

Computerized analysis of occlusal contacts after lingual orthodontic treatment in adults

Analyse informatisée des contacts occlusaux après traitement orthodontique lingual chez l'adulte

Julia COHEN-LEVY^{a,*}, Nicolas COHEN^b

^a255, rue Saint-Honoré, 75001 Paris, France

^b10, rue Margueritte, 75017 Paris, France

Available online: 26 October 2011 / Disponible en ligne : 20 octobre 2011

Summary

Given that lingual orthodontic appliances are bonded onto functional surfaces, the purpose of this study was to assess the nature of occlusal contacts directly after appliance removal (T1) and after a retention period of 3–20 months (T2-T3). Adult patients were chosen as their adaptation potential is limited and they may show prosthetic restorations or tooth wear. The sample consisted of 35 consecutive patients treated by the same orthodontist, having undergone lingual orthodontic treatment with customized appliances. Subjects with edentulous spaces were excluded from the investigation, as were those whose orthodontic treatment had been terminated early either following poor cooperation or at the patient's request. Occlusal contacts were evaluated with carbon paper (horseshoe type) and a T-scan III sensor, a computerized system for occlusal analysis that records intercuspation force and surface distribution.

Results: Nineteen patients completed the study with a mean age of 32 years (19–63), including five extraction and six surgical cases. T-scan III records showed high reproducibility. During the retention phase, the quality of contacts increased but no significant change in their location occurred. Asymmetric contacts became more balanced with time, except for some surprising cases.

Résumé

Les attaches orthodontiques linguales étant collées sur des surfaces fonctionnelles, le but de cette étude a été d'évaluer la nature des contacts occlusaux directement après dépose de l'appareil (T1) et après une période de contention allant de trois à 20 mois (T2-T3). On a choisi des patients adultes en raison de leur potentiel d'adaptation limité et de leur denture parfois abrasée ou restaurée. L'échantillon était constitué de 35 patients consécutifs du même orthodontiste ayant bénéficié d'un traitement lingual avec des attaches individualisées. Les sujets avec des zones édentées ont été exclus de l'étude ainsi que ceux dont le traitement a dû être terminé trop tôt (problèmes de coopération ou requête du patient). Les contacts ont été évalués avec du papier occlusal (fer à cheval) et à l'aide du capteur T-scan III, système informatisé d'analyse occlusale qui permet l'enregistrement de la distribution des forces et surfaces en contact durant l'intercuspidation.

Résultats : Dix-neuf patients ont suivi l'étude jusqu'à son terme, avec un âge moyen de 32 ans (19–63), incluant cinq cas d'extractions et six cas chirurgicaux. Les enregistrements numériques ont montré une haute reproductibilité. Pendant la période de contention, la qualité des contacts a augmenté mais aucune modification significative de leur position n'a été observée ; les contacts devenaient plus symétriques avec le temps pour la plupart des sujets, à l'exception de certains cas inattendus.

*Correspondence and reprints / Correspondance et tirés à part.
e-mail address / Adresse e-mail : juliacohenlevy@yahoo.fr (Julia Cohen-Levy)

Conclusion: Even when the set-up goal is reached, occlusal forces may be distributed unevenly, remaining asymmetric and potentially signaling a functional imbalance.

© 2011 CEO. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved

Key-words

- Occlusion.
- Lingual orthodontics.
- Retention.
- Asymmetry.
- Intercuspidation.

Introduction

The orthodontic norms published by Angle [1], Andrews [2], Ricketts [3] and Roth [4] describe rules of balanced occlusion that serve as a diagnostic aid and a guide for creating treatment set-ups, which are often used in lingual orthodontics. Once treatment objectives have been reached, occlusal contacts are not always assessable despite being ideal in theory. On account of their palatal position, brackets or bases may interfere with the closing pathway (*fig. 1*).

Theoretically, this should not pose a problem, given the existence of vertical tooth movements occurring after appliance removal which are thought to spontaneously improve occlusion. This process designed to ensure functional occlusion is known as “settling.” Numerous studies have described this phenomenon [5–19] either by comparing with untreated control cases [10,11] or by assessing the possible influence of retaining devices such as the Hawley appliance [7–10,14,19], thermoformed splints [17], positioners [6,19], and bonded wires [13].

Hence, various authors have shown that tooth contacts increase gradually at end of treatment and during the retention phase and all noted a more specific increase in the molar sector, with contact situations remaining roughly the same after appliance removal.

The above-referenced studies, however, were carried out on populations consisting mostly, if not exclusively, of children and adolescents, whose residual growth potential can be a factor. To our knowledge, no post-treatment occlusion studies have been performed specifically on lingual orthodontic cases. The primary aim of this article is thus to assess the quality of occlusion at maximum intercuspation obtained after lingual appliance removal in adults, whose capacity for adaptation is limited; it is also to monitor change over time in order to objectively measure settling.

Conclusion : Même si l'objectif matérialisé par le set-up est obtenu, les forces de contact peuvent être distribuées de façon non homogène, restant asymétriques et signant potentiellement un déséquilibre fonctionnel.

© 2011 CEO. Édité par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Mots-clés

- Occlusion.
- Orthodontie linguale.
- Contention.
- Asymétrie.
- Intercuspitation.

Introduction

Les normes orthodontiques publiées par Angle [1], Andrews [2], Ricketts [3] ou Roth [4] décrivent des règles d'équilibre occlusal qui servent de support diagnostique et guident l'élaboration du set-up thérapeutique, particulièrement utilisé en technique linguale. Quand les objectifs de traitement sont atteints, les contacts occlusaux, théoriquement idéaux, ne peuvent cependant pas toujours être évalués. Les verrous ou les bases peuvent en effet, de par leur position palatine, interférer sur le chemin de fermeture buccale (*fig. 1*).

Cet aspect ne devrait théoriquement pas poser de problème, de par l'existence de mouvements dentaires verticaux décrits après la dépose des appareils et censés améliorer spontanément l'occlusion. Ils rentrent dans le processus de « settling » ou « mise en place fonctionnelle de l'occlusion ». De nombreuses études ont pu décrire ce phénomène [5–19], par comparaison avec des cas-témoins non traités [10, 11] ou pour évaluer l'influence potentielle des dispositifs de contention tels que la plaque de Hawley [7–10, 14, 19], les gouttières thermoformées [17], les positionneurs [6, 19] ou les fils collés [13]. Différents auteurs ont ainsi montré que les contacts dentaires augmentaient graduellement à la fin du traitement et pendant la période de contention, s'accordant sur une augmentation plus spécifique dans le secteur molaire, la situation des contacts restant sensiblement la même après la dépose de l'appareil.

Les travaux cités ont cependant étudié des populations constituées majoritairement, sinon exclusivement, d'enfants ou d'adolescents, chez qui le potentiel de croissance résiduel peut jouer un rôle. À notre connaissance, aucune étude de l'occlusion post-thérapeutique n'a été menée spécifiquement sur des cas traités en technique linguale. Le but de cet article a ainsi été d'évaluer la qualité de l'occlusion d'intercuspédie maximale obtenue à la dépose de l'appareil lingual chez l'adulte, dont les capacités d'adaptation sont limitées, et de suivre leur évolution dans le temps, afin d'objectiver le « settling ».



Fig. 1: Premature contacts on brackets or lingual bracket bases during finishing, whereas posterior relationships are in Angle class I: **a:** contact on brackets of the four upper incisors; **b:** contact on base of 11, which presents greater thickness of the free margin (metal-ceramic crown) than 21, and light contact on brackets of 12 and 22; **c:** location of contacts before debanding in lingual orthodontics, the technique used in this study; **d:** location of contacts after debanding; **e:** location of contacts 1 year after appliance removal.

Fig. 1 : Contacts prématurés sur les attaches ou les bases des attaches linguales dans les phases de finition, alors que les relations postérieures sont en Classe I d'Angle : **a :** contact sur les attaches des quatre incisives supérieures ; **b :** contact sur la base de la 11 qui présente une plus grande épaisseur du bord libre (couronne céramo-métallique) par rapport à la 21, et contact léger sur les attaches des 12 et 22 ; **c :** localisation des contacts avant débandage en technique linguale, technique utilisée dans cette étude ; **d :** localisation des contacts après débandage ; **e :** localisation des contacts un an après la dépose de l'appareil.

Our secondary objective was to assess a computerized occlusal analysis system and compare it to the articulating paper marking method used in current practice, whose results, for clinical purposes, can be difficult to interpret or reproduce [20,21]. Since its introduction in the 1980s in the United States, this computerized system has been proposed for occlusal analysis and the study of articular dysfunction. After initial studies raised questions about its reliability, a great number of changes provided some needed improvements to the software and the sensor itself, which is now miniaturized [22–25].

Patients and methods

Patients

This study included 35 patients treated consecutively by the same orthodontist using customized lingual attachments

L'objectif secondaire a été d'évaluer un système d'analyse occlusale informatisée et de le comparer au marquage par du papier à articuler, utilisé en pratique courante, et dont l'interprétation peut se heurter à des difficultés cliniques ou s'avérer peu reproductible [20,21]. Ce système d'analyse informatisée avait été proposé pour l'analyse occlusale et l'exploration des troubles et dysfonctions articulaires depuis sa mise sur le marché dans les années 1980 aux États-Unis. Les premières études avaient remis en cause sa fiabilité avant qu'un grand nombre d'évolutions, tant au niveau du logiciel que du capteur lui-même, miniaturisé, n'apportent les améliorations nécessaires [22–25].

Patients et méthodes

Patients

Trente-cinq patients consécutivement traités par le même orthodontiste utilisant des attaches linguales individualisées

(TOP-service GmbH, 3M Unitek™) on bases with an average thickness of 0.4 mm [26]. Their appliances were removed between April 2008 and June 2009 and a retainer was immediately directly bonded on after being passively adapted to the palatal aspect of the canines and incisors on both arches (braided steel wire, 0.0175" in diameter; Transbond LR adhesive from 3M Unitek™ Laboratory).

Inclusion criteria were: age at start of treatment (over 16 for women; 18 for men), signed consent, and occlusion at end of treatment similar to that obtained in pre-treatment modeling (set-up).

Exclusion factors were: the presence of severe systemic illness or declared muscular, articular, psychological, and psychiatric disorders, as well as long-term medication. We also excluded patients with edentulous spaces (embedded or posterior), prosthetic treatments and/or extensive restorative dentistry, patients who had decided to terminate treatment before meeting fixed objectives and patients with weakened periodontal or articular support.

Occlusal sensor

We used T-scan III (developed for Windows; on loan from Tekscan Inc., Boston, Mass., USA), a digital sensor with a thickness of 85 microns consisting of 2500 pressure-sensitive cells (*fig. 2*). The sensor incorporates a double layer of Mylar, a polyester film whose electrical conductivity varies depending on pressure exerted. It thus registers the relative force and distribution of tooth contacts, as well as the start and duration of each contact to within 10 ms.

Each patient had his or her own sensor, fitted to a rigid, autoclavable, fork-shaped plastic holder placed in the mouth in contact with the central maxillary incisors, away from the lateral sectors. The same sensor was used for all recordings of a given patient, except for one patient who systematically tore the sensor on a particularly sharp molar cusp, and for whom three sensors were needed.

This removable "fork" was then inserted into a handheld analyzer, which was in turn connected via USB to a personal computer. The analysis software was able to adapt the readout to the patient's dental pattern (missing teeth) and customize it based on tooth size. This adaptation was obtained by specifying the mesiodistal dimension of the right central maxillary incisor, measured with a caliper.

As bite forces differed from one patient to another, the sensor was calibrated before registration to set the sensitivity and avoid saturating the system. The same sensitivity value was kept for a given patient across all recordings.

(TOP service GmbH, 3M Unitek™), dont les bases ont une épaisseur moyenne de 0,4 mm [26], ont été inclus dans l'étude. Leurs appareils ont été déposés entre avril 2008 et juin 2009, et une contention a été immédiatement collée, en méthode directe, après avoir été adaptée passivement sur la face palatine des canines et incisives, aux deux arcades (fil tressé en acier de diamètre 0,0175" ; colle Transbond LR, laboratoire 3M Unitek™).

Les critères d'inclusion consistaient en un âge au début du traitement supérieur à 16 ans pour les femmes et 18 ans pour les hommes, en l'obtention du consentement signé pour l'étude et d'une occlusion de fin de traitement similaire à la modélisation préthérapeutique (Setup).

Les facteurs d'exclusion consistaient en la présence de maladies générales sévères, de troubles musculaires, articulaires, psychologiques ou psychiatriques déclarés, et la prise de médicaments au long cours. Étaient également exclus les patients aux espaces édentés (encastrés ou postérieurs), aux traitements prothétiques et/ou de dentisterie restauratrice étendus, les patients ayant souhaité interrompre le traitement avant d'atteindre les objectifs fixés et les patients au support parodontal ou articulaire affaibli.

Capteur occlusal

Nous avons utilisé le T-scan III (développé pour Windows ; prêt de la société Tekscan Inc., Boston, Mass, États-Unis), un capteur numérique de 85 microns d'épaisseur, constitué de 2500 cellules sensibles à la pression (*fig. 2*). Le capteur est réalisé à l'aide d'une double couche de Mylar, une encre dont la conductivité électrique varie avec la pression exercée. Il permet ainsi d'enregistrer la distribution et la force relative des contacts dentaires, ainsi que le début et la durée de chaque contact, avec une précision temporelle de 10 ms.

Chaque patient avait son propre capteur, adapté sur une fourchette en plastique rigide stérilisable en autoclave placée en bouche au contact des incisives centrales maxillaires, et à distance des secteurs latéraux. Le même capteur était utilisé pour les différents enregistrements d'un même patient (excepté pour une patiente qui déchirait systématiquement le capteur en regard d'une cuspide molaire particulièrement pointue et pour qui trois capteurs ont été nécessaires).

La fourchette, amovible, s'insérait dans un système d'analyse en forme de manche, relié via un port USB à un ordinateur personnel. Le logiciel d'analyse permettait une adaptation du graphe au schéma dentaire du patient (dents absentes) et une individualisation de la taille des dents. Cette adaptation était obtenue en spécifiant la dimension mésio-distale de l'incisive centrale maxillaire droite, mesurée au pied à coulisse.

Parce que les forces de morsure étaient différentes en fonction des patients, un étalonnage du capteur a été effectué avant enregistrement, pour régler sa sensibilité et éviter une saturation du système. La même valeur de sensibilité était conservée pour un même patient et pour tous les enregistrements.

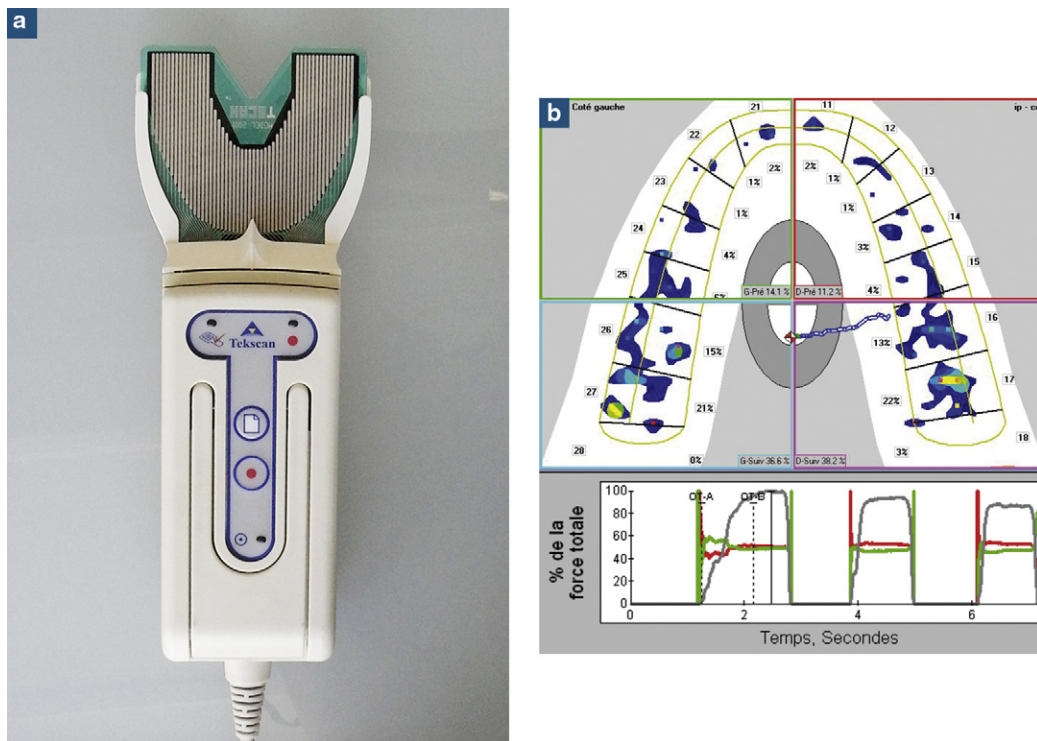


Fig. 2: Computerized occlusal analysis system used in the study: **a:** T-scan III sensor; **b:** graphical representation of sensor loading during registration.

The grey graph summarizes all forces detected by the sensor, while red, green, pink, and blue represent various sectors of the dental arch. The x-axis represents time (expressed in milliseconds); the y-axis represents stresses detected by the sensor (expressed in percentage from 0 to 100%). Note that these various graphs include a stress increase phase (mouth closing and first contacts), a plateau phase (maximum intercuspation), and a decrease phase (mouth opening). On the occlusal contacts graph, the diamond-shaped red icon represents center of force, while the colored line shows its displacement during recording.

Fig. 2 : Système d'analyse occlusale informatisée utilisé dans l'étude : **a :** capteur T-scan III ; **b :** représentation graphique de la mise en charge du capteur lors de l'enregistrement.

Le graphique gris résume la totalité des forces reçues par le capteur, alors que les graphiques rouge, vert, rose ou bleu représentent différents secteurs de l'arcade dentaire. En abscisse est représenté le temps (exprimé en millisecondes), en ordonnée les contraintes reçues par le capteur (exprimées en pourcentage entre 0 et 100 %). On note pour ces différents graphiques une phase de croissance des contraintes (fermeture buccale et premiers contacts), une phase de plateau (intercuspidie maximale) et une phase de décroissance (ouverture buccale). Sur la représentation occlusale des contacts, le losange rouge représente le centre de force, et le tracé de couleur, son déplacement au cours de l'enregistrement.

Study protocol

At each visit, patients were asked to bite on the sensor, which was placed between the arches and centered between the incisors. Three consecutive bites were registered, while the same operator checked for proper placement of the device and mandibular centering. The first series of recordings (T1) took place immediately after removal of the lingual appliance. The second (T2) took place 1–3 months after removal. Further

Protocole d'étude

À chaque visite, on a demandé au patient de mordre sur le capteur placé entre les arcades et centré entre les incisives. Trois morsures consécutives étaient enregistrées, alors que l'opérateur, toujours le même, vérifiait le bon placement du dispositif et le centrage mandibulaire. La première série d'enregistrements (T1) avait lieu immédiatement après la dépose de l'appareil lingual ; le deuxième enregistrement

recordings, when needed, were taken during later retention check-ups (T3, T4).

At the same time, contact point photographs using the conventional occlusal paper method were taken at maximum intercuspation on horseshoe-shaped double-sided articulating paper 80 microns in thickness (BK 81 red and blue, distributed by Bausch Laboratory), after first cleaning and drying the dental surfaces.

Data processing

The software registers force and surface data to within 10 ms over an extended period of time. We chose values situated in the maximum contact position (maximum intercuspation), at the middle of the plateau on the histogram representing sensor loading (grey graph shown in *fig. 2b*). The green and red graphs represented, respectively, sensor cell loading on the right and left sides of the sensor.

The division of the arch into four quadrants (right anterior, left anterior, right posterior, and left posterior) generated, respectively, the red, blue, green, and pink graphs. This was done by bisecting the sensor along the midsagittal axis (upper incisor midline) and along a perpendicular straight line passing through the canine-bicuspid contact point.

This graphical representation of sensor loading also allowed us to assess the patient's bite quality. Thus, in the event of an irregular histogram signaling a disrupted muscular contraction, a new recording was taken.

The center of force, defined as the center of gravity of forces applied to the sensor, is shown by a diamond-shaped icon whose trajectory between the first contact point and maximum intercuspation is shown in color. This gave a qualitative appraisal of force balance during the bite (*fig. 2*).

Force data, expressed in percentages relative to full loading, and surface data in square millimeters were grouped for each recording into four sectors: right anterior, left anterior, right posterior and left posterior. Data were then transferred for statistical analysis to a colleague unfamiliar with the patients' characteristics.

Statistical analysis

The coefficient of variation (CV), i.e. the relationship between the standard deviation and mean of repeated measurements from a single session with a given patient, gives the following: — the measurement's relative precision (CV was found for each patient, at each visit, in each measurement sector);

(T2) avait lieu entre un et trois mois après la dépose ; les autres enregistrements, le cas échéant au cours des visites de contrôle ultérieures de la contention (T3, T4).

Parallèlement, des photographies des points de contact par la méthode conventionnelle du papier occlusal étaient réalisées en occlusion d'intercuspidie maximale, en utilisant un papier à articuler double face en forme de fer à cheval, d'une épaisseur de 80 microns (BK 81 rouge et bleu, distribué par le laboratoire Bausch), après avoir préalablement nettoyé et séché les surfaces dentaires.

Traitement des données

Le logiciel, d'une précision de 10 ms, enregistre des données de surface et de force sur une période de temps étendue. Nous avons choisi les valeurs situées dans la position de contacts maximale (intercuspidie maximale), au milieu du plateau de l'histogramme représentant la mise en charge du capteur (graphique gris représenté dans la *fig. 2b*). Les graphiques vert et rouge représentaient respectivement la mise en charge des cellules sensibles du côté droit et gauche du capteur.

La division de l'arcade en quatre quadrants (antérieur droit, antérieur gauche, postérieur droit et postérieur gauche) générait des graphiques respectivement rouge, bleu, vert et rose. Elle était obtenue par division du capteur selon l'axe sagittal médian (médiane incisive supérieure) et une droite perpendiculaire passant par le point de contact canine/prémolaire.

Cette représentation graphique de la mise en charge du capteur permettait également d'évaluer la qualité de morsure par le patient ; ainsi face à un histogramme irrégulier témoignant d'une contraction musculaire perturbée, un nouvel enregistrement était réalisé.

Le centre de force, équivalent du centre de gravité des forces déployées sur le capteur, est matérialisé par un losange dont le trajet entre le premier point de contact et l'intercuspidie maximale est représenté en couleur. Il donne une appréciation qualitative du centrage des forces au cours de la morsure (*fig. 2*).

Les données de force, en pourcentage par rapport à la mise en charge totale, et de surface en millimètres carrés, étaient pour chaque enregistrement, regroupées en quatre secteurs : antérieur droit, antérieur gauche, postérieur droit et postérieur gauche. Les données ont ensuite été transférées pour analyse statistique auprès d'un confrère ignorant les caractéristiques des patients.

Analyse statistique

Le coefficient de variation (CV, rapport de l'écart-type des mesures répétées dans la même séance pour un même patient et de leur moyenne) donne :

— une idée de la précision relative de la mesure et a été recherché pour chaque patient, à chaque visite et dans chaque secteur de mesure ;

- the intra-individual reproducibility of measurements;
- the relationships between them;
- the modifications taking place over the course of the post-orthodontic retention phase.

Data were interpreted in raw values and relative values, with each measurement taken in a given sector being then replaced by the relationship of this value to the sum of all four values for that measurement.

Multiple-regression models were run by the hospital's biostatistics department (PC) to describe relationships between force and surface.

Results

Nineteen patients completed the study. The sample consisted of adult subjects with a mean age of 32 years (19–63), including five extraction cases and six surgical cases (four mandibular advancement osteotomies and two Le Fort I advancement osteotomies). Five hundred and eighty-four force values and 584 surface values were collected and studied.

Reproducibility

Repeating measurements in the same examination conditions and with the same sensor provides an assessment of

- une analyse de reproductibilité intra-individuelle des mesures ;
- la recherche de relations entre elles ;
- la description des modifications intervenant au cours de la période de contention post-orthodontique.

Les données ont été interprétées en valeurs brutes et en valeurs relatives, la mesure faite dans un secteur étant alors remplacée par le rapport de cette valeur à la somme des quatre valeurs de la même mesure.

Des modèles de régression multiple, menés par le service de biostatistiques de l'hôpital (PC), ont été testés pour décrire les relations entre force et surface.

Résultats

Dix-neuf patients ont suivi l'étude jusqu'à son terme. L'échantillon était constitué de sujets adultes d'âge moyen 32 ans (19–63) parmi lesquels cinq cas d'extractions et six cas chirurgicaux (quatre ostéotomies d'avancée mandibulaire et deux ostéotomies de Le Fort I d'avancée). Cinq cent quatre-vingt-quatre valeurs de force et 584 valeurs de surface ont été relevées et étudiées.

Reproductibilité

La répétition des mesures, dans les mêmes conditions d'examen et avec le même capteur, permet d'évaluer la

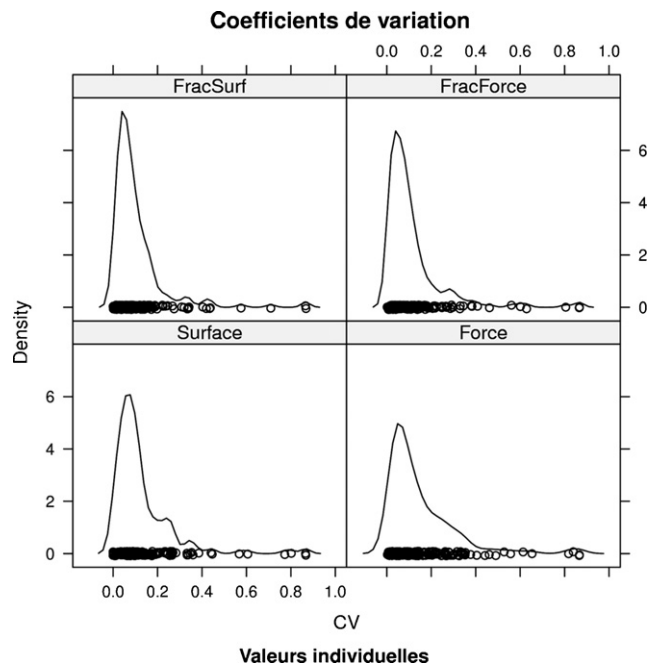


Fig. 3: Coefficient of variation for surface and force values (absolute and relative).

Fig. 3 : Coefficients de variation des valeurs de surface et force en valeurs absolues et relatives.

reproducibility. The distribution of these coefficients of variation (CV = the relationship between the standard deviation of repeated measurements, in raw values “Surface” and “Force”; and relative values “FracSurf” and “FracForce”), which gives information about the overall precision of the process, showed a mean intra-individual coefficient of variation of 13% (fig. 3), varying slightly with the nature and mode of measurement interpretation.

Force/surface relation

Force and surface data appeared strongly linked (fig. 4). This link exhibited a nearly linear quality when represented on a logarithmic scale (regression table). Force information alone reconstitutes the bulk of surface information. We nonetheless noted that this relationship is not linear and that the model is valid only in the zone under investigation.

Contact change over time

Qualitatively speaking, contacts increased with time, without any modification of their position being observed (fig. 5). Fig. 5 reproduces the change over time in percentage of forces registered on the right semi-arch of each patient in the study. The overall trend of the curves tends towards 50%, signaling the symmetrization of contacts between T1 and T3-T4, with

reproductibilité. La distribution de ces coefficients de variation (CV rapport de l'écart-type des mesures répétées, en valeurs brutes Surface ; Force ; et relatives FracSurf et FracForce) qui renseigne sur la précision globale du procédé, a montré un coefficient de variation intra-individuel moyen de 13 % (fig. 3), variant faiblement avec la nature et le mode d'interprétation de la mesure.

Relation force/surface

Les données de force et de surface sont apparues fortement liées. Cette liaison revêtait un caractère quasi linéaire quand on la représentait sur une échelle logarithmique (tableau de régression) (fig. 4). L'information de force permet à elle seule de reconstituer l'essentiel de l'information de surface ; on relève toutefois que cette relation n'est pas linéaire, et que le modèle n'est valable que dans la zone explorée.

Évolution des contacts avec le temps

D'un point de vue qualitatif, les contacts augmentaient avec le temps, sans qu'une modification de leur position ne soit observée (fig. 5). La fig. 5 reproduit l'évolution du pourcentage de forces enregistrées sur l'hémi arcade droite de chacun des patients de l'étude, en fonction du temps. La tendance générale des courbes est de se rapprocher de la valeur de

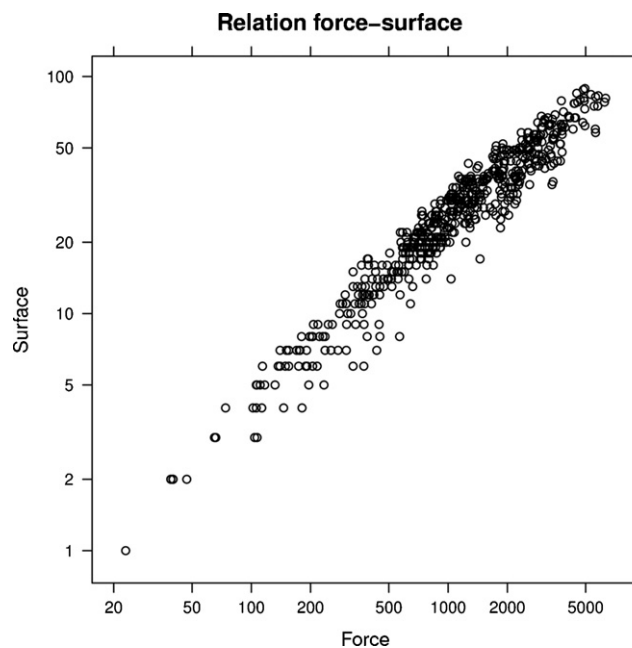


Fig. 4: Force/surface relation registered on T-scan III shown on a logarithmic scale.

Fig. 4 : Relation force/surface enregistrée sur le T-scan III représentée sur échelle logarithmique.

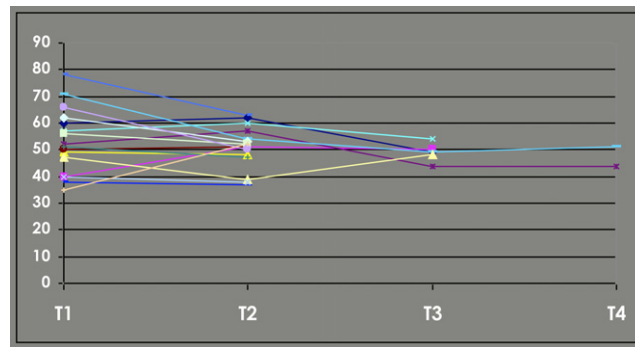


Fig. 5: Changes in force over time registered on the right semi-arch of each patient in the study. The general trend of the curves is towards 50%, signaling symmetrization of contacts between T1 and T3-T4.

Fig. 5 : Évolution des forces enregistrées sur l'hémi arcade droite de chacun des patients de l'étude, en fonction du temps. La tendance générale des courbes est de se rapprocher de la valeur de 50 %, signant une symétrisation des contacts entre T1 et T3-T4.

differences in distribution between right-side and left-side forces tending to diminish.

Nevertheless, certain patients did not follow the general trend and, despite a visually satisfactory occlusal result (intraoral views, paper marking), presented significant functional asymmetry with an extremely different relationship between forces developed on the right and left sides, as illustrated in the following cases. This asymmetry of occlusal forces, already present in our earliest recordings, remained patent in the long-term in the absence of clinical signs.

Clinical case No. 1

This 28-year-old woman presented a class II division 2 malocclusion with anterior deep overbite on a skeletal class II with hypodivergent mandibular retrognathism despite previous dentofacial orthopedic treatment (figs. 6–9). The malocclusion was decompensated in the classical fashion before mandibular advancement osteotomy, with all treatment being completed in 18 months.

Immediately after appliance removal, contact surfaces appeared evenly distributed although with a predominance of force on the right side (60% compared to 40% on the left side). Center of force trajectory showed oscillations on the right side of the arch. After 20 months' retention, contacts had evened out with a perfectly balanced center of force, whose trajectory remained almost strictly sagittal.

Clinical case No. 2

This was a class III subdivision case with transverse maxillary insufficiency, asymmetric, on a hyperdivergent skeletal class

50 %, signant une symétrisation des contacts entre T1 et T3-T4, les différences de répartition entre les forces du côté droit et du côté gauche ayant tendance à diminuer.

Certains patients cependant ne suivaient pas la tendance générale et présentaient, malgré un résultat occlusal visuellement satisfaisant (vues intrabuccales, marquage papier), une asymétrie fonctionnelle significative avec un rapport extrêmement différent entre les forces développées du côté droit et du côté gauche, comme illustré dans les cas suivants. Cette asymétrie des forces occlusales, déjà présente lors des premiers enregistrements, restait patente à long terme, en l'absence de signes cliniques.

Cas clinique n° 1

Il s'agit d'une patiente de 28 ans, présentant une malocclusion de Classe II division 2 avec excès de recouvrement antérieur, sur une Classe II squelettique par rétromandibulie hypodivergente, malgré un précédent traitement ODF (fig. 6–9). La malocclusion a été décompensée classiquement avant une ostéotomie d'avancée mandibulaire, l'ensemble du traitement ayant été terminé en 18 mois.

Juste après la dépose de l'appareil, les surfaces de contact apparaissaient harmonieusement réparties avec cependant une prédominance de la force du côté droit (60 % par rapport au côté gauche 40 %). Le trajet du centre de force montrait des oscillations du côté droit de l'arcade. Après 20 mois de contention, les contacts s'étaient équilibrés avec un centrage parfait du centre de force dont le trajet restait quasi strictement sagittal.

Cas clinique n° 2

Il s'agit d'un cas de Classe III subdivision avec une insuffisance transversale maxillaire, asymétrique, sur une Classe III



Fig. 6: a–e: clinical case number 1, intraoral views at start of treatment.

Fig. 6 : a–e : cas clinique numéro 1, vues intrabuccales de début de traitement.

III, both factors being equally incriminated (*figs. 10–13*). The female patient, 32 years old, had refused any surgical correction. She was proposed compensation with extraction of a mandibular bicuspid to re-center the lower midline. Treatment was carried out over 20 months with sustained wearing of intermaxillary elastics.

Immediately after appliance removal, contacts appeared fairly well distributed (60% on the right, 40% on the left), with no contact on the left maxillary central incisor and canine. Center of force showed significant transverse oscillations and tended to shift slightly leftwards before reaching maximum intercuspation.

At 19 months' retention, there was still roughly the same degree of contact distribution (56%, 44%), with less marked oscillations in center of force. Contact in the left anterior sector remained absent, signaling a lack of "spontaneous" extrusion upon appliance removal.

Clinical case No. 3

This is the case of a 24-year-old female presenting a class III asymmetric malocclusion previously treated by extraction of

squelettique hyperdivergente, à torts partagés (*fig. 10–13*). La patiente âgée de 32 ans refuse toute correction chirurgicale. Elle se voit proposer une compensation avec extraction d'une prémolaire mandibulaire pour recentrer la médiane inférieure. Le traitement a été mené en 20 mois avec port soutenu d'élastiques intermaxillaires.

Juste après la dépose de l'appareil, les contacts apparaissent assez bien repartis (rapport 60 % à droite, 40 % à gauche), avec une absence de contact sur l'incisive centrale et la canine maxillaires gauches. Le centre de forces montrait des oscillations importantes dans le sens transversal et avait tendance à se déporter légèrement à gauche avant d'atteindre l'intercuspédie maximale.

À 19 mois de contention, on note toujours le même ordre de grandeur dans la répartition des contacts (56 %, 44 %), les oscillations du centre de force étant moins marquées. Les contacts sont toujours absents dans le secteur antérieur gauche, signant l'absence d'égression « spontanée » à la dépose de l'appareil.

Cas clinique n° 3

Il s'agit du cas d'une patiente âgée de 24 ans qui présentait une malocclusion de Classe III asymétrique, précédemment

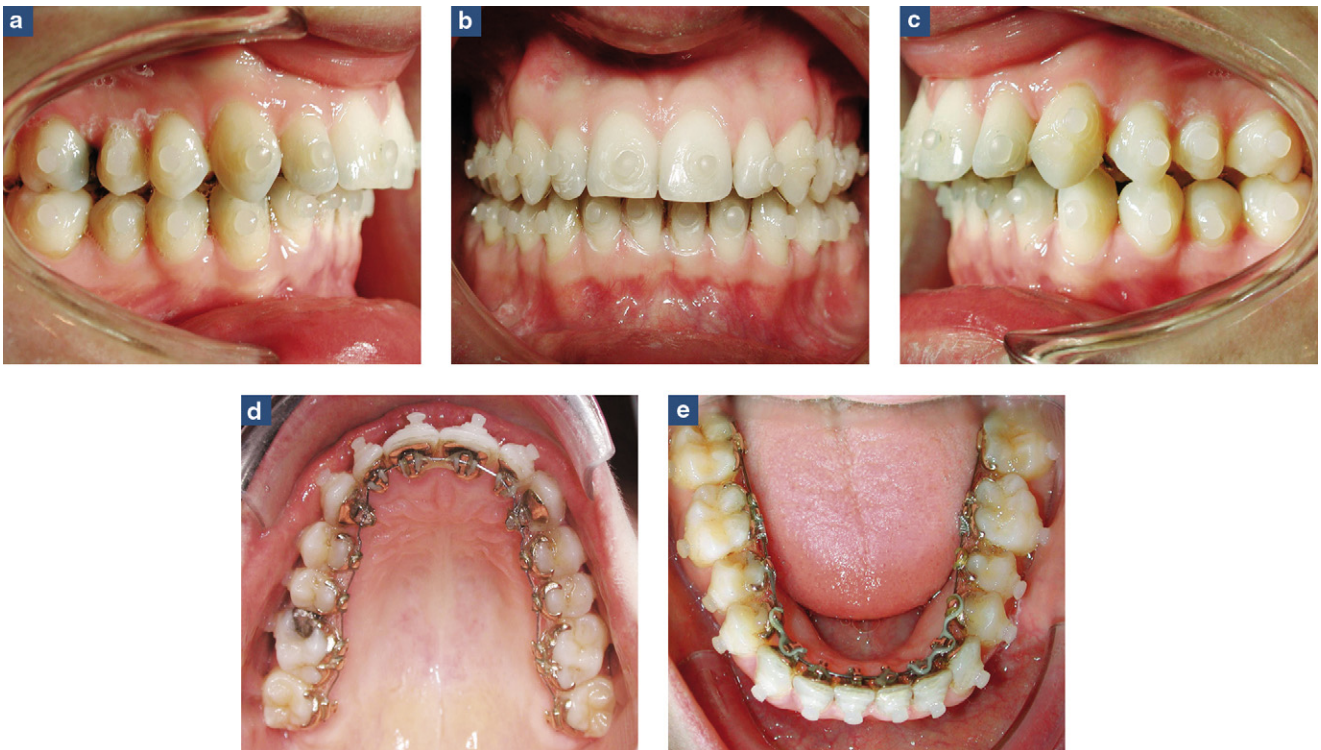


Fig. 7: a-e: clinical case number 1, intraoral views from pre-surgical preparation with buccal bonded buttons.

Fig. 7 : a-e : cas clinique numéro 1, vues intrabuccales de préparation préchirurgicale avec boutons collés vestibulaires.

the four first bicuspid, on a thin-morphotype periodontium, with gingival recession (*figs. 14–17*).

The protocol consisted of unraveling followed by Le Fort I maxillary advancement osteotomy to minimize tooth displacement. On the day the appliance was removed, tooth contact quality appeared mediocre and the quality of sensor loading (grey histogram) led us to suspect mild muscle spasms. Force distribution revealed functional asymmetry with nearly 75% of force on the left side. At 1 month, contacts were more evenly distributed over the arch, sensor loading was more consistent and functional asymmetry was now only 67% on the left side. At 8 months' retention, however, we still found roughly the same degree of discrepancy in center of force, which remained on the left side, with the same contact positions and surfaces.

Recordings on occlusal paper showed good distribution of contacts with ink laid evenly across the support cusps and opposite fossae, except on the lower bicuspid, which were lightly marked.

traitée par extraction des quatre premières prémolaires, sur un parodonte de morphotype fin, avec des récessions gingivales (*fig. 14–17*).

Le protocole a consisté en un nivellement/alignement avant ostéotomie de Le Fort I d'avancée maxillaire pour minimiser les déplacements dentaires. Le jour de la dépose de l'appareil, la qualité des contacts dentaires apparaissait médiocre avec une qualité de mise en charge du capteur (histogramme gris) laissant suspecter de légers spasmes musculaires. La répartition des forces révélait une asymétrie fonctionnelle avec près de 75 % des forces du côté gauche. À un mois, les contacts étaient mieux répartis sur l'arcade, la mise en charge du capteur était plus homogène, l'asymétrie fonctionnelle n'était plus que de 67 % du côté gauche. Mais à huit mois de contention, on retrouvait le même ordre de grandeur, le déport du centre de force restait du côté gauche et la même surface et position des contacts était retrouvée.

Les enregistrements à l'aide de papier occlusal montraient une bonne répartition des contacts avec une encre déposée de façon homogène sur les cuspidés appui et les fosses antagonistes, sauf sur les prémolaires inférieures, faiblement marquées.



Fig. 8: a–e: clinical case number 1, intraoral views of orthodontic finishes.
Fig. 8 : a–e : cas clinique numéro 1, vues intrabuccales des finitions orthodontiques.

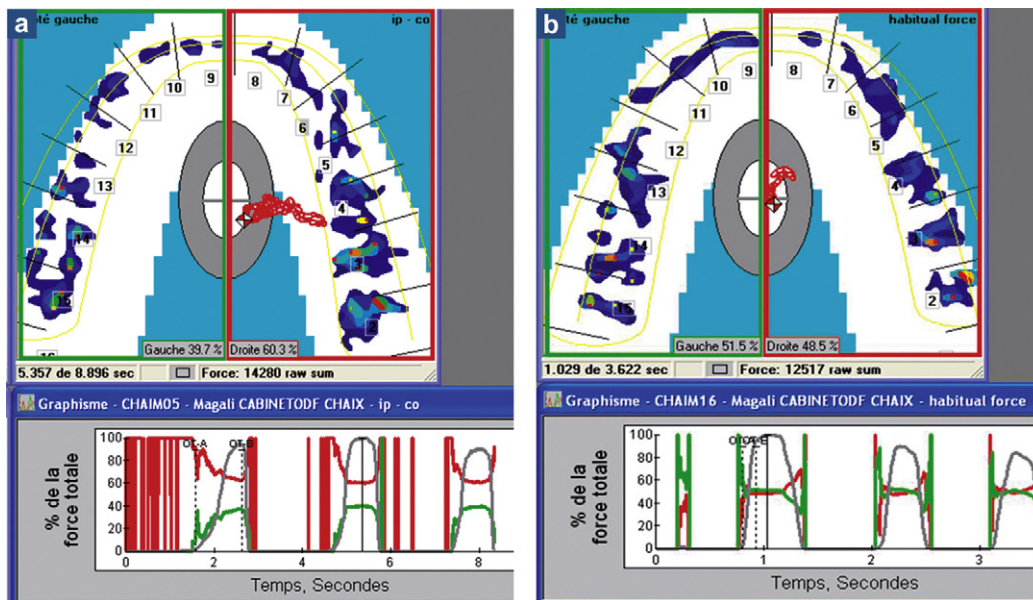


Fig. 9: Clinical case number 1, recording with T-scan III: **a:** day of removal; **b:** 20 months after removal.
Fig. 9 : Cas clinique numéro 1, enregistrement T-scan III : **a :** le jour de la dépose ; **b :** 20 mois après la dépose.



Fig. 10: a–e: clinical case number 2, intraoral views at start of treatment.

Fig. 10 : a–e : cas clinique numéro 2, vues intrabuccales de début de traitement.



Fig. 11: a–e: clinical case number 2, intraoral views of orthodontic finishes.

Fig. 11 : a–e : cas clinique numéro 2, vues intrabuccales des finitions orthodontiques.



Fig. 12: a-d: clinical case number 2, intraoral views at end of treatment and occlusal views with marking paper.
Fig. 12 : a-d : cas clinique numéro 2, vues intrabuccales de fin de traitement et vues occlusales avec papier marqueur.

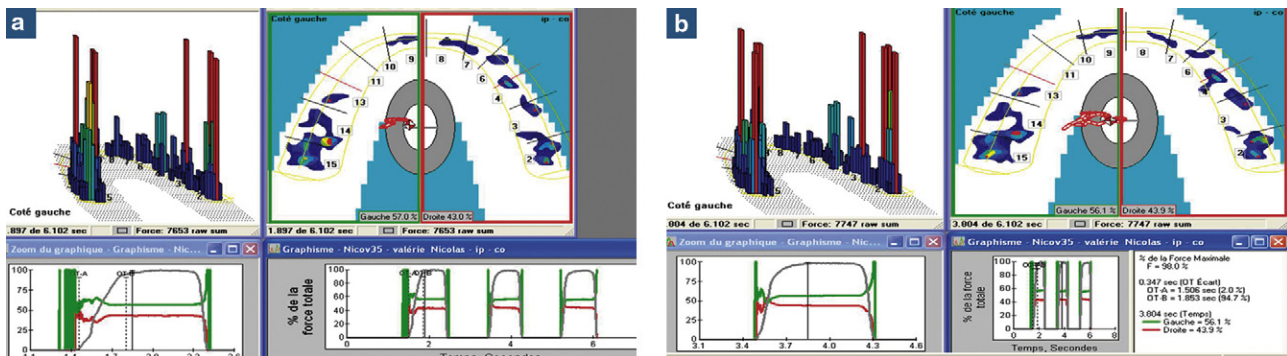


Fig. 13: Clinical case number 2, recording with T-scan III; **a:** day of removal; **b:** 19 months after removal.
Fig. 13 : Cas clinique numéro 2, enregistrement T-scan III : **a :** le jour de la dépose ; **b :** 19 mois après la dépose.



Fig. 14: a–c: clinical case number 3, intraoral views at start of treatment.

Fig. 14 : a–c : cas clinique numéro 3, vues intrabuccales de début de traitement.



Fig. 15: a–c: clinical case number 3, intraoral views of orthodontic finishes.

Fig. 15 : a–c : cas clinique numéro 3, vues intrabuccales des finitions orthodontiques.



Fig. 16: a–c: clinical case number 3, intraoral views after 8 months' retention.

Fig. 16 : a–c : cas clinique numéro 3, vues intrabuccales après huit mois de contention.

Discussion

This pilot study highlighted the change in occlusal contacts after lingual appliance removal and the reproducibility of T-scan III computerized occlusal analysis recordings, within the limits of the protocol applied, which focused on recording maximum intercuspation in adults.

The use of a digital sensor provided information qualitatively different from that obtained with occlusal marking paper of

Discussion

Cette étude pilote a permis de mettre en évidence la modification des contacts occlusaux après la dépose de l'appareil lingual et la reproductibilité du système d'analyse occlusale informatisé T-scan III, dans les limites du protocole utilisé qui focalisait sur l'enregistrement de l'intercuspidie maximale chez l'adulte.

L'utilisation du capteur numérique apportait des informations qualitativement différentes de celles procurées par du papier

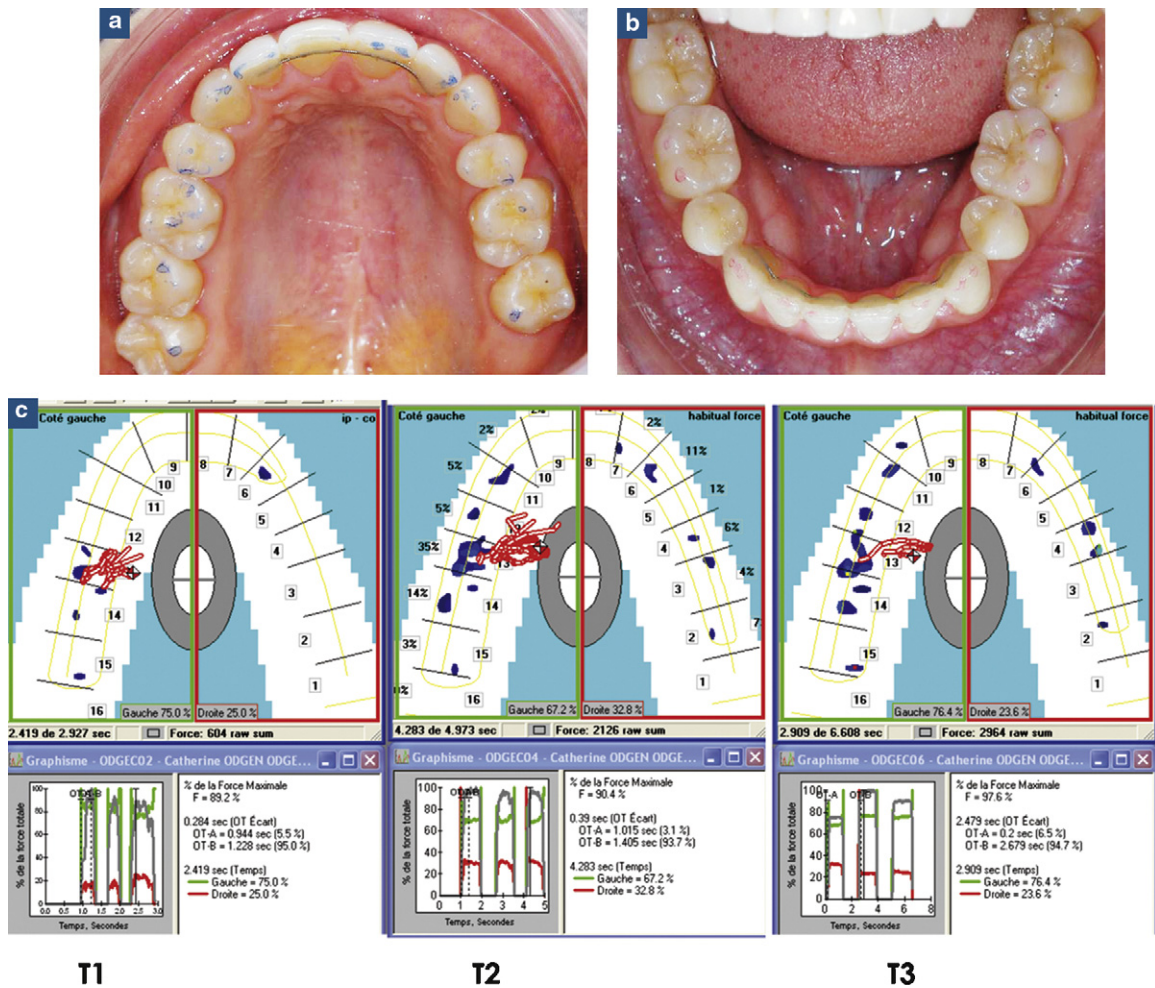


Fig. 17: a-c: occlusal views with marking paper (8 months after debanding) and T-scan III recordings at T1 (debanding), T2 (1 month after debanding), and T3 (8 months after debanding).
Fig. 17: a-c : vues occlusales avec papier marqueur (huit mois après débandage) et enregistrements T-scan III à T1 (débandage), T2 (un mois après débandage) et T3 (huit mois après débandage).

equivalent thickness, raising questions about currently available occlusal assessment methods and comparison with results previously published on post-orthodontic occlusion.

Occlusion assessment methods and T-scan III

Occlusal contact assessment is traditionally done with “articulating” marking paper, or even using thin strips whose pull-out strength, when the patient bites, helps reveal initial contacts. It is generally accepted that dark, wide marks indicate high-pressure sites, while smaller, lighter marks are associated with sites receiving lesser loads. Likewise, the presence of numerous similar markings on the arch would

marqueur occlusal d'épaisseur équivalente, en induisant une réflexion sur les méthodes d'évaluation de l'occlusion disponibles et une comparaison par rapport aux précédents résultats publiés sur l'occlusion post-orthodontique.

Méthodes d'évaluation de l'occlusion et T-scan III

L'évaluation des contacts occlusaux se fait traditionnellement par du papier marqueur dit « à articuler », voire par l'utilisation de bandelettes fines (*strips*) dont la résistance à l'arrachement, alors que le patient mord, permet de mettre en évidence les premiers contacts. Il est généralement admis que les marques larges et foncées indiquent des sites de fortes pressions, alors que les marques légères et plus

suggest equal, evenly distributed, or even simultaneous contacts.

According to certain authors, however, the color marks are difficult to reproduce and lend themselves to subjective interpretation, since the paper shows different prints depending on patient bite quality, occlusal morphology, salivary impregnation of the dental surfaces, and the possible spreading of ink, which can result in false positives [21].

A recent study was carried out *in vitro* so as to investigate marking surface as the only variable. The protocol thus developed used marking paper placed between dental arch models made of epoxy resin, mounted on an articulator, and subjected to compression loads of 25–450 Newtons applied by a uniaxial pneumatic simulator. Although the marking surface increased overall and effectively with load applied, there was only a one-in-five chance that a pair of similar markings would describe the same load [20].

Authors concord in saying it is clinically difficult to control patient bite quality on marking paper, especially when it is thin. For Orthlieb et al. [27], marking occlusal contacts in maximum intercuspation must be done with colored disclosing agents carried on a thin support material (10–20 μm), since thick paper only marks occlusal proximity. Also according to them, resistant materials may induce displacement and register intercuspation as in the final phase of a mastication cycle.

Le Gall and Lauret, in their occlusion manual [28], thus recommend “training” the patient by first interposing papers of significant thickness so as to then come down progressively to lesser thicknesses and avoid triggering a masticatory cycle reflex.

The T-scan III system, which displays contacts instantaneously as the patient bites on the sensor and registers multiple consecutive opening/closing cycles, gives some control from this point of view, using the center of force position or the quality of the sensor loading graph, as illustrated above.

The known limitations of paper marking together with possible mandibular movements may explain the divergence in results between T-scan III and color marking in our sample.

These results can then be interpreted only to the extent that T-scan III showed good reproducibility of surface measurements and relative forces registered, which concurs with recent publications [23–25], including one with 42 adult subjects which assessed measurement error at 1%, precision at 2%, and reliability at 2.8%. This German study [23] also showed that changing the sensor or repeating measurements had no effect on results.

réduites sont associées à des sites de moindres charges. Réciproquement, la présence de nombreuses marques similaires sur l’arcade laisserait entendre des contacts occlusaux égaux, également répartis, voire simultanés.

D’après certains auteurs, les marques colorées seraient cependant difficilement reproductibles et d’interprétation subjective, les papiers laissant une empreinte différente en fonction de la qualité de morsure du patient, de sa morphologie occlusale, de l’imprégnation salivaire des surfaces dentaires et de la possible diffusion de l’encre pouvant donner de faux-positifs [21].

Une étude récente a été réalisée *in vitro* de façon à étudier comme seule variable la surface des marques. Le protocole ainsi mis au point utilisait du papier marqueur interposé entre des modèles dentaires en résine époxy montés sur un articulateur et soumis à des charges compressives variant de 25 à 450 Newtons, appliquées par un simulateur pneumatique uniaxial. Si la surface des marques augmentait globalement et effectivement avec la charge appliquée, il n’y avait qu’une chance sur cinq pour que deux marques similaires décrivent la même charge [20].

Les auteurs s’accordent à dire qu’il est cliniquement difficile de contrôler la qualité de morsure du patient sur le papier marqueur, surtout quand il est fin. Pour Orthlieb et al. [27], le marquage des contacts en occlusion d’intercuspidie maximale doit se faire avec des révélateurs colorés portés par des supports minces (de 10 à 20 μm), les papiers épais ne marquant que des proximités occlusales. Toujours selon eux, des matériaux résistants risquent d’induire des déplacements et enregistrent l’intercuspidation comme dans une phase terminale de cycle masticatoire.

Le Gall et Lauret dans leur manuel d’occlusion [28] recommandent ainsi d’« éduquer » le patient en interposant des papiers d’épaisseur importante dans les premiers temps, pour ensuite descendre progressivement jusqu’aux épaisseurs les plus fines, et éviter de déclencher un cycle masticatoire réflexe.

Le système T-scan III, qui permet d’afficher instantanément les contacts au moment de la morsure du patient sur le capteur et d’enregistrer plusieurs cycles d’ouverture/fermeture consécutifs, autorise un contrôle de ce point de vue, via la position du centre de force ou la qualité du graphe de mise en charge du capteur, comme illustré plus haut.

La conjonction de ces limites connues du papier marqueur et de possibles mouvements mandibulaires peut expliquer les divergences de résultats entre T-scan III et marques colorées dans notre échantillon.

Ces résultats ne peuvent ensuite être interprétés que dans la mesure où le T-scan III a montré une très bonne reproductibilité des mesures surfaciques et de forces relatives enregistrées, en accord avec de récentes publications [23–25], dont une qui a évalué sur 42 sujets adultes une erreur de mesure de 1 %, une précision de 2 % et une fiabilité de 2,8 %. Cette étude allemande [23] a pu également montrer que le fait de changer le capteur ou de répéter les mesures n’avait pas d’influence sur le résultat.

Correlation between surface and force values, on the other hand, was expected, meaning marking is greater as the exerted occlusal force increases. The non-linear character of this relationship, implying that surface and force do not increase by the same proportions, could simply illustrate desmodontal depressibility, roughly one tenth of a millimeter on a healthy periodontium, which may have increased following dentofacial orthopedic treatment [29].

Post-treatment occlusion

Settling, i.e. the reinstatement of functional occlusion, can be likened to the physiological eruption process and seen as an adaptation phenomenon taking place once the dental organs are freed from the stresses exerted by the appliance. It must be taken into account both in the finishing work, where it allows us to perfect contact, and in the retention process.

Lyotard's [18] experimental study was the first to quantitatively assess the short-term changes resulting from a total absence of retention in a group of adolescents following multi-bracket treatment. It showed an improvement to buccolingual inclination and leveling of the marginal ridges, while overjet and irregularity index tended to worsen.

Lack of retention cannot be recommended, especially in adult patients, but its nature can potentially influence occlusion. The influence of different devices has been assessed in various studies and methods. Other than occlusal paper or direct inspection, digital scanning of perforations and thinner print-taking materials have often been used, with Blu-mousse™ silicone or certain high-fluidity polyethers [6,13,19]. The old method of photo-occlusion, the more recent techniques using the Prescale Dental system (consisting of pressure-sensitive sheets that must be passed through a scanner for interpretation) and T-scan III have all been used, respectively, in a single study [6,11,16].

Influence of retention type

In the above-cited studies, no significant gain could be attributed to positioners in relation to the Hawley retainer [10,19], and little additional gain was achieved by the active, "gnathologic" positioners studied by Durbin [6]. At the same time, Baçiftçi et al. [14] revealed no difference between Hawley retainers and Jenson appliances at 12 months. Sauget [8], on the other hand, was able to show that Hawley retainers allow vertical movement of the back teeth, while occlusal splints permitted no modification to occlusion, regardless of arch segment.

The study by Sari et al. [13] compared Hawley appliances and bonded retainers (similar to those used in our study) with a control group. It established that the number of contacts increased along the entire arch for both groups tested and that

La corrélation entre les valeurs de surface et de force était par ailleurs attendue, signifiant que la marque est plus importante avec l'augmentation de la force occlusale exercée. Le caractère non linéaire de cette relation, impliquant que surface et force n'augmentent pas dans les mêmes proportions, pourrait simplement illustrer la dépressibilité desmodontale, de l'ordre du dixième de millimètre sur un parodonte sain, qui pourrait avoir été augmentée à l'issue du traitement ODF [29].

Occlusion post-thérapeutique

La mise en place fonctionnelle de l'occlusion, ou « settling », s'assimile au processus d'éruption physiologique et à un phénomène d'adaptation, une fois les organes dentaires libérés des contraintes délivrées par l'appareil. Elle doit s'intégrer à la fois dans la finition du cas dont elle permet de parfaire les contacts et dans le processus de contention.

L'étude expérimentale de Lyotard [18] a été la première à évaluer quantitativement l'effet d'une absence totale de contention à court terme chez un groupe d'adolescents suivant un traitement multiattache. Elle a pu montrer une amélioration de l'inclinaison vestibulo-linguale et du nivellement des crêtes marginales, alors que le surplomb et l'index d'irrégularité avaient plutôt tendance à l'aggravation.

L'absence de contention ne peut pas être recommandée, surtout chez le patient adulte, mais sa nature peut potentiellement influencer l'occlusion. L'influence de différents dispositifs a été évaluée dans différents travaux et différentes méthodes. Outre le papier occlusal ou l'inspection directe, la numérisation scanner des perforations et amincissements de matériaux d'empreintes a souvent été utilisée, avec le silicone Blu-mousse™ ou certains polyéthers de grande fluidité [6,13,19]. L'ancienne méthode de photo-occlusion, et les plus récentes techniques utilisant le Prescale Dental system, (consistant en des feuilles sensibles à la pression nécessitant le passage par un scanner pour être interprétées) et le T-scan III ont été utilisées chacune respectivement dans une seule étude [6,11,16].

Influence du type de contention

Dans les travaux précités, aucun gain significatif n'a pu être attribué aux positionneurs par rapport à la plaque de Hawley [10,19], peu de gain additionnel étant apporté par les positionneurs actifs dits gnathologiques, étudiés par Durbin [6]. Parallèlement, Baçiftçi et al. [14] ne mettaient pas en évidence de différences entre les plaques de Hawley et de Jenson à 12 mois. Sauget [8] a, en revanche, pu montrer que la plaque de Hawley autorisait des mouvements verticaux des dents postérieures alors que les gouttières occlusales ne permettaient aucune modification de l'occlusion, quelle que soit la portion d'arcade.

L'étude de Sari et al. [13] a comparé la plaque de Hawley et une contention collée (similaire à celle utilisée dans notre étude) avec un groupe témoin. Elle a pu établir que le nombre de contacts augmentait sur toute l'arcade pour les deux

posterior premolar–molar contacts increased significantly more in the group with bonded retainers.

Contact asymmetry

No previous study has highlighted asymmetry in contact distribution, even those using technology such as the Prescale Dental System [11] or T-scan III [16,23–25].

Sultana et al. used this method to study 20 patients with a mean age of 21 after vestibular edgewise treatment involving bicuspid extraction. They were able to show that contact surface and force increased in the molar region, especially at the second molars (this technique anticipates their disocclusion during treatment), while the front teeth and bicuspids experienced no noteworthy modifications [11].

A Chinese team composed of An et al. [16], using T-scan III after dentofacial orthopedic treatment in 14 adolescents compared to a control group with normal occlusion, found no differences in contact surface on the back teeth. They did, on the other hand, find a more mesial center of force in the treated group, implying stronger front contacts.

Several hypotheses can then be advanced to explain the asymmetric character found reproducibly in certain cases in our study. It could be an issue specific to our lingual technique, the more advanced age of our subjects, or the particular character of the cases chosen, who had undergone surgical-orthodontic treatment.

In support of this latter possibility, modifications to bite force, occlusal contact surface and masticatory efficacy have been shown in patients after maxillofacial surgery [30]. An interval of 5 years was sometimes necessary before masticatory functions returned to normal. In patients having undergone simple orthodontic treatment, the increase in number of contacts continued beyond a period of 3 months, with 56% improvement at 12 months, and sometimes extended to 21 months (Gazit et al. [5], Radolsky [7]). Bauer [19] reached the conclusion that a 6-month interval must be respected before proposing occlusal equilibration, even though the most significant occlusal alterations take place primarily in the first 2 months.

We cannot exclude the influence of facial type [31], as illustrated in the clinical cases presented. The patient with initial hypodivergence seemed to present clean contacts, which appeared to improve spontaneously with time along the entire arch, compared with the hyperdivergent patient, who had weaker contacts that did not improve on the anterior teeth. We could thus recommend functional electromyographic analysis to complement these occlusion recordings [32–34].

groupes testés, et que les contacts postérieurs prémolaires augmentaient significativement plus dans le groupe à contention collée.

Asymétrie des contacts

Aucune étude précédente n'avait mis en évidence d'asymétrie dans la distribution des contacts, même celles utilisant la technologie du Prescale Dental System [11] ou du système T-scan III [16,23–25].

Sultana et al. ont ainsi étudié 20 patientes d'âge moyen 21 ans, après traitement *edgewise* vestibulaire ayant impliqué des extractions de prémolaires. Ils ont pu montrer que la surface et la force des contacts augmentaient dans la région des molaires, surtout au niveau des deuxième molaires (la technique prévoyant leur désocclusion pendant le traitement) alors que les dents antérieures et les prémolaires ne connaissaient pas de modifications notables [11].

L'équipe chinoise de An et al. [16] utilisant le T-scan III après traitement ODF chez 14 adolescents comparés à un groupe témoin à l'occlusion normale, n'a pas retrouvé de différences de surface de contact sur les dents postérieures. Ils ont en revanche trouvé un centre de force plus mésial dans le groupe traité, impliquant des contacts antérieurs plus forts.

Différentes hypothèses se dégagent alors pour expliquer le caractère asymétrique, retrouvé de façon reproductible, sur certains cas de notre étude. Il pourrait s'agir d'une spécificité due à la technique linguale, à l'âge plus avancé des sujets ou aux caractères particuliers des cas choisis, ayant bénéficié notamment de traitements orthodontico-chirurgicaux.

Pour aller dans ce dernier sens, une modification de la force de morsure, de la surface de contact occlusale et de l'efficacité masticatoire a été montrée chez les patients après chirurgie maxillofaciale [30] ; un intervalle de cinq ans était parfois nécessaire pour voir se normaliser les fonctions masticatrices. Chez les patients ayant bénéficié d'un traitement orthodontique simple, l'augmentation du nombre de contacts s'étendait au-delà d'une période de trois mois, s'améliorant de 56 % à 12 mois, mais pouvant s'étendre jusqu'à 21 mois [5,7]. Bauer [19] est arrivé à la conclusion qu'il fallait respecter un intervalle de six mois avant de proposer une equilibration occlusale, même si les plus importantes modifications de l'occlusion intervenaient majoritairement dans les deux premiers mois.

On ne peut exclure une influence du type facial [31] comme l'illustrent les cas cliniques présentés. La patiente avec une hypodivergence initiale semble présenter des contacts francs, paraissant s'améliorer spontanément avec le temps sur toute l'arcade en comparaison de la patiente hyperdivergente aux contacts plus faibles et ne s'améliorant pas sur les dents antérieures. On pourrait ainsi recommander une évaluation fonctionnelle, électromyographique, en complément de ces enregistrements d'occlusion [32–34].

Maximum intercuspation and functional occlusion

The principle of mutually protective occlusion involves light contacts on the incisors in maximum intercuspation (0.0005" infraclusion according to Roth [4]) and stronger contacts on the back sectors, which support heavy loads along their long axis. Only during anterior and lateral excursion movements do incisors and canines support loads, generating posterior dis-occlusion. Weak contacts in the anterior portion of the arch are not a sign of bad occlusal finishing and are found in T-scan recordings from untreated subjects, lateral incisor marking being sometimes difficult to obtain in intercuspation [23].

Andrews [2] has postulated that excellent results in static occlusion have a good chance of leading to balanced functional occlusion (lateral excursion and protrusion movements), except in cases of major sagittal divergence or tooth-size discrepancy.

Nevertheless, it seems this is not always the case, even in adolescents, as shown in certain publications [35] and found in a recent study after 24 months' retention in adolescents (clinical study by Morton and Panchez [15]). The authors were able to establish that at debanding, nearly half of their subjects (44.3%) presented unsatisfactory functional occlusion, representing 34.7% of subjects after 2 years' retention: interference in protrusion, lateral excursion or a discrepancy of over 2 mm between maximum intercuspation and centric relation. Occlusion remained comparable to that observed at removal in 72.3% of cases, improving in only about 20% of patients and worsening in under 10% during the observation period.

T-scan III functional assessment in propulsion, lateral excursion and centric relation could thus form the subject of a future prospective research protocol.

Conclusion

We have been able to show modifications to static occlusion in the post-orthodontic retention phase (lingual technique), with a general trend towards balancing of right/left contacts but also, in certain cases, with sustained uneven or clearly asymmetric distribution.

The clinical significance of this discovery remains to be evaluated since the prior existence of functional asymmetry was not investigated before orthodontic treatment was initiated. It could, however, indicate a need for occlusal balancing or signal a lingual dysfunction interfering with physiological tooth extrusion. Finally, unbalanced occlusion would appear to be all the more prone to relapse [36] as it appears to result from inadequately detected muscular or articular factors.

Intercuspidie maximale et occlusion fonctionnelle

Le principe de l'occlusion de protection mutuelle implique des contacts légers sur les incisives en occlusion d'intercuspidie maximale (infraclusion de 0,0005 inch selon Roth [4]) et importants sur les secteurs postérieurs qui supportent des charges lourdes selon leur grand axe. Ce n'est que lors des mouvements d'excursions antérieure et latérale que les incisives et les canines supportent les charges, générant une désocclusion postérieure. Des contacts faibles dans la portion antérieure de l'arcade ne sont pas le signe d'une mauvaise finition occlusale et sont retrouvés dans les enregistrements T scan de sujets non traités, le marquage des incisives latérales étant parfois difficile à obtenir en intercuspidie [23].

Andrews [2] a postulé que l'obtention d'excellents résultats en occlusion statique a de grandes chances d'aboutir à une occlusion fonctionnelle équilibrée (mouvements d'excursion latérale et de protrusion), en dehors des cas de décalages sagittaux majeurs ou de dysharmonie dento-dentaire.

Cependant, il semblerait que ce ne soit pas toujours le cas, même chez l'adolescent, comme il est montré dans certaines publications [35] et retrouvé dans une étude récente après 24 mois de contention chez l'adolescent (étude clinique de Morton et Panchez [15]). Les auteurs ont pu établir qu'au moment du débandage, presque la moitié des sujets (44,3 %) présentaient une occlusion fonctionnelle non satisfaisante, pour représenter 34,7 % des sujets à l'issue de deux ans de contention : interférences en protrusion, latéralité, ou un décalage entre l'occlusion d'intercuspidie maximale et l'occlusion de relation centrée de plus de 2 mm. L'occlusion restait comparable à celle observée à la dépose, chez 72,3 % des sujets pour ne s'améliorer que chez environ 20 % des patients et s'aggraver chez moins de 10 % d'entre eux pendant la période d'observation.

L'évaluation fonctionnelle du système T-scan III en propulsion, latéralité et relation centrée pourrait ainsi faire l'objet d'un protocole de recherche prospective ultérieur.

Conclusion

Nous avons pu montrer des modifications de l'occlusion statique dans la période de contention post-orthodontique en technique linguale, avec une tendance générale à l'équilibrage des contacts droite/gauche mais avec, dans certains cas, le maintien d'une distribution inhomogène, voire clairement asymétrique.

La signification clinique de cette découverte reste à évaluer, car l'existence préalable d'une asymétrie fonctionnelle n'avait pas été recherchée avant l'initiation du traitement orthodontique. Elle pourrait cependant poser l'indication d'une équilibrage occlusale ou signaler une dysfonction linguale interférant sur l'égression dentaire physiologique. Enfin, une occlusion non équilibrée serait d'autant plus favorable à la récidive [36] qu'elle résulterait de facteurs musculaires ou articulaires insuffisamment mis en évidence.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest concerning this article.

Acknowledgements

We would like to thank Doctor Robert Kerstein for training in the clinical use of T-scan III, as well as Mr Christophe Vangvichit of Mescan (France) for his precious help in recovering surface data from recordings.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Remerciements

Nous remercions le docteur Robert Kerstein pour son enseignement de l'utilisation clinique du T-scan III, ainsi que Monsieur Christophe Vangvichit de la société Mescan (France) pour son aide précieuse dans la récupération des données surfaciques à partir des enregistrements.

References/Références

1. Angle EH. Some studies in occlusion. *Angle Orthod* 1968;38(1):79-81.
2. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod* 1972;62(3):296-309.
3. Ricketts RM. Occlusion—the medium of dentistry. *J Prosthet Dent* 1969;21(1):39-60.
4. Roth RH. Anatomical and functional occlusion. *Bull Pac Coast Soc Orthod* 1970;45(4):48-53.
5. Gazit E, Lieberman MA. Occlusal contacts following orthodontic treatment measured by photocclusion technique. *Angle Orthod* 1985;55(4):316-20.
6. Durbin DS, Sadowsky C. Changes in tooth contacts following orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1986;90(5):375-82.
7. Razdolsky Y, Sadowsky C, BeGole EA. Occlusal contacts following orthodontic treatment: a follow-up study. *Angle Orthod* 1989;59(3):181-5 [discussion 186].
8. Sauget E, Covell Jr. DA, Boero RP, Lieber WS. Comparison of occlusal contacts with use of Hawley and clear overlay retainers. *Angle Orthod* 1997;67(3):223-30.
9. Sullivan B, Freer TJ, Vautin D, Basford KE. Occlusal contacts: comparison of orthodontic patients, post-treatment patients, and untreated controls. *J Prosthet Dent* 1991;65(2):232-7.
10. Haydar B, Ciğer S, Saatçi P. Occlusal contact changes after the active phase of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;102(1):22-8.
11. Sultana MH, Yamada K, Hanada K. Changes in occlusal force and occlusal contact area after active orthodontic treatment: a pilot study using pressure-sensitive sheets. *J Oral Rehabil* 2002;29(5):484-91.
12. Dinçer M, Meral O, Tümer N. The investigation of occlusal contacts during the retention period. *Angle Orthod* 2003;73(6):640-6.
13. Sari Z, Uysal T, Baçiftçi FA, Inan O. Occlusal contact changes with removable and bonded retainers in a 1-year retention period. *Angle Orthod* 2009;79(5):867-72.
14. Baçiftçi FA, Uysal T, Sari Z, Inan O. Occlusal contacts with different retention procedures in 1-year follow-up period. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131(3):357-62.
15. Morton S, Pancherz H. Changes in functional occlusion during the postorthodontic retention period: a prospective longitudinal clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135(3):310-5.
16. An WW, Wang BK, Bai YX. Occlusal contacts in intercuspal position after orthodontic treatment. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 2009;44(12):735-8.
17. Dinçer M, Isik Aslan B. Effects of thermoplastic retainers on occlusal contacts. *Eur J Orthod* 2010;32(1):6-10 [Epub 2009 Sep 2].
18. Lyotard N, Hans M, Nelson S, Valiathan M. Short-term postorthodontic changes in the absence of retention. *Angle Orthod* 2010;80(6):1045-50.

19. Bauer EM, Behrents R, Oliver DR, Buschang PH. Posterior occlusion changes with a Hawley vs Perfector and Hawley retainer. A follow-up study. *Angle Orthod* 2010;80(5):853–60.
20. Carey JP, Craig M, Kerstein RB, Radke J. Determining a relationship between applied occlusal load and articulating paper mark area. *Open Dent J* 2007;1:1-7 [Epub 2007 Jul 23].
21. Kerstein RB. Articulating paper mark misconceptions and computerized occlusal analysis technology. *Dent Implantol Update* 2008;19(6):41–6.
22. Kerstein RB, Lowe M, Harty M, Radke J. A force reproduction analysis of two recording sensors of a computerized occlusal analysis system. *Cranio* 2006;24(1):15-24.
23. Koos B, Godt A, Schille C, Göz G. Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch. *J Orofac Orthop* 2010;71(6):403–10 [Epub 2010 Nov 17].
24. Throckmorton GS, Rasmussen J, Caloss R. Calibration of T-Scan sensors for recording bite forces in denture patients. *J Oral Rehabil* 2009;36(9):636–43 [Epub 2009 Jul 7].
25. Stern K, Korda B. Comparison of the Greifswald Digital Analyzing System with the Tscan III with respect to the clinical reproducibility for displaying occlusal contacts. *J Craniomandib Func* 2010;2:107–19.
26. Wiechmann D, Rummel V, Thalheim A, Simon JS, Wiechmann L. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124(5):593–9.
27. Orthlieb JD, Shittly J, Brocard D, Maniere-Ezvan A. *Occlusodontie pratique*. Éditions CDP, Paris 2000.
28. LeGall MG, Lauret JF. *Occlusion et fonction : une approche clinique rationnelle*. Éditions CDP, Paris 2004.
29. Natali AN, Pavan PG, Scarpa C. Numerical analysis of tooth mobility: formulation of a non-linear constitutive law for the periodontal ligament. *Dent Mater* 2004;20(7):623–9.
30. Iwase M, Ohashi M, Tachibana H, Toyoshima T, Nagumo M. Bite force, occlusal contact area and masticatory efficiency before and after orthognathic surgical correction of mandibular prognathism. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006;35(12):1102–7.
31. Gomes SG, Custodio W, Jufer JS, Del Bel CA, Garcia RC. Mastication, EMG activity and occlusal contact area in subjects with different facial types. *Cranio* 2010;28(4):274–9.
32. Mobilio N, Catapano S. Effect of experimental jaw muscle pain on occlusal contacts. *J Oral Rehabil* 2011;38(6):404–9 [doi:10.1111/j.1365-2842.2010.02173.x. Epub 2010 Nov 5].
33. Kerstein RB. Combining technologies: a computerized occlusal analysis system synchronized with a computerized electromyography system. *Cranio* 2004;22(2):96-109.
34. Mahony D. Refining occlusion with muscle balance to enhance long-term orthodontic stability. *Gen Dent* 2005;53(2):111–5 [Review].
35. King G. Settling of the occlusion following orthodontic treatment may not improve functional occlusion. *J Evid Based Dent Pract* 2010;10(2):99-100.
36. de Freitas KM, Janson G, de Freitas MR, Pinzan A, Henriques JF, Pinzan-Vercelino CR. Influence of the quality of the finished occlusion on postretention occlusal relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(4):428.e9-428.e14.