues, que le praticien différencie mieux les structures internes de la dent, et définit le type de translucidité (A, B ou C).

3-2-2-2- Moyens de contrôle (41)

Contrôler l'esthétique des couronnes céramiques peut se faire par les logiciels de traitement d'images. Ainsi, on peut vérifier la luminosité, l'état de surface, la translucidité, le rendu des structures internes. On peut jouer sur les courbes de niveau de l'image numérisée et faire devenir un cliché couleur en un noir et blanc rapidement.

3-2-2-3- Apport de la communication laboratoire/dentiste

Il existe deux principaux objectifs pour un praticien réalisant une restauration prothétique esthétique **(52)** :

- ✓ Savoir ce que le patient attend
- ✓ Une bonne communication avec le laboratoire

La qualité de la prothèse réalisée dépendra directement de la qualité de cette communication, d'autant plus en prothèse fixée à visée esthétique. Une fois le recueil des données esthétiques effectuées et le projet prothétique établi, il faut le transmettre au laboratoire. Nécessairement, si la relation praticien/prothésiste est mauvaise, le traitement risque d'être un échec **(65)**.

Comme nous le disions, il faut prendre en compte la demande du patient, ce qui rajoute à la difficulté. La formulation en mots de son attente peut différer de ce qu'il pense vraiment ; le praticien peut en faire une mauvaise interprétation ; et enfin, la transmission au laboratoire peut encore faire changer le résultat final. Il est donc important de contrôler ce que l'on peut, c'est-à-dire la communication avec le laboratoire pour limiter les erreurs **(47)**.

L'idéal serait d'avoir un laboratoire dans son cabinet, ou le prothésiste à proximité. Mais le coût de ceci (matériel, personnels...) empêche généralement de le faire. On se retrouve donc avec des cabinets dentaires et des laboratoires de prothèse souvent éloignés géographiquement. Le prothésiste ne peut donc venir voir le patient et décider avec le dentiste de la marche à suivre du traitement **(3) (55) (78)**.

Cette communication est donc importante pour le praticien car il sera confronté au patient et devra justifier le traitement auprès de lui, ainsi que le résultat, mais également pour le prothésiste ; celui-ci dispose de compétences propres indispensables à l'élaboration du plan de traitement et à la réalisation de la prothèse. On doit donc le solliciter dès le recueil des données cliniques initiales ; il doit intervenir dans la première réflexion du traitement **(51)**.

Les domaines de compétence du prothésiste sont au nombre de cinq **(51)** :

- ✓ La modélisation du projet définitif et des différentes étapes (cires de diagnostic, guides chirurgicaux et radiologiques)

- ✓ L'aptitude à comprendre, reproduire, ou proposer des modifications des schémas occlusaux envisagés (réalisation des cires de diagnostic, de prothèses transitoires)
- ✓ La gestion de contraintes biomécaniques et la maîtrise en matière de résistance des matériaux
- ✓ L'optimisation de l'exploitation des matériaux cosmétiques (céramique)
- ✓ L'interprétation et la discussion des propositions esthétiques (définition des futures réalisations prothétiques esthétiques : forme, couleur, caractérisations...)

On constate que la qualité des observations et des compétences techniques du prothésiste participent grandement au traitement des préjudices esthétiques, notamment les restaurations impliquant les secteurs dento-parodontaux antérieurs. Une bonne relation laboratoire/dentiste permet de répondre aux demandes parfois exigeantes des patients (exigences alimentées par la surinformation, voire la désinformation, médiatique) **(18)**.

3-2-2-3-1- Les premiers adjuvants de la communication laboratoire/dentiste

Avant de montrer l'apport possible de la photographie à cette communication, nous allons succinctement décrire les différents adjuvants dans lesquels vient s'inscrire l'image : le fichier esthétique et les simulations.

3-2-2-3-1-1- Le fichier esthétique **(42)**

Accompagné de modèles esthétiques, cette fiche est d'abord remplie par le praticien, puis complétée par le prothésiste. En ajoutant les images associées possibles, ils peuvent réaliser un plan de traitement adéquat.

Différents éléments doivent y figurer :

- ✓ L'état civil du patient

- ✓ L'impression générale et la demande esthétique (sourire, lèvres, position du parodonte...)
- ✓ La ligne du sourire (sourire gingival, moyen ou bas)
- ✓ La nature des embrasures incisives (critère important pour définir les possibilités de corrections chirurgicales)
- ✓ Le biotype parodontal (type de parodonte)
- ✓ L'espace biologique

3-2-2-3-1-2- Les simulations (42) (47)

Celles-ci peuvent prendre différentes formes :

- ✓ Les empreintes labiales (importance de la référence labiale supérieure dans l'exposition des dents et du parodonte marginale ainsi que de la lèvre inférieure dans la ligne du sourire)
- ✓ Les cériplasties dentaires et gingivales (cires de diagnostic et wax-up) : réalisées en cire blanche ou beige, elles s'insèrent dans le projet esthétique, sur les modèles d'étude esthétique ; on peut ainsi simuler une modification du contour gingival, ou un allongement coronaire, ou un nouvel agencement des dents ; le patient, en les voyant, pourra donner un premier avis sur le projet
- ✓ Les provisoires : c'est la conversion in vivo du wax-up monochrome en résine polychrome ; les paramètres de forme et d'intégration avec les tissus mous peuvent ainsi être modifiés avec une empreinte des provisoires en bouche et des photographies associées

3-2-2-4- gestion de l'esthétique en prothèse et photographie

3-2-2-4-1- Transmission des données esthétiques

Comme nous l'avons vu précédemment, l'utilisation de la photographie numérique est rapide, facile et hautement utile pour la documentation, la recherche

clinique et l'éducation du patient, mais également par la transmission des données esthétiques **(21)**.

Une étude de Geary et Kinirons **(34)** montre qu'une grande majorité du personnel soignant (praticiens et assistants dentaires) ne reconnaissent pas les teintes des manufactures. Généralement, ils donnent une teinte plus haute, en terme de tonalité, que la vraie. Il y a un faible niveau de teintes reconnues, et donc beaucoup d'erreurs commises.

Ce problème s'ajoutant à celui de la distance avec le laboratoire met en exergue l'intérêt que peut apporter la photographie à notre exercice. Les images peuvent fournir au prothésiste les informations les plus objectives possibles **(42)**. Il est possible de les transmettre soit par courrier électronique, soit par la carte mémoire adjointe aux travaux de prothèse.

Rappelons brièvement les prises de vue qu'il faut envoyer **(42) (47)** :

- ✓ Un portrait
- ✓ Une vue exo-buccale des lèvres au repos
- ✓ Un sourire retenu de face
- ✓ Un sourire forcé de face
- ✓ Un sourire forcé de $\frac{3}{4}$ face
- ✓ Une vue endo-buccale des arcades en occlusion
- ✓ Des photographies des dents
- ✓ Une photographie teintier en place
- ✓ Des photographies de préparations dentaires

Qu'allons-nous transmettre ? Il faut donner un certain nombre d'informations **(55)** :

- ✓ La teinte
- ✓ La forme (visage et dents)
- ✓ L'état de surface des dents
- ✓ La caractérisation (tâches, émail, collets, bords libres...)
- ✓ L'environnement bucco-facial : visage, lèvres...

3-2-2-4-1-1- Aspect général du patient

Une photographie du visage et du sourire du patient permet au prothésiste d'aborder les travaux de manière plus humaine et personnalisée. Avec ces images, les caractéristiques faciales (asymétrie, nombre de dents visibles au repos, pendant le sourire) pourraient être visualisées **(3)**.

Il est important de noter qu'il n'y a aucun rapport entre l'axe bicondylien et les plans de référence esthétique du visage ; d'où des surprises lors du résultat après avoir transmis un montage sur arc facial pour des prothèses destinées aux dents antérieures. La photographie peut éviter cet écueil. Grâce à l'image, le prothésiste va montrer le maître-modèle en référence aux lignes esthétiques du visage. Mais il doit faire attention au plan fonctionnel d'occlusion **(20) (42)**.

La communication laboratoire/chirurgien-dentiste est améliorée par la transmission instantanée des images par internet ; on optimise le choix des options esthétiques. Le patient peut même y participer, on obtient une discussion triangulaire (patient, praticien, laboratoire). Chaque intervenant peut expliquer son point de vue, ses exigences, les limites thérapeutiques ou techniques.

Le prothésiste peut aussi demander au praticien d'autres prises de vue s'il estime celles-ci nécessaires à la réalisation de la prothèse fixée. Il aura une idée plus précise de la personnalité du patient et des traits spécifiques du visage.

L'aspect général du patient par les prises de vue de face et de $\frac{3}{4}$ permet d'objectiver la morphologie dentaire (profil d'émergence, diastèmes entre latérales et centrales non visibles en vue frontale) et l'engrènement. Pour se rendre compte des lignes guides (lignes des yeux, axe vertical du visage) et des caractères du sourire du patient, il faut une photographie du visage en entier **(55)**.

3-2-2-4-1-2- Forme et position des dents

3-2-2-4-1-2-1- Forme des dents

Les photographies des dents vues de face, occlusale, et latérales droite et gauche (3/4) permettent au prothésiste d'appréhender la forme des dents en repérant les différentes lignes de transition. Le profil d'émergence de la future couronne par rapport à la gencive peut être mieux déterminé grâce à une photographie des dents préparées.

Grâce à l'image, on a les contours des dents naturelles et des tissus mous. Ces informations améliorent la perception des formes par rapport à ce qu'elle est avec le modèle en plâtre.

3-2-2-4-1-2-2- Position des dents

La photographie va permettre au prothésiste de se faire une idée de la position des dents :

- ✓ La vue de profil souligne le soutien de la lèvre supérieure, la position antéro-postérieure de la dent et le rapport du bord libre des incisives supérieures avec la lèvre inférieure
- ✓ La vue occlusale fournit des renseignements sur les caractérisations souhaitées (cuspidés et sillons) et sur la forme de l'arcade
- ✓ La vue de face permet de vérifier la régularité du feston gingival
- ✓ On repère les rotations et les positions atypiques des dents

Les photographies peuvent donc être un complément intéressant à la fiche esthétique du laboratoire. De nombreuses prises de vue peuvent être effectuées donnant ainsi une idée objective de la position et de la morphologie des dents au prothésiste. Et la photographie numérique rend cela facilement accessible. La création d'une banque d'images par le praticien et le prothésiste est donc possible et peut servir de référence.



Figure n°52 : indication au prothésiste de la position des dents (ici, on met en évidence les diastèmes) (photographie Dr. F. Bodic)

3-2-2-4-1-3- Etat de surface (65)

Grâce à la réflexion spectaculaire due au flash, on obtient des indications complémentaires de la fiche esthétique sur l'état de surface des dents par les photographies.

En frottant délicatement du papier articulé sur la surface dentaire, on met en évidence les reliefs et la texture de surface. Une photographie peut alors être prise et envoyée au laboratoire.

3-2-2-4-1-4- La teinte (42) (58) (65) (69) (78)

Le référentiel photographique peut être un vecteur intéressant de communication des informations en complément des teintiers. On sait que l'indication de la couleur par l'image n'est pas fiable. Mais différents paramètres peuvent être complétés :

- ✓ La luminosité
- ✓ La translucidité
- ✓ La saturation

- ✓ La topographie et la découpe des zones colorées et des caractérisations
- ✓ La répartition des masses opaques et translucides



Figure n°53 : différence de luminosité entre une couronne céramo-métallique et une couronne céramo-céramique (photographie de F. Bodic)

Bien entendu, pour optimiser la transmission par ordinateur, il faut étalonner les écrans du cabinet et du laboratoire pour que les images obtenues soient les mêmes et que l'on puisse les comparer. Différents facteurs en photographie numérique sont à retenir pour une bonne communication de la teinte :

- ✓ Transmission d'une photographie en noir et blanc : on objective ainsi les variations de la luminosité de la dent
- ✓ Difficulté de l'interprétation de la saturation sur une image numérique : elle dépend du nombre de pixels
- ✓ Translucidité objectivée par la simple variation des courbes de niveaux
- ✓ Photographie du teintier en place : elle ne reflète pas la réalité chromatique de la dent ; en associant la fiche esthétique, la photographie et le nuancier du laboratoire, le prothésiste peut travailler par comparaison, notamment grâce au positionnement du teintier par rapport aux dents ; cette photographie permet de différencier les zones chromatiques d'une dent, difficilement retranscrivable sur la fiche de laboratoire

Pour la transmission de la couleur, on peut le faire en annotant une image en noir et blanc de la dent avec les données recueillies avec le teintier ; on aura donc la

cartographie des luminosités relatives. On complète ceci avec des données de saturation, de tonalité chromatique et d'éventuels effets comme pigmentations, tâches colorées, fêlures.

3-2-2-4-2- Transmission informatique du relevé des couleurs

Pour cette transmission, on recherche une communication précise, facile et fluide ; celle-ci a été grandement améliorée grâce à internet et aux courriels (74).

La transmission de la couleur est loin d'être évidente ; de nombreux problèmes peuvent être rencontrés (74):

- ✓ Caractérisation complexe : dans les restaurations plurales intervenant dans le sourire ; la prise de vue par l'image permet une double communication avec le patient et avec le laboratoire
- ✓ Restauration unitaire : la transmission informatique, grâce aux logiciels de retouche, augmentent le succès de ces traitements
- ✓ Forme et état de surface atypique : mauvaise interprétation possible du praticien ou du prothésiste, d'où différentes erreurs possibles ; on peut avoir des difficultés à traduire notre idée en mots intelligibles ; l'image sera donc d'une grande aide
- ✓ Doute du praticien : manque de formation et de compétence en terme d'analyse des couleurs
- ✓ Influence perturbatrice : le patient veut des dents blanches ; l'image de lui-même et une banque d'images sont un excellent support d'information
- ✓ Eloignement du laboratoire
- ✓ Echec primaire : lorsque l'on a déjà réalisé une couronne avec une mauvaise couleur, il est difficile de ne pas être perturbé par ce premier échec dans la perception des couleurs.

3-2-2-4-2-1- Transmission au laboratoire des photographies numériques (55)

3-2-2-4-2-1-1- Télétransmission

On stocke les images sur le disque dur de l'ordinateur. Dans le cas d'un portable, on insère la carte mémoire dans le port PCMCIA grâce à un adaptateur. Pour un PC de bureau, grâce au port USB ou SCSI, on relie l'APN à l'ordinateur et on transfère les données ; cela met plus de temps que pour un portable.

On nomme ensuite la série d'images et on les date. On redimensionne les images pour éviter de bloquer la boîte mail du destinataire. On expédie ainsi les photographies avec un mail explicatif.

3-2-2-4-2-1-2- Envoi de la carte mémoire

On joint la carte mémoire aux empreintes et aux moulages. Le laboratoire transfère les images sur son ordinateur. Il retourne ensuite la carte avec la prothèse. C'est le plus simple et le plus rapide.

Il faut posséder plusieurs cartes mémoires pour pallier à leur immobilisation au laboratoire.

3-2-2-4-2-2- Le protocole FIDELA (74)

Il s'agit d'une norme (FIDELA = Fichier Interface DEntiste LAboratoire) qui définit un format universel d'échange de données informatiques afin d'éviter au laboratoire et au praticien des saisies inutiles. Créé en novembre 1999 (ADF) par la société IPLD (conceptrice de logiciels pour laboratoire, en collaboration avec JULIE et

AXILOG), elle permet au praticien d'envoyer les informations prothétiques sous la forme de fichiers informatiques au laboratoire.

Pour ce genre de travail, on se doit de respecter les recommandations de la Directive Européenne 93/42 :

- ✓ Code ADELI du praticien
- ✓ Identification codée du patient
- ✓ Numéro de la prescription : année + 4 chiffres chronologiques
- ✓ Caractéristiques précises de la prothèse demandée
- ✓ Nature et qualité de l'empreinte
- ✓ Dents concernées
- ✓ Teintes
- ✓ Date de livraison souhaitée
- ✓ Commentaires ajoutés
- ✓ Photographies numériques
- ✓ Tracées de châssis métallique (si besoin)

Le but de la norme FIDELA est de permettre une communication entre le laboratoire et le praticien quelques soient leurs logiciels. Le laboratoire va pouvoir renvoyer un fichier au dentiste une fois la prothèse réalisée, contenant les informations de traçabilité.

Ce protocole doit respecter différentes étapes cliniques :

- ✓ Utilisation d'un teintier VITAPAN 3D MASTER
- ✓ Standardisation lumineuse
- ✓ La capture numérique de la teinte : utilisation du matériel de base de la photographie numérique ; recourir à la photographie noir et blanc (et donc à l'échelle de gris) avec teintier
- ✓ Le logiciel PRODENTIS dans lequel on note l'ensemble des informations concernant les travaux de prothèse, le patient, le laboratoire... la teinte : utilisation d'images en format JPEG
- ✓ L'import/export des données : on sélectionne dans le logiciel le laboratoire où on envoie les données (moins de 5 à 6 images envoyées en même temps)
- ✓ Le traitement informatique au laboratoire : aide du logiciel PROTHESIS
- ✓ Retour de la fiche au cabinet : par le logiciel PRODENTIS

3-2-2-4-2-3- Autres logiciels issus de la photographie numérique **(38) (39) (66)**

Différents systèmes de reconnaissance informatique des couleurs ont vu le jour récemment et sont basés sur la photographie. Après capture numérique et transfert de l'image sur l'ordinateur, ce dernier va déterminer de lui-même les zones chromatiques de la dent choisie (cartographie des couleurs)

Il existe différents systèmes parmi lesquels on trouve :

- ✓ ShadeScan
- ✓ Système CIELAB
- ✓ Système X-RITE SHADEVISION SYSTEM
- ✓ Système CCM (Computer Color Matching)

Tous fonctionnent sur le même principe de reconnaissance numérique des couleurs.

3-2-2-4-3- Contrôle de l'essayage **(42) (65) (76)**

Des clichés des couronnes provisoires (si celles-ci sont bien adaptées à la fonction, la phonation et l'esthétique) peuvent être une aide précieuse à la réalisation de la prothèse définitive. Le prothésiste pourra alors se faire une idée du profil d'émergence, de la forme et de la position de la dent. Le succès thérapeutique peut ainsi s'obtenir et des modifications de forme ou d'intégration des tissus mous peuvent être apportées.

Avant le glaçage, la photographie des restaurations céramiques donne des possibilités de rectification et de finition de la texture de surface pour le laboratoire.

3-2-2-4-4- Autres possibilités d'apport de la photographie **(12) (16) (45) (62)**

D'autres possibilités peuvent être exploitées dans notre exercice quotidien. Il a été constaté par exemple tout l'intérêt l'image numérique pour l'choix de la largeur d'une dent artificielle. En prenant une photographie à 0.7 m (jusqu'à 1 m) de distance, le cliché permet de calculer la largeur d'une incisive centrale maxillaire, et ceci en utilisant un simple APN **(16)**.

On peut également parler de la photographie en relief qui permet de communiquer au prothésiste la forme du visage du patient. Pour cela, on prend deux photographies du visage décalé de 6.5 cm (décalage latéral entre deux yeux). Pour effectuer ces prises de vue, on a besoin de :

- ✓ Un appareil photographique
- ✓ Un trépied
- ✓ Un chariot de mise au point
- ✓ Un flash sur un autre support, car il ne doit pas se déplacer entre les deux prises

On utilise ensuite une visionneuse spéciale stéréo, ou deux petites loupes séparées par un carton au milieu, ou deux petites visionneuses classiques reliées par une baguette. On voit ainsi le visage en relief **(12)**.

La photographie peut être un complément d'information dans le cadre des empreintes de prothèse **(62)**, ou encore dans la visualisation des tissus mous ou des lésions intrabuccales **(45)**, ou encore pour l'analyse des tissus mous en orthodontie chez l'enfant de 6 ans **(25)**.

CONCLUSION

Gérer l'esthétique, notamment dans le cadre des restaurations prothétiques antérieures, peut s'avérer périlleux de part l'implication sociale, personnelle et physique de ce genre de traitement. De nombreuses difficultés sont rencontrées :

- ✓ La subjectivité du choix de la teinte et ses conséquences
- ✓ La représentation des formes et de l'état de surface
- ✓ La correspondance de la couronne avec les autres dents
- ✓ L'intégration aux cadres dentaire et facial
- ✓ La demande du patient

La photographie, dans la gestion de l'esthétique en prothèse fixée, peut donc être d'un apport conséquent. D'une part, cela permet de mieux informer le patient. On le fait par des exemples de traitements déjà effectués ou en montrant des clichés du patient pour définir les différentes possibilités de restaurations prothétiques. Le patient peut ainsi mieux se rendre compte de ce qui est possible ou non.

D'autre part, la photographie revêt un intérêt tout particulier dans la communication laboratoire/chirurgien-dentiste, notamment lorsque le prothésiste est éloigné du cabinet, et donc ne peut se déplacer. Elle présente donc un atout majeur dans la communication des couleurs, formes, taille et agencements des dents. Elle permet une objectivation des informations que l'on fournit sur la fiche esthétique et par les simulations.

L'apport de la photographie est d'autant plus intéressant que la technologie numérique a indéniablement facilitée son utilisation. L'informatisation des cabinets dentaires (télétransmission, radiologie) rend l'acquisition d'un APN moins contraignant et moins coûteux. De plus, la simplicité et la rapidité d'utilisation, par rapport à l'argentique, en fait un outil pratique pour notre exercice quotidien. Les échanges d'information (laboratoire, confrères), la constitution des dossiers et les retouches par les logiciels d'images (notamment la prévisualisation thérapeutique) sont autant d'éléments rendant l'utilisation de la photographie numérique intéressante.

Cependant, il faut garder à l'esprit que la photographie reste un adjuvant à notre exercice. Celle-ci ne substitue pas à l'examen clinique, à la fiche esthétique ou encore aux simulations (provisoires, moulages). On doit l'utiliser comme un complément à notre

pratique et à notre expérience. De plus, comme toute technique, la photographie présente des limites lors de ses applications au cabinet dentaire :

- ✓ Nécessité d'avoir une configuration des logiciels informatiques équivalente entre le laboratoire et le praticien (pour que les images vues au cabinet soient les mêmes que celles vues au laboratoire)
- ✓ Mauvais rendu de la couleur
- ✓ Nécessité d'avoir de l'expérience pour faire de bonnes photographies

Il est donc important de connaître les avantages et les inconvénients de la photographie pour s'assurer d'une utilisation optimale et intéressante.

GLOSSAIRE

°K : degré Kelvin

APN : Appareil de Photographie Numérique

CCD : Charge Coupled Device (Dispositif à Transfert de Charges)

CF : CompactFlash (carte mémoire)

CIPA : Camera and Imaging Product Association

CMOS : Complementary Metal Oxyde Semiconductors

DICOM : Digital Imaging and COmmunication in Medicine

EVF: Electronic View Finder

FIDELA: Fichier Interface DEntiste LAboratoire

Firmware: logiciel interne de L'APN

FLC: Ferroelectric Liquid Cristal

ICC: International Color Consortium (organisation internationale visant à promouvoir des solutions de gestion de couleurs)

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

ISO: Organisation internationale de normalisation

LCD : Liquid Cristal Display (=ACL : Afficheur à Cristaux Liquides)

LCOS : Liquid Cristal On Silicium

Lux: unité de mesure de l'éclairement lumineux

Mode CMJN : Cyan-Magenta-Jaune-Noir, synthèse soustractive

Mode RVB : Rouge-Vert-Bleu, synthèse additive

MS : Memory Stick (carte mémoire)

OLED : Organic Light Emitting Diode

Pixel : Picture Element

ppp : points par pouce

SD : Secure Digital (carte mémoire)

SM : SmartMedia (carte mémoire)

TTL : Through The Lens (=à travers l'objectif)

USB : Universal Serial Bus

XP : XD Picture Card (carte mémoire)

TABLES DES ILLUSTRATIONS

<i>Figure n°1 : le contour labial, rapport entre les lèvres et les dents (d'après esthetiquedentaire.com)</i>	18
<i>Figure n°2 : sourires (d'après esthetiquedentaire.com)</i>	19
<i>Figure n°3 : la ligne du sourire et le rapport des dents avec la lèvre inférieure (d'après esthetiquedentaire.com)</i>	20
<i>Figure n°4 : la ligne du sourire et le rapport des dents avec la lèvre supérieure, sourire gingival ou haut (d'après esthetiquedentaire.com)</i>	20
<i>Figure n°5 : axe de symétrie passant par le milieu du philtrum (d'après esthetiquedentaire.com)</i>	24
<i>Figure n°6 : on constate que ce résultat respecte le nombre d'or, soit $1/1.618=0.63$ (d'après esthetiquedentaire.com)</i>	26
<i>Figure n°7 : appareil VITA Easyshade (photographie Dr. Y. Amouriq)</i>	39
<i>Figure n°8 : résultat lors d'une mesure avec easyshade (photographie Dr. Y. Amouriq)</i>	40
<i>Figure n°9 : le modèle optique, l'œil (d'après Y. Gavet sur wikipedia.org)</i>	46
<i>Figure n°10 : constitution de l'œil humain (d'après wikipedia.org)</i>	47
<i>Figure n°11 : organisation axiale de la rétine (d'après wikipedia.org)</i>	49
<i>Figure n°12 : rétinographie (d'après wikipedia.org)</i>	50
<i>Figure n°13 : illustration du spectre électromagnétique (d'après Tatoute sur wikipedia.org)</i>	58
<i>Figure n°14 : synthèse additive (d'après absolutphoto.com)</i>	58
<i>Figure n°15 : synthèse soustractive (d'après absolutphoto.com)</i>	59
<i>Figure n°16 : constitution d'un appareil photographique argentique (d'après wikipedia.org)</i>	61
<i>Figure n°17 : appareil compact APS Konica BMS 100 (d'après wikipedia.org)</i>	63
<i>Figure n°18 : films négatifs couleurs type Velvia (d'après wikipedia.org)</i>	65
<i>Figure n°19 : APN simplifié (d'après absolutphoto.com)</i>	69
<i>Figure n°20 : compact numérique (d'après absolutphoto.com)</i>	70
<i>Figure n°21 : bridge numérique (d'après absolutphoto.com)</i>	71
<i>Figure n°22 : capteur numérique CCD (d'après absolutphoto.com)</i>	72
<i>Figure n°23 : une vue simplifiée d'un capteur CCD (d'après absolutphoto.com)</i> ..	74

<u>Figure n°24 : évolution des capteurs CCD (d'après absolutphoto.com)</u>	75
<u>Figure n°25 : capteur CMOS (d'après absolutphoto.com)</u>	75
<u>Figure n°26 : illustration du mécanisme du capteur CMOS</u> <u>(d'après wikipedia.org).....</u>	76
<u>Figure n°27 : différents degrés de pixellisation (d'après wikipedia.org)</u>	79
<u>Figure n°28 : écran moniteur sur APN (d'après wikipedia.org)</u>	81
<u>Figure n°29 : différents types d'objectifs (d'après absolutphoto.com)</u>	83
<u>Figure n°30 : constitution d'un objectif (d'après absolutphoto.com)</u>	83
<u>Figure n°31 : objectif vu de face (d'après absolutphoto.com).....</u>	84
<u>Figure n°32 : vues de diaphragme aux ouvertures suivantes f/2, f/2.8, f/4, f/5.6, f/8, f/11,</u> <u>f/16 (d'après absolutphoto.com).....</u>	84
<u>Figure n°33 : les types d'ouverture du diaphragme (d'après absolutphoto.com)</u>	85
<u>Figure n°34 : distance focale (d'après absolutphoto.com)</u>	89
<u>Figure n°35 : angle de champ selon l'APN (d'après absolutphoto.com)</u>	89
<u>Figure n°36 : Flash NG36 Nissin (d'après wikipedia.org).....</u>	96
<u>Figure n°37 : CompactFlash (d'après absolutphoto.com).....</u>	98
<u>Figure n°38 : SmartMedia (d'après absolutphoto.com).....</u>	99
<u>Figure n°39 : Memory Stick (d'après absolutphoto.com)</u>	99
<u>Figure n°40 : XD-Picture Card (d'après absolutphoto.com)</u>	100
<u>Figure n°41 : Minolta R-1200 flash annulaire (d'après PTJ International)</u>	120
<u>Figure n°42 : Kit Canon A95 (d'après PTJ International)</u>	121
<u>Figure n°43 : Canon EOS 400D-face (d'après PTJ International).....</u>	123
<u>Figure n°44 : objectifs macro (d'après wikipedia.org)</u>	123
<u>Figure n°45 : APN équipé d'un diffuseur de lumière posé sur l'objectif (d'après PTJ</u> <u>International)</u>	127
<u>Figure n°46 : photographie écarteurs en place (photographie Dr. F. Bodic).....</u>	129
<u>Figure n°47 : différents types de miroir (d'après PTJ International)</u>	129
<u>Figure n°48 : Kit Olympus Camedia C-5000 zoom (d'après PTJ International)</u>	135
<u>Figure n°49 : Kit Olympus Macro (d'après PTJ International)</u>	136
<u>Figure n°50 : photographie de la bouche du patient provisoires en place (on donne ainsi</u> <u>une idée au patient du résultat du traitement</u> <u>(photographie Dr. F. Bodic)</u>	143
<u>Figure n°51 : teintier VITAPAN 3D MASTER et VITAPAN Classical (photographie Dr. Y.</u> <u>Amouriq).....</u>	147

<i>Figure n°52 : indication au prothésiste de la position des dents (ici, on met en évidence les diastèmes) (photographie Dr. F. Bodic).....</i>	154
<i>Figure n°53 : différence de luminosité entre une couronne céramo-métallique et une couronne céramo-céramique (photographie Dr. F. Bodic).....</i>	155

AUTORISATIONS DE REPRODUCTION

Autorisation pour les figures n°1 p18, 2 p19, 3 p20, 4 p20, 5 p24, 6 p26.

Oui.

Dr Farsirotu

lardeuxgregoire@yahoo.fr wrote:

FirstName: Grégoire

LastName: LARDEUX

comments: Bonjour,

Je suis étudiant en chirurgie dentaire et je réalise une thèse sur l'apport de la photographie dans la gestion de l'esthétique en prothèse fixée.

J'aurai voulu savoir s'il était possible d'utiliser quelques illustrations de votre site pour ma thèse

En vous remerciant par avance de votre réponse, je vous prie de recevoir mes sentiments les meilleurs.

Grégoire Lardeux.

email: lardeuxgregoire@yahoo.fr

email1: lardeuxgregoire@yahoo.fr

submit: Envoyer

This e-mail was generated from a form submission on your website:
esthetiquedentaire.com

Montreal Center for Implant and Cosmetic Dentistry Centre d'Implants et d'Esthétique
Dentaire Montréal 1255 University st., suite 130 Montreal, Quebec H3B 3A9
CANADA Phone: (514) 393-3915 Fax: (514) 393-3294 Toll-free 1-888-717-4675
www.dental-implants.ca www.esthetiquedentaire.com

Be a better friend, newshound, and know-it-all with Yahoo! Mobile. [Try it now.](#)

Autorisation pour les figures n°41 p120, 42 p121, 43 p123, 45 p127, 47 p129, 48 p135, 49 p136.

Monsieur,

Nous ne voyons aucun inconvénient à ce que vous utilisiez nos photos sur notre site Internet, en revanche elles ont une résolution très basique et ne donneront pas grand chose à l'impression.

Ce serait mieux de nous dire ce que vous voulez pour vous les donner avec une résolution compatible avec l'impression pour votre thèse.

Sincères salutations

Bernard PETITJEAN

PTJ INTERNATIONAL
B.P. 60023
54181 HEILLECOURT CEDEX
FRANCE
Tel (+33) (0)3 83 55 20 33
Fax (+33) (0)3 83 51 26 61
www.ptj-intl.com

-----E-mail d'origine-----

De : lardeuxgregoire@yahoo.fr

A : PTJINTL@aol.com

Envoyé le : Lu, 21 Janvier 2008 16:28

Sujet : Messagerie

Bonjour, un visiteur de votre site a rempli un formulaire!
Voici les réponses qu'il a entré:

Par : Monsieur

Nom : LARDEUX

Prenom : Grégoire

E-mail : lardeuxgregoire@yahoo.fr

Adresse : 13 rue saint pierre

Code
postal : 44000

Ville : nantes

Pays : france

Telephone : 0663998111

Message : Bonjour, Je suis étudiant en chirurgie dentaire et je fais une thèse sur "l'apport de la photographie dans la gestion de l'esthétique en prothèse fixée". Je voudrais savoir s'il était possible d'utiliser des images de votre site pour illustrer ma thèse En vous remerciant par avance, veuillez recevoir l'expression de mes sentiments les meilleurs

Autorisation pour les figures n°14 p58, 15 p59, 19 p69, 20 p70, 21 p71, 22 p72, 23 p74, 24 p75, 25 p75, 29 p83, 30 p83, 31 p84, 32 p84, 33 p85, 34 p89, 35 p89, 37 p98, 38 p99, 39 p99, 40 p100.

Bonjour Grégoire,

Les cours et tutoriels sont sous licence Créative commons, tu ne peux normalement pas reprendre une partie d'un cours car il doit rester dans son intégralité. Cependant je te donne l'autorisation d'utiliser les médias des cours que tu souhaites.

Bonne journée

--

Steven Mouret
Korigan
Administrateur

<http://www.absolut-photo.com>

LARDEUX Grégoire a écrit :

> LARDEUX Grégoire vous a contacté pour le sujet suivant : Ecrire aux
> rédacteurs
>
> Bonjour,
> Je suis étudiant en chirurgie dentaire et je réalise une thèse sur la
> photographie au cabinet dentaire. Je voudrais savoir s'il est possible
> d'utiliser quelques illustrations pour ma thèse.
> En vous remerciant par avance pour votre réponse, veuillez recevoir
> l'expression de mes sentiments les meilleurs
>
> Captcha : modifier
> <<http://www.absolut-photo.com/admin/index.php?rub=captcha&action=modifquestion&id=21>
> >

Autorisation pour les figures n°9 p46, n°10 p47, 12 p50, 13 p58, 17 p63, 18 p65, 26 p76.

Vous avez la permission de copier, distribuer et/ou modifier ce document selon les termes de la **licence de documentation libre GNU**, version 1.2 ou plus récente publiée par la Free Software Foundation ; sans sections inaltérables, sans texte de première page de couverture et sans **licence de documentation libre GNU** (de l'[anglais GNU Free Documentation License](#)), [abrégée](#) en **GFDL**, est une [licence](#) relevant du [droit d'auteur](#) produite par la [Free Software Foundation](#). Elle a pour but de protéger la diffusion de [contenu libre](#) et peut être utilisée par chacun afin de déterminer le mode de diffusion de son œuvre.

Caractéristiques de la licence de documentation libre GNU

L'objet de cette licence est de rendre tout manuel, livre ou autre document écrit « libre » au sens de la liberté d'utilisation, à savoir : assurer à chacun la liberté effective de le copier ou de le redistribuer, avec ou sans modifications, commercialement ou non.

Cette licence est fondée sur le même principe de [copyleft](#) que la [Licence publique générale GNU](#) (GPL) utilisée par un grand nombre de [logiciels libres](#). En fait elle a été notamment conçue pour couvrir la documentation les accompagnant.

Figures faisant parti du domaine public : 11 p49, 16 p61, 27 p79, 28 p81, 36 p96, 44 p123.

This is a faithful photographic reproduction of an original two-dimensional work of art. The original image comprising the work of art itself is in the [public domain](#) for the following reason:

*This image (or other media file) is in the [public domain](#) because its copyright has **expir***

*This applies to the United States, Canada, the European Union and those countries with a copyright term of **life of the author plus 70 years**.*

Note that a few countries have copyright terms longer than 70 years: Mexico has 100 years, Colombia has 80 years, and Guatemala and Samoa have 75 years. This image may *not* be in the public domain in these countries, which moreover do *not* implement the [rule of the shorter term](#). Côte d'Ivoire has a general copyright term of 99 years and Honduras has 75 years, but they *do* implement that rule of the shorter term.

Faithful reproductions of two-dimensional original works cannot attract copyright in the U.S. according to the rule in [Bridgeman Art Library v. Corel Corp.](#) This photograph was

taken in the U.S. or in another country where a similar rule applies (for a list of allowable countries, see [Commons:When to use the PD-Art tag#Country-specific rules](#)).

This photographic reproduction is therefore also in the public domain.

This article is about public ownership of creative works. For use in relationship to public lands, see [public domain \(land\)](#). For the music album of the same name, see [Tryad](#).

This symbol, a combination of the [copyright symbol](#) and the [no symbol](#), is used throughout [Wikipedia](#) to signify when content is in the public domain.

The **public domain** is a range of abstract materials – commonly referred to as [intellectual property](#) – which are not owned or controlled by anyone. The term indicates that these materials are therefore "public property", and available for anyone to use for any purpose. The [laws](#) of various countries define the scope of the public domain differently, making it necessary to specify which jurisdiction's public domain is being discussed. Furthermore, the public domain can be defined in contrast to several forms of intellectual property; the public domain in contrast to *copyrighted* works is different from the public domain in contrast to *trademarks* or *patented* works.

The public domain is most often discussed in contrast to works restricted by [copyright](#). Under modern law, most original works of art, literature, music, etc. are covered by copyright from the time of their creation for a limited period of time (which varies by country). When the copyright expires, the work enters the public domain. About 15 percent of all books are in the public domain, including 10 percent of all books that are still in print.^[1]

The public domain can also be defined in contrast to [trademarks](#). Names, logos, and other identifying marks used in commerce can be restricted as proprietary trademarks for a single business to use. Trademarks can be maintained indefinitely, but they can also lapse through disuse, negligence, or widespread misuse, and enter the public domain. It is possible, however, for a lapsed trademark to become proprietary again, leaving the public domain.

The public domain also contrasts with [patents](#). New inventions can be registered and granted patents restricting others from using them without permission from the inventor. Like copyrights, patents last for a limited period of time, after which the inventions covered by them enter the public domain and can be used by anyone.

Cette œuvre fait partie du [domaine public](#), soit parce que son auteur a renoncé à ses droits (*copyright*), soit parce que ses droits ont expiré. Elle est donc librement diffusable et/ou modifiable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ABSOLUTPHOTO.**

Cours photo : des cours pour apprendre la photographie numérique.

<http://www.absolut.com>.

Consulté le 04/01/2008.

2. **ADOBE-FRANCE.**

Adobe Photoshop CS3.

<http://www.logiciel-cs3.fr/Adobe>.

Consulté le 04/01/2008.

3. **ARCIDIANCONO A, MARZOLA R et DERBABIAN K.**

L’empreinte du sourire en trois dimensions- un système de communication entre le prothésiste dentaire et le chirurgien-dentiste.

J Calif Dent Assoc 1998;**26**(2):101-106.

4. **AULAGNER F et GUILLARD M.**

La photographie odonto-faciale : de la photographie argentique à la photographie numérique.

Mémoire : validation pour le DUCBI, Clermont-Ferrand, 2007.

5. **BAUDRY A.**

Photographie numérique : cadrage, le viseur.

L’internaute magazine.

<http://www.linternaute.com>.

6. **BENGEL W.**

Digital photography in the dental practice: an overview (II).

Int J Comp Dent 2000;**3**(2):121-132.

7. **BENGEL W.**

Mastering dental photography.

Berlin : Quintessenz, 2002.

8. **BOITEUX JP.**

Information du patient et recueil de son consentement.

Chir Dent Fr 2002;1092:38-41.

9. **BOUILLOT R.**
Cours de photographie numérique : principes, acquisition et stockage.
Paris : Dunod, 2006.
10. **BOUILLOT R et THEVENET A.**
Les reflex 24*36.
Paris : Paul Model, 1978.
11. **BRENGUIER R.**
La photographie argentique : petit précis.
Paris : Autre Temps, 2006.
12. **BRESSON B.**
Photographies en relief ou communication chirurgien-dentiste/laboratoire.
Art Tech Dent 2001;**12**(3):113-115.
13. **BRIENT M, TREVELO F, TIRLET G et ATTAL JP.**
Débuter un traitement esthétique : observer et analyser.
Inf Dent 2006;**88**(36):2207-2212.
14. **BROUSSEAU J.**
Blogue de Josée Brousseau, 28/07/06, sur le site de Josée Brousseau.
<http://www.cyberportaildesign.com>.
15. **CANON FRANCE.**
Glossaire des appareils photos à pellicule.
<http://www.canon.fr>.
16. **CELEBIC A, STIPETIC J, NOLA P et coll.**
Use of digital photographs for artificial tooth selection.
Coll Anthropol 2004;**28**(2):857-863.
17. **CENTRE D'IMPLANTS ET D'ESTHETIQUE DENTAIRES DE MONTREAL.**
Implants et esthétique dentaire.
<http://www.esthetiquedentaire.com>.
18. **CHELALA P.**
Apport du prothésiste dentaire à la correction des préjudices esthétiques dento-parodontaux.
Réal Clin 2001;**12**(3):293-306.

19. **CHEVALIER A.**
Prise de teinte : de l'analyse numérique au contrôle virtuel.
Tech Dent 2003;2004:29-37.
20. **CHICHE GJ et PINAULT A.**
Esthétique et restaurations des dents antérieures.
Paris : Quintessence, 1994.
21. **CHRISTENSEN GJ.**
Important clinical uses for digital photography.
J Am Dent Assoc 2005;136(5): 77-79.
22. **CLARET JP.**
Technique de la photographie numérique.
Inf Dent 1998;80(4):225-230.
23. **CROZET G.**
Importance de la perception visuelle du maître modèle dans la recherche de l'esthétique prothétique.
Synergie Prothétique 2000;2(5):353-357.
24. **DAUMAS F.**
Quand la photo devient numérique.
Inf Dent 2000;82(40):3491-3492.
25. **DELANGE GS et DIANA M.**
35 mm vs digital photography for patient documentation: is it time to change?
Ann Plast Surg 1999;42(1):15-20.
26. **DIMAGGIO FR, CIUSA V, SFORZA C et FERRARIO V.**
Photographic soft-tissue profile analysis in children at 6 years of age.
Am J Orthod Dentofac Orthop 2007;132(4):475-480.
27. **DUNN J et BECKLER G.**
Digital photography technology offers unique capabilities, advantages, and challenges to dental practices.
J Calif Dent Assoc 2001;29(1):744-750.
28. **DUNN JR, HUTSON B et LEVATO CM.**
Photographic Imaging For Esthetic Restorative dentistry.
Compendium 1999;20(8):766-778.

29. FIDLER A, SKALERIC U et LIKAR B.

The effect of image content on detail preservation and file size reduction in lossy compression.

Dentomaxillofac Radiol 2007;**36**(7):387-392.

30. FREDON E.

Le monde des accumulateurs et batteries rechargeables.

<http://www.ni-cd.net>.

Consulté le 01/12/2007.

31. FRICH A.

Arnaud Frich Photographie.

<http://www.arnaudfrichphoto.com>.

Consulté le 01/12/2007.

32. GALLEGOS AG.

Enhancing interprofessionnal through digital photography.

J Calif Dent Assoc 2001;**29**(10):752-757.

33. GARBER DA et SALAMA MA.

The anterior smile : diagnosis and treatment.

Periodontol 2000 1996;**11**:18-28.

34. GEARY JL et KINIRONS MJ.

Colour perception of laboratory-fired samples of body-coloured ceramic.

J Dent 1999;**27**:145-148.

35. GRYNFAS S.

De l'œil humain au capteur numérique.

Tech Dent 2003;**199**:7-17.

36. HIRSCH BE.

Reevaluating digital vs conventionnal photographic cameras for research.

Anat Rec (New Anat) 2001;**265**:129.

37. HUTCHINSON I, IRELAND AJ et STEPHANS CD.

Digital camera and orthodontics: an overview.

Dent Update 1999;**26**(4):144-149.

38. ISHIKAWA-NAGAI S, ISHIBASHI K, TSURUTA O et WEBER HP.

Reproductibility of tooth color gradiation using a computer color-matching technique applied to ceramic restorations.

- J Prosthet Dent 2005;**93**(2):129-137.
39. **JARAD FD, RUSSEL MD et MOSS BW.**
The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry.
Br Dent J 2005;**199**(1):43-49,discussion 33.
40. **KODAC.**
Benefit of OLED.
<http://www.kodac.com>.
41. **LATH DL, WILDGOOSE DG, GUAN YH et coll.**
A digital image analysis system for the assessment of tooth whiteness compared to visual shade matching.
J Clin Dent 2007;**18**(1):17-20.
42. **LE PAN J et FURIC F.**
Gestion de l'esthétique des restaurations parodonto-prothétiques, première partie : concertation cabinet laboratoire dans l'élaboration du projet esthétique.
Synergie Prothétique 2000;**2**(4):285-291.
43. **LOMBARDI RE.**
The principles of visual perception and their surgical application to denture esthetics.
J Prosthet Dent 1973;**29**:328-382.
44. **LOOMIS A.**
Drawing the head and hands.
New York: Viking, 1956.
45. **LUDLOW JB, KUTCHER MJ et SAMUELSON A.**
Intraoral digital imaging documenting recurrent aphthous ulcer healing in 2-octyl cyanoacrylate versus sham-treated lesions.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 2000;**89**(4):425-431.
46. **MAGNE P et BELSER UC.**
Bonded porcelain restoration in the anterior dentition : a biometric approach.
Chicago: Quintessence, 2003.
47. **MAGNE M et ROMEO G.**
Intérêts d'une relation directe entre le prothésiste dentaire et le patient.
Réal Clin 2001;**12**(3):277-290.

48. **MARTIN PALOMO J, WOLF GR et HANS MG.**
Use of digital photography in the case orthodontic clinic.
Am J Orthod and Dentofac Orthop 2004;**126**(3):381-385.
49. **MCKEOWN HF, MURRAY AM et SANDLER PJ.**
How to avoid common errors in clinical photography.
J Orthod 2005;**32**(1):43-54.
50. **MEDICI FILHO E, MARTINS MV, DOS SANTOS DA SILVA MA et coll.**
Divine proportions and facial esthetics after manipulation of frontal photographs.
World J Orthod 2007;**8**(2):103-108.
51. **MOINARD M et GUEUDRY J.**
La place du prothésiste dentaire dans l'élaboration du plan de traitement.
Réal Clin 2001;**12**(3):269-276.
52. **MOK CW, ZHOU L, McGRATH C et coll.**
Digital images as an alternative to orthodontic casts in assessing malocclusion and orthodontic treatment need.
Acta Odontol Scand 2007;**65**(6):362-368.
53. **MONIER T.**
Application du numérique à l'odonto-stomatologie.
Inf Dent 2003;**85**(44):3516-3519.
54. **NOEL C.**
La photographie numérique, comment ça marche ?
<http://www.clubic.com>.
Consulté le 12/11/2007.
55. **NOLLE C.**
Communication de la teinte et de la forme en prothèse : la transmission numérique,
Alternatives 2003;**18**:55-66.
56. **NOSSINTCHOUK R.**
Prévenir le risque conflictuel au cabinet dentaire.
Paris : CdP, 1998.
57. **OLED.**
Une nouvelle technologie pour les écrans photos.
<http://www.micro-planche.com>.
Consulté le 4/12/2007.

58. **ORTET S, HUMEAU A, MONLEAU JD et coll.**
Le relevé de la couleur : techniques avancées, partie 2.
Inf Dent 2005;**87**:1995-2000.
59. **ORTHO TECH NEWS.**
New digital imaging systems for dental and medical use.
Am J Orthod Dentofac Orthop 1997;**111**(6):661.
60. **PARIS JC et FAUCHER AJ.**
Le guide esthétique.
Paris : Quintessence Internationale, 2003.
61. **PETITJEAN B.**
L'apport de la photographie numérique dans la vie du cabinet et le dossier du patient.
<http://www.adf.asso.fr>.
Consulté le 02/12/2007.
62. **POMPIGNOLI M.**
Apports de la photographie numérique en prothèse.
Alternatives 2003;20:51-53.
63. **PTJ INTERNATIONAL.**
Miroirs pour photographies intra-buccales.
<http://photographie-intrabuccale-miroir-dentaire-verre-54.ptj-intl.com/html/001.htm>.
64. **REVEILLAC JM.**
Créez des photographies numériques extraordinaires.
Paris : Dunod, 2003.
65. **RIGNON-BRET C, RENAULT P et MOINARD M.**
Couleurs, formes et caractérisations des restaurateurs en céramique,
Réal Clin 2002;**13**(2):125-153.
66. **ROLLINGS A.**
ShadeScan: couleurs 3D, la solution d'un clic.
Tech Dent 2005;**219**:21-29.
67. **ROSIN LC, COULY G, CHIKHANI L et ANDREANI JF.**
Bilan photographique en orthodontie,
Encycl. Med Chir (Paris), Orthopédie dento-faciale, 2003, 23-460-D-15,

68. **RUFENACHT CR.**
Fundamentals of esthetics.
Berlin: Quintessence, 1990.
69. **SACKSTEIN M.**
A digital video photographic technique for esthetic evaluation of anterior mandibular teeth.
J Prosthet Dent 2007;**97**(4):246-247.
70. **SMAOUI T.**
Tenir compte des dimensions du capteur, l'internaute photo numérique.
<http://www.linternaute.com>.
71. **SNOW SR.**
Esthetic smile analysis of maxillary anterior tooth width: the golden percentage.
J Esthet Dent 1999;**11**:177-184.
72. **SNOW SR.**
Strategies for successful esthetic dental treatment.
J Calif Dent Assoc 2007;**35**(7):475-484.
73. **SPIEGEL JH et SINGER MI.**
Practical approach to digital photography and its applications.
Otolaryngol Head Neck Surg 2000;**123**(1):152-156.
74. **STUMPEL LJ.**
Simplifying the correction of the digital image in shade communication.
J Prosthet Dent 2004;**92**(2):202-203.
75. **TERVIL B.**
La photographie numérique en odontologie, relation praticien, patient et laboratoire, Mémento
Paris : CdP, 2006.
76. **TOUATI B, MIARA P et NANTHANSON D.**
Dentisterie esthétique et restaurations en céramique.
Paris : CdP, 1999.
77. **TRAZZI F.**
Mémoire flash, wikipédia l'encyclopédie libre.
<http://www.wikipedia.org>.

78. **VERMEULEN J et VERMEULEN P.**

La transmission informatique du relevé de couleur: apport du protocole FIDELA.
Réal Clin 2002 **13**(2):155-162.

79. **VIG RG et BRUNDO GC.**

The kinetics of anterior tooth display.
J Prosthet 1978;**39**(5):502-504.

80. **VITA-ZAHNFABRIK.**

Prise de teinte VITA.
<http://www.vita-zahnfabrik.de>.
Consulté le 15/02/2008.

81. **WARD DH.**

The vision of digital dental photography.
Dent Today 2007;**26**(5):100,102,104-105.

82. **WIKIPEDIA.**

<http://fr.wikipedia.org>.

83. **XMLITTRE.**

XMLittré v1.3.
<http://www.francois.gannaz.free.fr/littré>.
Consulté le 17/08/07.

84. **YAMAMOTO M, MIYOSHI Y et KATAOKA S.**

Bases fondamentales de l'esthétique, deuxième partie : anatomie tridimensionnelle
des dents antérieures.
Art Tech Dent 1991;**2**(5):327-342.

85. **ZYMAN P.**

Prendre la teinte et transmettre : cliquer, la souris tire la couleur.
Inf Dent 2001;**83**(11):734-737.

RÉSUMÉ

La photographie peut être d'un apport conséquent pour l'exercice de la dentisterie, notamment dans la gestion de l'esthétique en prothèse. Elle permet une meilleure communication avec le laboratoire et les confrères, une aide au diagnostic et à la thérapeutique esthétique, une information du patient et un apprentissage optimisé pour les étudiants.

La mise en œuvre de la photographie nécessite de la part du praticien la connaissance des différentes données esthétiques à enregistrer, des prises de vue à effectuer, du matériel nécessaire, et la maîtrise technique de l'appareil photographique et du matériel informatique l'accompagnant. Ceci est indispensable pour une bonne exploitation des images