

eLABor_aid : une nouvelle approche numérique de la teinte



prise de teinte
analyse numérique
formulation de teinte
essayage virtuel

Le patient d'aujourd'hui étant particulièrement attentif à l'esthétique de ses restaurations, les praticiens et les prothésistes doivent élaborer des méthodologies qui, sans être compliquées, permettent de gagner en précision et en évaluation et analyse de la teinte de la dent. Les technologies numériques ont progressé de manière significative ces vingt dernières années. Les nouvelles avancées dans le domaine de la photographie ont eu un fort impact sur la dentisterie clinique, grâce notamment aux outils de visualisation et d'organisation rapides de l'imagerie. Les protocoles de standardisation de l'acquisition des images restent toutefois compliqués. La photographie numérique, avec lumière réfléchie, « croisée polarisée », appareil reflex, charte de gris pour la balance des blancs et logiciel de retouche photos utilisant l'espace colorimétrique CIE L*a*b*, permet une acquisition standardisée et une analyse objective des images. Cette approche rationnelle sert à déterminer de manière optimale, par quantification numérique, les moyens à mettre en œuvre pour obtenir une restauration satisfaisante *in situ* en termes d'intégration esthétique. De plus, elle permet au clinicien et au prothésiste de collaborer de manière prédictible même s'ils n'exercent pas au même endroit.

Sascha Hein¹
Dr Javier Tapia²
Dr Panagiotis Bazos³

¹ Prothésiste. Laboratoire dentaire privé (Allemagne).

² Exercice privé à Madrid (Espagne).

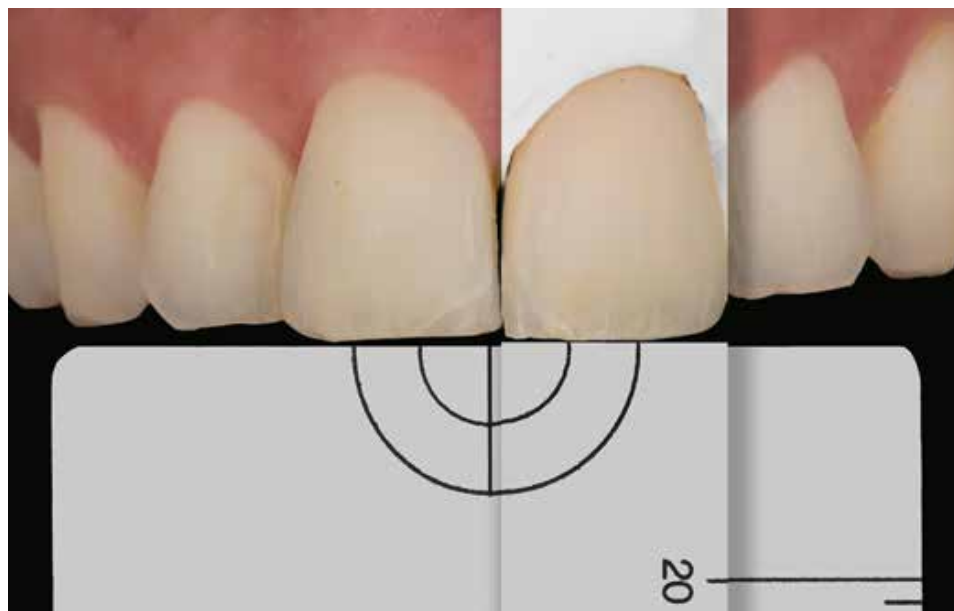
³ Exercice privé à Aigion (Grèce).



SASCHA HEIN

Private Dental Laboratory
Herrenstrasse 1, 79098 Freiburg
im Breisgau (Allemagne)

✉ s.hein@bio-emulator.com



INTRODUCTION

La prise de teinte au cabinet dentaire représente depuis de nombreuses années une étape clé, mais difficile du traitement

prothétique¹⁻³. Les deux méthodes d'analyse de la teinte de la dent sont l'observation visuelle et le recours à un appareil de mesure⁴. La concordance de la teinte est le plus souvent obtenue à l'œil nu, à l'aide d'un

teintier. Le teintier le plus utilisé dans le monde par les cabinets dentaires et les laboratoires de prothèse est le Vita classical⁵. Malgré la diversité des teintiers, trouver un échantillon de teinte correspondant exactement à celle de la dent dans son environnement naturel relève du défi⁶ en raison de différents facteurs comme le degré d'acuité visuelle de l'opérateur^{7,8}, une éventuelle incompatibilité du teintier avec le matériau de restauration choisi, des différences de teinte entre teintiers de même marque, mais provenant de lots de fabrication différents⁹, un teintier présentant une mauvaise répartition des teintes^{10,11}, ou encore une absence de normes sur la concordance des teintes entre les fabricants de systèmes céramiques^{12,13}. Les principaux appareils de prise de teinte au fauteuil sont le spectrophotomètre, le colorimètre et l'appareil photographique numérique équipé d'un logiciel approprié^{14,15}. Depuis déjà un certain nombre d'années, la dentisterie utilise des spectrophotomètres et colorimètres informatisés, qui se distinguent par la régularité de leurs résultats, mais ne sont pas d'une grande précision¹⁶.

Les techniques d'imagerie numérique utilisées pour obtenir une bonne concordance de teinte continuent de progresser et suscitent actuellement un vif intérêt. Les appareils photo numériques d'aujourd'hui étant faciles d'utilisation et d'un prix abordable, la plupart des cabinets

dentaires et des laboratoires de prothèse peuvent en faire l'acquisition. Les informations obtenues sur la couleur à partir de ce type d'appareil sont très utiles pour la planification de la restauration. L'appareil photo numérique permet d'obtenir une concordance de teinte optimale¹⁷. Cet article explore les possibilités offertes par une nouvelle approche de la teinte (eLABor_aid) utilisant une technique de photolorimétrie numérique (PCN) avec une formulation subséquente de la teinte sans recourir à un teintier.

MATÉRIEL REQUIS

Configuration PCN

Composée d'un reflex numérique, d'un objectif et d'un flash pour la photo macro, et d'un filtre pour la polarisation croisée (Fig. 1), cette configuration a été choisie en tenant compte des résultats d'une étude statistique réalisée auprès de 336 participants (des cliniciens et des prothésistes) à des cours de photographie, trente au total, dispensés au cours d'une période de trois ans, par les auteurs de l'article. Les marques de reflex numériques les plus utilisées durant ces cours sont représentées à la figure 2, avec la mention de l'objectif macro, de la longueur focale et du type de flash.

Suppression du phénomène d'éblouissement

Il y a un certain nombre d'années, des ophtalmologistes^{18,19} et des dermatologues²⁰⁻²⁵ ont choisi la photographie en polarisation croisée, car celle-ci atténue la plupart des reflets spéculaires. Elle a également été adoptée en dentisterie, du temps de la photographie argentique, mais elle est restée une technique méconnue, peu utilisée²⁶⁻²⁹.

Avec la photographie numérique, la polarisation croisée suscite depuis peu un certain intérêt³⁰⁻³⁷, car elle permet, grâce à des filtres de polarisation bien spécifiques (polar_eyes, Emulation), de gagner en précision et en objectivité d'évaluation de la teinte dentaire, et facilite la communication avec le prothésiste. Avec cette technique, les caractéristiques de surfaces et de sous-surfaces amélaire sont mieux visualisées, via un système contrastant non destructif, en raison de l'absence de toute obstruction. Les facteurs perturbant la perception des surfaces concernées étant éliminés, une cartographie chromatique

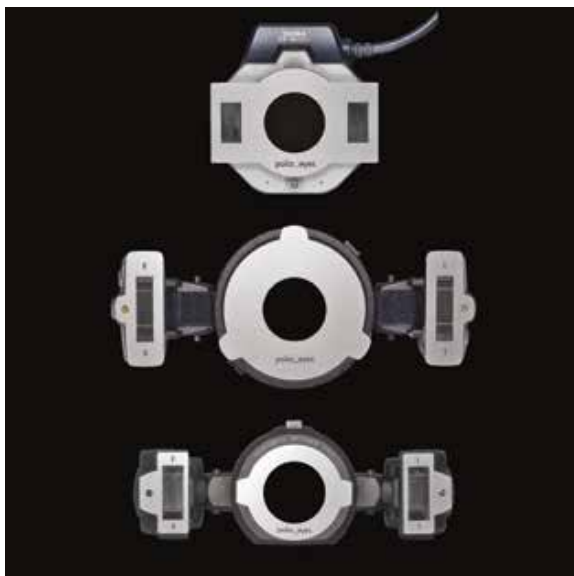


Fig. 1 La configuration PCN, composée d'un reflex numérique, d'un objectif et d'un flash macro, et d'un filtre pour la polarisation croisée.

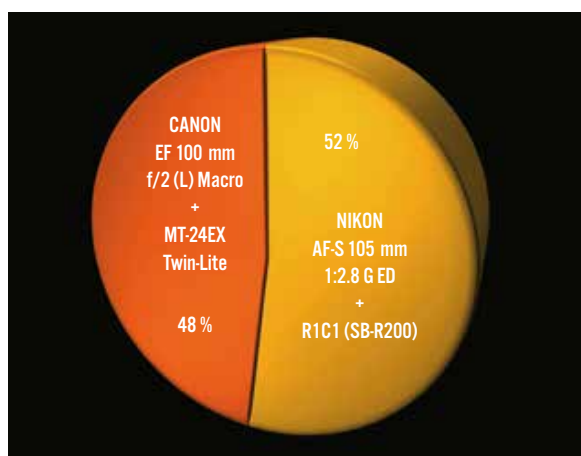


Fig. 2 Camembert représentant les reflex numériques les plus utilisés et indiquant pour chacun d'eux la longueur focale et le type de flash utilisé (résultats d'une étude sur trois ans menée auprès de 336 participants à nos cours, cliniciens et prothésistes). Le système eLABor_aid a été conçu en tenant compte de cette étude.

très contrastée et hypersaturée est rapidement obtenue, elle permet une analyse colorimétrique objective de la teinte. La possibilité de voir dans les trois dimensions l'histoanatomie amérodentinaire³⁸ permet, par ailleurs, de mieux planifier la stratification des matériaux modernes de restauration esthétique. Cette nouvelle approche est plus intuitive, plus instinctive, plus viscérale...

Acquisition des images

Pour obtenir les images numériques requises pour la quantification de la teinte de la dent, un protocole standardisé et une utilisation de l'appareil photo numérique en mode manuel sont indispensables. La distance des prises de vue est dictée par le couple « focale de l'objectif » et « taille de capteur » (**tableau 1**). Afin de limiter

l'impact de la lumière ambiante et garantir une bonne synchronisation du flash, il est recommandé de régler la vitesse d'obturation sur 1/125 et l'ouverture sur f22 pour obtenir la profondeur de champ requise (**Fig. 3**). De plus, ces réglages évitent les problèmes inhérents à la diffraction (fréquents avec les capteurs de type APS-C). Réduire davantage l'ouverture nuirait à la netteté de l'image³⁹ et n'apporterait rien de plus au moment d'évaluer la teinte. La sensibilité du capteur doit être réglée de préférence sur 100 ISO et le format de l'image sur RAW. Il faut régler la puissance du flash (flash annulaire ou flashes latéraux) sur la valeur maximale (1/1), en mode manuel. La mesure TTL est déconseillée, car elle se traduirait par des écarts au niveau du calcul algorithmique de l'exposition.

Tableau 1 Distances à sélectionner en fonction du couple « objectif de l'appareil » et « taille du capteur ».

Capteur (reflex numérique)	Longueur focale de l'objectif	Rapport de reproduction	Distance entre l'objet et le plan focal
Grand format (FX)	60 mm	1:1.6	24 cm
Grand format (FX)	105 mm	1:1.6	37 cm
APS-C (format DX)	60 mm	1: 2.5	28 cm
APS-C (format DX)	105 mm	1: 2.5	45 cm

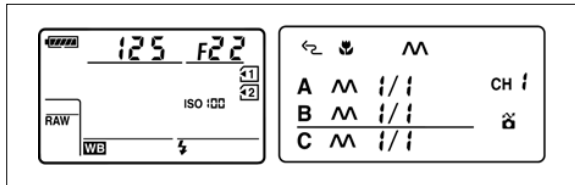


Fig. 3 Pour atténuer l'impact de la lumière ambiante et garantir une bonne synchronisation du flash, il faut régler la vitesse d'obturation sur 1/125 et l'ouverture sur f22 afin d'obtenir la profondeur de champ requise.



Fig. 4 Avant d'importer le fichier clinique (format : RAW) dans Adobe Lightroom, on sélectionne le bon profil de reflex numérique dans le menu déroulant « calibrage » du module « développement ».

FLUX NUMÉRIQUE

Synchronisation de l'appareil photo

La réception des données chromatiques de l'objet par un appareil photo numérique est fonction du système utilisé. Les données sur les couleurs réelles, généralement représentées dans l'espace RVB (rouge, vert et bleu), diffèrent d'un système à l'autre. Une gestion optimale des couleurs nécessite un calibrage et un ajustement colorimétrique corrects de l'appareil photo numérique⁴⁰. Des études utilisant un monochromateur et un mesureur de radiance ont été menées afin de déterminer, en recourant à un modèle polynomial et à des multiplications matricielles, le rapport entre la sensibilité spectrale de l'appareil et les fonctions de mélange CIE L*a*b* indépendantes du système^{41,42}. Une approche fondée sur les couleurs cibles (ColorChecker Passport, X-Rite) facilite l'obtention du profil de couleur requis au niveau de l'appareil⁴³ car cinquante-huit profils de couleurs ont été créés pour la photographie dentaire numérique de type PCN. Avant d'importer le fichier clinique (RAW) dans Adobe Lightroom, il importe de sélectionner le bon profil dans le menu déroulant du module « développement » (Fig. 4).

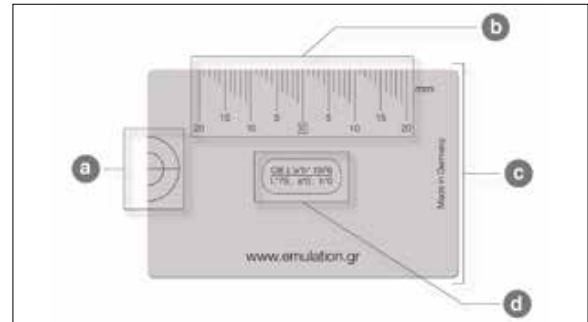


Fig. 5 La balance des blancs s'effectue à l'aide d'un objet achromatique, qui est généralement une carte de couleur grise présentant les caractéristiques suivantes : a) réticule à traits fins pour l'alignement dans le plan vertical et le réglage de la distance. Le cercle le plus petit concorde avec le repère du viseur de la plupart des reflex avec capteur de type APS-C, et le cercle le plus grand avec le repère du viseur des reflex avec capteur grand format ; b) la règle graduée en millimètres sert à évaluer les proportions ; c) la largeur de la carte correspond à la distance intercanine moyenne d'adultes caucasiens et sert dans le cas bien spécifique où le viseur du reflex utilisé est sans repère ; d) coordonnées colorimétriques (système CIE L*a*b*, faibles tolérances de fabrication ($\pm 0,5$)).

Balance des blancs

Les données provenant du capteur d'image d'un reflex numérique moderne sont linéaires. La balance des blancs et la correction des couleurs sont souvent, mais pas toujours, de type linéaire également. Ainsi, le vecteur RVB d'un pixel constitue après la balance des blancs et la correction chromatique, une combinaison linéaire, *via* une multiplication matricielle, du vecteur RVB brut de ce même pixel. La balance des blancs s'effectue avec un objet achromatique, en général une carte représentant le gris de référence⁴⁴ (ici la carte Emulation), laquelle est prise comme dénominateur commun (Fig. 5) en sélectionnant l'outil de sélection « white balance » (pipette) et en cliquant ensuite sur n'importe lequel des quatre segments gris de l'image⁴⁵ (Fig. 6).

Correction de la luminosité (balance de l'exposition)

Les légers écarts de luminosité d'une image sont dus à des fluctuations du flux lumineux du flash au cours de la décharge de sa batterie. La correction de luminosité (balance de l'exposition) s'effectue en modifiant l'exposition de l'image jusqu'à ce que la luminosité mesurée de la carte



Fig. 6 Prendre l'outil de sélection de la balance des blancs (pipette) puis faire un clic sur n'importe lequel des quatre segments gris de l'image pour corriger la balance des blancs.



Fig. 7 La fonction « balance de l'exposition » s'active en cliquant sur les trois zéros à droite du curseur « exposition », lequel se change en loupe quand on le déplace sur n'importe lequel des quatre segments gris.



Fig. 8 Les valeurs $L^*a^*b^*$ s'affichent dès que la loupe garde sa position. Les flèches « haut » et « bas » du clavier servent à ajuster l'exposition de l'image. Ce réglage est effectué jusqu'à l'obtention de la valeur connue ($L^* 79$) de la luminosité de la carte grise de référence (ici : - 0,12).

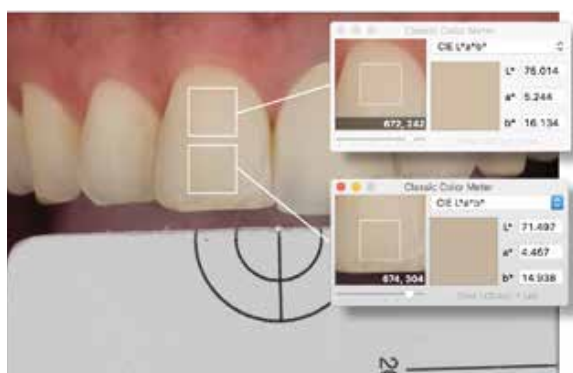


Fig. 9 Obtention des coordonnées colorimétriques de la dent dans l'espace CIE $L^*a^*b^*$ à l'aide du logiciel Classic Color Meter. Il est facile de régler la taille de la fenêtre de cadrage utilisée pour la quantification colorimétrique de la zone concernée, qui est généralement le tiers cervical ou médian de la dent.

du gris de référence corresponde à la luminosité connue (L^*79) (Fig. 7 et 8)^{46,47}.

Mesure de la teinte dentaire cible

Les coordonnées de cette teinte dans l'espace chromatique CIE $L^*a^*b^*$ sont obtenues à l'aide du logiciel Classic Color Meter (<https://www.ricciadams.com/projects/classic-color-meter>). La taille de la fenêtre de cadrage utilisée pour la quantification de la couleur moyenne de la dent cible dans la zone souhaitée, généralement le tiers cervical, est facile à régler (Fig. 9).

Élaboration d'un modèle statistique

Généralement appelées « données colorimétriques » par opposition aux « données spectrales » obtenues avec un spectrophotomètre, les coordonnées chromatiques dans l'espace CIE $L^*a^*b^*$ sont plus des valeurs relatives que des valeurs absolues. Cela signifie que les valeurs

CIE $L^*a^*b^*$ réelles de l'objet sont influencées par l'appareil de mesure et la configuration de l'éclairage. On ne peut donc pas se fonder sur les coordonnées chromatiques de dents publiées dans la littérature. Un modèle statistique a été élaboré à partir des données colorimétriques CIE $L^*a^*b^*$ de 147 incisives centrales maxillaires intactes (non restaurées) d'une population caucasienne. Ces données ont été saisies *in vivo*, selon la même configuration (PCN), et ont servi à élaborer un modèle statistique. Le test de Kolmogorov-Smirnov a révélé une distribution normale pour a^* ($P = 0,169$), mais pas pour L^* ($P = 0,001$). Une analyse qualitative a servi à élaborer un système basique pour les mélanges (Fig. 10).

Formulation de la teinte

Afin de faciliter la transcription de la teinte dentaire cible en un mélange de dentines céramiques individualisé, le modèle statistique créé

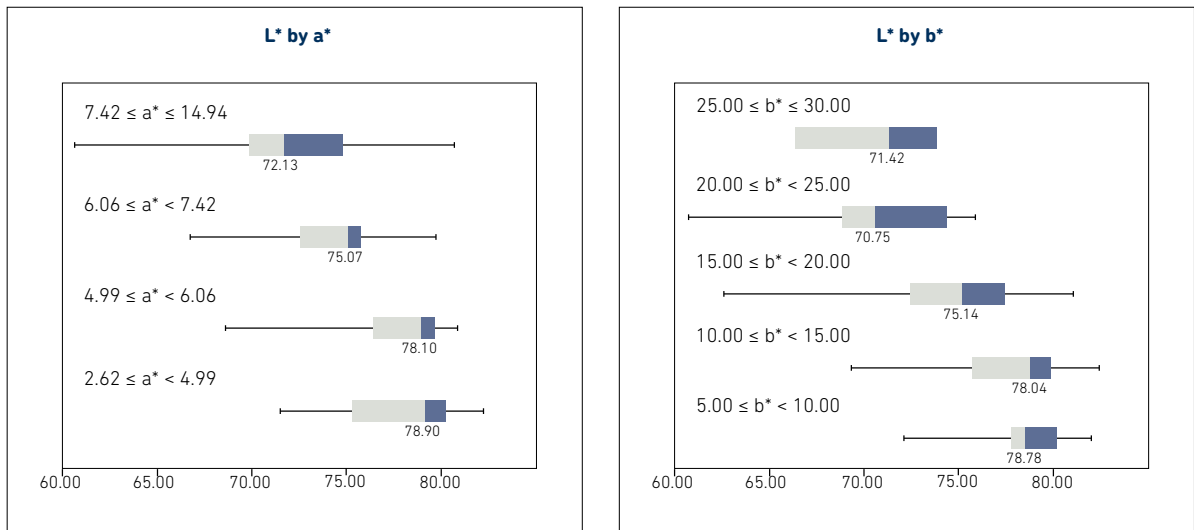


Fig. 10 Coordonnées colorimétriques CIE L*a*b* de 147 incisives centrales maxillaires intactes (non restaurées) d'une population caucasienne, saisies *in vivo* selon la même configuration (PCN) et ayant servi à créer un modèle statistique basique. Une analyse qualitative a servi à l'élaboration d'un système pour les mélanges.



Fig. 11 Les tableaux d'interpolation sont élaborés en se fondant sur les coordonnées CIE L*a*b* des systèmes céramiques les plus courants, ainsi que sur des épaisseurs de recouvrement standard. Ces tableaux permettent de déterminer la couleur dentine du système céramique la plus appropriée et indiquent les proportions des mélanges à effectuer pour augmenter, si nécessaire, a* ou b*, ou réduire la luminosité.



Fig. 12 L'étape suivante consiste à ajuster la saturation et la luminosité à l'aide de maquillants appropriés. Deux d'entre eux – E 22 (jaune basique) et E 21 (rouge basique) – servent à augmenter la saturation, le troisième (E 10, brun) à diminuer la luminosité sans que cela modifie la saturation.

a été utilisé pour créer des tableaux d'interpolation fondés sur les données colorimétriques CIE L*a*b* des systèmes céramiques les plus courants, ainsi que sur des valeurs standard concernant l'épaisseur de recouvrement céramique (1,35 mm) et la couleur du fond (Fig. 11). Ce type de tableau permet d'identifier la couleur de la dentine du système céramique utilisé la plus proche. Il propose aussi des mélanges pour augmenter a* ou b*, ou abaisser la luminosité, si nécessaire, qui s'effectuent à l'aide de doseurs

de céramique et de maquillant. Pour cette étape, on a le choix entre trois maquillants IPS Ivocolor Essence (Ivoclar Vivadent) : E21 (rouge basique), E22 (jaune basique) et E10 (acajou). Les deux premiers (E21 et E 22) servent à augmenter la saturation, et le troisième (E10) à réduire la luminosité⁴⁸ (Fig. 12). Des maquillants d'autres fabricants peuvent être utilisés à la place, à condition, toutefois, qu'ils répondent aux critères de scalabilité de la loi sur les mélanges linéaires de couleurs (loi de Beer-Lambert)⁴⁹.

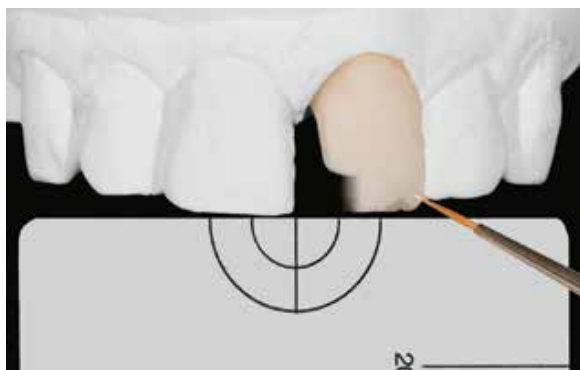


Fig. 13 Afin de vérifier la précision du mélange dentine, en tenant compte des différences d'épaisseur de recouvrement et de la couleur du fond, un liquide non toxique très réfléchissant est appliqué sur la céramique crue pour permettre une prévisualisation de la couleur. Cette étape est suivie d'une prise de mesures sur l'infrastructure physique (maître modèle).



Fig. 14 Les caractéristiques incisales et autres détails peuvent être vérifiés par comparaison visuelle et numérique au moyen d'un essai virtuel. Pour cela, l'image numérique de la restauration sur le maître modèle est placée sur l'image clinique issue de la chirurgie dentaire (logiciel : Adobe Photoshop ou Keynote (Apple)).

Prévisualisation

Les proportions des mélanges à faire sont fondées sur une épaisseur de céramique et une couleur de fond standard. Or, dans la réalité clinique, l'espace disponible pour le recouvrement peut présenter des écarts par rapport à cette valeur standard. Il en va de même pour la couleur du fond. Un faible écart d'épaisseur de recouvrement ($\pm 0,25$ mm) n'aura pas d'impact significatif sur la teinte. En revanche, un écart plus important pourra affecter la luminosité et la saturation. Ainsi, un même mélange de dentine pourra présenter une plus grande luminosité et une plus faible saturation si l'espace disponible pour le recouvrement est limité. Mais, si cet espace est supérieur à 1,5 mm, on obtiendra l'effet inverse. Pour s'assurer de la justesse du mélange, en tenant compte de ces facteurs, et ajuster la luminosité et la saturation si nécessaire, il y a la solution consistant à appliquer sur la céramique crue du visual_eyes (Emulation), liquide de prévisualisation non toxique⁵⁰⁻⁵³, et à ensuite mesurer la couleur sur l'infrastructure réelle placée sur le maître modèle (Fig. 13).

Essai virtuel

Le protocole eLABor_aid a surtout vocation à déterminer la teinte sans devoir recourir à un teintier. La fidélité de reproduction de caractéristiques incisales subtiles, par exemple, peut être vérifiée par comparaison visuelle et numérique au moyen d'un essai virtuel. Il suffit de superposer dans Adobe Photoshop ou Apple

Keynote l'image de la restauration sur le modèle avec l'image clinique obtenue lors de l'acte dentaire (Fig. 14). La concordance avec l'essai clinique est ici satisfaisante (Fig. 15 à 18).

Applications cliniques

Les auteurs de l'article et d'autres membres de la communauté des restaurateurs dentaires ont obtenu des résultats encourageants depuis l'implémentation du système eLABor_aid, il y a deux ans. Les indications étaient initialement limitées aux restaurations fixes, métallo-céramiques ou en zircon, mais cette nouvelle approche pourrait aussi être utilisée pour des restaurations plus translucides comme des facettes en disilicate de lithium voire en céramique feldspathique. Les figures 19 à 30 représentent une série de cas cliniques traités en utilisant l'eLABor_aid, qui a permis une interaction entre le patient et le prothésiste lors de l'évaluation de la teinte malgré un éloignement géographique.

DISCUSSION

Il convient d'améliorer les procédés existants et d'en concevoir de nouveaux afin d'obtenir, à moindres frais, une qualité de résultats encore meilleure. La piste que nous avons choisie a consisté à fabriquer de nouveaux accessoires pertinents pour le reflex numérique qui, en tant que principale composante du dispositif, équipe déjà la plupart des cabinets dentaires et des



Fig. 15 et 16 Image polarisée et réfléchie de la restauration céramométallique définitive *in situ*. Notez la bonne concordance entre l'essayage virtuel et le résultat clinique.



Fig. 17 La fluorescence est une propriété essentielle de la dent naturelle, devant être fidèlement reproduite afin de prévenir le risque de métamérisme dans des environnements riches en ultraviolets. Les céramiques dentaires d'aujourd'hui ont une fluorescence adéquate, avec des pics d'excitation et d'émission comparables à ceux de la dent naturelle. Les teintes claires sont généralement plus fluorescentes. L'inverse est observé pour les teintes foncées.

Fig. 18 Le résultat final tel que perçu dans un environnement quotidien normal. Comme pour tous les autres cas montrés dans cet article, une bonne concordance chromatique a pu être obtenue malgré l'absence d'une entrevue entre le céramiste et le patient, pour cause d'éloignement géographique.



Fig. 19 à 22 Deuxième cas clinique : les restaurations céramométalliques terminées, montrées *in situ* sous différents types d'éclairages.



Fig. 23 à 26 Troisième cas clinique : les restaurations céramométalliques terminées, montrées *in situ*. La présence de dyschromies au niveau du substrat est toujours synonyme de défi esthétique. En pareil cas, bien maîtriser la teinte contribue à obtenir un résultat qui soit le meilleur compromis possible.



Fig. 27 à 30 Ce quatrième cas clinique montre que le système eLABor_aid convient aussi pour des restaurations tout-céramique.

Tableau 2 Études réalisées par d'autres auteurs. Il en ressort que la photographie numérique peut constituer une bonne option pour la quantification de la couleur de la dent.

Auteurs	Année de publication	Type d'étude	Méthodologie	Résultats
Dhruv et coll. ⁶³	2016	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus spectrophotomètre	On peut en conclure qu'un reflex numérique utilisé avec Adobe Photoshop CS5.1 peut être utilisé à la place d'un spectrophotomètre.
Bhandari et coll. ⁶¹	2014	<i>in vivo</i>	Imagerie numérique versus spectrophotomètre	Aucune différence statistiquement significative entre les appareils photo numériques et les spectrophotomètres testés, ce qui indique que ces deux options sont équivalentes quant à leur fiabilité.
Carney et Jonston ⁶²	2016	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus spectroradiomètre	Cette régression indique que les données chromatiques fournies par les images numériques sont cliniquement pertinentes pour obtenir la concordance de teinte requise pour des restaurations dentaires
Elter et coll. ⁵⁵	2005	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus spectroradiomètre versus évaluation visuelle	Les capacités de résolution d'un appareil photo numérique peuvent permettre une meilleure sélection de la couleur.
Jarrad et coll. ⁵⁴	2005	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus évaluation visuelle	L'appareil photo numérique peut être utilisé pour des mesures colorimétriques au cabinet dentaire.
Lakhanpal et Neelima ⁶⁴	2016	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus spectrophotomètre	Les différences, concernant les valeurs moyennes L*a*b*, entre spectrophotomètre et imagerie dentaire avec polarisation (IDP), ne sont pas significatives.
Oh et coll. ⁵⁸	2010	<i>in vivo</i>	Imagerie numérique versus évaluation visuelle	La PCN convient pour l'évaluation chromatique de dents humaines correspondant au teintier Vitapan Classical.
Peskersoy et coll. ⁶⁰	2014	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus spectroradiomètre	Les analyses avec le logiciel et celles avec le spectrophotomètre offrent des avantages pour une évaluation numérique et objective, et donc aussi en termes de qualité de résultats thérapeutiques.
Schropp ⁵⁷	2009	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus évaluation visuelle	La photographie numérique avec logiciel approprié s'avère plus performante que les techniques visuelles conventionnelles pour obtenir la concordance de teinte requise.
Wee et coll. ⁵⁶	2006	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus spectroradiomètre	Utilisé avec un protocole de calibrage approprié, un appareil photo numérique du commerce peut convenir pour le processus de reproduction de teintes en dentisterie clinique.
Yamanel et coll. ⁵⁹	2010	<i>in vitro</i>	Imagerie numérique versus colorimètre	L'imagerie numérique peut être utilisée pour l'évaluation des paramètres chromatiques

laboratoires de prothèse, contribuant ainsi à une évaluation quantitative correcte de la teinte de la dent⁵⁴⁻⁶⁴ (tableau 2).

Le protocole eLABor_aid (Fig. 31) permet une communication objective de la teinte et une bonne concordance chromatique sans devoir recourir à un teintier ni prévoir d'entrevue entre le patient et le prothésiste. Il est à noter également que la standardisation des procédures photographiques utilisées pour la sélection de la teinte contribue à maximiser la compatibilité, l'interopérabilité et la

reproductibilité. L'approche rationnelle décrite ici a pour but de déterminer les moyens les plus économiques, les plus efficaces et les plus fiables qui permettent de produire invariablement des résultats esthétiques avec une intégration visuelle optimale, par quantification numérique, avec comme écart entre valeur seuil et valeur cible : $\Delta E < 1$. Avec ce type d'approche, le céramiste dispose d'outils d'analyse performants comme le système colorimétrique CIE L*a*b*, qui va au-delà des limites inhérentes au système Vita Classical

et permet d'élaborer des mélanges de dentine individualisés pour une quantification objective, et d'effectuer des essayages virtuels afin de vérifier l'intégration esthétique de la restauration planifiée. Ce type d'approche permet aussi au céramiste de vérifier la concordance des teintes à chaque stade de la stratification, d'où une meilleure prédictibilité du résultat, mais aussi un meilleur contrôle global.

Le protocole eLABor_aid est performant, mais la propagation de la lumière au sein de la dent naturelle reste un processus dynamique et complexe⁶⁵, ce qui engendre un décalage notable par rapport aux matériaux de restauration actuels encore relativement basiques et statiques quant à leur interaction avec la lumière. La concordance chromatique entre restauration indirecte et dent naturelle ne pouvant être que conditionnelle⁶⁶, l'écart ΔE^* entre la couleur souhaitée et la couleur réelle est applicable uniquement dans le cas d'un éclairage directionnel D65 (lumière du jour). Des effets de métamérisme peuvent être observés, surtout lorsque l'éclairage change¹². Un changement d'angle d'observation se traduit par de légères différences au niveau de la luminosité perçue.

Un autre facteur limitant vient du fait que la majorité des systèmes céramiques actuels sont fondés sur le teintier Vita Classical. L'équipe restauratrice peut aussi buter sur un obstacle majeur qui tient aux résultats de l'analyse statistique mentionnée, à savoir que 34,93 % des dents naturelles présentent la distribution colorimétrique CIE $L^*a^*b^*$ suivante : $L^* = 79,19$ (min L^* : 77,00 ; max $L^* = 81,62$), $a^* = 5,03$ (min a^* : 2,62 ; max $a^* : 8,35$) et $b^* 12,24$ (min $b^* 6,14$; max $b^* 18,79$). Or cette distribution dépasse la luminosité et la saturation de la teinte Vita Classical B1 ($L^* = 74,7$, $a^* = 1,3$, $b^* = 10,4$). Il est recommandé pour ce type de cas de formuler la teinte dentaire cible en partant de la dentine *bleach* la plus claire de l'assortiment céramique utilisé pour obtenir une concordance de teinte optimale.

Des travaux de recherche plus approfondis restent à mener sur l'efficacité et la fiabilité du système eLABor_aid, en réalisant un essai clinique contrôlé.

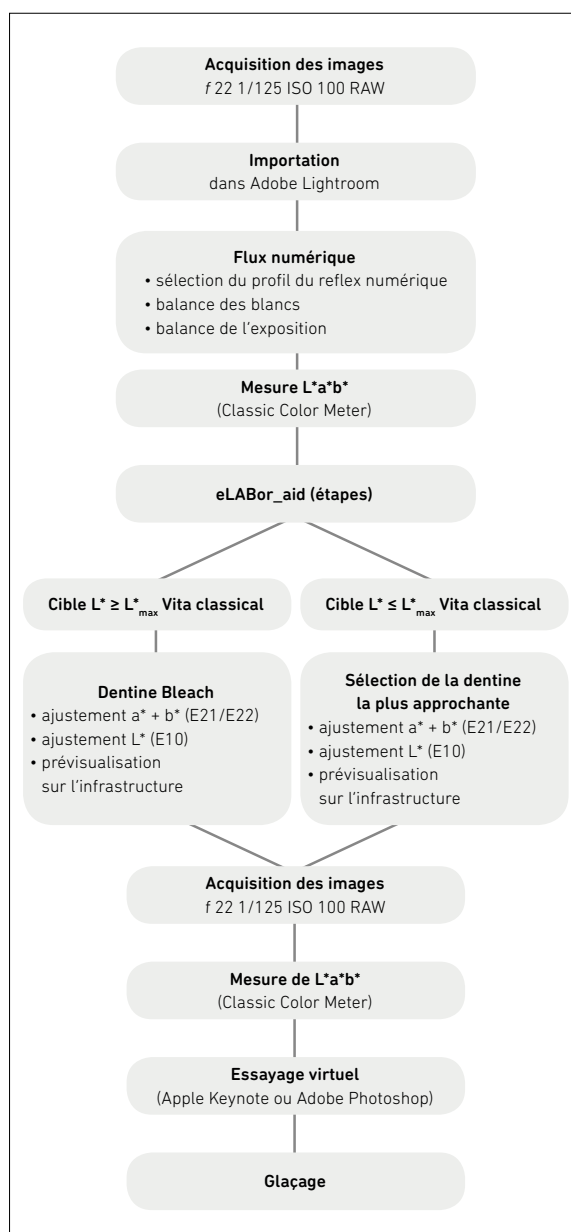


Fig. 31 Organigramme représentant les différentes étapes du protocole utilisant le eLABor_aid.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le professeur Marleen Peumans (université de Louvain) et le docteur Marco Gresnigt (université de Groningue) pour les cas cliniques présentés dans cet article.

i eLABor_aid: a new approach to digital shade management. Int J Esthet Dent 2017;12:186-202.

Traduit par Jérôme Ferry.


RÉFÉRENCES

1. Sproull RC. Color matching in dentistry. 3. Color control. *J Prosthet Dent* 1974;31:146–154.
2. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int* 1985;16:47–58.
3. Stevenson B. Current methods of shade matching in dentistry: a review of the supporting literature. *Dent Update* 2009;36:270–272, 274–276.
4. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 2010;38(suppl 2):e2–e16.
5. Igiel C, Weyhrauch M, Wentaschek S, Scheller H, Lehmann KM. Dental color matching: A comparison between visual and instrumental methods. *Dent Mater J* 2016;35:63–69.
6. Tam WK, Lee HJ. Dental shade matching using a digital camera. *J Dent* 2012;40(suppl 2):e3–e10.
7. Westland S, Luo W, Ellwood R, Brunton P, Pretty I. Colour Assessment in Dentistry. *Annals of the BMVA* 2007;4:1–10.
8. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. *J Dent* 2014;42:48–52.
9. Todorović A, Todorović A, Gostović AS, Lazić V, Milčić B, Djurisić S. Reliability of conventional shade guides in teeth color determination. *Vojnosanit Pregl* 2013;70:929–934.
10. Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG. Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. *J Prosthet Dent* 2007;98:175–185.
11. Wang J, Lin J, Gil M, Seliger A, Da Silva JD, Ishikawa-Nagai S. Assessing the accuracy of computer color matching with a new dental porcelain shade system. *J Prosthet Dent* 2014;111:247–253.
12. Lee YK, Yu B, Lee SH, Cho MS, Lee CY, Lim HN. Shade compatibility of esthetic restorative materials – A review. *Dent Mater* 2010;26:1119–1126.
13. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent* 1986;56:35–40.
14. van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmid WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent* 1990;63:155–162.
15. Lim HN, Yu B, Lee YK. Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *J Prosthet Dent* 2010;104:239–246.
16. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater* 2006;22:553–559.
17. Carney MN, Johnston WM. A novel regression model from RGB image data to spectroradiometric correlates optimized for tooth colored shades. *J Dent* 2016;51:45–48.
18. Sommer A, Kues HA, D'Anna SA, Arkell S, Robin A, Quigley HA. Cross-polarization photography of the nerve fiber layer. *Arch Ophthalmol* 1984;102:864–869.
19. Fariza E, O'Day T, Jalkh AE, Medina A. Use of cross-polarized light in anterior segment photography. *Arch Ophthalmol* 1989;107:608–610.
20. Anderson RR. Polarized light examination and photography of the skin. *Arch Dermatol* 1991;127:1000–1005.
21. Muccini JA, Kollias N, Phillips SB, et al. Polarized light photography in the evaluation of photoaging. *J Am Acad Dermatol* 1995;33(5 Pt 1):765–769.
22. McFall K. Photography of dermatological conditions using polarized light. *J Audio Media Med* 1996;19:5–9.
23. Jacques SL, Roman JR, Lee K. Imaging superficial tissues with polarized light. *Lasers Surg Med* 2000;26:119–129.
24. Jacques SL, Ramella-Roman JC, Lee K. Imaging skin pathology with polarized light. *J Biomed Opt* 2002;7:329–340.
25. Jacques SL, Samatham R, Isenbath S, Lee K. Polarized light camera to guide surgical excision of skin cancers. *Proc SPIE* 2008;684201. doi:10.1117/12.761823.
26. Gordon P, Wander P. Specialised equipment for dental photography. *Br Dent J* 1987;162:346–359.
27. Vanini L. Light and color in anterior composite restorations. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1996;8:673–682, quiz 684.
28. Robertson AJ, Toumba KJ. Cross-polarized photography in the study of enamel defects in dental paediatrics. *J Audio Media Med* 1999;22:63–70.
29. Vanini L, Mangani FM. Determination and communication of color using the five color dimensions of teeth. *Pract Proced Aesthet Dent* 2001;13:19–26, quiz 28.
30. Bengel W. *Mastering Digital Dental Photography*. Tokyo: Quintessence, 2006.
31. Gerlach RW. Tooth whitening clinical trials: a global perspective. *Am J Dent* 2007;20(spec no. A):3A–6A.
32. Sagel PA, Gerlach RW. Application of digital imaging in tooth whitening randomized controlled trials. *Am J Dent* 2007;20(spec no. A):7A–14A.
33. Benson PE, Ali Shah A, Robert Willmot D. Polarized versus non-polarized digital images for the measurement of demineralization surrounding orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2008;78:288–293.
34. Wu G, Liu X, Hou Y. Analysis of the effect of CPP-ACP tooth mousse on enamel remineralization by circularly polarized images. *Angle Orthod* 2010;80:933–938.
35. Edwards N. Cross-polarization, making it practical. *J Vis Commun Med* 2011;34:165–172.
36. Kim E, Son T, Lee Y, Jung B. Development of polarization dental imaging modality and evaluation of its clinical feasibility. *J Dent* 2012;40(suppl 1):e18–e25.
37. Bazos P, Magne M. Getting it right the first time. *J Cosmet Dent* 2013;29:36–41.
38. Bazos P, Magne P. Bio-emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histo-anatomic approach; structural analysis. *Eur J Esthet Dent* 2011;6:8–19.
39. Gibson, H. Lou. *Close-Up Photography and Photomacrography*, ed 2, Vol II: *Photomacrography*. Kodak Publication No. N-16. Rochester, NY: Eastman Kodak Company, 1975.
40. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater* 2006;22:553–559.
41. Hong G, Luo MR, Rhodes PA. A study of digital camera colorimetric characterisation based on polynomial modelling. *Color Research and Application* 2001;26:76–84.
42. Gu J, Jiang J, Susstrunk, Liu D. WACV 13. Proceedings of the 2013 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV): 168–179.
43. http://www.xrite.com/-/media/XRite/Files/Manuals_and_UserGuides/C/O/ColorCheckerPassport_User_Manual_EN.pdf. Accessed 14 December 2016.
44. Sangwine SJ, Horne REN (eds). *The Colour Image Processing Handbook*. Chapman and Hall, 1998.
45. Hein S, Zangl M. The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth. *Int J Esthet Dent* 2016;11:246–259.
46. Meng J, Ryan M. An Alternative Method of Shade Selection for Indirect Dental Restorations. Poster Presentation. Chicago, IL: American Academy of Fixed Prosthodontics, 2007.
47. Bengel W, Chu S. US patent 2005/0196039A1.

RÉFÉRENCES

48. Ishikawa-Nagai S, Sawafuji F, Tsuchitani H, Sato RR, Ishibashi K. Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 2: Color reproduction of stratiform-layered porcelain samples. *Int J Prosthodont* 1993;6:522–527.
49. Berns RS. *Billmeyer and Salzman's Principles of Color Theory*, ed 3. New York: Wiley Interscience, 2000.
50. Riley EJ, Sozio RB, Amdur BH, Sandersan IR. Color visualization during porcelain buildup using an organic liquid binder. *Quintessence Dent Technol* 1985;8:637–640.
51. Riley E, Sanderson I, Sozio RB. Shade determination, communication, and realization: A novel approach. *Quintessence Int* 1986;17:739–744.
52. Riley E, Filipancic JM. Ceramic shade determination: current technique for a direct approach. *Int J Prosthodont* 1989;2:131–137.
53. Hein S, Bazos P, Tapia Guadix J, Zago Naves L. *Beyond Visible: Exploring Shade Interpretation*. *QDT* 2014;37:199–211.
54. Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br Dent J* 2005;199:43–49, discussion 33.
55. Elter A, Caniklioglu B, Değer S, Ozen J. The reliability of digital cameras for color selection. *Int J Prosthodont* 2005;18:438–440.
56. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater* 2006;22:553–559.
57. Schropp L. Shade matching assisted by digital photography and computer software. *J Prosthodont* 2009;18:235–241.
58. Oh WS, Pogoncheff J, O'Brien WJ. Digital Computer Matching of Tooth Color. *Mater* 2010;3:3694–3699.
59. Yamanel K, Caglar A, Özcan M, Goulash K, Bagis B. Assessment of color parameters of composite resin shade guides using digital imaging versus colorimeter. *J Esther Restor Dent* 2010;22:379–388.
60. Peskersoy C, Tetik A, Ozturk VO, Gokay N. Spectrophotometric and computerized evaluation of tooth bleaching employing 10 different home-bleaching procedures: In-vitro study. *Eur J Dent* 2014;8:538–545.
61. Bhandari V, Singla A, Mahajan V, Jaj HS, Saini SS. Reliability of digital camera over spectrophotometer in measuring the optical properties of orthodontic elastomeric ligatures. *J Indian Orthodontic Soc* 2014;48:239–244.
62. Carney MN, Jonston WM. A novel regression model from RGB image data to spectroradiometric correlates optimized for tooth colored shades. *J Dent* 2016;51:45–48.
63. Dhruv A, Surendra KGP, Devanshi YA, Manoj KS, Rahul S, Amit G. Shade selection: spectrophotometer vs digital camera – a comparative in-vitro study. *Annals of Prosthodontics & Restorative Dentistry* 2016;2:73–78.
64. Lakhanpal S, Neelima MS. Accuracy of Three Shade-matching Devices in Replicating the Shade of Metal Ceramic Restorations: An in vitro Study. *J Contemp Dent Prac* 2016;17:1003–1008.
65. Bazos P, Magne P. Bio-Emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach; visual synthesis. *Int J Esthet Dent* 2014;9:330–352.
66. ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res* 1995;74:374–380.

Nouvelles options!

L'implant ultra-court pour tirer profit au maximum des tissus osseux en place



| Stabilité primaire | Précis | Physiologique

Le système implantaire SKY®



DENTAL INNOVATIONS
SINCE 1974

bredent
group

bredent France · T: +33 4 75 34 20 96 · F: +33 4 75 32 05 93 · www.bredent.com · @: france@bredent.com