

Apport des outils numériques dans l'analyse de l'occlusion

Mohamed Ben Yaala 1,2,3, Amel Labidi 1,2,3, Yosra Mabrouk 1,2,3, Ines Saadellaoui 1,2,3, Sana Bekri 1,2,3, Lamia Mansour 1,2,3

1-Département de Prothèse, Faculté de Médecine Dentaire, Université de Monastir

2- Service de Prothèse Partielle Amovible, Clinique de Médecine Dentaire de Monastir

3- Laboratoire de recherche Approche Biologique & Clinique Dento-Faciale (LR12ES10), université de Monastir

Auteur correspondant :

Dr Mohamed Ben Yaala

E-mail : mohamedbenyaala0@gmail.com



Résumé

L'analyse de l'occlusion est une étape indispensable dans le diagnostic et la prise en charge des patients. Les méthodes conventionnelles, telles que le papier articulé reste largement utilisé mais présentent des limites. L'évolution des technologies numériques offrent des systèmes d'analyse occlusale et donnent une approche plus précise. Les scanners intra-oraux et les systèmes à capteurs, tels que OccluSense® et MODJAW®, permettent une visualisation des contacts, une quantification des forces occlusales et, pour certains dispositifs, une analyse cinématique des mouvements mandibulaires. Ces outils facilitent l'archivage, la traçabilité et l'amélioration de la qualité de prise en charge. Ces systèmes numériques constituent aujourd'hui un outil plus pertinent aux méthodes traditionnelles et participent à une amélioration de la précision diagnostique et d'une thérapeutique fonctionnelle.

MOTS CLÉS : contact occlusal, digital, Modjow, Occlusence, précision

Introduction

L'occlusion joue un rôle indispensable dans l'équilibre et le bon fonctionnement de l'appareil manducateur, en assurant une répartition harmonieuse des forces et une coordination optimale du système neuro-musculo-articulaire.

Lorsque cet équilibre est rompu, par un contact prématuré ou une interférence, des dégâts sont établies : une instabilité prothétique, des usures dentaires, l'apparition des douleurs au niveau de l'articulation temporo-mandibulaire (1).

Les études épidémiologiques montrent une prévalence non négligeable des dysfonctions occlusales, estimée à 34 % des troubles temporo-mandibulaires (TMD) (2,3).

Ces données constituent un enjeu de santé publique et justifient l'investissement dans des méthodes d'analyse des contacts occlusaux et l'utilisation d'outils diagnostiques objectifs et reproductibles pour les caractériser.

En effet, l'outil conventionnel pour cette analyse reste le papier articulé, utilisé depuis les années 1950. Il demeure un moyen pour localiser les points de contact, mais il ne permet pas de quantifier l'intensité des forces et son interprétation présente une variabilité inter-opérateur importante (4).

Actuellement, des innovations technologiques permettent de contourner les limites des moyens conventionnels d'analyse de l'occlusion.

Dans cet article, nous illustrer à travers deux cas cliniques l'apport des ces outils numériques dans l'analyse des contacts occlusaux.

Présentation des cas :

Le premier cas clinique :

Un patient se présente à la consultation de l'unité de réhabilitation orale à l'hôpital la Timone de Marseille avec une gêne au niveau d'une nouvelle restauration en résine composite, persistant malgré un ajustement occlusal réalisé à l'aide d'un papier articulé (fig.1).



Figure 1: Vue intra orale après marquage des contacts occlusaux

La vérification l'occlusion statique a été analysé à l'aide d'un outil numérique : l'«OccluSense» (fig. 2).



Figure 2: Système OccluSense® + Interface Application (5)

Avant l'enregistrement, le patient est installé en position de travail, tête droite et mandibule en posture de fermeture habituelle. La première étape était d'enregistrer le patient dans la base de données du dispositif afin d'assurer un suivi personnalisé des mesures. Cette étape permet également de comparer ultérieurement les enregistrements réalisés au cours des différents ajustements.

Avant de procéder à la mesure, la sensibilité du capteur est calibrée en fonction de l'intensité de morsure du patient. Le praticien demande au patient d'effectuer un serrage d'essai afin d'affiner le paramétrage.

Le capteur à usage unique est positionné entre les arcades, en veillant à son centrage et à sa stabilité. Le patient est ensuite invité à fermer en occlusion maximale habituelle en conservant un serrage ferme et continu pendant quelques secondes. L'enregistrement est simultanément capté sous forme de données dynamiques et transféré à la tablette via connexion Wi-Fi.

Une fois l'enregistrement réalisé, l'OccluSense® génère une représentation en couleurs reflétant l'intensité et la répartition des forces occlusales. Chaque couleur correspond à une plage de pression, tandis que le pourcentage affiché quantifie la force relative exercée sur chaque secteur dentaire. Dans ce cas précis, l'analyse immédiate a montré une zone de surcharge marquée en regard de la dent 46, identifiable par une coloration intense et une valeur de charge nettement supérieure à celle des autres dents postérieures (fig.3). Cette visualisation numérique a permis de confirmer que le contact incriminé persistait malgré l'ajustement réalisé au papier articulé, justifiant ainsi la nécessité d'un nouvel affinement occlusal ciblé.

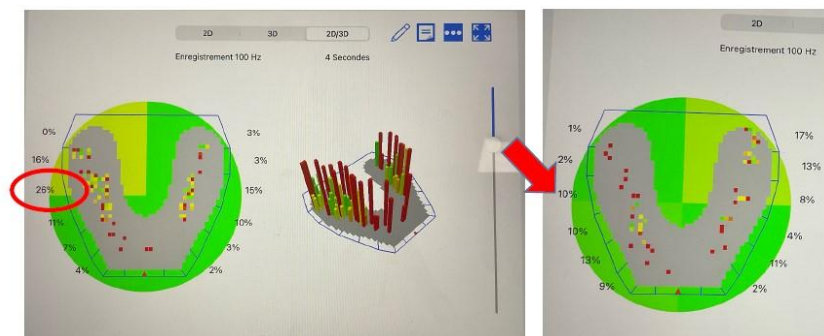


Figure 3: Sur occlusion affichée sur l'écran

Le deuxième cas clinique :

Un patient consulte l'unité de réhabilitation orale à l'hôpital la Timone de Marseille pour l'apparition récente d'un bruxisme nocturne accompagné de crispations musculaires matinales. Il décrit une sensation de fatigue mandibulaire au réveil et une gêne intermittente lors de la fonction. L'examen clinique révèle une texture en bois lors de la palpation musculaire, notamment au niveau des masséters, ainsi que des signes d'usures dentaires associés. La réalisation d'un enregistrement dynamique de l'occlusion à l'aide du Modjaw® a été indiqué afin d'objectiver les contacts, d'évaluer la cinématique mandibulaire et d'orienter la prise en charge (fig. 4).



Figure 4: Système MODJAW® (6)

La séance débute par la numérisation des deux arcades dentaires à l'aide d'une caméra intraorale. Les empreintes numériques sont enregistrées avec précision et permettent la création d'un modèle 3D fidèle de la denture du patient. L'occlusion statique en Position d'Intercuspitation Maximale (PIM) est ensuite scannée.

Avant l'enregistrement, le patient est installé en position assise stable, dos droit et regard horizontal, afin de reproduire une posture physiologique de référence. La mise en place du système Modjaw® débute par le positionnement du bandeau frontal, support principal du capteur de suivi mandibulaire. Celui-ci est ajusté au niveau du front de manière symétrique. Le praticien vérifie ensuite l'alignement du marqueur frontal avec le plan sagittal du patient, élément essentiel pour garantir la précision de la reconstruction mandibulaire (fig.5).



Figure 5: Installation du patient (6)

Une fois le bandeau correctement stable, la résine auto polymérisable spécifique est préparée pour la fixation du capteur intra-oral mandibulaire. Le patient ouvre la bouche et une petite plaque support est positionnée contre les dents mandibulaires antérieures. Le logiciel Modjaw® affiche alors un signal indiquant que la connexion entre le capteur mandibulaire et le marqueur frontal est active.

Un calibrage permet au logiciel d'aligner virtuellement la mandibule mobile sur les modèles numériques précédemment enregistrés. Une fois ces étapes validées, la séance d'enregistrement dynamique peut débuter, garantissant une restitution fidèle des trajectoires mandibulaires.

Afin de déterminer la position mandibulaire de référence, un enregistrement de la Relation Centrée (RC) est réalisé. Le patient est invité à effectuer de légers mouvements d'ouverture et de fermeture guidés, jusqu'à obtenir une position condylienne stable et reproductible. Cette capture constitue la base d'analyse de l'articulation et des trajectoires. Une analyse des contacts occlusaux est ensuite effectuée, aussi bien en PIM qu'en RC. Le logiciel visualise les points de contact et met en évidence d'éventuelles prématurités susceptibles d'être responsables des symptômes. Les zones de contact précoce sont observées en temps réel, ce qui permet d'évaluer leur influence sur la stabilité mandibulaire et les trajectoires fonctionnelles (fig. 6).

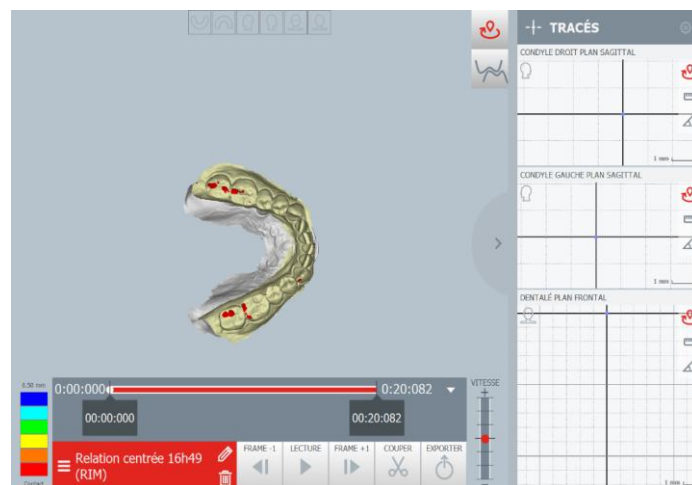


Figure 6: Enregistrement des positions de références mandibulaires

Le patient est invité à réaliser différents mouvements mandibulaires : propulsion, latéralités, ouverture et fermeture. Ces séquences sont enregistrées par le Modjaw® qui reconstruit en trois dimensions les trajectoires condyliennes. (fig.7)

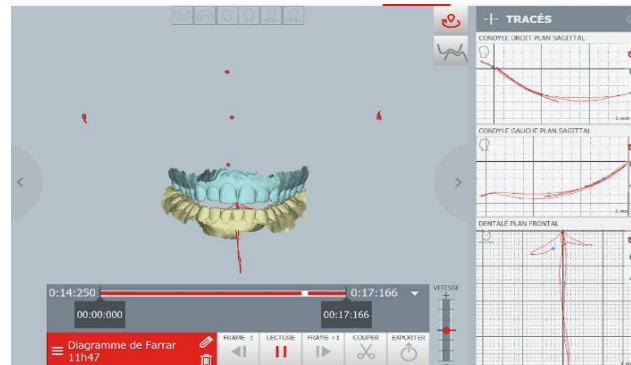


Figure 7: Enregistrement de la cinématique mandibulaire

La synthèse des données statiques et dynamiques permet de mettre en évidence le diagnostic d'une dysfonction occlusale musculaire et un bruxisme nocturne récent. Ces résultats orientent la prise en charge vers une thérapie cognitivo-comportementale et une gouttière occlusale nocturne.

Le design de la gouttière est établi sur un logiciel de conception et à partir des empreintes numériques déjà acquises, garantissant une adaptation précise et une équilibration occlusale optimale. Une fois le modèle numérique validé, la gouttière est imprimée en résine biocompatible à l'aide d'une imprimante 3D de haute précision (fig. 8).



Figure 8: Gouttière occlusale imprimée et équilibrée par les paramètres d'occlusion enregistrées par le MODJAW®

Discussion :

Au fil du temps les outils d'analyse de l'occlusion ont suivi une évolution technologique et un élargissement des domaines d'application Clinique. (fig.9)

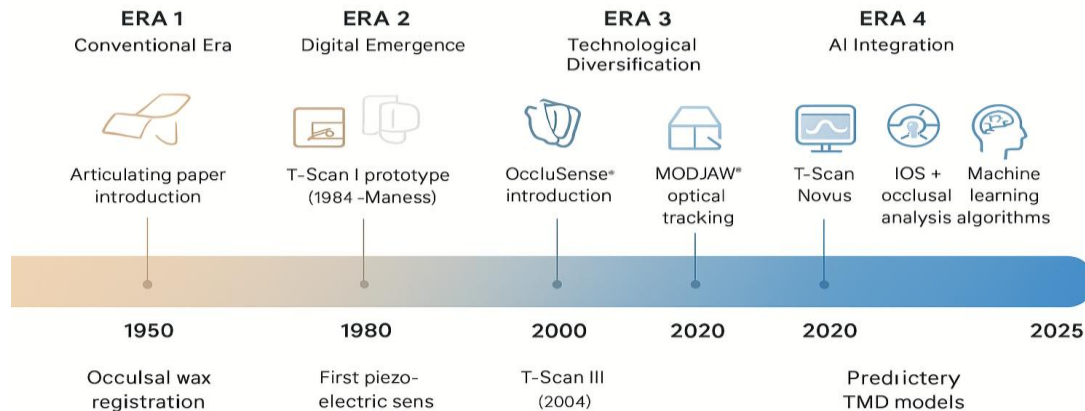


Figure 9 : Évolution des Technologies d 'analyse des s contacts de l'occlusion

Millstein P. (2021) a confirmé que l'indicateur occlusal le plus fréquemment utilisé dans la pratique dentaire était le papier à articuler ($52,45 \pm 2,95 \%$), suivi de la feuille d'occlusion ($26,22 \pm 2,95 \%$) et de la soie d'articulation ($16,78 \pm 2,21 \%$). Ces dispositifs mécaniques, ne permettant pas de quantifier et stocker les informations, restaient des outils subjectifs. La fiabilité du papier d'occlusion est souvent contestée, car cet indicateur pourrait produire des résultats faussement positifs ou ne pas enregistrer de contacts occlusaux (7).

En effet, par comparaison d'enregistrements consécutifs, une étude a montré qu'il existe une différence significative dans le nombre de contacts occlusaux enregistrés avec du papier à articuler (8). Le comportement de chaque ruban d'occlusion varie en fonction des caractéristiques du support (papier, soie, film synthétique) et du colorant (taux d'encre variable) libéré par la pression. Cela influe sur le marquage des contacts et le diagnostic qui en découle (9). Lors de l'analyse de l'occlusion statique, l'épaisseur du papier articulé pourrait être à l'origine d'un léger décalage de l'Occlusion d'Intercuspidie Maximale (OIM), induisant un mauvais marquage des contacts (2, 3). En effet, l'épaisseur minimale détectable entre deux dents varie entre 8 et 60 μm en occlusion statique. Ce seuil augmente durant la mastication pour atteindre 100 à 200 μm (5, 10).

L'étude de Seth-Johansen et Gotfredsen (2025), comparant les performances des scanners intra-oraux et des systèmes à capteurs (T-Scan, OccluSense®), a révélé haute fiabilité de localisation des contacts occlusaux pour les scanners intra-oraux et systèmes à capteurs. Cependant, les auteurs recommandent une utilisation complémentaire aux méthodes traditionnelles, en attendant des protocoles de calibration standardisés. L'OccluSense® constitue une alternative économique avec une reproductibilité variable (11).

L'étude comparative de Cao et al. (2023) à propos de la précision du système T-Scan et le scanner intra-oral CEREC Omnicam, en utilisant du papier articulé fin (8 μm) comme référence, a révélé les résultats suivants :

— Le CEREC Omnicam a démontré une précision supérieure au T-Scan, avec un taux de recouvrement des zones de contact significativement plus élevé par rapport au papier articulé.

— Le T-Scan a affiché une bonne reproductibilité dans les régions prémolaires et molaires, mais une faible reproductibilité dans la région antérieure, notamment lorsque les capteurs étaient réutilisés.

— La précision du T-Scan s'est avérée significativement plus faible pour les dents antérieures que pour les secteurs postérieurs.

Le scanner intra-oral (CEREC Omnicam) s'est avéré plus précis que le système T-Scan pour la localisation et la quantification des contacts occlusaux en position d'intercuspidation maximale (13). De plus, une étude indépendante a montré que l'épaisseur du papier articulé (12 µm, 40 µm, 100 µm) influence la surface imprimée sans refléter fidèlement l'intensité de la force occlusive : l'épaisseur plus grande entraînait un marquage plus large, mais pas nécessairement une plus grande force appliquée (14).

Sur le plan archivage, les enregistrements réalisés avec des systèmes numériques permet une traçabilité objective des ajustements occlusaux : l'enregistrement d'un contact anormal avant ajustage et sa modification après intervention constitue un document important en cas de conflit. Ces fichiers numériques issus de l'analyse occlusale numérique peuvent être facilement transférés au laboratoire de prothèse ou aux confrères. Cela améliore la compréhension mutuelle des objectifs de contact occlusal et peut réduire les malentendus liés aux descriptions verbales ou schématiques traditionnelles (15).

Ces études cliniques montrent que l'intégration d'outils numériques comme T-Scan ou OccluSense® améliore la visualisation des contacts et facilite l'équilibration occlusale avant scellement. L'étude clinique de Gözen et Güntekin (2025) a évalué 20 patients porteurs de restaurations unitaires postérieures sur implant. L'analyse occlusale réalisée par OccluSense® et par scanner intra-oral Medit i700 a révélé des différences significatives dans la distribution des forces après la pose des restaurations, mettant en évidence des déséquilibres de force qui pourraient passer inaperçus avec une évaluation conventionnelle. Les auteurs concluent que l'analyse occlusale numérique permet une détection plus précise des déséquilibres de force susceptibles d'affecter les restaurations implantaire (16).

Le choix dépend des objectifs cliniques et du contexte économique : le T-Scan privilégie la précision dynamique dans les cas complexes, tandis que l'OccluSense® offre une solution plus accessible pour le suivi de routine ou les restaurations unitaires.

L'évaluation complète d'un patient présentant une dysfonction temporo-mandibulaire complexe bénéficie idéalement d'une analyse cinématique mandibulaire (par exemple avec MODJAW® ou Cadiax Compact 2) afin de quantifier les trajectoires condyliennes, d'identifier des anomalies articulaires et de mesurer les amplitudes de mouvements. Ainsi, Une analyse des forces occlusales (par exemple avec T-Scan) pour détecter des interférences, quantifier les asymétries de répartition et mesurer le timing des désocclusions (17).

Une autre étude (2025), a impliqué 32 patients et suivi pendant 3 mois, les modifications de la distribution occlusale à l'aide du système T-Scan Novus après port de gouttières imprimées en 3D. Les résultats ont montré que des zones de contact apparemment uniformes ne garantissaient pas une répartition homogène des forces. (18)

Conclusion

L'analyse de l'occlusion demeure un défi clinique complexe, lors de l'examen clinique et lors de réalisation des restaurations prothétiques. La dentisterie numérique a fait appel aux outils informatisés tels que le l'OccluSense®, le MODJAW® qui permettent une analyse occlusale dynamique et quantifiable en temps réel ce qui renforce la pertinence clinique des ajustements occlusaux.

Ces systèmes numériques permettent l'affichage du moment et de l'intensité relative de tous les contacts dentaires, la détection des charges occlusales excessives et des forces d'impact sur les dents et l'enregistrement et l'évaluation de données occlusales dynamiques avec une grande précision.

Cette technologie s'avère un atout précieux tant en pratique clinique qu'en formation dentaire. Elle améliore la capacité du clinicien à diagnostiquer avec précision les déséquilibres occlusaux, à suivre les résultats du traitement et à optimiser la prise en charge du patient grâce à des décisions fondées sur les données.

RÉFÉRENCES

1. **Abduo J, Tennant M.** Impact of lateral occlusion schemes : a systematic review. J Prosthet Dent. 2015 ; 114(2) :193–204
2. **Al Hendi KD, Alyami MH, Alkahtany M, Dwivedi A, Alsaqour HG.** Artificial intelligence in prosthodontics. Bioinformation. 2024 ; 20(3) :238–42.
3. **Al-Nimri KS, Bataineh AB, Abo-Farha S.** Functional occlusal patterns and their relationship to static occlusion. Angle Orthod. 2010 ; 80(1) :65–71.
4. **Beninati CJ, Katona TR.** The combined effects of saliva and occlusal indicators on occlusal contact forces. J Oral Rehabil. 2019 ; 46(5) :468–74.
5. **Bausch GmbH & Co. KG.** OccluSense® – Digital Occlusal Analysis System: User Manual and Clinical Applications. Cologne (Germany): Bausch; 2019.
6. **Modjaw SAS.** MODJAW® – 4D Digital Jaw Motion Tracking System: Technical Description and Clinical Applications. Villeurbanne (France): Modjaw SAS; 2020.
7. **Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D, Dimitrova M, Rimalovska S.** Occlusal Indicators Used in Dental Practice: A Survey Study. Biomed Research International. 2021
8. **Gözen M, Güntekin N.** Comparison of occlusal force distribution and digital occlusal analysis methods of single posterior implant restorations : an in vivo study. BMC Oral Health. 2025 ; 25:795.
9. **Duminil G.** Contrôle de l'occlusion avec de nouvelles technologies. Rev Odont Stomat 2017 ; 46 :197-210.
10. **Bapelle M, Dubromez J, Savoldelli C, Tillier Y, Ehrmann E.** Modjaw® device : analysis of mandibular kinematics recorded for a group of asymptomatic subjects. Cranio. 2024 ; 42(5) :483–9.

11. **Seth-Johansen C, Gotfredsen K.** Validity and reliability of digital occlusal analyzing methods in Dentistry: A systematic review. *J Dent.* 2025;163:106124.
13. **Cao R, Lin J, Xu H, Liu W.** Evaluation of the accuracy of T-Scan system and CEREC Omnicam system used in occlusal contact assessment. *Heliyon.* 2023
14. **Manziuc MM, Dîrzu A, Almășan O, et al.** Cadiax Compact 2 and MODJAW comparative analysis of condylar inclination : innovative digital approaches in dentistry. *J Prosthet Dent.* 2025 ; 133(2) :482–488.
15. **Risciotti E, Squadrito N, Montanari D, Iannello G, Macca U, Tallarico M, et al.** Digital protocol to record occlusal analysis in prosthodontics: a pilot study. *J Clin Med.* 2024;13(5):1370.
16. **Talmaceanu D, Bolog N, Leucuta D, Tig IA, Buduru S.** Diagnostic use of computerized axiography in TMJ disc displacements. *Exp Ther Med.* 2022 ; 23(3) :213.
17. **Buduru S, Hafidi S, Almășan O, Manziuc M, Tăut M, Nechita VI, et al.** Digital Condylar Parameter Assessment Using Cadiax® 2 and Modjaw®: Reliability of Mandibular Kinematic Recordings. *Dent J (Basel).* 2024;12(11):369.
18. **Kerstein RB, Radke J.** Clinician accuracy when subjectively interpreting articulating paper markings. *Cranio.* 2014 ; 32(1) :13–23.