



**Les outils numériques au service de la pédagogie :
apport du Modjaw® dans l'apprentissage initial de
l'occlusodontologie et de la cinématique mandibulaire à
la faculté de Chirurgie dentaire de Nice**

Julien Dubromez

► **To cite this version:**

Julien Dubromez. Les outils numériques au service de la pédagogie: apport du Modjaw® dans l'apprentissage initial de l'occlusodontologie et de la cinématique mandibulaire à la faculté de Chirurgie dentaire de Nice. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-02898208

HAL Id: dumas-02898208

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02898208>

Submitted on 13 Jul 2020

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

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

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE
5, rue du 22^{ème} BCA, 06357 Nice Cedex 04

**LES OUTILS NUMERIQUES AU SERVICE DE LA
PEDAGOGIE : APPORT DU MODJAW® DANS
L'APPRENTISSAGE INITIAL DE
L'OCCLUSODONTOLOGIE ET DE LA
CINEMATIQUE MANDIBULAIRE A LA FACULTE DE
CHIRURGIE DENTAIRE DE NICE**

Année 2020

Thèse n°42-57-20-06

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant
la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice
Le vendredi 31 Janvier 2020 par

Monsieur Julien DUBROMEZ

Né le 11 Octobre 1990 à Draguignan
Pour obtenir le grade de :

**DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE
(Diplôme d'État)**

Examineurs :

Madame le Professeur
Monsieur le Professeur
Madame le Docteur
Monsieur le Docteur

Laurence LUPI
Marc BOLLA
Elodie EHRMANN
Olivier LAPLANCHE

Présidente du Jury
Assesseur
Assesseur
Assesseur

CORPS ENSEIGNANT

56^{ème} section : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur des Universités : Mme MANIERE-EZVAN Armelle
 Professeur des Universités : Mme MULLER-BOLLA Michèle
 Maître de Conférences des Universités : Mme JOSEPH Clara
 Maître de Conférences des Universités Associé : Mme OUEISS Arlette
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme AIEM TORT-ALVAREZ Elody
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mr CAMIA Julien
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme MASUCCI Caterina

Sous-section 02 : PREVENTION, EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE, ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités : Mme LUPI Laurence
 Maître de Conférences des Universités Associé : Mme BORSA Leslie
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme FRENDO Marie
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme MERIGO Elisabetta

57^{ème} section : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Sous-section 01 : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Professeur des Universités : Mme PRECHEUR-SABLAYROLLES Isabelle
 Maître de Conférences des Universités : Mr BENHAMOU Yordan
 Maître de Conférences des Universités : Mr COCHAIS Patrice
 Maître de Conférences des Universités : Mme DRIDI Sophie Myriam
 Maître de Conférences des Universités : Mme RAYBAUD Hélène
 Maître de Conférences des Universités : Mme VINCENT-BUGNAS Séverine
 Maître de Conférences des Universités : Mme VOHA Christine
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mr BORIE Gwenaël
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mr CHARBIT Mathieu
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme FISTES Elene-Maria

58^{ème} section : REHABILITATION ORALE

Sous-section 01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur des Universités : Mme BERTRAND Marie-France
 Professeur des Universités : Mr BOLLA Marc
 Professeur des Universités : Mme BRULAT-BOUCHARD Nathalie
 Professeur des Universités : Mme LASSAUZAY Claire
 Professeur des Universités : Mr MAHLER Patrick
 Professeur des Universités : Mr MEDIONI Etienne
 Professeur des Universités Emérite : Mr ROCCA Jean-Paul
 Maître de Conférences des Universités : Mr ALLARD Yves
 Maître de Conférences des Universités : Mr CEINOS Romain
 Maître de Conférences des Universités : Mme EHRMANN Elodie
 Maître de Conférences des Universités : Mr LAPLANCHE Olivier
 Maître de Conférences des Universités : Mr LEFORESTIER Eric
 Maître de Conférences des Universités : Mme POUYSSEGUR-ROUGIER Valérie
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme ABID Sarah
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme AZAN Cindy
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme BECQUART Mathilde
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme DEMARTY Laure
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mme GROSSI Vanina
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mr LAMBERT Gary
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mr LONJON Jean-Baptiste
 Assistant Hospitalier Universitaire : Mr PARNOT Maximilien

REMERCIEMENTS

A Madame le Professeur Laurence Lupi

Docteur en Chirurgie Dentaire

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Directrice de l'UFR d'odontologie de l'université Nice Sophia Antipolis

*Sous-section 56.02 : Développement Croissance et Prévention – Discipline Prévention,
Epidémiologie, Economie de la santé et Odontologie Légale*

Je vous remercie d'avoir accepté avec autant de spontanéité la présidence de ce jury de thèse. Il était impensable de présenter ce travail de pédagogie sans compter sur votre présence, car vous avez permis par l'acquisition du Modjaw au sein de l'UFR d'Odontologie, de voir naître ce beau projet. Vous partagez également le même prénom que ma mère, est-ce un signe ou pas.. néanmoins votre sens du contact humain, et la réassurance que vous apportez autour de vous me rappelle beaucoup de qualités que je retrouve chez elle. C'est sans oublier aussi, la partie la plus importante.. celle de référente pédagogique durant les 3 ans de formation clinique hospitalière. Votre disponibilité, écoute et soutien indéfectible ont réellement été un moteur de motivation. Même dans les moments les plus difficiles, votre sourire et la joie de vivre que vous distillez au quotidien, toujours en faveur des étudiants, permettent de progresser et devenir chaque jour meilleur. Vous êtes une réelle source d'inspiration et un exemple à suivre. Mille merci..

A Monsieur le Professeur Marc Bolla

Docteur en Chirurgie Dentaire

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section 58.01 : Réhabilitation Orale – Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses, Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux.

Je vous remercie chaleureusement d'avoir accepté ma demande pour faire partie de ce jury.

Je suis très heureux et honoré de compter sur votre présence. Nous avons beaucoup travaillé ensemble durant les vacations cliniques, que ce soit aux urgences (où les petites pièces de monnaie étaient de rigueur lorsque nous loupions une radiographie faite sans angulateur... Mais jamais à fonds perdus car servant à financer les déjeuners ou gouters du soir) ou lors de vacations pluridisciplinaires en prothèses.

C'était un réel plaisir de progresser à vos côtés, j'ai toujours apprécié votre rigueur. C'est par choix et par volonté de bénéficier de votre sens clinique qu'il était plaisant d'effectuer les travaux en votre présence.

Enfin, les derniers moments d'échanges et de discussions passés avec vous, en dehors du contexte hospitalier et autour de bons verres de vin resteront de très agréables souvenirs.

Merci pour tout ce que vous m'avez apporté..

A Madame le Docteur Elodie EHRMANN

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section 58.01 : Réhabilitation Orale – Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses, Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux.

Je vous remercie sincèrement de m'avoir accompagné tout au long de ce travail. Et de manière plus large, durant l'ensemble de mon cursus en odontologie. Des premiers travaux pratiques de dessins, jusqu'à la thèse, vous êtes la personne que j'ai le plus côtoyée comme enseignant. Il en aura fallu du temps, des discussions et des mois de travail pour arriver à ce résultat. J'espère que vous serez fière du chemin parcouru, et qu'il répondra au plus possible aux attentes que vous vous étiez fixées. Pour ma part, ça a été un immense plaisir d'élaborer et d'avancer ensemble sur ce projet. On a pris quelques risques, cela n'ayant jamais été réalisé avant, mais je vous ai toujours fait une confiance aveugle sur la marche à suivre. Confiance d'ailleurs que vous m'avez redonnée au centuple en me laissant beaucoup de liberté et d'autonomie pour avancer. Il ne s'agit absolument pas, dans tous les cas, de la dernière fois où nous travaillerons ensemble et je m'en réjouis d'avance. C'est avec beaucoup d'émotion que je vous remercie pour votre temps, votre disponibilité, vos conseils éclairés... Pour m'avoir confié la réalisation de ce magnifique travail, qui permettra aux étudiants j'en suis sûr, de redécouvrir l'occlusodontologie et d'y trouver du plaisir.. Pour la bonne ambiance perpétuelle qui règne systématiquement lors de nos échanges.. Pour la belle personne que vous êtes simplement au quotidien, merci.

A Monsieur le Docteur Olivier LAPLANCHE

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section 58.01 : Réhabilitation Orale – Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses, Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux.

Je vous remercie d'avoir pris part à ce jury. Et je suis très honoré que vous ayez accepté ma demande. Il était inenvisageable pour moi d'aborder l'occlusion et la pédagogie à la faculté de Nice sans compter sur la personne qui a participé activement à ce sujet depuis bon nombre d'années, et qui plus est, a permis indirectement l'élaboration de ce travail par son apport bibliographique. Le parallèle pourrait être fait entre évoquer la Corse sans aborder le Brocciu et les Canistrelli, toute proportion gardée. Nous n'avons malheureusement pas eu l'occasion de travailler régulièrement ensemble en clinique, mais j'ai beaucoup apprécié les quelques fois où vous m'avez apporté une aide précieuse. Votre vision de praticien libéral et vos petites astuces pour résoudre certaines petites galères du quotidien se sont révélées très utiles. Merci pour tout ce que vous m'avez apporté, et avoir permis la création de ce travail.

A Monsieur le Docteur Thomas GEMMI

Docteur en Chirurgie Dentaire

Praticien libéral

Attaché Hospitalo-Universitaire

Sous-section 57.01 : Chirurgie Orale - Parodontologie - Biologie Orale

Merci.. du fond du cœur d'avoir accepté l'invitation. Si j'avais dû laisser qu'un mot, qu'une phrase pour résumer tout ça, le choix se serait porté sur « tout est dit ».

Oui.. tout est dit car aux travers de nos multiples échanges, il n'y a pas grand-chose à écrire ici que tu ne saurais pas déjà.

Jamais je ne serai assez reconnaissant de la source d'inspiration que tu as été pour moi, de cette recherche perpétuelle de faire toujours du mieux possible, pour le patient, pour les étudiants.

Je suis admiratif de cette force intérieure qui t'habite, de ces valeurs humaines de partage, de transmission du savoir que tu véhicules au quotidien, et dont tu m'as fait largement profiter. Tu m'as permis de grandir dans d'innombrables domaines, qui vont bien au-delà du cadre unique de la chirurgie et de l'implantologie. J'ai comme l'impression d'avoir trouvé « ma voix intérieure » grâce à toi, à nos discussions, et c'est le plus important. Tu sais à quel point on partage une vision commune sur l'envie de bien faire, et j'espère justement que l'on pourra continuer à faire de belles choses en dentisterie dans les années à venir.. En plus de l'amitié sincère que j'ai trouvée en ta personne. Merci..

TABLE DES MATIÈRES

I.	INTRODUCTION	1
II.	NUMERIQUE ET PEDAGOGIE	3
A.	ÉTAT DES LIEUX.....	3
B.	APPORT DES OUTILS NUMERIQUES DANS L'AMELIORATION DE L'ENSEIGNEMENT.....	8
1.	<i>Les MOOC</i>	9
2.	<i>Les Simulateurs virtuels</i>	13
III.	L'ETUDE DE LA CINEMATIQUE MANDIBULAIRE	19
A.	HISTORIQUE.....	19
B.	LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'ENREGISTREMENTS.....	22
1.	<i>L'électrognathographie</i>	22
2.	<i>Axiographie</i>	25
3.	<i>SICAT</i>	34
4.	<i>Le concept « Modjaw »</i>	39
C.	L'ENSEIGNEMENT INITIAL A LA FACULTE DE NICE	41
IV.	CONCEPTION D'UN NOUVEAU SUPPORT PEDAGOGIQUE EN OCCLUSODONTOLOGIE BASE SUR LE E-LEARNING	43
A.	OBJECTIFS	43
B.	MATERIELS ET METHODES.....	46
1.	<i>Les moulages en plâtre</i>	46
2.	<i>La numérisation des arcades</i>	47
3.	<i>Enregistrement de la cinématique mandibulaire par le Modjaw®</i>	48
C.	RESULTATS	63
1.	<i>Immédiat - au fauteuil</i>	63
2.	<i>Les étapes de production du nouveau support pédagogique</i>	64
3.	<i>Syllabus</i>	66
4.	<i>ED</i>	69
V.	CONCLUSION	78
VI.	BIBLIOGRAPHIE.....	79
ANNEXES		86

I. Introduction

Les chirurgiens-dentistes jouent un rôle important dans l'amélioration de la santé publique. Il est donc impératif de reconnaître l'importance de maximiser leur capacité d'apprentissage et leur acquisition de connaissances dès la formation initiale [1].

Avec les récents progrès de la technologie et l'accès au matériel électronique, les méthodes pédagogiques tendent à évoluer pour répondre aux demandes des étudiants et de la société. Les facultés de chirurgie-dentaire du monde entier essaient donc d'intégrer enseignement, apprentissage et technologie [1].

L'apprentissage mixte, qui combine l'apprentissage en ligne avec des méthodes d'enseignement traditionnelles en face à face, s'est avéré améliorer les résultats d'apprentissage [1].

Rozenzweig en 1995 disait : « L'occlusion est à l'odontologie ce que la grammaire est à l'écriture : une base indispensable à toute étude ou reconstruction ». Ainsi l'occlusion c'est la dentisterie, et la dentisterie c'est l'occlusion, car il existe toujours une implication occlusale de plus ou moins grande importance dans les traitements dentaires quotidiens. L'occlusodontologie, qui se définit comme « l'étude de l'occlusion dentaire, de son évolution au cours de la vie, de ses anomalies et de ses répercussions pathologiques » est une partie essentielle de la pratique de la dentisterie.

La dysfonction occlusale constitue un facteur de risque d'échec des réhabilitations dentaires chez nos patients.

Les étudiants en chirurgie-dentaire doivent donc acquérir une connaissance suffisamment importante pour expliquer et appliquer les principes généraux de l'occlusodontologie, et savoir les mettre en pratique dans leur futur exercice professionnel.

La faculté d'Odontologie de Nice, Université Côte d'Azur a acquis lors d'un appel à projet pédagogique interne à l'établissement en décembre 2018, un outil visant à développer la simulation pour l'enseignement de l'occlusodontologie : le Modjaw®. Elle se place comme la première faculté française à disposer de cet outil. Il était donc primordial de saisir cette opportunité pour insuffler le numérique dans l'approche de l'occlusodontologie, et procéder à une modernisation de l'enseignement fondamental.

Pour commencer, une analyse de la littérature a été menée pour déterminer la meilleure direction stratégique pédagogique à emprunter dans l'élaboration d'un nouveau support et d'une nouvelle méthode d'apprentissage.

La deuxième partie de ce travail décrit le principe du système Modjaw® et les autres dispositifs comparables existants.

La troisième partie aborde la méthodologie de construction du nouveau support d'enseignement et met en avant le contenu produit.

Le format d'enseignement dirigé a été choisi car lors de la planification de l'utilisation d'outils dans l'apprentissage numérique, les dimensions sociales et émotionnelles sont essentielles pour que les étudiants placent les fragments de connaissance dans un contexte plus vaste et significatif, afin de construire une compréhension dans un processus interactif avec d'autres personnes. Autrement dit, la présence d'un enseignant et d'un apprentissage mixte permet de meilleurs résultats du fait de l'interaction pédagogique [2][3]. L'apprentissage mixte se définissant comme une combinaison d'apprentissage en face à face et d'apprentissage asynchrone ou synchrone à l'aide d'outils numériques [4].

Suivant ce principe, un chapitre appartenant aux cours sur les bases de l'occlusion : « la cinématique mandibulaire » a été retravaillé. L'utilisation de l'outil Modjaw permettant de proposer un nouveau support de cours.

L'enseignement théorique et fondamental de l'occlusodontologie étant relativement vaste, nous avons décidé de nous consacrer pour l'heure uniquement à l'apprentissage de la cinématique mandibulaire.

Ce travail comporte un double objectif pédagogique.

Tout d'abord, permettre aux étudiants d'apprendre sur un support de cours qui se voit modernisé, simplifié, et rendu plus attractif. En effet, de nouveaux schémas et des vidéos pédagogiques sous forme de flash-code ont été inclus à l'intérieur du polycopié. Ces vidéos issues du Modjaw®, sont une représentation en 3D de certaines parties du cours pour en faciliter l'apprentissage.

Le second objectif est la création d'un enseignement dirigé permettant aux étudiants par la simulation et l'aspect didactique, d'améliorer leurs connaissances en occlusodontologie et de se familiariser avec les outils technologiques par la manipulation du Modjaw®.

II. Numérique et pédagogie

A. État des lieux

Le système éducatif joue un rôle critique dans le développement de toute société contemporaine. Il doit pouvoir s'adapter de manière continue, et conserver une dynamique pour suivre le rythme des nouvelles tendances [5].

Nous avons connu au cours de ces dernières années un essor important des technologies de l'information / numérique et des communications (également appelées « TIC »). Il n'est donc pas surprenant de les retrouver comme partie intégrante de tous les domaines de l'enseignement et des professions, y compris la dentisterie [5].

La démocratisation de l'accès à internet, l'utilisation quotidienne de smartphones et la dématérialisation des supports pour se tourner vers le stockage en ligne ont contribué à cette mutation.

Les étudiants représentent la fraction de population où ces changements sont les plus visibles. En effet, les études menées sur ce sujet révèlent que 96% d'entre eux utilisent internet quotidiennement, et 94% possèdent un smartphone.

C'est d'ailleurs le smartphone qui est l'outil le plus plébiscité lorsqu'il s'agit de se rendre sur le web (88%). L'ordinateur n'étant utilisé dans cet usage que pour 12% des étudiants.

Un accès permanent à internet est possible pour 56% d'entre eux, tandis que 44% ne peuvent se connecter qu'à la maison.

L'utilisation principale faite de cet accès au web concerne l'échange de mail et la communication avec les amis (43%). L'accès aux réseaux sociaux représente 23 %, une part légèrement supérieure au temps consacré pour le travail (20,8%) [5].

Internet est donc à l'heure actuelle l'un des moyens les plus importants pour les étudiants et les professeurs de partager et d'acquérir des informations (Arkorful & Abaidoo, 2015) [6].

Partant de ce constat, intéressons-nous maintenant à l'association de cette technologie avec le monde de la pédagogie et de l'enseignement.

Il faut remonter au début des années 1960 pour voir apparaître la technologie pédagogique en tant que domaine et catégorie professionnelle à part entière. Même si sa longue histoire débute à l'antiquité (Saetller, 2004).

L'utilisation d'appareils audiovisuels a permis de développer de nombreuses technologies différentes pour l'apprentissage. Et c'est avec « beaucoup d'enthousiasme, d'intérêt et de promesses d'impact sur les pratiques pédagogiques que chaque nouveau média est entré sur la scène éducative entraînant une infusion massive de technologies dans les environnements éducatifs » (Eraut 1994 ; Reiser 2007).

Au début des années 80, c'est à Richard E. Clark et Robert B. Kozma que nous devons les premiers débats sur les effets de la technologie.

Clark (1983) évoquant de manière analogique l'idée que : « Les médias ne sont que des outils, mais n'influencent pas davantage les résultats des élèves. De la même façon que le camion qui délivre nos provisions, n'entraîne pas de changement dans notre consommation ».

En d'autres termes, Clark affirmait que c'est la méthode pédagogique, donc l'enseignement, qui affecte l'apprentissage, et non le support.

Puis en 1991, Kozma répondit à l'affirmation de Clark, affirmant que les attributs d'un média particulier pouvaient influencer sur l'apprentissage.

Selon lui, support et méthode ont une relation plus intégrale. Le support active et contraint la méthode, tandis que la méthode utilise les capacités du support pour créer des objets d'enseignement.

Plus récemment, et en s'appuyant sur les travaux de Kozma, Hastings et Tracey (2005) ont suggéré que les technologies actuelles offrent la possibilité de méthodes d'enseignement viables, ce que les médias précédents ne permettaient pas.

De nos jours, nous faisons face à l'émergence d'un nouveau groupe de technologies de communications. Nous pouvons citer par exemple le stockage en ligne sur des espaces dédiés et accessibles depuis n'importe quel poste relié à internet (cloud type : Dropbox, Google Drive, OneDrive, etc.), l'utilisation omniprésente des réseaux sociaux et le partage via ces différentes plateformes.

Contrairement à la précédente génération de technologies de communication, le web 2.0 permet d'accroître l'interactivité et la participation via la communication, la création et le partage de contenu collaboratifs. Cela donne accès à des espaces de collaboration, de construction et de partage d'informations guide de l'apprentissage actif et social (Maloney 2007 ; Ajjan et Hartshorne 2008)

Ils fournissent des moyens de créer un environnement d'apprentissage dans lequel les apprenants peuvent être créatifs, critiques, constructifs en devenant les producteurs de leurs propres perspectives et identités, informés par les autres participants (Nagy et Bigum 2007).

On retrouve donc ces technologies de communication émergentes comme à l'origine d'un changement de paradigme dans l'enseignement à distance (Kesim et Agaoglu, 2007).

Malgré l'utilisation intensive des TIC dans l'enseignement à distance, il ne faut pas oublier leur rôle pour soutenir l'enseignement et l'apprentissage en classe, dans l'enseignement supérieur (c'est à dire l'apprentissage mixte), ou leur part augmente également.

Si nous savons aujourd'hui que ces technologies ont assurément le potentiel pour améliorer l'enseignement et l'apprentissage, il est intéressant de se pencher sur la manière dont elles sont mises en œuvre dans les environnements éducatifs.

Plus précisément, la technologie est-elle utilisée pour maintenir les approches traditionnelles ?

En matière de communication et d'apprentissage, les nouvelles technologies ne sont pas compatibles avec les environnements centrés sur l'enseignant. En effet, celui-ci jouant le rôle de source principale d'information, l'apprenant reçoit passivement ce flux d'informations sans trop de réflexion et de discours.

Comme nous l'évoquent Reigeluth et Joseph (2002) : « Nous devons penser au-delà des méthodes que nous utilisons traditionnellement, et travailler à inventer des méthodes compatibles avec les indicateurs clés du paradigme axés sur l'apprentissage, en gardant à l'esprit les nouvelles capacités offertes par les technologies ».

Ce qui peut être résumé de manière plus brève : l'adoption des technologies pédagogiques doit reposer sur des idées novatrices [7].

On s'aperçoit également que dans l'enseignement supérieur, l'utilisation inefficace de la technologie a d'autres raisons.

Meyer et Xu (2007) ont mis en avant que la charge de travail pédagogique et les responsabilités sont un facteur important influant sur l'adoption et l'utilisation de la technologie par le corps professoral [6].

De plus, un centrage trop important sur la technologie elle-même (Salomon 2002) et le manque de soutien des professeurs (Merrill 2002) contribuent à la suppression de l'application efficace de la technologie pédagogique [7].

Grineski (1999) évoquait déjà en fin de compte que l'utilisation de la technologie pédagogique dans le contexte de l'enseignement supérieur est un élément essentiel de la réussite scolaire et de l'emploi futur [7].

Son utilisation ne consiste pas simplement à atténuer les lacunes des réalités actuelles telles que les conférences et les classes nombreuses.

C'est par l'intégration et la durabilité de la réflexion et du discours que les élèves s'engagent dans des expériences d'apprentissage profondes et significatives (Garrison et Archer, 2000) [1][8].

Il ne faut donc pas perdre de vue que le rôle principal dans l'apprentissage est réalisé par la personne qui apprend et l'enseignant. Les éléments interdépendants de la dynamique de groupe sont la présence de l'enseignant, la présence cognitive et la présence sociale. La présence de l'enseignant comprend trois domaines de responsabilité : la conception, la facilitation et l'instruction directe. L'enseignant fournit le leadership et la cohésion, essentiels pour une expérience d'apprentissage utile et réussie. Les recherches ont montré que sa présence joue un rôle primordial dans la création et le maintien de cette dynamique d'apprentissage (Garrison et Cleveland-Innes 2005 ; Shea et al. 2005). Les preuves continuent de croître, démontrant l'importance de la présence de l'enseignant dans l'utilisation réussie des technologies pédagogiques pour soutenir les cours en ligne (Meyer 2003 ; Murphy 2004 ; Swan et Shih 2005 ; Vaughan et Garrison 2006 ; Wu et Hiltz 2004). Inversement, les technologies pédagogiques développent de manière exponentielle l'importance du rôle de l'enseignant.

Par exemple, en termes de catégorie de conception et d'organisation, les technologies Web 2.0 permettent de concevoir des activités et des environnements d'apprentissage novateurs, stimulants et axés sur la collaboration. En termes de facilitation, ces nouvelles technologies offrent de nouveaux moyens de communication et d'interaction entre les étudiants et les enseignants, renforçant ainsi l'immédiateté [7].

Cependant, la technologie n'a pas encore eu d'effet significatif sur les pratiques pédagogiques (Grineski, 1999; Reiser, 2007; Salomon, 2002; Merrill, 2002; Reigeluth et Joseph, 2002; Salinas, 2008). Par exemple, Merrill (2002), dans son examen d'un grand nombre de cours d'enseignement relevant de différents domaines, a indiqué que la grande majorité des cours ne représentait pas un enseignement efficace et que certains n'enseignaient pas du tout. Cette situation a déclenché d'importants débats sur les effets de la technologie sur l'apprentissage.

C'est donc vers une modification du paradigme de l'apprentissage qu'il faut désormais se tourner, pour une utilisation efficace de la technologie pédagogique, et ce afin de tirer parti du caractère unique des nouvelles technologies de la communication en tant qu'outil de construction, de création, de communication et de conception permettant d'apprendre avec la technologie (Salomon 2002; Merrill 2002). ; Reigeluth et Joseph 2002; Salinas 2008) [9].

Iacopino en 2007 met en avant différents problèmes auxquels doivent faire face les universités de chirurgie dentaire : une diminution du nombre de professeurs dédiés à la recherche, une intégration insuffisante de l'odontologie dans le monde scientifique, une difficulté à mettre en pratique les nouvelles données scientifiques dans la pratique clinique, ainsi qu'un scepticisme des chirurgiens-dentistes face aux résultats de la recherche [9][10].

B. Apport des outils numériques dans l'amélioration de l'enseignement

Les récents progrès réalisés dans la création d'outils informatique ainsi que les nouvelles technologies (tels que les ordinateurs, tablettes, smartphones) ont amené à s'intéresser d'avantage au mode d'apprentissage des étudiants [9].

L'enseignement de la chirurgie dentaire a évolué au fil des ans, et davantage de technologies sont désormais incorporées à la formation initiale.

L'accès désormais quasiment universel à la technologie a permis à chaque étudiant, de disposer de la nouvelle génération de téléphones mobiles et de tablettes PC, et d'être prêt à utiliser les techniques d'e-learning actuellement disponibles [9].

Fort de ce constat, il est important pour les universités d'infuser dans leurs enseignements des contenus numériques en plus grande importance.

Un grand nombre d'universités proposent déjà des ressources pédagogiques sur internet dont le contenu, la disponibilité du format et l'intégration dans la formation initiale demeurent cependant variables [11][12]. Par exemple, nous pouvons citer le podcasting. Il s'agit d'une technologie simple et conviviale. Le terme podcast décrit la publication régulière d'extraits audio téléchargés sur Internet, sur un ordinateur ou un appareil mobile. La gamme d'appareils capables de diffuser des films et des vidéos en streaming au cours de la dernière décennie a connu une augmentation, permettant un développement des podcasts vidéo, plus souvent appelés vodcasts. Les universités se tournent donc vers la numérisation et la mise à disposition des contenus de cours sous forme de flux ou téléchargements. Les recherches suggèrent que les podcasts améliorent l'engagement des étudiants, leur compréhension approfondie et leur satisfaction globale vis-à-vis des cours de l'enseignement supérieur. L'apprentissage en ligne et le partage des médias pourraient aboutir à un apprentissage plus profond, étant donné leur capacité à fournir les informations à la fois en un lieu et à un moment convenables, à un rythme qui convient aux étudiants, ainsi qu'un accès répété pour renforcer les connaissances. De plus il permet de réduire les coûts, d'adapter le style d'apprentissage à l'étudiant, de pallier à la pénurie d'enseignant, et de transformer l'apprentissage passif en démarche active de l'étudiant (Pahinis et al., 2007; Ruiz et al., 2006; Ramlogan et al., 2014) [13]. Cela expliquerait pourquoi les didacticiels, les webinaires, les wikis, les blogs, les services de messagerie instantanée et les podcasts basés sur le Web ont considérablement gagné en popularité au cours de la dernière décennie [11].

1. Les MOOC

L'invention d'internet a permis de créer des modèles radicalement nouveaux d'apprentissage, et notamment le développement de l'enseignement en ligne (Anderson & Dron, 2010; Garrison, 1997). Cependant, l'offre d'apprentissage en ligne a eu tendance à imiter l'enseignement conventionnel universitaire, simplement transposé dans un environnement dématérialisé. Les modèles d'apprentissage en ligne ont été largement des adaptations d'approches classiques de l'enseignement, plutôt que de nouvelles innovations (Anderson & Dron, 2010) [14][15].

Depuis 2011, un type de cours connu sous le nom de « cours ouverts en ligne massifs » (« MOOC » en anglais) a fait couler beaucoup d'encre, en particulier dans les universités canadiennes et américaines.

Le terme MOOC a été utilisé pour la première fois au Canada en 2008 pour décrire un cours offert, dans lequel l'inscription était ouverte en ligne à tout le monde. Au final, ce sont plus de 2 000 personnes qui se sont inscrites. La seule différence avec le parcours en université étant que les participants en ligne ne recevaient pas de crédit, contrairement aux étudiants universitaires. Un cours similaire en ligne sur l'intelligence artificielle, proposé par Stanford, a été ouvert en 2011 et près d'un quart de million de personnes s'y sont inscrits. La notoriété de cet exemple et d'exemples similaires a suscité un débat dans les médias et les revues pédagogiques sur le devenir de l'enseignement. Les universités se sont empressées de mettre gratuitement autant de cours en ligne. Les résultats vont maintenant des cours d'apprentissage en ligne standard ouverts au public, aux sociétés à but lucratif qui collaborent avec les universités pour créer des systèmes exclusifs de prestation de cours. La caractéristique la plus élémentaire d'un MOOC est qu'il est en ligne et gratuit. Il existe maintenant une grande variété de cours de ce type.

Un MOOC est un site en ligne, constitué de cours avec l'option d'inscription gratuite et ouverte, un programme partagé publiquement avec les autres utilisateurs et des résultats publics [16].

Les principaux fournisseurs de MOOC incluent edX, Coursera, FUN et Udacity. EdX est une initiative en ligne à but non lucratif qui propose des cours en ligne gratuits et de haute qualité, principalement proposés par des universités telles que Harvard, le MIT (Massachusetts Institute of Technology) et Berkeley (Camilleri & Tannhäuser, 2013). Coursera est une entreprise à but lucratif fondée par deux informaticiens de l'Université de Stanford en 2012, qui s'est associée à des universités de premier plan dans le monde entier (Clarke, 2013).

FUN-MOOC est un groupement d'intérêt public (GIP) cofinancé par le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche, et de l'innovation, et les 35 établissements membres (CINES, INRIA, ADEM, ENSAM,...). Débuté en octobre 2013, cette initiative vise à fédérer les projets de cours en ligne des universités et écoles françaises pour leur donner une visibilité internationale. Le catalogue de cours disponibles est continuellement enrichi pour proposer une variété de formations répondant aux besoins de tous les publics. À l'heure actuelle, plus de 540 cours sont disponibles et la plateforme compte 6 millions d'inscriptions [17][18].

Udacity est une autre start-up à but lucratif lancée en 2012 qui propose principalement des cours de sciences et de mathématiques (Odom, 2013) [19].

Le MOOC se différencie des autres formes d'apprentissage en ligne car l'accès à l'enseignement supérieur aux apprenants est indépendant de leurs qualifications ou de leur expérience. Il facilite l'apprentissage à grande échelle avec des milliers, voire des dizaines de milliers d'apprenants inscrits à chaque cours. Pour permettre l'apprentissage à une telle échelle et réduire les coûts d'appui à l'apprentissage, les MOOCs ont tendance à être conçus autour d'un format auto-guidé qui suppose que les apprenants sont capables de réguler leur propre apprentissage, plutôt que de compter sur les instructions du formateur (Margaryan, Bianco et Littlejohn), 2015) [14].

Il s'appuie sur l'engagement actif des "étudiants" qui s'auto-organisent en fonction des objectifs d'apprentissage, des connaissances et des compétences antérieures et des intérêts communs. (McAuley, A., 2010).

La capacité d'autorégulation de l'apprentissage est influencée par des facteurs psychologiques personnels (cognitifs et affectifs) et environnementaux (Zimmerman, 2000). Il est prouvé que les apprenants auto-régulés adoptent des stratégies d'apprentissage efficaces dans des contextes conventionnels et en ligne, planifiant, surveillant et coordonnant leurs sources d'apprentissage (Bernacki, Aguilar et Byrnes, 2011) [14].

Ce modèle d'éducation est défendu par des personnes qui y voient une démocratisation de l'apprentissage.

Les MOOC délivrent des ressources en ligne et sont animés par des praticiens de premier plan dans le domaine d'études. Ils intègrent également des réseaux sociaux car ils facilitent les aspects critiques de la connectivité, de la communication et de l'interaction.

Les espaces de travail de groupe, les forums de discussion, les services de chat, l'évaluation en ligne de projets, les systèmes multimédias sociaux et les applications de monde virtuel sont quelques-uns des outils permettant de développer et de partager des connaissances dans les communautés d'apprentissage en ligne (Dascalu, Bodea, Lytras, de Pablos et Burlacu). 2014; Zhang et Ordóñez de Pablos, 2012; Zhuhadar, Yang et Lytras, 2013).

Les participants peuvent utiliser les médias sociaux populaires (tels que YouTube, Twitter, Facebook et Delicious) tout au long du cours pour partager du contenu (de Waard, Abajian et al., 2011). Lorsque la communauté des participants aux MOOC constitue la principale source de retours sur la majorité des travaux, les MOOC peuvent maintenir la collaboration participative lorsque les médias sociaux sont utilisés (McAuley, Stewart, Siemens et Cormier, 2010) [19][20].

On retrouve deux types de MOOC à l'heure actuelle. Le premier est basé sur la théorie du connectivisme de l'apprentissage, qui favorise les réseaux d'apprenants évoluant de manière informelle. Celui-ci est connu sous le nom de CMOOC. Les types xMOOC sont plus traditionnels, basés sur le contenu et ressemblent davantage aux modèles éducatifs traditionnels. Un xMOOC basé sur le contenu est plus susceptible de comporter un ou plusieurs conférenciers, qui donnent généralement des conférences via des vidéos de type YouTube, les tâches et les discussions se déroulant en ligne à l'aide d'un logiciel propriétaire. Cette organisation permet à l'université d'intégrer le MOOC dans les programmes existants. Les dates limites pour l'exécution des tâches et un formulaire en ligne d'évaluation continue permettent aux administrateurs de cours d'attribuer des notes et des crédits. Les participants en ligne qui ne sont pas intéressés par l'obtention de crédits peuvent participer ou non comme ils le souhaitent.

Cependant ce système comporte quelques points négatifs. La critique la plus courante de ces cours en ligne est le chiffre souvent cité selon lequel 90% des personnes s'inscrivant à ces cours ne les ont pas complétés. Si la motivation d'un participant au cours est simplement d'obtenir de nouvelles informations et qu'il ne cherche pas à obtenir un crédit universitaire, la nouveauté d'un nouvel ensemble d'idées s'atténue au fur et à mesure que le travail nécessaire pour terminer le cours commence à augmenter. En outre, la nature des supports utilisés pour accéder au cours peut constituer une contrainte suffisante pour dissuader les participants de terminer.

Une autre préoccupation est la qualité. L'organisation peu structurée de bon nombre de ces cours rend difficile l'atteinte des objectifs d'apprentissage. C'est un problème que l'on retrouve également avec beaucoup d'apprentissage autodirigé. Les universitaires traditionnels qui se méfient de ce format peuvent exprimer des préoccupations légitimes concernant les normes et la qualité, ou exprimer les craintes typiques de tout monopoleur confronté de manière inattendue à une concurrence réelle.

À plus grande échelle, la durabilité de ces cours a été remise en question. Un observateur a noté que l'ascension fulgurante des MOOC était comparable à l'histoire de nombreuses start-up Internet de la Silicon Valley qui commencent à construire très vite pour se préoccuper de gagner de l'argent plus tard. L'absence d'un modèle commercial clairement défini associé aux MOOC, ou du moins à ceux à but lucratif, pourrait entraîner leur disparition dans un avenir proche.

Cela pourrait être important pour les universités qui considèrent l'adhésion au pari MOOC comme un moyen de faire face à la réduction des budgets et à la hausse des coûts.

Gérer une série de cours en ligne interactifs, gagner de l'argent en fournissant ce service et réduire ou éliminer les coûts élevés liés au salaire des enseignants, aux locaux et à l'administration [16].

La réalité est que, aussi passionnante que soit la technologie, un enseignement de qualité aura toujours une place dans le processus d'apprentissage et ne sera pas facilement remplacé. Un nombre considérable d'élèves a manifesté une légère préférence pour les styles d'apprentissage visuel, actif et séquentiel [16]. La conclusion selon laquelle certains élèves ont manifesté une préférence marquée pour les styles d'apprentissage Sensing (83%) et Visual (81%) suggère qu'ils auraient du mal à s'intégrer dans un environnement d'apprentissage qui ne reflète pas leurs préférences. En conclusion, la variabilité et l'interactivité qui font inévitablement partie des cours MOOC mentionnés ci-dessus, appuyés par les nouvelles technologies et les styles d'enseignement correspondants, auront donc pour résultat un apprentissage de meilleure qualité. Comme le dit Sir Ken Robinson, « les ressources humaines sont comme des ressources naturelles ; elles sont souvent enterrées profondément. Vous devez aller les chercher ; elles ne traînent pas simplement à la surface. » [16].

2. Les Simulateurs virtuels

Bien que les cours et les ressources basés sur l'écrit restent la norme depuis des siècles, ils ne semblent pas répondre aux critères actuels de confort et d'attitude des étudiants, ainsi qu'à leur prédilection pour les technologies de l'information et de la communication (TIC) [11].

La simulation est utilisée de manière non systématique depuis les débuts de la médecine. Au 16^{ème} siècle, les mannequins (appelés « fantômes ») ont été développés pour enseigner les techniques d'obstétrique et réduire les taux de mortalité maternelle et infantile élevés.

Ainsi, depuis de nombreuses années les facultés dentaires utilisent des simulateurs pour la formation des étudiants. Initialement constitués par des mannequins représentant un patient factice auquel sont incorporés des modèles d'arcades dentaires (figure 1), ces modèles simulés servent aux enseignements à expliquer de manière didactique les protocoles cliniques [8].

L'objectif pédagogique est d'améliorer la dextérité, la coordination œil-main, dans un environnement préclinique pour permettre un passage plus facile vers l'environnement clinique [9].



Figure 1. Mannequin de simulation dentaire avec son arcade

Cependant la description verbale de la sensation tactile représente une difficulté majeure dans l'enseignement de la dentisterie.

L'utilisation pédagogique des simulations de réalité virtuelle a été utilisée dans diverses professions telles que l'aviation (Helmreich, 1997), le nucléaire, le militaire et les soins de santé (Kitagawa et al, 2005 ; Strom et al., 2006 ; Tanzawa et al., 2013) pour optimiser la formation et minimiser les risques.

Ziv et Al (2003), dans leurs recherches sur la simulation, ont indiqué que l'utilisation appropriée de la simulation dans un programme de formation professionnelle permet aux étudiants d'affiner leurs compétences cliniques sans risquer de nuire au patient pendant le processus d'apprentissage [8].

Récemment au Japon, il a été démontré qu'un patient robot capable de réaliser des simulations réelles, telle que toux, tremblement du cou, poussée de la langue et sécrétion salivaire, améliorerait les compétences dentaires et permettrait un meilleur développement des compétences en matière de gestion des urgences médicales dans les situations d'urgences dentaires [8].

De ce fait, la réflexion et la discussion sont des éléments indissociables pour une expérience éducative significative (Iacopino, 2007; Garrison et Vaughan, 2008).

En formation initiale, lors des travaux pratiques de simulation, l'étudiant a besoin d'un retour constant sur son travail pour pouvoir passer à la procédure suivante. Cette discussion en direct avec l'enseignant se passe généralement après le TP en raison de contraintes de temps et du ratio élèves / enseignants.

Buchanan a évoqué dans son rapport que les étudiants formés à l'utilisation de simulateurs de réalité virtuelle apprenaient plus rapidement, pratiquaient plus de répétitions à l'heure, atteignaient les mêmes niveaux de compétence que ceux utilisant les travaux pratiques conventionnels, et demandaient d'avantage d'évaluation par ordinateur, réduisant ainsi le temps d'évaluation enseignant-élève (Buchanan, 2004).

Le récent rapport sur les erreurs médicales de l'Institute of Medicine, recommande une utilisation interactive de la simulation. Des études récentes ont confirmé l'efficacité des simulateurs réalistes sur écran, en améliorant les compétences techniques, comportementales et sociales en médecine [21]. La simulation médicale moderne se divise en 5 catégories principales (tableau 1) [22].

Les outils de simulation et leurs utilisations dans l'enseignement médical basé sur la simulation	
Outils – moyens utilisés	Description
Simulateur d'entrée de gamme (basique)	<i>Modèle (réplique) ou mannequin utilisé pour réaliser des actes et procédures simples.</i>
Simulation/standardisation d'un patient modèle	<i>Acteurs entraînés au jeu de rôle, pour la formation et l'évaluation à l'anamnèse médicale, l'examen clinique et les techniques de communication.</i>
Simulation informatique (sur écran d'ordinateur)	<i>Programme pour la formation et l'évaluation des connaissances et la prise de décision. (ex : gestion des incidents graves per-opératoires)</i>
Formateurs aux tâches complexes	<i>Haute fidélité des outils actuels (visuels, audios, indices tactiles, ..) intégrés aux ordinateurs. Instruments de réalité virtuel et simulateurs qui transcrivent un cadre clinique (ex : ultrason, arthroscopie, imagerie dentaire 3D)</i>
Simulateurs de patients en réalité virtuelle	<i>Mannequins intégral piloté par ordinateur. Simulation de l'anatomie et de la physiologie permettant de gérer une situation complexe et à haut risque dans un environnement réaliste (y compris la formation en équipe et l'intégration de plusieurs dispositifs de simulation)</i>

Tableau 1. Les outils de simulation dans l'enseignement médical

a) DENTSIM :

Dans le domaine de la formation médicale, des simulateurs haptiques ont été introduits et utilisés avec succès depuis de nombreuses années. Des études antérieures ont montré que l'utilisation de simulateurs haptiques dans la formation améliore les compétences et les performances des praticiens sur les patients par rapport aux étudiants qui n'ont pas été exposés à cette nouvelle technologie au cours de leur formation médicale [23].

La technologie haptique semble donc avoir un avenir prometteur dans l'enseignement dentaire. On peut citer le simulateur dentaire DentSimTM, qui consiste en une vraie unité dentaire, une tête de mannequin, un système de suivi par caméra et un logiciel (figure 2).

Ce simulateur permet à l'étudiant de visualiser les résultats de sa préparation de cavité réalisée sur le mannequin en modèles 3D en les comparant avec les résultats d'une préparation optimale. Les études menées sur ce simulateur ont rapporté qu'il aidait à réduire le temps d'enseignement des professeurs et facilitait la formation des compétences techniques des étudiants [8] . La sécurité, les avantages éthiques, la précision et la pertinence accrues de la formation ainsi que la gestion des erreurs d'enseignement sont d'autres avantages de l'environnement fondé sur la simulation comme cité précédemment. Les inconvénients restent les coûts élevés, la nécessité d'un long processus d'assimilation et le manque de validité des systèmes de classement et d'évaluation utilisés. Étant donné que l'ensemble des tâches sont pilotées par ordinateur, il est possible de suivre les progrès de l'élève au fur et à mesure que l'activité est complétée, aussi bien à des étapes spécifiques qu'au point final de la procédure. L'enseignant peut évaluer en temps réel ou à posteriori. En outre, les appareils permettent de tester plus objectivement les performances des élèves et, surtout améliorer leur autoévaluation grâce à des critères objectifs pouvant être déterminés par des experts de la discipline [23].



*A : tête du fantôme – B : caméra infrarouge – C :
Source de lumière – D : capteur infrarouge*

Figure 2. Illustration du Simulateur Dentsim avec ses composants.

b) SIMODONT :

Le didacticiel Simodont® a été mis au point par l'ACTA (Centre universitaire de médecine dentaire d'Amsterdam) et fait actuellement l'objet d'essais dans divers programmes (figure 3). Le didacticiel permet de pratiquer une variété de procédures dentaires opératoires dans un environnement oral et dentaire virtuel, réaliste, avec un retour de force haute-fidélité. Cet appareil de formation dentaire a été spécialement conçu pour enseigner aux étudiants comment réaliser des cavités dentaires et manipuler des instruments dans un environnement réaliste à faible risque. Les instruments à main sont simulés, ainsi que l'utilisation de rotatifs à haute et basse vitesse pour la préparation de la cavité, l'élimination de la carie dentaire et l'ensemble des procédures concernant les préparations coronaires (figure 4). L'utilisation de nouvelles technologies et méthodes dans un processus éducatif doit passer par certaines étapes, à commencer par l'acceptation du corps professoral, des études pilotes, des essais et des tests, puis par une introduction aux enseignants et aux étudiants à différents stades de la formation pour en tirer le meilleur parti [24].

La formation par la simulation fait désormais partie intégrante de l'enseignement en odontologie. Elle est pratiquée dans les universités dentaires du monde entier [8].

La littérature actuelle indique que les simulateurs dentaires de réalité virtuelle sont des outils pédagogiques précieux qui pourraient compléter les méthodes d'enseignement traditionnelles [8].

- 1 : Lecteur de carte pour identification de l'utilisateur
- 2 : Interface d'utilisation tactile avec le logiciel Simodont
- 3 : Écran de retour vidéo 3D
- 4 : Projecteur pour la vision stéréoscopique
- 5 : Son
- 6 : Lunettes 3D passives
- 7 : Ajustement de la hauteur du poste de travail
- 8 : Miroir virtuel pour simuler la vision indirecte
- 9 : Support ergonomique pour les mains
- 10 : Souris pour manipuler le modèle virtuel
- 11 : Simulateur de pièce à main pour reproduire l'aspect tactile des instruments rotatifs.
- 12 : Pédale de mise en route des rotatifs avec réglage de la vitesse



Figure 3. Constitution du Simulateur Simodont

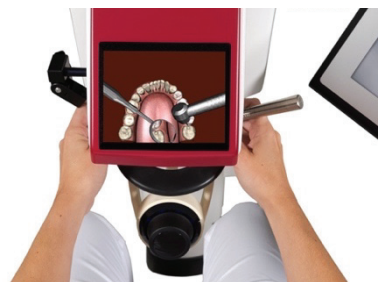


Figure 4. Représentation en utilisation du Simulateur Simodont

III. L'étude de la cinématique mandibulaire

A. Historique

L'étude des mouvements mandibulaires et condyliens a été entreprise par de nombreux auteurs. Jacques-bénigne Winslow (1669-1760), professeur d'anatomie au jardin royal dont le travail était orienté principalement sur la mécanique des mouvements, est le premier à démontrer que les mouvements les plus simples en apparence, mettent en jeu un grand nombre de muscles.

Mais c'est à Antoine Ferrein (1693-1769) que l'on doit les plus grandes avancées. L'ouvrage « sur les mouvements de la mâchoire inférieure » (1744) décrit correctement tous les points importants de la physiologie de l'ATM. On y retrouve le principe de rotation et translation du condyle lors de l'abaissement mandibulaire, le mouvement de rétropulsion (mouvement de Ferrein pour Saizar), le mouvement latéral (nommé plus tard mouvement de Bennett) [25].

Le siècle suivant verra apparaître un nombre croissant d'auteurs s'intéressant à la simulation des mouvements mandibulaires, essentiellement pour des raisons thérapeutiques.

Langer met en évidence sur le cadavre, un axe de rotation passant par les têtes condyliennes.

Balkwill étudie scientifiquement le mouvement d'abaissement mandibulaire [26].

Luce décrit en premier la trajectoire de translation condylienne selon une courbe à concavité supérieure dirigée vers l'avant [25].

Ulrich puis Walker enregistrent le mouvement condylien au moyen de stylets scripteurs.

Ulrich décrit alors un déplacement médial du condyle orbitant.

Au début du 20^{ème} siècle, Bennett redéfinit le déplacement transversal qui porte son nom et affine le concept d'axe bicondylien. Gysi décrit le compartiment inférieur de l'articulation comme siège de la rotation, et le compartiment supérieur comme celui de la translation. On lui doit la définition de l'arc gothique.

Sicher (1928) démontre la possibilité du mouvement de rotation « pure » chez le vivant.

MacCollum redécouvre l'existence d'un axe charnière intracondylien, et c'est grâce à ses travaux qu'aboutira la création du « gnathographe » en 1939 (figure 5). Il ouvre la voie à toute une série de pantographes, des classiques Stuart (figure 6) ou Denar (figure 7), au pantographe électronique, en passant par le pantographe à turbines de Lee. Ce dernier permettra des études statistiques sur les pentes condyliennes, l'angle et le mouvement de Bennet [25].

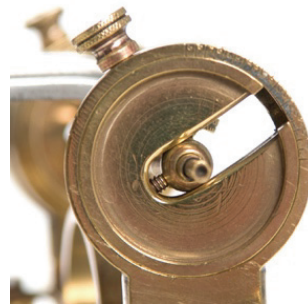


Figure 5. Gnathographe de Mc Collum



Figure 6. Pantographe de Stuart

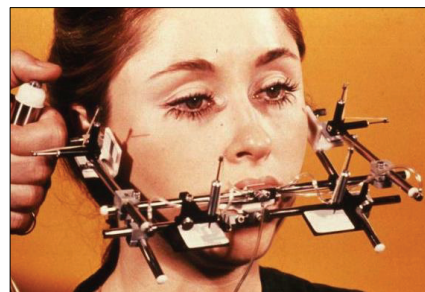


Figure 7. Pantographe de Denar

Lundeen met en avant le point d'appui central et l'attelle de fixation maxillaire avec son Panadent Quick Analyser, préfigurant ainsi l'axiographe de Slavicek (1981) (figure 8) dont le comparateur, associé aux tables de calcul, permet une analyse précise du déplacement transversal.

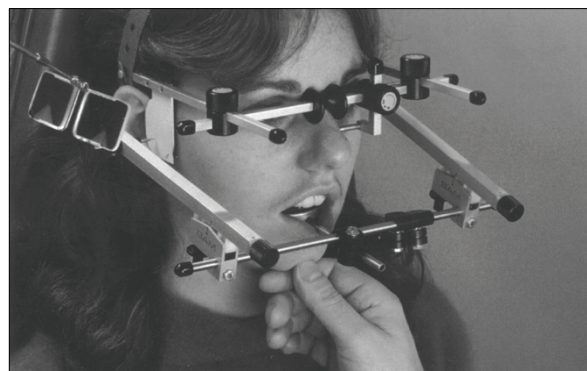


Figure 8. Axiographe de Slavicek

Parallèlement à ces investigations sur les mouvements condyliens limites, d'autres études s'engagent dans une voie plus fonctionnelle aboutissant au « REPLICATOR» (figure 9).

Mis au point initialement par Cannon, Reswick, et Messerman, c'est avec Lundeen et Gibbs qu'il fut réellement exploité [27].

Son apport dans la compréhension de la cinématique mandibulaire est considéré comme historique.

L'étude de la cinématique mandibulaire reste cependant difficile à mettre en œuvre au quotidien, tant par la complexité du mouvement que par la précision de mesure que ces trajectoires impliquent.

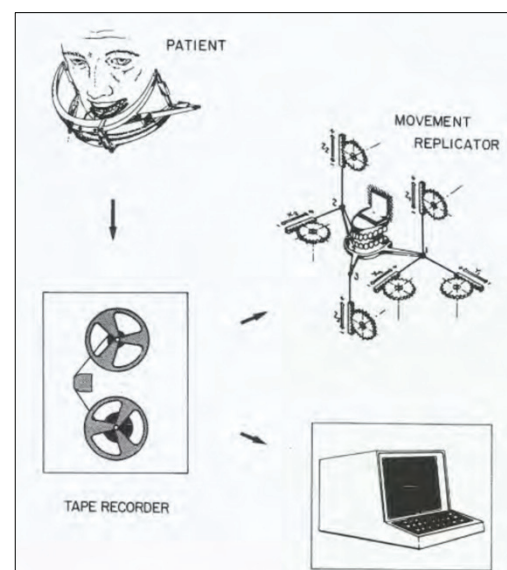
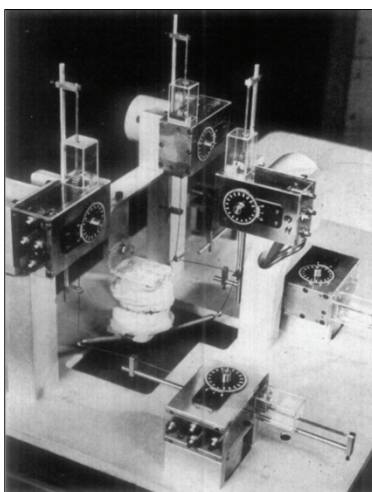
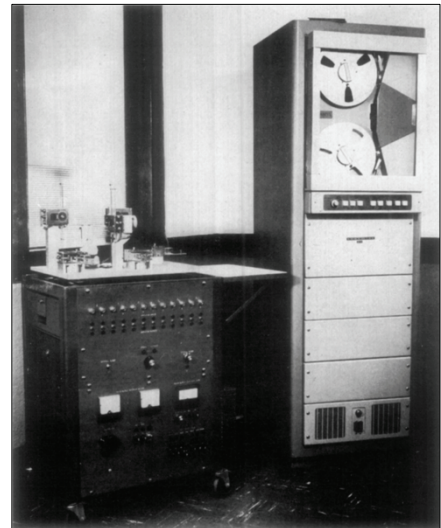
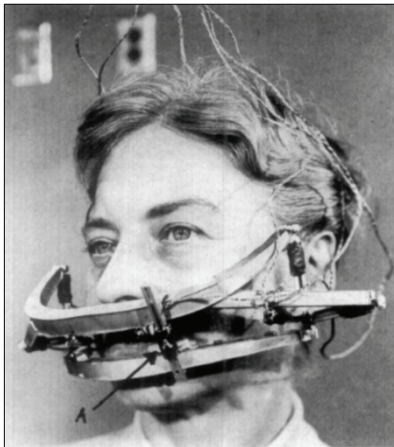


Figure 9. Le « Replicator » de Gibbs

B. Les différentes techniques d'enregistrements

1. L'électrognathographe

En 1985, Lewin conçoit en collaboration avec Siemens AG un appareil d'enregistrement des déplacements du point inter-incisif mandibulaire au cours de la fonction : l'électrognathographe ou « sirognathographe ». Ce matériel est utilisé comme moyen de diagnostic des dysfonctions cranio-mandibulaires, ainsi que comme moyen de contrôle des traitements [28].

Il comporte une partie intrabuccale sous la forme d'un aimant permanent. Celui-ci est de petite taille (5x6x9mm) pour ne pas perturber les mouvements mandibulaires (figure 10).

Cet aimant est généralement collé sur la face vestibulaire des incisives mandibulaires, dans le plan sagittal médian.

Si le patient présente des malpositions, mobilités dentaires ou recouvrement incisif important, on le place sur la gencive toujours dans le plan sagittal médian.

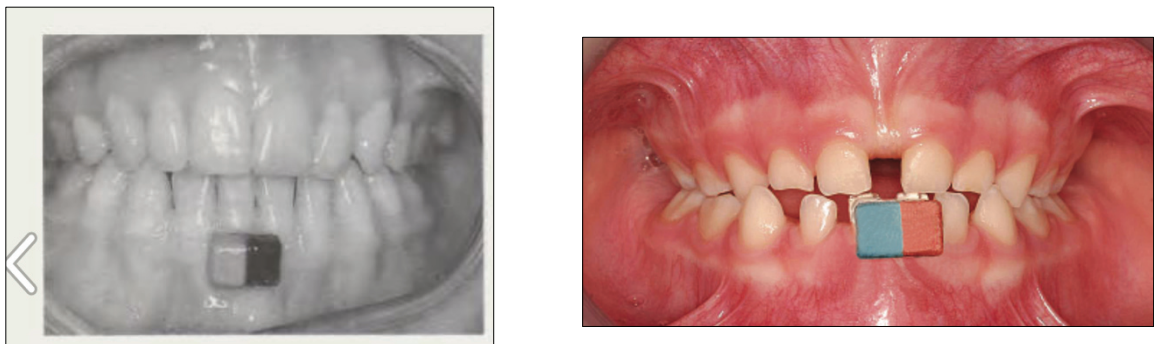


Figure 10. Aimant intrabuccal de l'électrognathographe, mis en place chez un adulte (gauche) et un enfant (droite)

L'attelage crânien compose la partie extra-orale. Il porte huit récepteurs électromagnétiques distribués symétriquement sur deux antennes latérales, fixées à la tête par des sangles occipitale et pariétale.

Les supports horizontaux latéraux de l'attelage (plan sagittal) sont orientés parallèlement au sol (figure 11).

Le support horizontal supérieur (plan frontal) est aligné sur la ligne bipupillaire du patient (figure 11). Les antennes sont réglées horizontalement de sorte qu'elles soient équidistantes de l'aimant permanent.

La branche horizontale inférieure, support des antennes (plan frontal), est réglée verticalement à l'aide d'une tige amovible : Elle situe ainsi l'aimant à l'intérieur de l'espace délimité par les champs magnétiques.



Figure 11. Vue sagittale (gauche) et frontale (droite) de l'attelage crânien de l'électrognathographe.

Par souci d'exactitude, un contrôle de mesure des amplitudes est effectué pour vérifier l'analogie des valeurs graphiques et cliniques. Les échelles gravées sur les supports verticaux et horizontaux de l'attelage crânien permettent de noter les réglages et donc de comparer les enregistrements.

La console électrique à laquelle est relié l'attelage crânien traite les signaux électromagnétiques créés par le déplacement de l'aimant. Ils y sont convertis en signaux électriques de telle sorte qu'amplitude et tension électrique varient de façon linéaire dans les limites du champ magnétique donné par le constructeur : un mouvement de 1 cm produit une tension de 1 volt. L'opérateur sélectionne l'échelle (X1, X2, X5) et le plan d'enregistrement sur la console électrique. Les mouvements d'ouverture et de fermeture sont enregistrés dans le plan frontal et sagittal, les mouvements de latéralité dans le plan frontal, les mouvements de propulsion dans le plan horizontal et les cycles masticateurs dans les plans frontal et sagittal (figure 12).

La table traçante, reliée à la console, est pourvue d'un stylet encreur qui transcrit graphiquement les amplitudes des mouvements mandibulaires. Ces enregistrements sont vus de la position du patient et sont donc lus directement. Une déviation clinique droite s'inscrit à droite du point de départ du tracé (figure 12)[29].

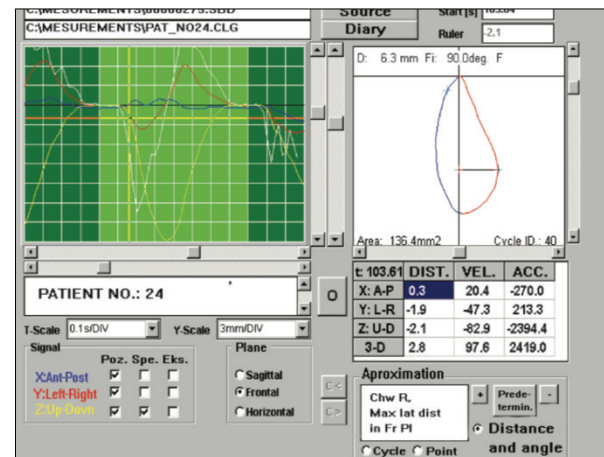
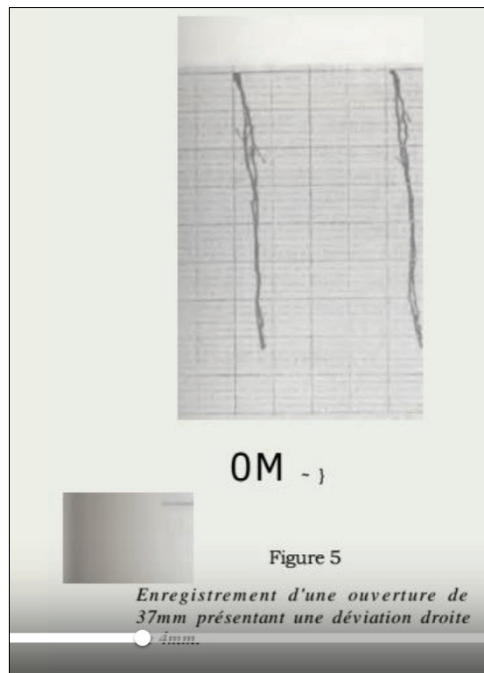


Figure 12. Enregistrement d'une ouverture buccale présentant une déviation droite (illustration de gauche) et d'un cycle masticatoire (illustration de droite)

Cependant, la méthode d'enregistrement électromagnétique est considérée comme trop influençable par l'environnement ferromagnétique.

2. Axiographie

Parmi les moyens proposés pour l'enregistrement de la cinématique mandibulaire (mandibulographie), on retrouve comme référence l'axiographie (Heiser and Slavicek, 1986; Slavicek and Kulmer, 1987; Grunert and Krenkel, 1991; Kulmer, 1993) On appelle axiographie l'étude instrumentale du déplacement de l'axe transverse bicondylien dans les trois sens de l'espace [30]. L'appareil permettant d'obtenir une axiographie se nomme un axiographe. Il enregistre le déplacement mandibulaire grâce à un appareillage spécifique [31]. Ces déplacements condyliens sont enregistrés sous forme axialisée. En effet, le pointeau condylien de l'axiographe est placé en regard de l'axe charnière bicondylien pour masquer la composante de rotation condylienne.

Le pointeau tournant sur lui-même chaque fois qu'il y a rotation, la composante de rotation se superpose à la translation. Cela permet d'éliminer la rotation pour ne conserver que les mouvements de translations [25].

Bien qu'imaginé par Champion en 1902, c'est à Robert Lee que l'on doit attribuer l'actualisation de ce principe d'étude [30]. Selon Cardonnet et Clauzade (1987), elle doit être utilisée dès qu'un problème articulaire est suspecté, en tant que moyen de choix pour le diagnostic différentiel des troubles temporo-mandibulaires d'origines articulaire, tels que les luxations réductibles et les luxations irréductibles [32]. Puis Lundeen et Wirth, ainsi que les travaux de Slavicek affirment qu'il s'agit d'une méthodologie techniquement validée d'enregistrement des déplacements condyliens [25].

La cinématique condylienne est repérée dans un système de coordonnées spatiales. Elle est centrée sur une origine (l'axe charnière) et sur une référence horizontale (le PAO) reliant l'axe charnière terminal au point sous orbitaire gauche. Permettant de définir 3 axes :

- L'axe des X, sagittal et positif en avant (représenté par le PAO)
- L'axe des Y, transversal, horizontal et positif à gauche
- L'axe des Z frontal, vertical et positif en bas

L'orthogonalité de l'axiographe est recherchée lors de son installation. Les barres horizontales des arcs péri crânien et mandibulaires doivent être parallèles entre elles et au plan bi-pupillaire [33]. Quant aux bras latéraux ils doivent être parallèles entre eux et au plan sagittal médian en vue horizontal [34].

(I) Axiographe Mécanique (SAM) :

Mettant en jeu initialement des turbines gravant leur déplacement dans des blocs de plastique, la technique a heureusement été simplifiée au bénéfice de matériels cliniquement plus fonctionnels.

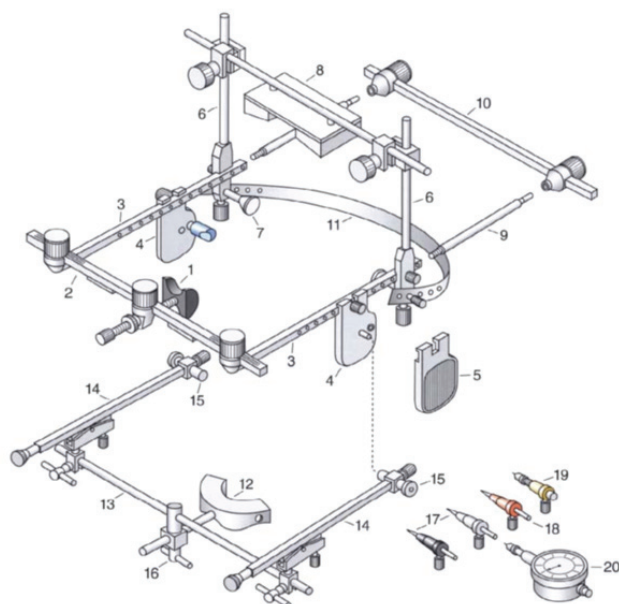
Actuellement, la version mécanique comprend un arc péri crânien et un arc mandibulaire (figure 13).

L'arc péri-crânien se compose :

- D'un arc quadrangulaire avec un bras frontal et deux bras latéraux supportant les plateaux d'enregistrement
- Différents systèmes de stabilisation de l'arc (appui nasal, sommet du crâne, tempes, apophyses mastoïdes, nuque)
- Index antérieur pour le point infra orbitaire
- Plateaux d'enregistrements sur lesquels on retrouve le papier millimétré
- Des champs de réglage pour les bras latéraux.

L'arc mandibulaire quant à lui est constitué :

- Une attelle de fixation
- Une barre frontale horizontale et deux bras latéraux ajustables.
- Des pointeaux de détermination de l'axe charnière
- Un dispositif graphique de marquage des mouvements sagittaux (style traçant)
- Un comparateur à cadran supporté par le bras latéral. Il évalue le déplacement transversal des condyles, au centième de millimètre.



- 1 : appui nasal
- 2 : tige antérieure
- 3 : branche supérieure
- 4 : drapeau d'alignement avec la partie intra-auriculaire et la broche d'alignement
- 5 : plateau d'enregistrement
- 6 : Tige de support d'assemblage du mastoïde et vertex.
- 7 : Support du mastoïde
- 8 : support du vertex
- 9 : tige d'extension du bras latéral
- 10 : barre transversale postérieure (gauge de référence de l'alignement)
- 11 : élastique de maintien nucale
- 12 : fourchette mandibulaire
- 13 : branche antérieure de l'arc faciale d'enregistrement
- 14 : branche latérale de l'arc faciale d'enregistrement
- 15 : tube d'alignement
- 16 : attache universelle de la tige antérieure
- 17 : stylet de positionnement de l'axe charnière
- 18 : stylet de positionnement de l'axe charnière
- 19 : stylet de positionnement de l'axe charnière
- 20 : stylet de positionnement de l'axe charnière

Figure 13. Constitution de l'axiographe mécanique (SAM)

Lors de l'utilisation, l'attelle de fixation de l'arc mandibulaire est disposée en premier. Il en existe 2 sortes. Une supra-occlusale empêchant les contacts occlusaux, et une attelle dite para occlusale laissant libre ces mêmes contacts.

Pour l'attelle de fixation supra occlusale : Celle-ci se positionne comme un porte empreinte mandibulaire et recouvre toutes les dents antérieures (figure 14). L'utilisation de snow-white est nécessaire pour la fixer à la mandibule. On utilise le temps de prise du plâtre pour placer le patient en relation centrée, en « occlusion » sur l'attelle.

Elle permet une localisation axiale facilitée et un enregistrement des mouvements fondamentaux (le patient n'ayant plus de repère occlusal). L'enregistrement de la cinématique condylienne est rapide et simplifié.



Figure 14. Attelle de fixation Supra-occlusale

Pour l'attelle de fixation para-occlusale : Elle est modelée sur les faces des incisives, canines et prémolaires mandibulaire en utilisant de la résine chémo-polymérisable (figure 15).

On utilise ensuite un ciment de scellement (CVI ou Polycarboxylate) pour la fixer. Son avantage est qu'elle n'interfère pas avec les faces occlusales des dents en rapport, permettant de ne pas modifier les positions d'occlusion, la dimension verticale occlusion (DVO) et la fonction. L'Axiographie obtenue est dite « totale ».

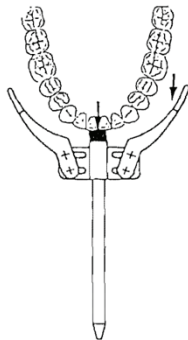


Figure 15. Attelle de fixation para-occlusale

Il est à noter en revanche que le type d'attelle utilisé ne modifie pas de manière significative les valeurs angulaires de pente condylienne en ouverture-fermeture ou propulsion-rétropulsion (Alsawaf et Garlapo, 1992).

En cas de recouvrement antérieur trop important, l'attelle est modelée en amont de la séance au laboratoire sur un modèle en plâtre et fixé au niveau de la muqueuse vestibulaire pour les dents antérieures.

Lorsque l'attelle est mise en place, on procède à la mise en place de l'arc péri crânien. L'appui nasal est posé sur l'ensellure nasale du patient, de manière à ce que l'arc soit parallèle au plan frontal, et perpendiculaire au plan sagittal médian (figure 16).

Les bras latéraux sont plaqués contre la tête du patient, au-dessus du méat auditif externe. Il faut veiller à ce que la vis de fixation des plateaux d'enregistrement arrive à proximité du point d'émergence cutané de l'axe charnière, pour en faciliter sa localisation.

L'arc péri crânien est stabilisé par les vis de fixation, la sangle péri-crânienne, l'élastique sous occipital et les appuis sous mastoïdiens.

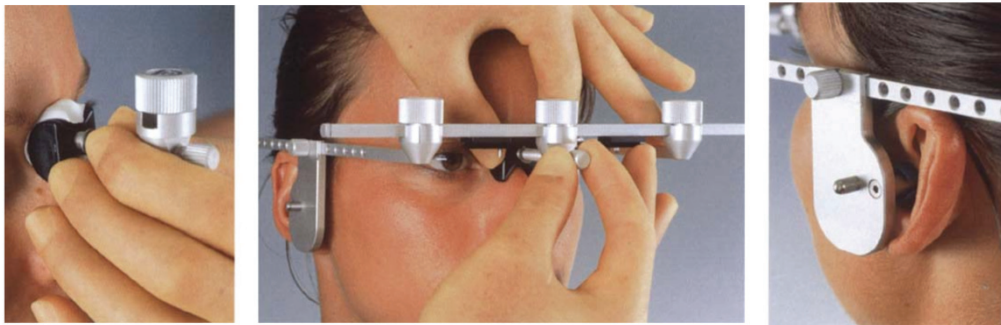


Figure 16. Mise en place de l'arc péri crânien par réglage de l'appui nasal et méat auditif externe

Avec l'extrémité mousse de la réglette, on recherche la zone la plus déclive de l'orbite gauche, tout en s'assurant de rester parallèle au PAO. L'index orbitaire est amené au contact de la partie inférieure de la réglette. On s'assure de la fixation de l'attelle mandibulaire avant de positionner l'arc mandibulaire. Celui-ci est introduit au niveau de la tige de fixation de l'attelle. Ses deux bras latéraux disposent à leurs extrémités des stylets d'enregistrement. Il faut donc veiller à ce qu'ils tombent au milieu des plateaux d'enregistrement, correspondant à l'aplomb des condyles mandibulaires. La barre horizontale est parallélisée à la barre frontale de l'arc péri crânien (figure 17).

L'écartement des bras latéraux est réglé jusqu'à ce que le pointeau entre en contact avec l'émergence cutanée du condyle. La dernière étape consiste en la localisation cinétique de l'axe charnière.

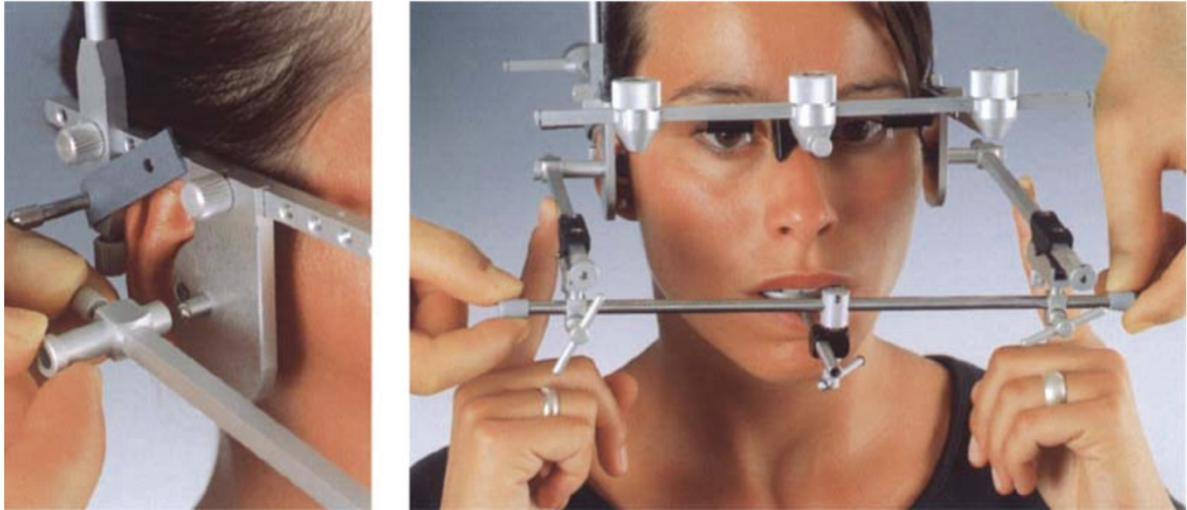


Figure 17. Fixation de l'attelle mandibulaire à l'arc.

Pour cela, le pointeau mousse est mis en place. On localise cet axe en déplaçant le pointeau grâce aux molettes de réglage du bras latéral. Lors du mouvement axial terminal, le pointeau doit effectuer un mouvement de rotation sur lui-même, et donner un sentiment d'immobilité (absence de translation). S'il se déplace sur le papier millimétré, décrivant un arc de cercle, l'axe est localisé au centre du cercle (figure 18).

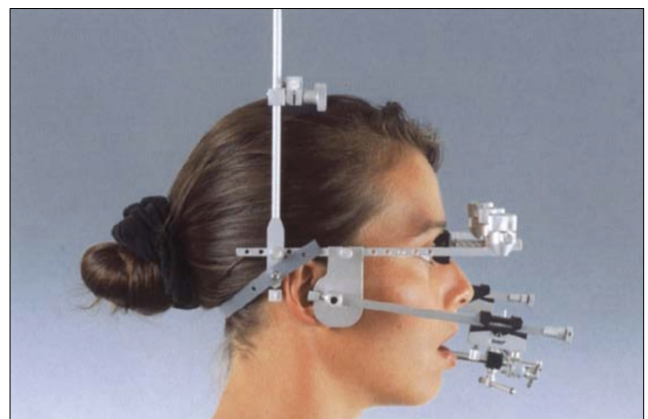
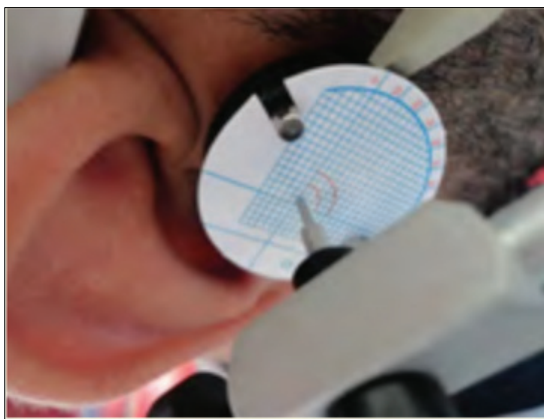


Figure 18. Localisation de l'axe charnière par le pointeau – dispositif prêt à l'enregistrement.

On peut ensuite effectuer l'enregistrement des mouvements mandibulaires [34].

Les tracés obtenus permettent d'obtenir des informations sur l'amplitude, la régularité et la reproductibilité des mouvements. On obtient ainsi une aide précieuse pour le diagnostic et la programmation de l'articulateur passant par le choix du boîtier condylien et réglage de la pente condylienne [31]. Mais également pour le montage du modèle maxillaire en articulateur [32].

(II) L'axiomatic :

Il s'agit d'une évolution de l'axiographe de SAM, et propose un meilleur contrôle de l'orthogonalité du système. Mais il est plus encombrant et gêne l'appui de la tête sur le fauteuil.

(III) Axiographie électronique :

Elle utilise les mêmes axiographes sur lesquels on remplace les stylets condyliens par des palpeurs électroniques et les plateaux d'enregistrement par des plaques sensibles.

Ce dispositif est ensuite relié à un ordinateur. Par la suite, différents programmes peuvent être utilisés comme le Cadiax de Gamma (figure 19), ou l'Axiotron.

Le système Cadiax permet notamment :

- La localisation cinétique automatisée et bilatérale de l'axe charnière. Chaque capteur condylien comporte un double stylet, l'un indiquant l'axe charnière et l'autre calculant la rotation
- Une analyse tridimensionnelle des mouvements, en temps réel et simultanée droite/gauche
- Une quantification immédiate des angles (pente condylienne, angle de Bennett)
- Une superposition des différents mouvements
- Une visualisation dynamique par effet vidéo et un agrandissement des tracés pour faciliter la lecture
- Une quantification des composantes de rotation et de translation
- Un calcul de la vitesse des déplacements.

L'avantage de ce système électronique est qu'il permet une analyse complète et facile de la cinématique mandibulaire, et archivable dans la base de données du patient.

Cependant, son inconvénient reste le coût de l'ensemble ordinateur-système d'enregistrement [34] [35].

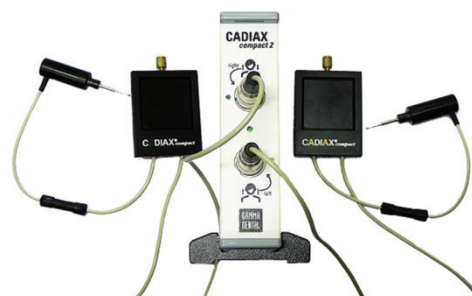
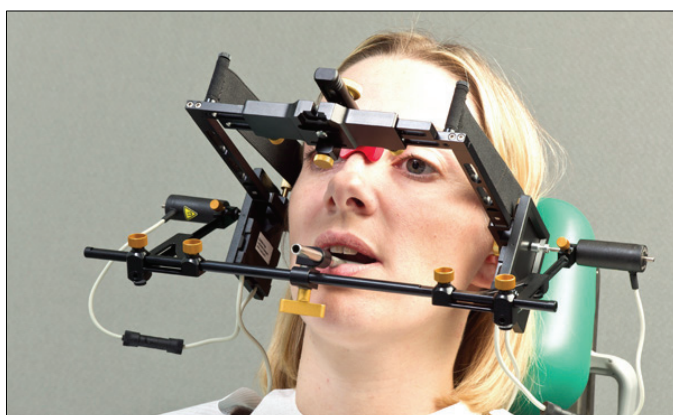


Figure 19. Dispositif d'enregistrement CADIAX

Axiographie Mécanique	
Avantages	Inconvénients
<i>Coût faible</i>	<i>Temps de l'examen long</i>
<i>Localisation de l'axe charnière réel (utile pour la programmation des articulateurs)</i>	<i>Difficulté de lisibilité et d'interprétation des tracés sagittaux</i>
<i>Évaluation des valeurs angulaires (Pente condylienne et angle de Bennett)</i>	<i>Mauvaise reproduction des déplacements transversaux (mouvement et angle de Bennet)</i>
<i>Analyse de la cinématique condylienne pour diagnostique complémentaire dans les DTM.</i>	
<i>Validation de la position de référence</i>	
<i>Formation du praticien</i>	

Tableau 2. Avantages – Inconvénients de l'axiographie Mécanique (issu de « Occlusodontie Pratique »
Giraudeau A., Laplanche O. (2006)

Axiographie Électronique	
Avantages	Inconvénients
<i>Rapidité de l'examen</i>	<i>Coût</i>
<i>Localisation cinétique automatisée et bilatérale de l'axe charnière</i>	<i>Poids de l'appareillage</i>
<i>Analyse complète de la cinématique condylienne</i>	<i>Éloignement des plateaux d'enregistrement (effet d'agrandissement)</i>
<i>Analyse détaillée de la cinématique condylienne (analyse 3D des mouvements, temps réel et simultanée droite / gauche)</i>	
<i>Reproductible sans le patient</i>	
<i>Analyse conservable</i>	
<i>Dialogue avec le patient</i>	
<i>Visualisation dynamique par effet vidéo</i>	
<i>Rapidité de la programmation</i>	
<i>Formation améliorée du praticien</i>	

**Tableau 3. Avantages – Inconvénients de l'axiographie Electronique (issu de « Occlusodontie Pratique »
Giraudeau A., Laplanche O. (2006)**

D'autres méthodes, plus ou moins anecdotiques ou éphémères ont été expérimentées, de la stéréophotographie aux traceurs radioactifs, en passant par les dispositifs optoélectroniques.

Les techniques photographiques nécessitaient un transfert manuel compliqué pour produire des tracés de mouvements mandibulaires et donnaient lieu à la possibilité inhérente d'introduire des erreurs. Les méthodes radiographiques avec exposition aux rayonnements ont déjà été utilisées dans le passé, mais les comités d'examen éthique ne le permettent plus à des fins expérimentales en raison de préoccupations liées à la sécurité des patients.

Les systèmes de suivi optoélectroniques obtiennent des mouvements mandibulaires à l'aide de caméras pour suivre la position spatiale des diodes électroluminescentes. Ils présentent également l'avantage de ne pas perturber le schéma de mastication individuel [36].

Mais les travaux actuels sont tournés, en toute logique, vers le couplage informatique des données fonctionnelles acquises par des capteurs numériques et les données structurales acquises par tomodensitométrie (TDM) ou imagerie en résonance magnétique (IRM).

L'objectif étant de simplifier les procédures de mise en place clinique et l'accessibilité, en s'aidant de l'apport permis par les nouvelles technologies [25].

3. SICAT

Le système SICAT comprend deux éléments : le SICAT Function et le SICAT JMT+.

Sicat Function relie des scanners de tomographie à faisceau conique (CBCT) avec des enregistrements de mouvements mandibulaires en trois dimensions, basés sur des ultrasons (figure 20) [37].

Des images numériques des arcades dentaires acquises avec des caméras intra-oral de type Cerec (Sirona) peuvent également être superposées. Cela aboutit à la génération d'un modèle 3D de la base osseuse mandibulaire, comprenant également l'articulation temporo-mandibulaire. Il permet de reproduire le mouvement dynamique réel, en 3D, des condyles en même temps que celui des trajectoires condyliennes en des points définis (les centres condyliens étant un point d'intérêt particulier).

Sicat Function est une solution 3D numérique intégrée pour le diagnostic instrumental et permet l'objectivation de dysfonctionnement de l'articulation temporo-mandibulaire (DTM). La principale indication de la fonction Sicat est la présence de plaintes de DTM arthrogènes persistantes, nécessitant des études supplémentaires pour évaluer les composants structurels osseux de l'articulation temporo-mandibulaire [38].

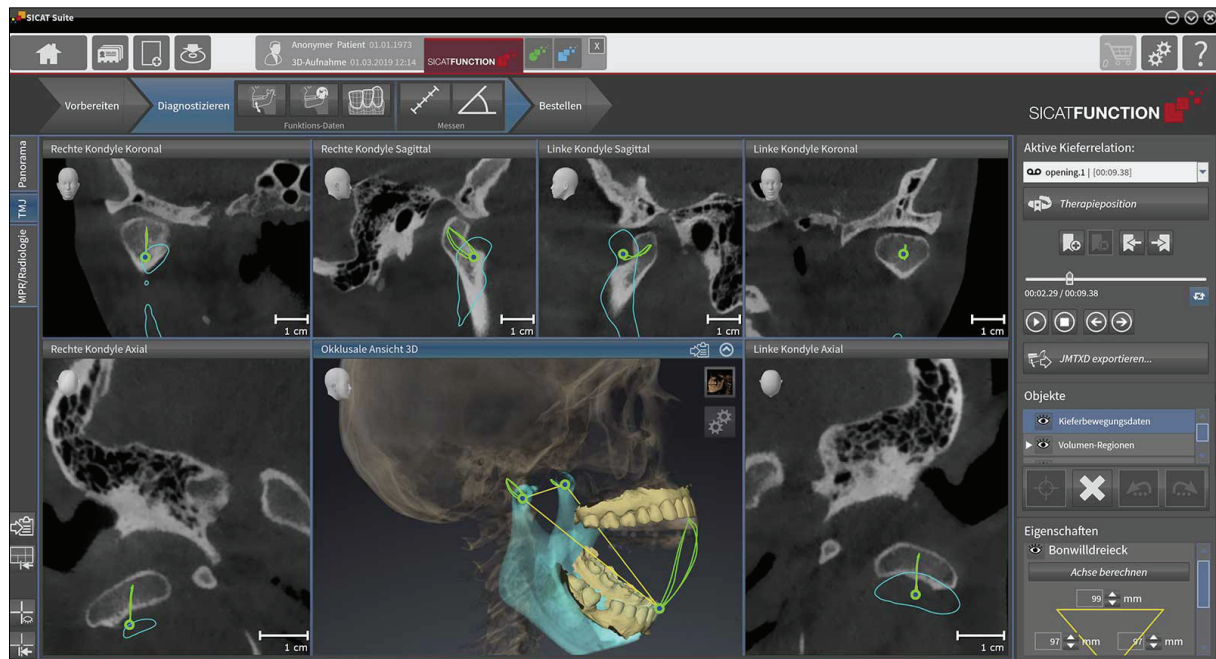


Figure 20. Interface SICAT Function

Les mouvements mandibulaires sont acquis grâce au SICAT JMT + Jaw Motion Tracker (figure 21a et 21b). Il s'agit d'un outil de suivi du mouvement mandibulaire utilisé pour enregistrer et mesurer sa position et son mouvement. Le système convertit les temps de propagation de plusieurs signaux acoustiques en informations spatiale.

Le système SICAT JMT + comprend principalement :

- Un arc facial avec récepteur intégré
- Une pièce en T para-occlusale
- Un capteur mandibulaire parfaitement équilibré (Ce capteur est fixé à l'attachement en T paraocclusal par moyen d'une fixation magnétique)
- Un plateau SICAT Fusion Bite
- Un adaptateur SICAT Fusion Bite

**Figure 21a. Système
SICAT JMT+**



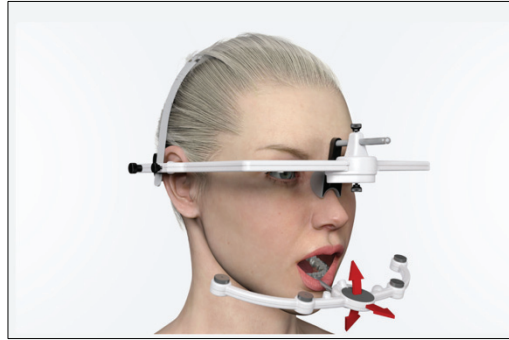


Figure 21b. Système SICAT JMT+ en action

L'arc facial comporte un coussinet nasal pour faciliter la localisation, un bandeau supérieur et un bandeau arrière pour sécuriser la position. Il contient six microphones à ultrasons pour recevoir les informations de quatre émetteurs à ultrasons situés dans le capteur mandibulaire. Les modules récepteur/émetteur de l'arc facial et du capteur mandibulaires sont reliés à l'unité de base SICAT JMT + via un câble de liaison. Le plateau SICAT Fusion Bite est un plateau de transfert fiduciaire et peut être connecté au capteur mandibulaire par l'adaptateur SICAT Fusion Bite. Le plateau contient huit marqueurs radio-opaques qui serviront de point de repère pour la fusion des données CBCT et JMT. La pièce en T para-occlusale est fixée aux dents inférieures et se déplace avec le mouvement mandibulaire pour permettre l'enregistrement du mouvement. Elle peut être reliée au capteur mandibulaire par la fixation magnétique.

Un scanner CBCT est requis initialement. Il est préférable d'effectuer le CBCT avec le SICAT Fusion Bite présent en bouche pour suivre le mouvement mandibulaire ultérieurement.

Pour transférer le système de coordonnées du dispositif de suivi mandibulaire, il faut préparer le plateau SICAT Fusion Bite de la manière suivante (figure 22) : (1) un matériau à empreinte silicone est placé à la fois du côté maxillaire et du côté mandibulaire du Fusion Bite plateau, (2) le patient mord le matériau à empreinte, (3) le mordu est retiré de la bouche du patient après la prise de l'empreinte et taillé pour éliminer les matériaux en excès.

On demande ensuite au patient de porter le SICAT Fusion Bite dans la bouche pendant le balayage CBCT [36].

Un seul balayage CBCT est nécessaire pour l'évaluation spécifique du patient des positions condyliennes (centrée et thérapeutique), qui sont affichées avec l'espace articulaire. Toutes les autres positions sont dérivées par corrélation avec des mesures électroniques [39].



Figure 22 : Étapes de préparation du plateau SICAT FUSION BITE

Afin de préparer à l'enregistrement, l'attache en T para occlusale de l'émetteur à ultrasons est ajustée à l'arcade dentaire mandibulaire. Une résine composite auto-polymérisante (Luxatemp 3M ESPE ®) est ensuite appliquée sur l'attache avant son placement sur la face vestibulaire de l'arcade mandibulaire. Les matériaux en excès sont enlevés avant durcissement complet. À la suite de cette procédure, le mouvement fonctionnel de la mandibule en occlusion n'a pas été perturbé puisque les dents maxillaires n'étaient pas en occlusion. La technologie des capteurs de mesure comprend un capteur récepteur et un capteur émetteur.

Afin de simuler le suivi de la mandibule virtuelle, le logiciel Sicat Function a été utilisé pour effectuer la segmentation de la mandibule et de la fosse glénoïde. Après avoir sélectionné un segment de la mandibule en traçant des marques sur les coupes radiographiques, le logiciel extrait les données CBCT et les fusionne avec les données de mouvement mandibulaire correspondants. Le système présente ensuite à l'écran une image 3D du mouvement mandibulaire spécifique du patient.

Les empreintes optiques complètes du patient sont obtenues avec un scanner intra-oral (Sirona, CEREC Omnicam). Ensuite, elles sont importées et fusionnées avec les données CBCT afin d'obtenir des images métriquement correctes.

Le logiciel SICAT Function charge les données et superpose les arcades aux images CBCT, simultanément avec la segmentation mandibulaire et condylienne. Cette procédure donne la possibilité d'évaluer l'occlusion dynamique et le mouvement mandibulaire en interaction avec la fonction de l'ATM.

Le logiciel SICAT Function peut combiner la tomodensitométrie à faisceaux coniques, les données électroniques JMT et les empreintes numériques. Ainsi, il est capable de présenter une simulation 3D réelle des mouvements mandibulaires par rapport à l'anatomie spécifique de l'arcade mandibulaire du patient (figure 23). En outre, les modifications de l'interligne articulaire pendant le repos ou d'autres positions peuvent être enregistrées. Ainsi, le système peut être utilisé comme un outil de support utile dans le diagnostic, le traitement et la gestion des DTM [40].

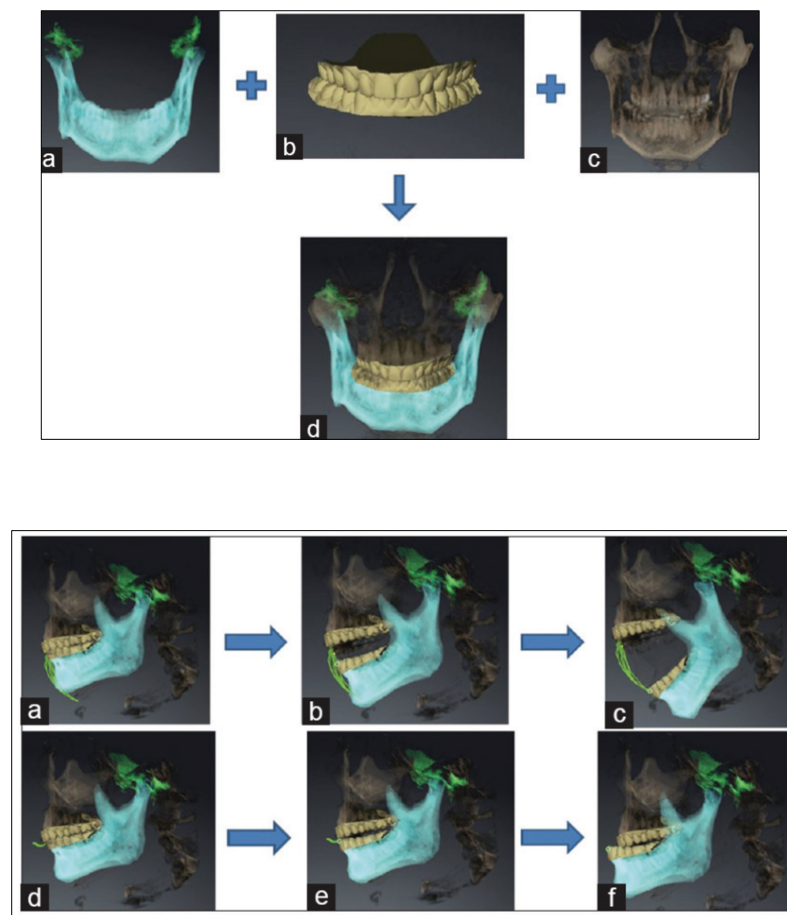


Figure 23. Les différentes étapes du SICAT Function.

4. Le concept « Modjaw »

C'est en suivant ce courant de pensée que le concept « Modjaw » est né.

Il n'est plus question d'une simulation d'articulateur, mais d'un véritable avatar numérique du patient. Cette technologie consiste à enregistrer les mouvements mandibulaires directement sur le patient, selon un protocole choisi par le praticien. Cet enregistrement 3D (qui comprend les mouvements spatiaux du patient en temps réel) permet au praticien de rejouer une vidéo des mouvements enregistrés avec des fonctionnalités de gestion 3D. De manière concrète, il est possible de voir et d'analyser en direct ce qu'il se passe au niveau des arcades dentaires du patient. Le terme de 4^{ème} dimension a été mentionné pour la première fois par Francois DURET dans ses travaux sur l'Access Articulator. Le concept de compatibilité neuromusculaire a été développé un peu plus tard avec Jean-Pierre Toubol en 1989.

Du fait d'une technologie pas encore assez développée, ces travaux sont restés au stade de recherche scientifique, sans impacter réellement l'aspect clinique. Le flux numérique était incomplet ; nécessitant des étapes d'assemblage de plâtre et d'articulateur physique avant de basculer vers la réplique numérique.

Le Modjaw® (figure 24) permet maintenant de faire ce dernier lien, et de transférer avec précision la position spatiale mandibulaire par rapport à l'axe bi-condylien à un articulateur virtuel.

La possibilité de manipuler le patient tout en enregistrant des mouvements offre un degré de précision auparavant impossible à obtenir si facilement. Les graphiques continuent à être utilisés, mais ils sont cette fois directement corrélés à la vision de mouvement 3D. Leur but est de faciliter la compréhension et l'analyse. Il devient plus facile de visualiser les projections articulaires, et surtout d'enregistrer la position spatiale de l'arcade mandibulaire lors des déplacements [41].

Avantageusement, le procédé comprend l'affichage en temps réel, sur un écran, d'une image vidéo du visage du patient acquise par la caméra stéréoscopique ainsi que des axes et plans de référence du visage du patient [2].

La visualisation des interférences, la recherche d'une relation centrée reproductible, ainsi que de tous les composants de l'occlusion thérapeutique, sont rendus réalisables et simplifiés. La capture de la dynamique mandibulaire intègre le protocole de diagnostic initial, ainsi que la photographie et l'imagerie médicales. Le montage en articulateur est exécuté virtuellement. Le praticien peut sélectionner un traitement initial visant à rétablir la santé articulaire et fonctionnelle, avant de réévaluer le patient pour passer aux étapes suivantes.

Les enregistrements initiaux et post-traitement peuvent ensuite être comparés de manière objective [42].

En outre, ces données permettent également la programmation de différents articulateurs à réglage individuel ou semi-individuel, l'objectif étant la réalisation d'une prothèse plus fonctionnelle, en respectant le mieux possible les facteurs essentiels de l'anatomie occlusale (angle de Bennett et inclinaison du trajet condylien) [43].



Figure 24. Le système MODJAW ®

C. L'Enseignement initial à la faculté de Nice

L'occlusodontologie est enseignée à la faculté de Nice dès la réussite au concours de PACES, à l'entrée en faculté de chirurgie-dentaire (deuxième année). Le programme est réparti sur cinq ans.

La deuxième année, en faculté d'odontologie, est consacrée à l'acquisition de l'anatomie dentaire, prérequis indispensable pour aborder sereinement les relations occlusales.

Pour ce faire, les étudiants doivent assimiler une partie théorique au premier semestre où chaque dent est décrite selon des proportions et particularités anatomiques précises. Ces connaissances sont approfondies et ancrées à l'esprit par des méthodes de pédagogie active. Lors d'enseignements dirigés et de travaux pratiques, les étudiants retranscrivent par des exposés et des dessins les critères de l'anatomie dentaire en cours d'acquisition, et également par la fabrication de dents en trois dimensions, par la technique de la cire ajoutée (wax up)(figure 25). Cette dernière technique consiste à recréer par incréments de cire successifs, une dent en intégralité sur un modèle pédagogique en plâtre. L'objectif pédagogique combine à la fois l'amélioration de la dextérité, et l'acquisition des formes et proportions dentaires dans les trois dimensions de l'espace.



Figure 25. Réalisation d'une hémi-arcade maxillaire par technique de Wax-up

Lors du second semestre, les étudiants acquièrent les connaissances sur les bases de l'occlusion : l'organisation occlusale, la cinématique mandibulaire, les positions de références, les concepts occlusaux et les fonctions occlusales par l'intermédiaire de cours magistraux supportés par un polycopié.

La troisième année en odontologie permet d'apprendre à simuler l'occlusion et les déplacements condyliens. L'enseignement est organisé en travaux pratiques sur deux semestres, sur un modèle de pédagogie active et inversée. Du travail théorique d'apprentissage est effectué à distance par l'étudiant en amont de la séance. Un quizz d'évaluation des connaissances est réalisé en début de séance avant la mise en pratique directe des connaissances acquises par jeu de rôle en binôme « praticien- patient ». L'objectif du premier semestre est l'apprentissage de manipulations cliniques : empreinte, observation clinique, relation centrée, utilisation de l'arc facial, programmation et montage en articulateur. Le second semestre permet d'appréhender l'analyse occlusale sur les moulages en simulateur obtenus au premier semestre, puis de mettre en application les connaissances théoriques acquises en deuxième année sur les bases de l'occlusion par la construction de dents physiologiques par la technique de la cire ajoutée. La quatrième et la cinquième années d'enseignement comportent des cours magistraux et des TP sur l'occlusion en réhabilitation, le bruxisme, le SAHOS et les dysfonctionnements temporo-mandibulaires.

L'enseignement portant sur les bases de l'occlusion en deuxième année est actuellement très théorique, intégralement sous forme de cours magistraux. La quantité d'informations que l'étudiant doit s'approprier est importante. Mais la difficulté principale que rapportent fréquemment les étudiants à ce stade de leur cursus, est le caractère abstrait des concepts occlusaux.

En effet, il est ardu pour un étudiant n'ayant jamais été en clinique au contact de patients, n'ayant pu observer ou voir de manière concrète les applications de ces concepts, d'en comprendre tous les principes et de les intégrer durablement.

C'est partant de ce constat, que nous nous sommes intéressés au moyen que pouvait constituer le Modjaw® (fraîchement acquis par l'UFR Odontologie de Nice, financé par un projet pédagogique interne à l'établissement) de permettre la visualisation des concepts expliqués et de mettre en place des ED en remplacement de certains cours magistraux. Le premier chantier pédagogique concerne la cinématique mandibulaire.

Le Modjaw®, par son caractère technologique et novateur, ainsi que l'aspect didactique et pédagogique de sa présentation, pourrait permettre désormais d'orienter l'enseignement en occlusodontologie vers l'apprentissage mixte et le E-learning.

IV. Conception d'un nouveau support pédagogique en Occlusodontologie basé sur le e-learning

A. Objectifs

L'enseignement des bases de l'occlusion est dispensé sous forme de cours magistraux, au cours desquels de nombreuses photos, vidéos, illustrations et cas cliniques permettent de visualiser les différents concepts. Un support pédagogique de référence nommé « Les bases de l'occlusion » (polycopié de 81 pages) est remis aux étudiants [44]. Il repose principalement sur l'ouvrage : « Occlusodontie pratique » par Orthlieb *et al.*, publié en 2006 aux éditions CDP.

En deuxième année, ce modèle d'enseignement sous forme de cours magistraux et dont le support est donné par l'enseignant comporte de nombreuses limites (cf chapitre 1) dont la passivité et l'absentéisme. L'étudiant se retrouve seul face au document support de cours, alors que de nombreux paragraphes ne sont pas illustrés. Ceci ne facilitant pas l'approche visuelle et l'apprentissage par l'observation et manipulation concrète des concepts présentés.

Dès lors, il pourrait être intéressant développer un contenu destiné à un apprentissage en e-learning mêlant support écrit, illustrations photos et vidéos. Le Modjaw® permettant d'obtenir la visualisation concrète des concepts décrits et montés en vidéos pour favoriser la compréhension de l'étudiant à distance et organiser des enseignements dirigés en présentiel.

Nous pouvons citer le travail de thèse de Matthew BOHIN mené à la faculté de Nice en 2017, et qui s'était intéressé aux ressentis des étudiants vis à vis de l'introduction d'un support vidéo et du numérique dans l'enseignement d'occlusodontologie en troisième année [45]. Lors de son questionnaire, 155 étudiants interrogés (troisième, quatrième et cinquième année du cursus en odontologie), 86 ont répondu soit une participation globale de 55%.

A la question, « *Trouvez-vous intéressant d'apporter un support vidéo à l'apprentissage des étapes cliniques et laboratoires du montage en articulateur (des empreintes à l'enregistrement de l'occlusion, jusqu'à la programmation et introduction à l'analyse occlusale) ?* », les étudiants ont répondu positivement à l'unanimité montrant l'intérêt de ce projet dans l'apprentissage.

Les commentaires associés à cette réponse étaient les suivants :

- *« On visualise ce que l'on doit faire.*
- *Permet de visionner de manière infinie et n'importe où ces vidéos.*
- *Visualiser un support vidéo est plus rapide à comprendre et plus précis, mais j'aime aussi avoir un syllabus détaillé pour pouvoir suivre sur papier les étapes lors du TP.*
- *Développe nos connaissances, permet de mieux comprendre et d'éviter des erreurs.*
- *Une vidéo, voir quelqu'un le faire est beaucoup plus parlant et permet de mieux visualiser les gestes et les étapes à réaliser pour la réalisation des différentes étapes cliniques et laboratoires.*
- *La vidéo permet de mieux appréhender le TP en amont.*
- *Cela permet de donner un sens pratique au cours théorique.*
- *Facilite la compréhension et la mémorisation des différentes étapes.*
- *Ça permet de visualiser les choses donc de mieux apprendre.*
- *Plus facile d'imaginer les étapes par des images vidéo que d'avoir uniquement les étapes clés sur papier.*
- *Meilleure compréhension par l'image.*
- *Ça facilite la compréhension des TP.*
- *Oui car comprendre la réalisation par exemple des cires ou la mise en propulsion, diduction... de l'articulateur sans vidéo est assez difficile.*
- *Cela permet d'arriver en TP en sachant clairement ce que l'on a à faire, les erreurs à éviter, les techniques de manipulation des différents matériaux et de l'articulateur. Les vidéos permettent en effet d'éclaircir certains points du syllabus et de récapituler toutes les étapes en quelques minutes.*
- *Permet de comprendre les étapes et visualiser l'objectif de travail.*
- *Permet de mieux comprendre le TP en visualisant ce qui est demandé.*
- *C'est plus simple de comprendre par des vidéos qu'à l'aide d'un texte.*
- *Je pense que cela peut être intéressant afin de mieux comprendre certaines étapes de l'analyse occlusale qui sont un peu floues sur le papier.*
- *Intéressant lorsqu'on ne l'a jamais fait au préalable.*
- *Plus concret et plus simple pour la compréhension. »*

100% des étudiants de troisième année étaient d'accord pour affirmer que les vidéos leur permettraient d'améliorer leur niveau en TP et en clinique. De plus, ils estimaient à 77,8% la nécessité de démonstrations réalisées par l'enseignant en cours. Les mêmes résultats étaient retrouvés pour les quatrième et cinquième années. Cependant, les scores obtenus montraient qu'au fil des années, les étudiants étaient moins persuadés que les vidéos amélioreraient leur niveau en TP et en clinique.

Ces résultats confirment l'intérêt de l'apprentissage mixte et de l'accueil positif du numérique chez les étudiants en début de cursus. Ils soutiennent aussi l'idée qu'une fois les concepts observés et utilisés en clinique, l'apport de supports vidéo est moins pertinent. La préférence s'oriente vers des vidéos au format court (moins d'une minute) et avec peu de texte pour la majorité des étudiants interrogés.

A noter qu'une attente trop longue pour arriver aux étapes intéressantes ainsi que le temps de téléchargement étaient les principales limites de cet outil audiovisuel selon les étudiants.

Pour reformater cet enseignement vers une pédagogie inversée, plus active, favorisant un travail personnel à distance, des manipulations pratiques ainsi que des enseignements dirigés en présentiel, il est nécessaire de revoir le support pédagogique en y incluant des exercices utilisant les outils logiciels et numériques à disposition.

Concrètement, le premier objectif de ce travail est de créer un nouveau syllabus « bases de l'occlusion – chapitre : cinématique mandibulaire ». Il s'agit d'intégrer davantage d'illustration et vidéos pédagogiques et modernes fabriquées à l'aide de l'outil Modjaw®. Des liens et flash-codes permettent d'accéder aux vidéos pédagogiques en remplacement du cours magistral/démonstration de l'enseignant.

Le second objectif est la création d'enseignements dirigés utilisant les dernières technologies (caméra optique, Modjaw®, salle de simulation, salle numérique) pour l'apprentissage de la cinématique mandibulaire.

B. Matériels et méthodes

Pour la réalisation des schémas et vidéos pédagogiques sur la cinématique mandibulaire, il était nécessaire de créer du contenu et de réaliser des enregistrements cinématiques. Ceci ont été réalisés dans le cadre de travaux pratiques à vocation pédagogique.

1. Les moulages en plâtre

Tout d'abord, il était nécessaire d'avoir à disposition un grand nombre d'arcades dentaires. Pour cela, nous avons utilisé les empreintes maxillaires et mandibulaires de l'ensemble des étudiants de troisième année en odontologie de Nice (après avoir recueilli leur consentement) (figure 26). En effet, au cours de la troisième année chaque binôme d'étudiant doit réaliser au cours d'un enseignement dirigé, la prise d'empreintes maxillaire et mandibulaire sur son partenaire. Réalisées avec un porte-empreinte du commerce et à l'alginata, les empreintes ont été coulées en plâtre extra dur, puis taillées, afin d'obtenir un moulage précis des arcades de chaque étudiant. Ces moulages en plâtre sont, par la suite, utilisés par les étudiants au cours des TP du second semestre.

Ces moulages ont été utilisés comme base de travail avant leur montage en articulateur.

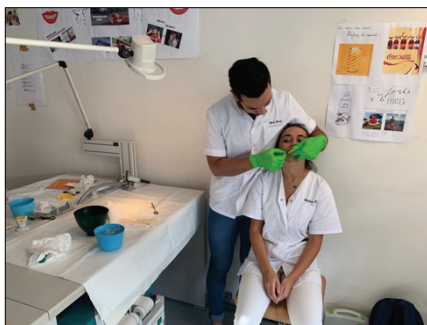


Figure 26. Les étapes de conception des moulages en plâtre.

2. La numérisation des arcades

Afin de convertir les arcades physiques en plâtre en moulage numérique (.stl) exploitable par le Modjaw®, un scanner intra-oral a été utilisé (Trios 3Shape®, prêté au Pôle Odontologie, CHU de Nice par la société Blued'is®) (figure 27).

La numérisation de l'arcade maxillaire, de l'arcade mandibulaire et l'enregistrement de l'occlusion de chaque étudiant ont été effectués. Une attention particulière a été apportée à la qualité de numérisation des faces occlusales. Un détournage à l'aide d'un stylet a été réalisé directement sur le logiciel TRIOS afin d'ôter les zones de non-intérêt (fond du vestibule, plancher lingual, zone rétro-tubérositaire, etc..) et rendre le modèle 3D plus lisible.

Après vérification du calage stable et reproductible des arcades, les modèles en plâtre ont été positionnés en engrènement afin d'enregistrer l'occlusion. Il a été vérifié de manière systématique la concordance entre le modèle numérique et physique avant exportation du fichier informatique.

Chaque enregistrement a été identifié avant exportation afin de retrouver l'étudiant correspondant. Les exports se sont faits sur une clé USB au format STL.

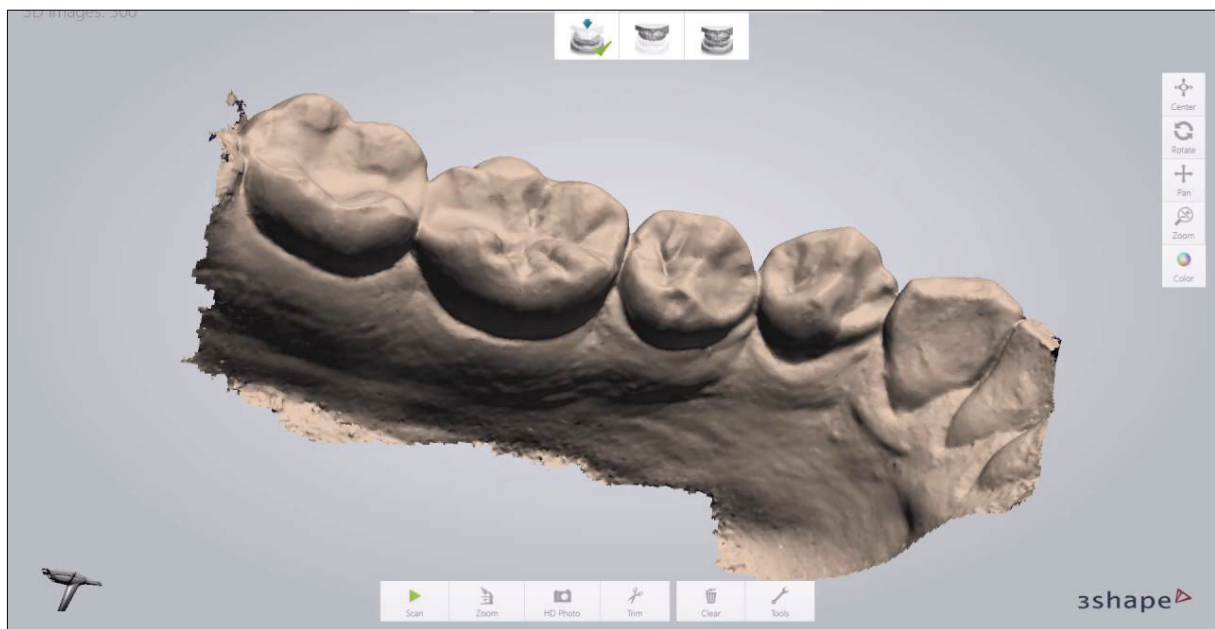


Figure 27. Numérisation d'une arcade en plâtre avec le scanner intra-oral Trios 3Shape®

3. Enregistrement de la cinématique mandibulaire par le Modjaw®

a) Description du dispositif d'acquisition

Le Modjaw, dans sa version [2.0.543] utilisée ici, se compose :

- D'une caméra stéréoscopique placée sur un bras articulé
- Ce bras articulé est fixé à une unité centrale mobile disposant de ports USB, et reliée à un écran tactile de grande taille
- D'accessoires (figure 28) :
 - Un arc péri-crânien et un pointeur comportant des marqueurs détectables par la caméra stéréoscopique
 - Un papillon en plastique disposant également de marqueurs, et comportant une fourchette de fixation permettant d'enregistrer les mouvements mandibulaires. Cette fourchette de fixation est préformée et jetable [46].



Figure 28. Accessoires du Modjaw permettant l'acquisition (de gauche à droite : le casque, le pointeur, et la fourchette mandibulaire)

Préalablement, un consentement de droit à l'image a été signé par l'étudiant dont la cinématique allait être enregistrée (figure 29).

L'échantillon était constitué de 51 étudiants représentés par 102 moulages en plâtre (51 maxillaires, 51 mandibules). Cependant, il est à noter que nous avons dû écarter 14 modèles :

- Six comportaient des défauts de surface trop importants
- Quatre n'étaient pas identifiés
- Quatre étaient absents des boîtes de rangement

Au total, 88 modèles en plâtre ont pu être utilisés, correspondants à 44 jeux de moulages en occlusion des 44 étudiants.

	Faculté de Chirurgie dentaire Odontologie	Membre de UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR 
---	--	--

**AUTORISATION DE CAPTATION D'IMAGE ET D'EXPLOITATION
DE PHOTOGRAPHIES ET DE VIDEOS**

Je soussigné(e).....

Adresse.....,

Autorise

L'UFR Odontologie de l'Université de Nice Sophia Antipolis, 24 avenue des Diables Bleus 06357 Nice, représentée par son Doyen, le Pr Laurence LUPI-PEGURIER et le Dr Elodie EHRMANN responsable du projet

A utiliser, à titre gracieux, mon image sans limitation de durée ni de lieu, pour tout usage national ou international.

En conséquence de quoi, j'autorise l'UFR Odontologie à :

- fixer, reproduire et communiquer au public les images fixes et vidéo me représentant ainsi que les éléments de ma voix,
- utiliser mes noms et prénom à des fins d'exploitation, ci-dessous définies.

Les photographies et enregistrements vidéos et audios pourront être exploités et utilisés, intégralement et par extraits, dans le cadre des actions d'information et de communication réalisés directement par l'UFR Odontologie ou par des tiers, auprès de différents publics, sous toute forme et tous supports connus et inconnus à ce jour (et notamment projection publique, télédiffusion, réseaux de transmission, réseaux de communication électronique tels qu'Internet, dossiers presse, journaux, magazines, ouvrages, vidéogrammes tels que CD-Rom, dvd, Blu-Ray).

L'UFR Odontologie s'interdit expressément de procéder à une exploitation des photographies et enregistrements susceptible de porter atteinte à ma réputation, à ma dignité ou à l'intégrité de ma personne.

Je garantis que je ne suis pas lié(e) par un contrat exclusif relatif à l'utilisation de mon image ou de mon nom.

Fait à....., le.....,

Signature

Figure 29. Consentement de droit à l'image

L'ensemble des fichiers d'empreintes numériques ont été placés dans le logiciel Modjaw via l'interface USB de l'unité centrale. Chaque étudiant ayant ensuite son propre dossier identifié dans la base de données du logiciel.

Ces séances d'enregistrements ont été menées en binôme afin que tous les étudiants puissent bénéficier de la démonstration et des explications sur le fonctionnement du Modjaw. Les sept étudiants n'ayant pas eu leurs arcades numérisées ont pu également venir sur l'une ou l'autre des sessions. Il était ainsi prévu de réaliser 25 enregistrements (51 étudiants).

Au total, ce sont les enregistrements de 44 cinématiques mandibulaires de 22 étudiants qui ont été effectués.

Ces séances d'enregistrements étaient effectuées conjointement aux travaux pratiques de wax-up pour faciliter la présence des étudiants. Chaque binôme d'étudiant se présentait à tour de rôle en salle de simulation pour l'acquisition (figure 30). La séance avait une durée approximative de 30 minutes.



Figure 30. Salle de Simulation de la Faculté d'Odontologie de Nice.

b) Examen clinique

Un questionnaire médical sous forme papier, et ciblé sur les facteurs de risques en occlusodontologie était ensuite réalisé (figure 31). Des antécédents de traitements orthodontique ou de trauma-faciaux, et la présence de douleurs cervico-faciales, de dyscinésies, de bruits articulaires ou de bruxisme étaient recherchés.



Centre Hospitalier
Universitaire
de Nice
UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

- Pôle odontologie -

EXAMEN MUSCULO-ARTICULAIRE et OCCLUSO-FONCTIONNEL

Date: _____

Etiquette
Patient

1. Entretien

- Douleur crano-cervico-faciale :
- Douleur au niveau des articulations (ATM, autres articulations):
- Bruits au niveau des articulations :
- Gêne ou limitation des mouvements de la mâchoire :
- Problèmes posturaux :
- Acouphènes :
- Antécédents :
 - Extractions difficiles :
 - Traitement occlusal par meulage/ gouttière :
 - Traitement orthodontique :
 - Traumatisme :

2. Parafunctions/dysfonctions

- Grincement/serrement:
- Ronflements, apnées sommeil:
- Rhume, sinusite, otite fréquentes :
- Phonation:
- Ventilation orale :
- Dysfonction linguale:
- Posture de repos:
- Habitudes nocives : onychophagie, mâchonnement de chewing-gum/stylo/joues:

3. Examen musculaire

- Hypertrophie des muscles élévateurs :
- Densité musculaire :
- Douleurs musculaires spontanées :
- Douleurs musculaires à la palpation :

4. Examen des ATM

- Claquement : D :mm / G :mm
- Crépitation : D / G
- Douleur : D / G

5. Diagramme de Farrar et trajectoire de l'OB



6. Examen dentaire

- Forme d'arcade :
- Perturbation du plan d'occlusion :
- Courbe de Spee :
- Courbe de Wilson :
- Atteinte parodontale :
- Exostoses alvéolaires :
- Exostoses goniales :
- Usure dentaire : attrition / abrasion / érosion.....

7. Cadre structurel globale (squelettique)

- Sagittal :
- Vertical :
- Transversal :

8. Fonctions occlusales

18 17 16 15 14 13 12 11	21 22 23 24 25 26 27 28
48 47 46 45 44 43 42 41	31 32 33 34 35 36 37 38

Barres les dents absentes / Entourer les dents mobiles

8.1. CALAGE

OIM : - Précision :
- Stabilité :

Plan F ^u	Recouvrement antérieur (mm):
	Recouvrement postérieur (mm):
	Surplomb transversal (mm):
	Occlusion inversée/croisée:
Plan S ^u	Surplomb (mm):
	Classe d'Angle Canine: D: G:
	Classe d'Angle Molaire: D: G:

8.2. CENTRAGE

Manipulation en RC :

Aisée
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
 Difficile

#iel ORC/OIM	Clinique	Articulateur
Sens T ^u	mm	mm
Sens S ^u	mm	mm
Sens V ^u	mm	mm
Contacts ORC		

8.3. GUIDAGE

Propulsion	Droite	T :
		NT :
Diduction	Gauche	T :
		NT :
Anti-rétro-position		

Remarques:

Bilan

T : Types (cadre structurel global)	Squelettique	Sagittal
		Vertical
		Transversal
	Dentaire	Sagittal
	Vertical	
	Transversal	
A : Anomalies occlusales	Centrage	
	Calage	
	Guidage	
C : Catégories d'occlusion	Normocclusion	☐
	Occlusion fonctionnelle	☐
	Malocclusion fonctionnelle (occlusion de convenance)	☐
	Malocclusion pathogène	☐
Musculo-articulaire		

Version 10/01/2017

Figure 31. Feuille de recueil pour l'examen clinique.

Puis un examen clinique était mené. Celui-ci regroupait entre autres :

- La palpation des ATM à la recherche de claquements lors de l'ouverture ou fermeture (figure 32).
- Une asymétrie de trajet des condyles lors de ces mêmes mouvements.
- Une palpation des muscles élévateurs pour apprécier leurs densités.
- Une limitation dans l'ouverture buccale.



Figure 32. Examen clinique des ATM

La fiche de recueil clinique ainsi que le consentement de chaque étudiant ont été conservés dans un classeur.

c) Mise en place du dispositif et calibrage :

Une fois ces renseignements pris, l'étudiant est invité à s'asseoir face à la caméra stéréoscopique. Son dossier est ouvert sur le logiciel Modjaw®, puis les données administratives, ainsi que l'intitulé de la séance clinique sont complétés à l'écran (figure 33). Les empreintes numériques de l'étudiant sont ensuite ouvertes sur le logiciel dans les emplacements du dossier prévus à cet effet (figure 34 et 35).

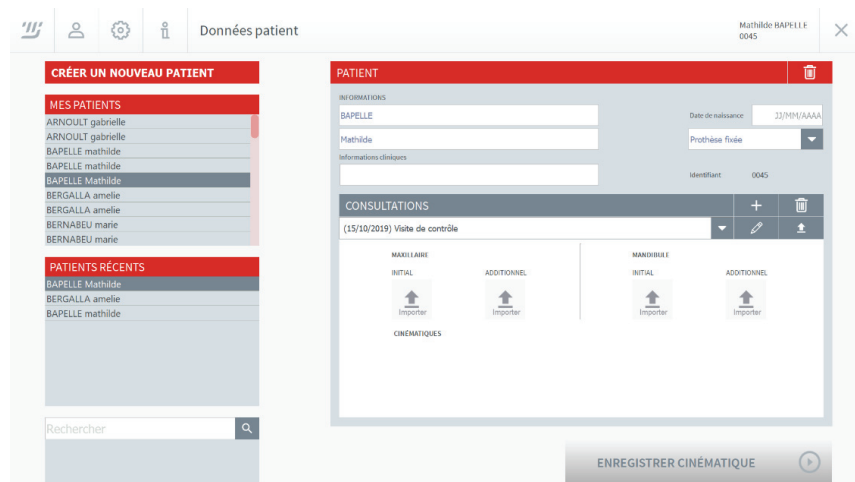


Figure 33. Renseignement des données administratives de la séance sur l'interface Modjaw

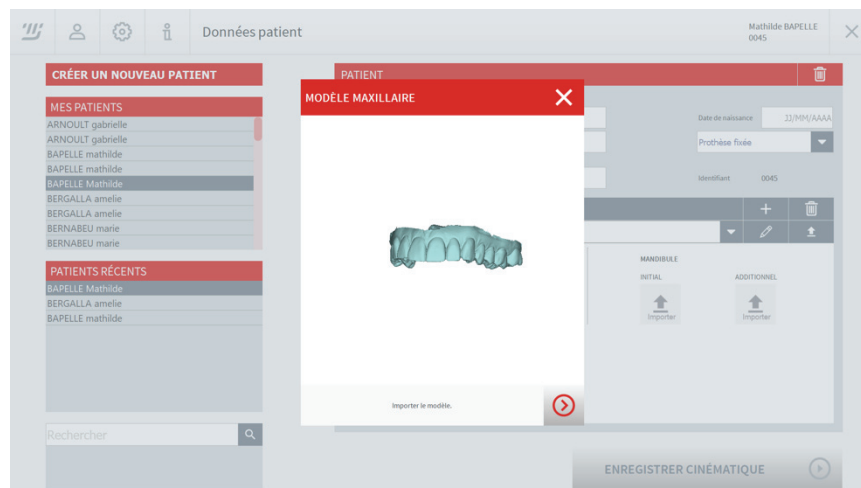


Figure 34. Empreinte numérique maxillaire chargée dans l'interface Modjaw

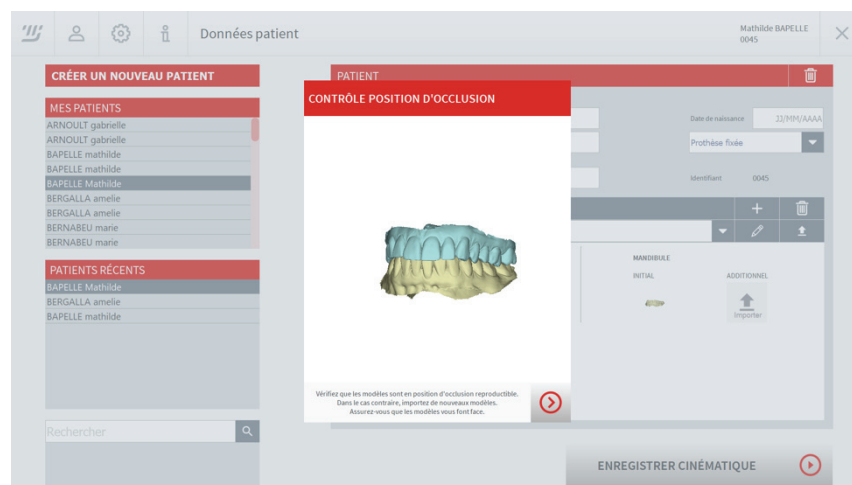


Figure 35. Vérification de l'occlusion après chargement de l'empreinte numérique mandibulaire dans l'interface Modjaw.

Une fois les empreintes chargées dans le dossier, il suffit de suivre pas à pas les indications du logiciel à l'écran.

Une phase de calibration est nécessaire pour le casque avant sa mise en place (figure 36). Elle s'effectue avec le casque face à la caméra stéréoscopique, à une distance de 85 cm, et par des mouvements de rotations du pointeur sur le casque. Le logiciel d'acquisition Modjaw signale l'avancée de la calibration directement sur l'écran sous forme de pourcentage. Un message de confirmation vient s'afficher une fois celle-ci correctement réalisée.



Figure 36. Phase de calibration du casque avec le pointeur.

L'arc péri-crânien est ensuite mis en place, puis ajusté avec la vis de réglage, afin d'être maintenu sans compression par le point d'appui au niveau de la glabre (figure 37).

Puis le papillon est disposé sur le versant vestibulaire des incisives, canines, et prémolaires mandibulaires grâce à une fourchette préformée remplie de résine auto-polymérisable (Structur 2 SC de VOCO ®) (figure 39 et 40). Une attention particulière est prêtée à enlever tout excès de matériaux sur les faces occlusales avant la fin de prise du matériau, afin de ne pas perturber le bon engrènement dentaire et guidage naturel. Pour faciliter cette étape clinique, un écarteur souple à usage unique a été positionné préalablement (OptraGate de IVOCAR®) pour tenir à distance les lèvres et donner une visibilité parfaite au versant vestibulaire des arcades dentaires (figure 38).



Figure 37. Mise en place et ajustement de l'arc péri-crânien



Figure 38. Mise en place de l'écarteur souple « Optra-Gate ® »



Figure 39. Étapes de pose de la fourchette mandibulaire par résine auto-polymérisable Structur ®



Figure 40. Ensemble du dispositif d'acquisition Modjaw mis en place.

La caméra stéréoscopique est ajustée et centrée de manière parfaite en suivant les repères visuels de l'écran (figure 41). Le pied amovible de l'unité centrale est ensuite verrouillé afin d'éviter tout mouvement ou déplacement, source d'erreur lors des acquisitions.



Figure 41. Centrage de la caméra stéréoscopique

L'étape suivante a pour objectif de mettre en évidence des points remarquables cutanés pour replacer les arcades numériques dans le visage du patient. Pour cela, il faut localiser tout d'abord le point sous nasal (figure 42) puis les axes charnières droit et gauche, en pointant les condyles grâce au même pointeur (figure 43).



Figure 42. Localisation du point sous-nasal avec le pointeur.



Figure 43. Localisation des axes charnières droit et gauche.

La dernière étape consiste à associer les modèles numériques avec des repères anatomiques cette fois-ci dentaires, pour créer un avatar virtuel, reproduisant en temps réel ses mouvements mandibulaires à l'écran.

Pour cela, il faut tout d'abord positionner le dentalé (point inter-incisif mandibulaire). Puis, quatre points remarquables sont nécessaires, généralement disposés au niveau des sillons des premières molaires et prémolaires mandibulaires. Le choix est réalisé par le praticien, directement sur l'écran tactile de l'unité centrale, en positionnant des points librement sur le modèle 3D mandibulaire (figure 44).

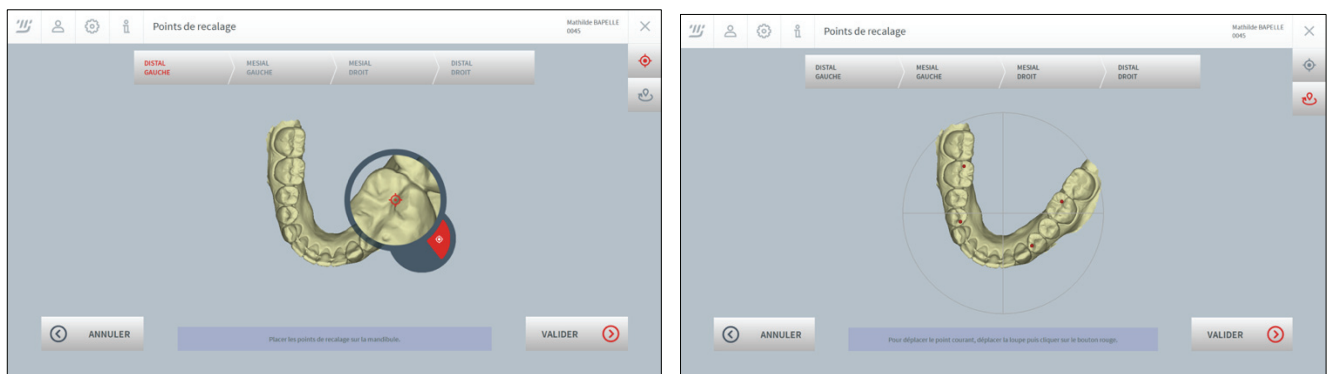


Figure 44. Positionnement de quatre points remarquables sur l'arcade mandibulaire.

Puis il retranscrit ces marqueurs virtuels de manière concrète sur le patient, grâce au pointeur muni de capteur (figure 45). Les quatre mêmes repères sont donc désignés à tour de rôle en bouche, en suivant à l'écran leur bonne acquisition.



Figure 45. Localisation sur l'arcade des quatre points remarquables grâce au pointeur.

Une fois terminée, le logiciel nous indique le bon déroulement de la procédure par un témoin lumineux vert, permettant de passer à l'étape d'enregistrement de la cinématique (figure 46). Si une erreur s'est produite lors des étapes précédentes, il est impossible de démarrer la séquence d'enregistrement, et le praticien est invité à recommencer le pointage des surfaces dentaires ainsi que des condyles.



Figure 46. Début de l'acquisition de la cinématique mandibulaire.

d) Enregistrement de la cinématique mandibulaire :

Une fois arrivé sur la page de l'acquisition des mouvements, plusieurs possibilités sont disponibles. Le logiciel propose l'enregistrement :

- Ouverture / Fermeture
- Relation centrée
- Diduction droite / gauche
- Propulsion
- Mouvements limites en sagittal, frontal, horizontal
- Phonation
- Mastication

Un grand nombre de fonctions autrefois difficiles d'accès, sont désormais disponibles en temps réel à l'écran, et modifiable par le praticien. Entre autres, il est possible de voir :

- Les valeurs d'angles de Bennett droit et gauche en degrés
- L'amplitude du mouvement de Bennett en mm
- Les valeurs de pentes condyliennes droite et gauche en degrés.
- Les déplacements du dentalé, condyle droit, et condyle gauche dans les 3 plans de l'espace (sagittal, frontal, horizontal) sous forme de trajectoire graphique sur fond millimétré.
- Les contacts occlusaux présents à chaque instant, avec une colorimétrie traduisant la distance entre les surfaces maxillaire et mandibulaire.
- La possibilité de masquer de l'une ou l'autre des arcades numériques lors des mouvements pour faciliter la visualisation.
- La possibilité de rejouer à volonté la cinématique, en choisissant la vitesse de lecture, ainsi que l'arrêt sur image.
- L'envoi possible directement par mail ou dossier de partage en ligne, de tous les enregistrements d'un patient lors des étapes de traitements, pour faciliter la collaboration entre praticiens dans la réhabilitation.

Nous avons enregistré l'ensemble des mouvements proposés par le Modjaw® pour chaque étudiant. Après une explication détaillée des mouvements à réaliser, il leur a été demandé d'effectuer chaque type de mouvement :

- Trois fois
- De manière lente et avec l'amplitude maximale possible sans forcer
- En prenant comme position de départ et d'arrivée de l'enregistrement de l'occlusion d'intercuspidie maximale (OIM)

En effet, le logiciel impose une position reproductible pour débiter et terminer une acquisition. L'O.I.M est donc la position de référence. Dès lors qu'une variation existe entre le positionnement en début et fin d'enregistrement, un message d'erreur apparaît à l'écran, et l'expérimentateur est amené à réitérer le mouvement.

Cas particuliers :

➤ *Pour la phonation :*

Un texte type, regroupant l'ensemble des phonèmes, a été utilisé pour chaque étudiant afin d'assurer la reproductibilité des résultats obtenus (figure 47).

Le texte devait être lu de manière intelligible, à volume de conversation.

FICHE LECTURE (1) âne - anatole - latte - lilas - aline - anna - lina a une natte - toto lit – nathalie a lu (2) dodo - dôme - commode - midi - mode - date - (3) le vélo va vite - Éva évite le vélo - Léonie a lavé le lino - (4) il imite un âne, dodeline de la tête et donne la patte à une dame - il écume et vide à demi un pot de limonade (5) samedi, Sidonie a cassé une tasse et un pot la tôle, pas solide se casse
--

Figure 47. Fiche de lecture type utilisée pour l'enregistrement de la phonation

➤ *Pour la mastication :*

Des morceaux de carottes, calibrées aux mêmes dimensions pour chaque étudiant, ont été utilisés (figure 48).

Il s'agit de l'aliment de référence lors de l'analyse d'un cycle masticatoire [47].

L'étudiant devait placer le morceau sur la langue avant l'enregistrement, sans débiter la mastication. Une fois en OIM, l'enregistrement est démarré et l'étudiant est invité à commencer la mastication.

Il devait signaler le côté utilisé pour mastiquer, en levant la main du côté correspondant. Nous avons reporté les résultats sur la feuille de recueil clinique, afin de s'assurer de la bonne alternance de côtés lors d'un cycle masticatoire complet.

Une fois l'aliment dégluti, l'étudiant devait se repositionner en OIM et lever cette fois-ci les deux mains pour nous signaler l'arrêt de l'enregistrement.

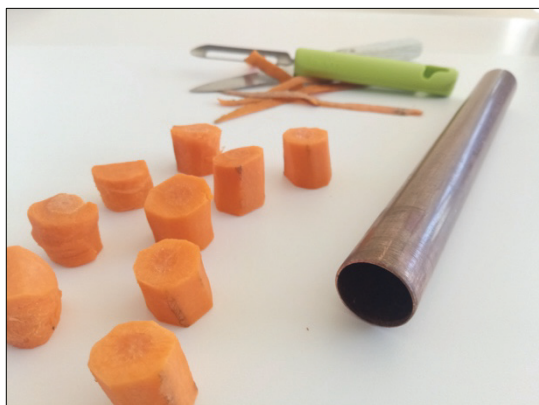


Figure 48. Morceaux de carottes calibrés pour l'enregistrement de la mastication

Pour valider définitivement la qualité de l'enregistrement, nous avons vérifié systématiquement à la fin du cycle masticatoire, le bon maintien de la fourchette mandibulaire sur l'arcade. En effet, à plusieurs reprises nous avons dû faire face au décollement de la fourchette, et donc un mauvais positionnement du papillon d'enregistrement.

Il a donc fallu recoller une nouvelle fourchette et procéder de nouveau à l'enregistrement complet de la mastication. A noter qu'une nouvelle phase de calibration est également nécessaire lors du décollement de la fourchette. Une fois les enregistrements terminés, nous avons enlevé la fourchette, et l'arc péri-crânien. Nous avons montré les résultats obtenus aux étudiants directement après la fin de la séance, ainsi que les possibilités offertes par le Modjaw. Puis ils ont pu quitter la salle de simulation pour retourner en TP de Wax-up.

e) Utilisation du modèle complet 3D de l'appareil manducateur développé dans le cadre d'un projet de recherche du Dr Ehrmann au laboratoire CEMEF, Mines ParisTech CNRS – UMR 7635

Pour obtenir une représentation complète et dynamique en trois dimensions de l'appareil manducateur, des empreintes numériques d'un patient pris en charge au Pôle Odontologie ont été couplées à une imagerie volumétrique à faisceaux coniques (CBCT Newtom 5g Champ 18 16 en OIM). Puis l'alignement et la segmentation des différentes structures ont été réalisées avec le logiciel 3D Slicer®, et les retouches géométriques avec Meshmixer®. Ce modèle a ensuite été chargé dans le Modjaw pour procéder à l'enregistrement des différents mouvements.

C. Résultats

1. Immédiat - au fauteuil

Dès la fin des étapes de calibrations, lorsque les déplacements de l'arcade mandibulaire sont visibles en temps réel, la réaction des étudiants a été unanime. Ils ont tous été très positivement surpris et admiratifs devant la possibilité de voir en 3D le déplacement de leur propre structure dentaire à l'écran.

Cependant, il était difficile pour l'étudiant participant à l'acquisition de répondre aux contraintes d'immobilité avec l'arc péri-crânien, tout en voulant observer sur l'écran les tracés obtenus.

Nous avons donc pris le temps à la fin de chaque séance d'enregistrement, d'effectuer un visionnage des tracés obtenus avec le binôme d'étudiant. Ce moment était propice à l'échange et a permis, en plus de donner les explications sur ce qu'il était possible d'observer, de répondre à leurs questions.

De manière générale, les étudiants ont présenté un réel intérêt à l'utilisation du Modjaw. Des points difficiles de compréhension en cours comme le diagramme de Posselt, ont été davantage compris grâce à la représentation 3D.

Durant les séances d'enregistrements, nous manquions cependant de temps disponible à consacrer individuellement pour améliorer leur compréhension de la cinématique mandibulaire (mouvements élémentaires, fondamentaux et fonctionnels), et des fonctions occlusales. La création d'un enseignement dirigé basé sur cette nouvelle technologie semble donc très intéressante.

La quantité d'informations recueillie suite aux séances d'enregistrements était très importante. Chaque séance contient huit tracés correspondant à l'ouverture fermeture - diduction droite – diduction gauche - propulsion - relation centrée - mouvements limites sagittaux - phonation - mastication. Une collection de 22 patients et 352 mouvements a été obtenue. Les tracés traduisant le mieux la cinématique physiologique ont été sélectionnés pour illustrer le syllabus. La grande majorité des étudiants de la promotion de troisième année de la faculté d'odontologie de Nice étant en classe I dentaire et squelettique, et ayant bénéficié de traitements orthodontiques, nous avons eu à disposition à l'issue des analyses, des illustrations exploitables des mouvements mandibulaires dans un cadre physiologique.

2. Les étapes de production du nouveau support pédagogique

a) *Réalisation de vidéos avec le logiciel de montage CAMTASIA*

Pour réaliser les vidéos courtes et ciblées sur les parties du cours nécessitant des illustrations dynamiques soutenues par des explications orales, nous avons utilisé le logiciel de montage vidéo Camtasia® (TechSmith, Okemos, Michigan) présent sur deux ordinateurs de la salle numérique (figure 49). Tous les ordinateurs de la salle sont également équipés du logiciel Modjaw®.



Figure 49. Salle informatique et numérique de la Faculté d’Odontologie de Nice

Camtasia® est un logiciel tout-en-un qui fait office d’enregistreur d’écran ainsi que d’éditeur vidéo pour éditer, découper et scinder des clips vidéo (figure 50) [48].

Il fournit des fonctionnalités interactives comprenant des questionnaires avec des résultats automatiquement envoyés par courrier électronique aux professeurs, des signets pour des points spécifiques de la vidéo, ainsi que des hyperliens vers des sources externes telles que des articles de revues. Le logiciel Camtasia inclut également de nombreuses fonctionnalités graphiques de montage vidéo, telles que des animations, des transitions et des annotations.

L'utilisateur a donc la possibilité d'éditer son fichier pour inclure une narration, supprimer des segments volumineux ou des minutes, incorporer des diapositives Microsoft PowerPoint, inclure des fonctionnalités de zoom et de panoramique et des légendes personnalisées, ou encore des quizz et des hyperliens vers divers documents disponibles sur un réseau local ou sur Internet [49].

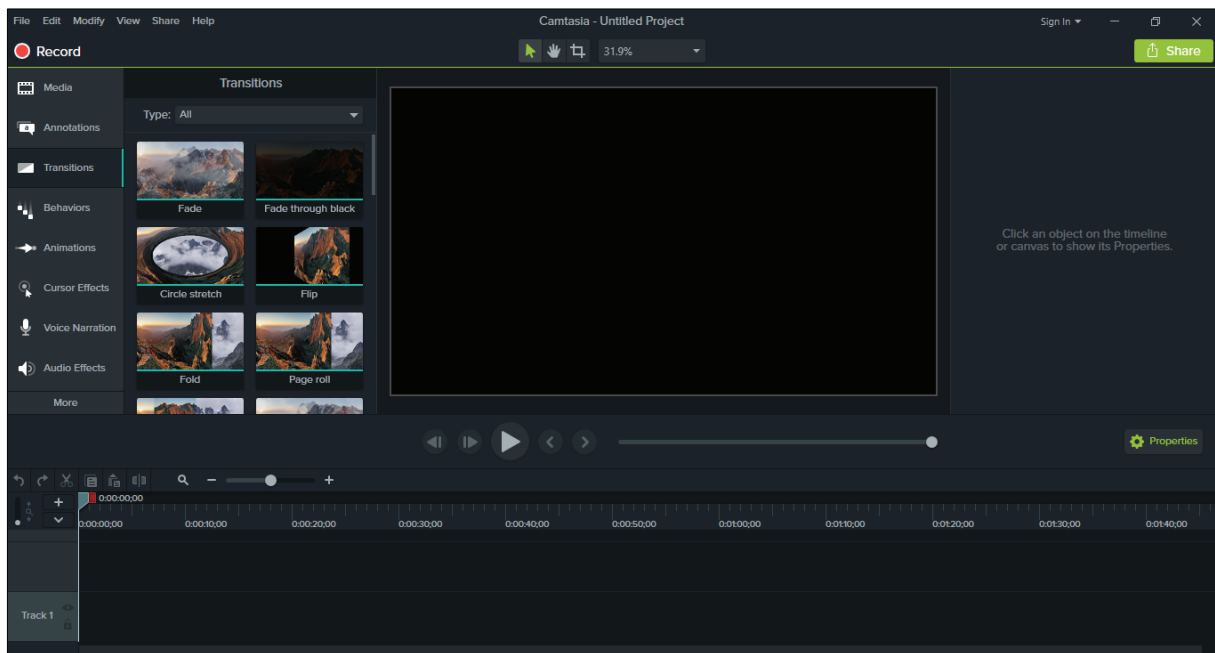


Figure 50. Interface de travail du logiciel Camtasia ®

Pour la réalisation d'une vidéo, il faut au préalable visionner sur le logiciel Modjaw le mouvement et la séquence d'intérêt qui va faire l'objet de la capture d'écran.

Puis ouvrir Camtasia et le configurer pour un enregistrement manuel apparaît alors à l'écran un cadre clignotant représentant la zone d'enregistrement. Il est possible de personnaliser la taille ainsi que choisir uniquement un format vidéo sans audio. C'est ce qui a été fait ici pour permettre l'enregistrement d'une voix off dans un second temps avec un matériel de capture audio professionnel. Le rendu avec le microphone intégré dans l'ordinateur n'étant pas assez qualitatif.

Un petit cercle rouge dans la barre d'outils est présent et permet de lancer l'acquisition. Une fois terminé, s'il est enregistré, l'enregistrement est converti en un fichier .camrec, qui ne peut être ouvert qu'avec un produit Camtasia [50].

Le fichier vidéo se retrouve dès lors dans le chutier de la bibliothèque Camtasia et prêt pour être monté. L'ensemble des transitions, annotations et effets proviennent intégralement de la bibliothèque Camtasia.

La partie audio a été enregistrée secondairement avec un enregistreur vocale ZOOM Q3. Puis les fichiers .mp3, issus de cette acquisition, importés dans la bibliothèque Camtasia afin d'être superposés à la vidéo.

Au final ce sont 15 minutes de vidéos qui ont été réalisées.

Le projet une fois terminé, a pu être exporté sous un format vidéo .mp4 et .avi lisible avec l'ensemble des lecteurs multimédias.

3. Syllabus

a) Illustrations

Concernant la réalisation des nouveaux schémas de la partie «cinématique mandibulaire », le matière de base provient des acquisitions Modjaw. Des captures d'écrans spécifiques aux parties de cours à illustrer ont été réalisées puis importées dans Microsoft PowerPoint®.

L'ensemble des légendes, annotations et cadres a été fait avec les outils proposés par le logiciel. Une fois terminé, les fichiers ont été exportés au format .jpeg et placés dans le syllabus. L'intégralité des nouveaux schémas est à retrouver en lecture dans le syllabus présent en annexes.

b) Accès aux vidéos

L'objectif étant de disposer de vidéos utilisables sur des sites de stockages en ligne, et autorisant un accès permanent aux étudiants.

Pour inclure ce contenu multimédia dans un support pédagogique papier, chaque vidéo a dû être associée à un flash-code. Il a donc été nécessaire d'importer préalablement ces vidéos sur des plateformes de stockage en ligne gratuit. Youtube® a été choisi pour car elle répondait à l'ensemble des critères. De plus, la faculté d'Odontologie de Nice dispose déjà d'une chaine de vidéos sur cette plateforme, hébergeant l'ensemble des contenus pédagogiques numériques. Il s'agit de la chaine « Dentapoche ».

Une fois hébergées gratuitement, les vidéos ont été placées en « non répertoriées » afin de garantir un accès uniquement aux personnes disposant du lien. Puis, le site « Unitag.io ® » a été utilisé pour générer un « Flash code ». Celui-ci a une durée de vie illimitée et permet un accès direct à la lecture de la vidéo hébergée sur Youtube®. Ce flash-code a ensuite été positionné dans le syllabus au niveau de la partie de cours qu'il doit illustrer.

L'étudiant doit cependant disposer sur son téléphone portable d'une application permettant de scanner le code, par exemple « Bar-Code ® ». A noter que désormais, les téléphones portables proposent une détection automatique d'un flash-code lorsque celui-ci est présenté devant l'objectif en mode photo.

Une fois l'objectif positionné sur le flash-code, celui-ci ouvre une fenêtre sur l'écran avec le lien de la vidéo. L'étudiant n'a plus qu'à cliquer sur ce lien pour que la lecture de la vidéo débute.

Cette vidéo est accessible gratuitement à tout utilisateur disposant du flash-code. Il peut ainsi la visionner de manière illimitée, et à n'importe quel endroit disposant d'un accès internet.

Nous avons donc, au-delà de l'intégration dans le syllabus de contenu d'illustration numérique issu du Modjaw, produit un support pédagogique actualisé et simplifié sur la partie « cinématique mandibulaire ».

L'apport de nouveaux schémas et de vidéos a été mis en œuvre pour donner aux étudiants la meilleure base d'enseignement possible.

C'est ainsi que nous avons produit ce nouveau syllabus, reposant sur les apports de l'apprentissage mixte et essayant de répondre aux nouvelles attentes des étudiants de la faculté d'odontologie de Nice. L'intégralité de ce support est à retrouver en lecture en annexes.

Voici l'ensemble des vidéos réalisées et accessibles par Flash-code :

- **La Diduction mandibulaire** : https://youtu.be/_oMQYNj_rCI



Figure 51. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur la diduction mandibulaire

Le mouvement d'ouverture-fermeture mandibulaire : <https://youtu.be/VWKfyz-GLPY>



Figure 52. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur le mouvement d'ouverture-fermeture mandibulaire

Le diagramme de Posselt : <https://youtu.be/qNbBpzIWaw8>



Figure 53. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur le diagramme de Posselt

Les mouvements fonctionnels : <https://youtu.be/3OshAZQEHuQ>



Figure 54. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur les mouvements fonctionnels

4. ED

Pour permettre une meilleure acquisition des connaissances et donner la possibilité aux étudiants de se familiariser avec les outils numériques, nous avons élaboré un enseignement dirigé autour du Modjaw.

Celui-ci serait mis en place pour les étudiants de deuxième année, et correspondrait à trois séances d'une heure chacune par étudiant.

Le déroulement des séances se répartirait de la façon suivante :

1^{ère} séance : Consacrée à l'approche de l'examen clinique en occlusodontologie (durée une heure en demi-groupe) :

Prérequis de la séance : anatomie de l'appareil manducateur et chapitre du cours « organisation occlusale ».

L'objectif pédagogique de cette séance est double. D'une part, améliorer les compétences techniques par l'apprentissage des gestes fondamentaux nécessaires à la prise en charge d'un patient. D'autre part, d'amorcer une initiation au raisonnement clinique en sollicitant le lien entre les connaissances théoriques et leurs traductions en pratique, mis en évidence lors du recueil de données puis lors de l'observation clinique de chaque étudiant sur son binôme.

- **25 minutes** : démonstration par l'enseignant de la bonne conduite d'un examen clinique en occlusodontologie. Elle est réalisée en salle de simulation pour permettre d'apprécier l'ergonomie et la bonne gestuelle à avoir en conditions réelles de pratique clinique. Durant ce laps de temps, un étudiant se porte volontaire pour simuler le rôle d'un patient devant l'ensemble du groupe. Il est alors effectué une anamnèse complète des données cliniques sous forme de questionnaire grâce à une fiche de recueil prévue à cet effet. Les informations recherchées sont pertinentes, objectives, et ciblées sur des facteurs de risques spécifiques au domaine de l'occlusodontologie. L'enseignant met en avant les points clés et les concordances cliniques attendues, au fur et à mesure du déroulé de l'interrogatoire (comme par exemple le lien entre une ventilation orale et la présence d'une béance, un grincement et des usures dentaires prématurées,...)

Puis l'enseignant réalise un examen clinique sur l'étudiant volontaire. Il est ici question de montrer comment s'effectue :

- Une palpation des ATM
- Une appréciation de la densité musculaire des muscles élévateurs.
- La réalisation d'un diagramme de Farrar
- L'appréciation de la forme et de l'orientation du plan d'occlusion
- La mise en évidence de toute anomalie occlusale.

Les étudiants sont invités à poser des questions si des points de la démonstration demeurent flous.

25 minutes : Pour cette partie, les étudiants se déplacent pour se rendre en salle de travaux pratiques. En effet, la salle de simulation ne dispose que d'un unique fauteuil dentaire, et ne permet pas l'exercice pratique simultanée de tous les étudiants.

Par binôme et à tour de rôle, chaque étudiant endosse le rôle du praticien, puis du patient. Il effectue ainsi l'examen clinique complet sur son partenaire tel qu'effectué pendant la démonstration. L'enseignant prend un rôle majeur ici, où il supervise le bon déroulement de la séance et s'assure en priorité que chaque étape soit réalisée correctement. Notamment le bon placement des mains lors des palpations, de l'appréciation correcte des courbes occlusales, de la bonne réalisation du diagramme de Farrar, de la justesse des informations recueillies, et apporte les corrections au binôme si nécessaire.

Chaque binôme remplit d'ailleurs la feuille de recueil clinique qui permet de valider la séance (figure 55).

10 minutes : Cette dernière partie serait mise à contribution pour répondre aux éventuelles interrogations des étudiants, et revenir sur les difficultés relevées pendant l'ED par l'enseignant.

Exercice à réaliser avec l'aide du LOGICIEL MODJAW

1. DIAGRAMME DE POSSELT, PLAN SAGITTAL : CHARGER L'ENVELOPPE LIMITE SUR UN PLAN SAGITTAL.

a) Reproduisez le déplacement du dentalé dans le plan sagittal (A). Orientez la grille.

b) Notez sur cette courbe et légendez les points importants composant ce mouvement (de 1 à 6 ; en commençant par l'OIM puis en allant vers l'avant), :

1 =

2 =

3 =

4 =

5 =

6 =

c) Quelle est l'amplitude de l'ouverture (dentalet) : mm

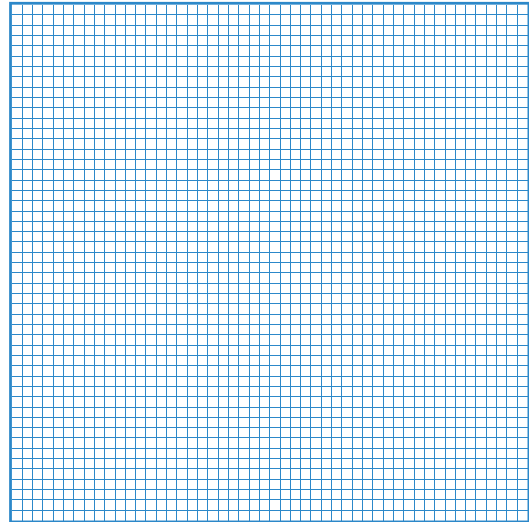
d) Quelle est l'amplitude de la propulsion : mm

e) Quelle est la valeur de la pente incisive ?

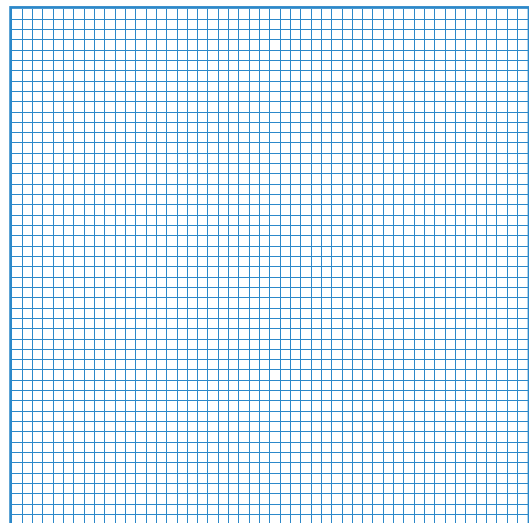
f) Reproduisez la courbe du déplacement du condyle gauche dans le plan sagittal (B) lors de ce même mouvement extrême sagittal mandibulaire. Orientez la grille.

g) Quelle est la valeur de la pente condylienne (en degré) :
à 3 mm : / à 5 mm :h) Quelles sont les répercussions de ces valeurs relatives sur la cinématique mandibulaire ?
Aidez-vous de la fenêtre 3D.

A



B

**Figure 55. Feuille de recueil de données pour le premier enseignement dirigé**

Deuxième séance : Consacrée à l'étude la cinématique mandibulaire - utilisation du système d'enregistrement MODJAW (durée 1h30 en demi groupe).

Prérequis de la séance : Bases de l'examen clinique en occlusodontologie et chapitre de cours consacré à la cinématique mandibulaire.

Cette deuxième séance d'ED regroupe un grand nombre d'objectifs pédagogiques. Tout d'abord, elle permet aux étudiants de deuxième année une première approche clinique par l'observation d'une utilisation de matériaux spécifiques à l'art dentaire (mise en place d'un OptraGate®, fixation d'une fourchette para-occlusale par résine autopolymérisante) ainsi qu'un rappel sur les bases anatomiques dentaire et articulaire (ATM)..

Deuxièmement, elle leur permet d'utiliser et de s'approprier les outils numériques et les nouvelles technologies qui se démocratisent de plus en plus en odontologie.

La visualisation sur écran et en trois dimensions des concepts théoriques concernant la cinématique mandibulaires, favorise grandement l'acquisition et l'ancrage des connaissances. Elle reprend tous les avantages de l'apprentissage mixte.

Enfin, l'étudiant améliore ses capacités à prendre la parole publiquement, et dépasse son stress. Il acquiert ainsi de l'expérience nécessaire et préparatoire d'une part aux contacts avec les patients, et d'autres parts aux autres épreuves orales qu'il rencontrera durant son cursus (exposés, CSCT, ..).

Il met en application directe ses connaissances théoriques, et rend actif l'étudiant en le plaçant au cœur du processus.

Cette séance est réalisée intégralement en salle de simulation par l'enseignant, et se divise en 2 parties :

1^{ère} partie de 45 minutes : Elle est consacrée à la mise en place du dispositif Modjaw sur un étudiant volontaire permettant d'enregistrer et d'étudier sa cinématique mandibulaire. Il faudra au préalable préparer la séance en réalisant l'empreinte numérique de l'étudiant avec une caméra optique. En effet il est nécessaire d'importer dans le logiciel les fichiers d'empreintes en format.stl pour effectuer l'enregistrement de la cinématique mandibulaire. De plus il sera impératif de vérifier chez l'étudiant choisi, l'absence d'anomalie occlusale ou de dysfonctionnement de l'articulation temporo-mandibulaire, pour permettre l'obtention de tracés les plus physiologiques possibles lors de l'acquisition.

Le demi-groupe prend place autour du fauteuil dentaire, et se répartit de manière homogène afin de pouvoir bien visualiser les étapes.

Lors de la mise en place du dispositif, la nécessité de mettre en évidence des points anatomiques particuliers (dentalé, point sous-nasal, condyles, fosses des dents pluricuspidées) permet à l'enseignant de faire un rappel sur ces structures anatomiques et leurs importances en clinique (en diagnostic, en réhabilitation prothétique...)

Le step-by-step est expliqué par l'enseignant, que ce soit des explications concernant l'utilisation de matériaux spécifiques en odontologie et nécessaire à la fixation de la fourchette mandibulaire (OptraGate, résine bisacryl,..) ou le fonctionnement du Modjaw sur les étapes de calibration. Une fois le dispositif d'acquisition prêt et calibré, l'acquisition de la cinématique mandibulaire de l'étudiant est réalisée en temps réel devant le demi-groupe.

Les mouvements suivants sont réalisés:

- Ouverture fermeture
- Propulsion
- Diduction droite / gauche
- Mouvement limite sagittal / axial / frontal
- La lecture d'un texte référençant l'ensemble des phonèmes pour apprécier l'enveloppe limite en phonation
- Un cycle masticatoire

Le dispositif d'enregistrement peut être retiré, l'étudiant retourne ensuite se joindre au demi-groupe.

2^{ème} partie de 45 minutes : Puis l'enseignant nomme à tour de rôle un binôme d'étudiant. Il leur attribue un mouvement ainsi qu'une orientation (par exemple une diduction droite en coupe axiale) que le binôme, après avoir pris place face au groupe, doit tout d'abord afficher sur l'écran du Modjaw de manière correcte. Puis ces deux mêmes étudiants doivent expliquer à l'ensemble du demi groupe présent ce qu'il est possible d'observer sur cette orientation lors de ce mouvement particulier (description de la trajectoire et amplitude, mouvements des condyles orbitant et pivotant, angle de Bennett, ...)

Les informations données oralement par le binôme à l'ensemble du groupe sont complétées par l'enseignant, ou corrigées si elles présentent des erreurs.

Puis un nouveau binôme d'étudiant prend place et explique un autre tracé de cinématique mandibulaire (par exemple l'enveloppe limite de mouvements en sagittal). A la fin de la séance, tous les binômes du demi-groupe (soi 12 binômes d'étudiants) auront eu à manipuler le Modjaw, et expliquer oralement un des tracés obtenus (ce qui permettra de valider l'ED).

Troisième séance : Consacrée à l'étude la cinématique mandibulaire – visualisation des tracés sur le logiciel Modjaw (durée 1h15 en demi groupe).

Prérequis : Chapitre de cours sur la cinématique mandibulaire – avoir assisté à l'enseignement dirigé précédent (ciblé sur le Modjaw) pour en connaître les bases de fonctionnement.

Les objectifs pédagogiques de cette dernière séance sont multiples. Tout d'abord, elle propose une synthèse sur l'ensemble des notions abordées en cours d'occlusodontologie, et permet aux étudiants de mettre en évidence leurs lacunes sur certaines parties. De par la visualisation des scores en direct à l'issue du test « socrative », l'enseignant peut dès le début de la séance repérer les étudiants en difficulté et leur fournir l'aide nécessaire.

L'utilisation d'outils numériques et des concepts de e-learning rend l'évaluation des connaissances davantage didactiques, et permet un meilleur ancrage des notions théoriques car elles sont associées à un contexte visuel fort.

Les exercices mêlant réflexion, dessins et calculs de valeurs, proposent un schéma complet répondant au cahier des charges de l'apprentissage mixte.

L'étudiant apprend et progresse par lui-même, il est ainsi positionné au cœur du mécanisme d'acquisition, dans une position active [51].

Cette troisième et dernière séance se déroule en salle numérique. Chaque binôme d'étudiants prend place devant un poste informatique qui lui est dédié.

1^{ère} partie de 15 minutes : Elle commence par une évaluation sur la plateforme d'évaluation en ligne « Socrative ». Celle-ci comprend un ensemble de questions « vrai-faux » rédigé par l'enseignant, reprenant toutes les notions en occlusodontologie présentes dans le support de cours allant jusqu'au début du chapitre sur la cinématique mandibulaire.

Une fois que tous les étudiants ont validé leurs réponses au questionnaire, l'enseignant met fin à l'interrogation, fait un feedback des résultats et passe à la deuxième partie de l'ED.

2^{ème} partie de 1h : Cette deuxième partie est représentée par à un questionnaire papier à remplir par chaque étudiant (figure 57 et 58). Il est ciblé uniquement sur la cinématique mandibulaire. La différence avec la partie Socrative est que l'étudiant, en plus de ses connaissances personnelles, doit se servir d'outils numériques pour proposer une réponse à la question posée. Par exemple, certaines questions sont associées à un flash-code générant une vidéo courte simulant un mouvement mandibulaire (en l'occurrence un mouvement de diduction). Des lettres (A-B-C,..) représentant des points clés du cours apparaissent et l'étudiant doit formuler une légende correspondante sur la feuille papier (ici, l'objectif est de reconnaître le condyle orbitant, pivotant, le côté réalisant le mouvement de Bennett, etc...)

D'autre part, certaines propositions nécessitent l'utilisation du logiciel Modjaw pour afficher à l'écran la trajectoire d'un mouvement mandibulaire donné. L'étudiant doit alors reproduire cette trajectoire sur la partie millimétrée de la feuille de réponse dédiée, puis en déduire par exemple les valeurs de pentes condyliennes ou amplitude d'ouverture buccale maximale.

Voici le lien de la vidéo réalisée spécialement pour cet ED et accessible par Flash-code :

- **Enseignement dirigé sur la cinématique mandibulaire** :

<https://youtu.be/3VNYssYvGJY>



Figure 56. Flash-code permettant l'accès à la vidéo de l'enseignement dirigé sur la cinématique mandibulaire

Exercice à réaliser avec l'aide du LOGICIEL MODJAW

1. DIAGRAMME DE POSSELT, PLAN SAGITTAL : CHARGER L'ENVELOPPE LIMITE SUR UN PLAN SAGITTAL.

a) Reproduisez le déplacement du dentalé dans le plan sagittal (A). Orientez la grille.

b) Notez sur cette courbe et légendez les points importants composant ce mouvement (de 1 à 6 ; en commençant par l'OIM puis en allant vers l'avant), :

1 =

2 =

3 =

4 =

5 =

6 =

c) Quelle est l'amplitude de l'ouverture (dentalet) : mm

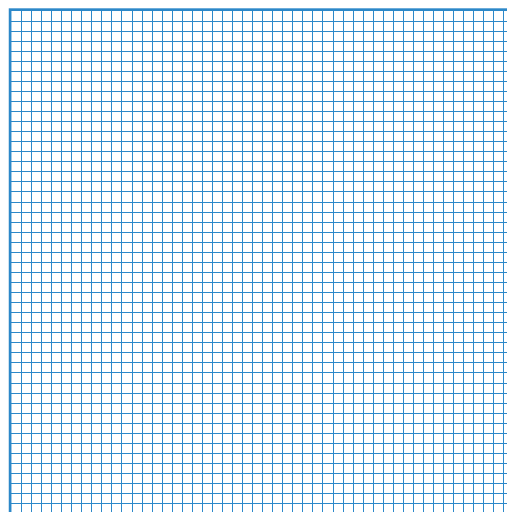
d) Quelle est l'amplitude de la propulsion : mm

e) Quelle est la valeur de la pente incisive ?

f) Reproduisez la courbe du déplacement du condyle gauche dans le plan sagittal (B) lors de ce même mouvement extrême sagittal mandibulaire. Orientez la grille.

g) Quelle est la valeur de la pente condylienne (en degré) :
à 3 mm : / à 5 mm :h) Quelles sont les répercussions de ces valeurs relatives sur la cinématique mandibulaire ?
Aidez-vous de la fenêtre 3D.

A



B

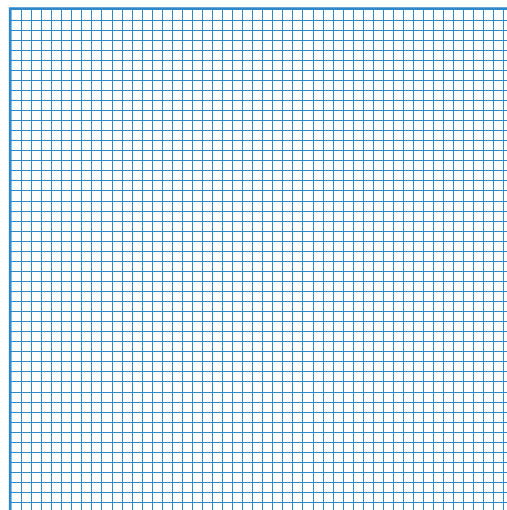


Figure 57. Feuille d'évaluation à remplir par l'étudiant lors du troisième enseignement dirigé (1/2)

Exercice à réaliser avec l'aide du FLASH-CODE : (C)

2. DIDUCTION MANDIBULAIRE :

- i) Associez les lettres présentes dans la vidéo aux légendes suivantes :

Condyle orbitant :

Condyle pivotant :

Mouvement de Bennet :

Angle de Bennett :

C



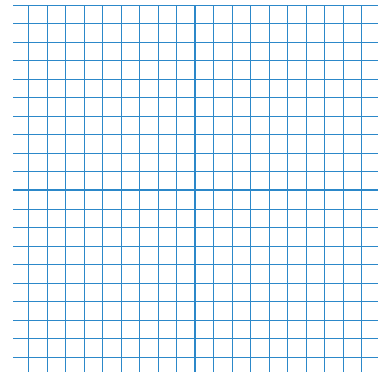
- j) À l'aide du Modjaw, reportez sur un plan horizontal (D) , la trajectoire du condyle orbitant lors d'un mouvement de diduction droite. Orientez le plan.

- k) Quelle est la valeur de l'angle de Bennet ? :
..... °

- l) À l'aide du Modjaw, reportez sur un plan horizontal (E) , la trajectoire du condyle pivotant lors d'un mouvement de diduction droite. Orientez le plan.

- m) Quelle est l'amplitude du mouvement de Bennet ? : mm

D



E

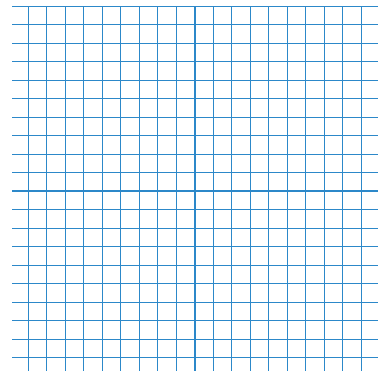


Figure 58. Feuille d'évaluation à remplir par l'étudiant lors du troisième enseignement dirigé (2/2)

V. Conclusion

Le 21^{ème} siècle et la diffusion massive de nouvelles technologies dans la vie quotidienne a marqué un tournant dans les sociétés contemporaines. Citons comme exemple la Chine disposant d'outils permettant une reconnaissance faciale de milliers d'individus en quelques secondes.

L'accès quasiment permanent et illimité à internet a permis une utilisation accrue des supports numériques et transformé la manière d'appréhender tous les aspects de la vie quotidienne.

La connectivité sur les réseaux sociaux, le partage en ligne et l'échange de données de manière gratuite sont désormais de nouveaux standards.

L'enseignement et la transmission de savoir au sein des universités ne reste pas étranger à ces transformations.

Les études prouvant les effets positifs des nouvelles technologies sur l'enseignement affluent et constituent un sujet d'actualité. Et c'est dans ce sens que les plus grandes facultés américaines et européennes opèrent depuis quelques années cette mutation en ayant recours à la dématérialisation des supports par l'utilisation de MOOC, l'utilisation des techniques basées sur l'apprentissage mixte ou l'approche technique sur simulateur virtuel.

L'apport de l'outil Modjaw au sein de la faculté d'Odontologie de Nice a permis de suivre ce courant de pensées. En utilisant les fonctionnalités offertes par cet articulateur numérique, quinze minutes de vidéo et vingt illustrations en trois dimensions ont été créées pour iconographier certaines parties du cours ; intégrées sous forme de flash-codes pour permettre un accès permanent aux étudiants depuis leurs smartphones. Enfin, trois enseignements dirigés d'une heure chacun ont été imaginés pour permettre à l'étudiant une expérience d'apprentissage mixte complète. Le résultat de ce travail étant de proposer une vision novatrice et moderne de l'enseignement en occlusodontologie, permettant à l'étudiant d'améliorer ses compétences théoriques et cliniques au travers d'un support de cours répondant aux dernières recommandations en matière de pédagogie.

VI. Bibliographie

1. Ariana, A., Amin, M., Pakneshan, S., Dolan-Evans, E., & Lam, A. K. (2016). Integration of traditional and e-learning methods to improve learning outcomes for dental students in histopathology. *Journal of Dental Education*, 80(9), 1140–1148.
2. Hyll, M., Schvarcz, R., & Manninen, K. (2019). Exploring how medical students learn with the help of a digital presentation: A qualitative study. *BMC Medical Education*, 19(1)
3. Grimes, E. B. (2002). Student perceptions of an online dental terminology course. *Journal of Dental Education*, 66(1), 100–107.
4. Gordy, X. Z., Zhang, L., Sullivan, A. L., Bailey, J. H., & Carr, E. O. (2019). Teaching and Learning in an Active Learning Classroom: A Mixed-Methods Empirical Cohort Study of Dental Hygiene Students. *Journal of Dental Education*, 83(3), 342 LP – 350.
5. Saxena, P., Gupta, S. K., Mehrotra, D., Kamthan, S., Sabir, H., Katiyar, P., & Sai Prasad, S. V. (2018). Assessment of digital literacy and use of smart phones among Central Indian dental students. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 8(1), 40–43.
6. Rodrigues, H., Almeida, F., Figueiredo, V., & Lopes, S. L. (2019). Tracking e-learning through published papers: A systematic review. *Computers and Education*, 136(March), 87–98.
7. Garrison, D. R., & Akyol, Z. (2009). Role of instructional technology in the transformation of higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(1), 19–30.
8. Roy, E., Bakr, M. M., & George, R. (2017). The need for virtual reality simulators in dental education: A review. *Saudi Dental Journal*, 29(2), 41–47.

9. Schulz, P., Sagheb, K., Affeldt, H., Klumpp, H., Taylor, K., Walter, C., & Al-Nawas, B. (2013). Acceptance of E-learning devices by dental students. *Journal of Medical Internet Research*, 15(8), 6–11.

10. Iacopino, A. M. (2007). The influence of “new science” on dental education: current concepts, trends, and models for the future. *Journal of Dental Education*, 71(4), 450–462.

11. Backhaus, J., Huth, K., Entwistle, A., Homayounfar, K., & Koenig, S. (2019). Digital Affinity in Medical Students Influences Learning Outcome: A Cluster Analytical Design Comparing Vodcast With Traditional Lecture. *Journal of Surgical Education*, 76(3), 711–719.

12. Mattheos, N., Stefanovic, N., Apse, P., Attstrom, R., Buchanan, J., Brown, P., ... Walmsley, A. D. (2008). Potential of information technology in dental education. *European Journal of Dental Education*, 12(SUPPL. 1), 85–91.

13. Asiry, M. A. (2017). Dental students’ perceptions of an online learning. *Saudi Dental Journal*, 29(4), 167–170.

14. Milligan, C., & Littlejohn, A. (2016). How health professionals regulate their learning in massive open online courses. *Internet and Higher Education*, 31, 113–121.

15. Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2016). Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the Cookie Monster. *Business Horizons*, 59(4), 441–450.

16. El-Hmoudova, D. (2014). Selection and peer-review under responsibility of the Organizing Committee of WCETR 2013. MOOCs Motivation and Communication in the Cyber Learning Environment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 131, 29–34.

17. FUN MOOC - Se former en liberté [en ligne] (Page consultée le 22/11/2019). <https://www.fun-mooc.fr/about>

18. France Université Numérique - [en ligne] (Page consultée le 22/11/2019). https://fr.wikipedia.org/wiki/France_universit%C3%A9_num%C3%A9rique

19. Shen, C. wen., & Kuo, C. J. (2015). Learning in massive open online courses: Evidence from social media mining. *Computers in Human Behavior*, 51, 568–577.

20. Brahimi, T., & Sarirete, A. (2015). Learning outside the classroom through MOOCs. *Computers in Human Behavior*, 51, 604–609.

21. Jasinevicius, T. R., Landers, M., Nelson, S., & Urbankova, A. (2004). An evaluation of two dental simulation systems: virtual reality versus contemporary non-computer-assisted. *Journal of Dental Education*, 68(11), 1151–1162.

22. Ziv, A., Wolpe, P. R., Small, S. D., & Glick, S. (2003). Simulation-Based Medical Education: An Ethical Imperative. 783–788.

23. Sagheb, K., Schulz, P., Bensch, A., Al-Nawas, B. (2010). Improving interactive Learning in dental education – Int Poster J^[1]_{SEP} Dent Oral Med ;12:503.

24. Bakr, MM., Massey, WL., Alexander, H. (2015). Can Virtual Simulators Replace Traditional Preclinical Teaching Methods: A Students' Perspective? *Int J Dent Oral Health* 2(1)

25. Orthlieb, JD., Mantout, B. (1997) Cinématique mandibulaire. *Encycl Méd Chir* (Elsevier, Paris) Stomatologie / Odontologie-Stomatologie, 22 009-A-08, 10 p.

26. Soboļeva, U., Lauriņa, L., Slaidiņa, A. (2005). Jaw tracking devices--historical review of methods development. Part I. Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal, 7(3), 67–71.
27. Messerman, T. (1967). A means for studyin mandibular movements. J. Pros. Dent. 36–43.
28. Abjean, J., Bodin, C.(1989). Electrognatographie. Intérêt diagnostique et thérapeutique dans la dysfonction cranio-mandibulaires. Rev orthop dento faciale 23 : 301-313.
29. Sever, E., Marion, L., & Ovsenik, M. (2011). Relationship between masticatory cycle morphology and unilateral crossbite in the primary dentition. European Journal of Orthodontics, 33(6), 620–627.
30. Heiser, W., Stainer, M., Reichegger, H., Niederwanger, A., & Kulmer, S. (2004). Axiographic findings in patients undergoing orthodontic treatment with and without premolar extractions. European Journal of Orthodontics, 26(4), 427–433.
31. Behneke, N. (1985). Recordings of mandibular movements with Sirognathography. Deutsche Zahnarztliche Zeitschrift, 40(3), 192–195.
32. Zenati, L., Ait Mehdi, M. (2019) “Axiographic Plots: Interpretation and Diagnostic Interest”. Scientific Archives Of Dental Sciences 2.2, 10-14.
33. Mantout, B., Giraudeau, A., Perez, C., Ré, JP., Orthlieb, JD. (2008). Technical validation of computerized condylographic system. J. Stomat. Occ. Med. 1 : 45-50
34. Giraudeau A., Laplanche O. (2006) Occlusodontie pratique. Enregistrement des déplacements condyliens, 117-128.

35. - Bernhardt O., Küppers N., Rosin M., Meyer G.(2003). Comparative tests of arbitrary and kinematic transverse horizontal axis recordings of mandibular movements. The Journal of prosthetic dentistry. 89. 175-9
36. He, S., Kau, C. H., Liao, L., Kinderknecht, K., Ow, A., & Saleh, T. A. (2016). The use of a dynamic real-time jaw tracking device and cone beam computed tomography simulation. Annals of maxillofacial surgery, 6(1), 113–119
37. Sicat Function. Brochure [en ligne] (page consultée le 05/08/2019). <https://cdn.sicat.cloud/sicat/website/downloads/funktionelle-zahnheilkunde/sicat-function-cerec-brochure-en.pdf>
38. Kordass, B., Ruge, S. (2015) On the analysis of condylar path versus real motion of the temporomandibular joint: application for Sicat Function ». Int J Comput Dent.,18(3):225-235.
39. Hanssen, N., Ruge, S., Kordass, B. (2014) SICAT function: anatomical real-dynamic articulation by merging cone beam computed tomography and jaw motion tracking data. » Int J Comput Dent.,17(1):65-74.
40. Aslanidou, K ., Kau, CH ., Vlachos, C ., Saleh, TA. (2017) The fabrication of a customized occlusal splint based on the merging of dynamic jaw tracking records, cone beam computed tomography, and CAD-CAM digital impression. J Orthodont Sci;6:104-9.
41. Duminil, G. (2017). L'occlusion : aspects cliniques. Contrôle de l'occlusion avec de nouvelles technologies. Rev odont stomat ; 46:197-210
42. Modjaw. (2018). Dental prosthesis design procedures. Understanding 4D CAD/CAM. Oral fitness UK [en ligne] (page consultée le 13/06/2019) <https://oralfitness.co.uk/articles/prosthodontic/dental-prosthesis-design-procedures-understanding-4d-cad-cam/>

43. Dargaud, J., Vinkka-Puhakka, H., Cotton, F., Del Corso, M., Bruy, J., Vialle, B., Kahl, P. (2008). Étude de l'articulation temporomandibulaire. EMC (Elsevier Masson), Odontologie, Rapports de dissection sur la connaissance de l'articulation temporomandibulaire, 23-446-C-15, Médecine buccale, 28-050-L-10

44. Ehrmann, E. 2019. Anatomie dentaire fonctionnelle, Département des Sciences anatomiques, physiologiques, occlusodontiques, biomatériaux, biophysiques et radiologie. Support pédagogique. 95p

45. Bohin, M. 2017. Contribution à l'élaboration d'un outil pédagogique audiovisuel en occlusodontologie. Thèse de doctorat : Docteur en chirurgie dentaire. Nice : Université de nice sophia-antipolis, UFR odontologie. 86p

46. Modjaw. Method and system for modeling the mandibular kinematics of a patient. 20 octobre 2015. [en ligne] (Page consultée le 14/08/2019). <https://patents.justia.com/patent/10265149>

47. Oncescu Moraru, A. M., Preoteasa, C. T., & Preoteasa, E. (2019). Masticatory function parameters in patients with removable dental prosthesis. *Journal of Medicine and Life*, 12(1), 43–48.

48. Wong, M., Frye, J., Kim, S., Marchevsky, AM. 2018. The Use of screencasts with embedded whole-slide scans and hyperlinks to teach anatomic pathology in a supervised digital environment. *J Pathol Inform* ; 9-39

49. Maynor, L. M., Landis Barrickman, A., Stamatakis, M. K., & Elliott, D. P. (2013). Student and faculty perceptions of lecture recording in a doctor of pharmacy curriculum. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 77(8), 1–7.

50. Silva, M. L. (2012). Camtasia in the Classroom: Student Attitudes and Preferences for Video Commentary or Microsoft Word Comments During the Revision Process. *Computers and Composition*, 29(1), 1–22.

51. Mahmoodi, B., Sagheb, K., Sagheb, K., Schulz, P., Willershausen, B., Al-Nawas, B., & Walter, C. (2016). Catalogue of Interactive Learning Objectives to improve an Integrated Medical and Dental Curriculum. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, Vol. 17, pp. 965–968.

Annexes

VII] LA CINEMATIQUE MANDIBULAIRE

Bibliographie Gérard DUMINIL, Bernard MANTOUT (Occlusion pratique)

« Ce syllabus comprend du contenu numérique. Lorsqu'un flash-code comportant le symbole Youtube® est présent, munissez-vous de votre téléphone portable et activez le mode photo de votre appareil. Faites une mise au point sur le symbole et cliquez sur le lien apparaissant à l'écran pour visualiser la vidéo. Si rien ne se passe, utilisez alors l'application « BAR-CODE® » pour scanner le symbole. »

La science ayant pour objet l'étude théorique des forces et de leurs actions est la **mécanique rationnelle**, qui se décompose en :

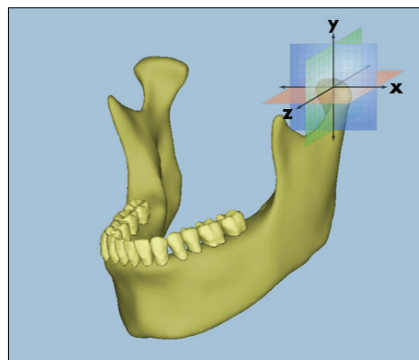
- **La statique** qui étudie l'équilibre et l'action des forces sur les corps, en l'absence de tout mouvement.
- **La dynamique** qui étudie les mouvements sous l'action des forces
- **La cinématique** qui étudie les mouvements indépendamment des forces qui les produisent.

Introduction

La cinématique mandibulaire présente des caractères spécifiques :

- elle est régie par une "triple articulation", constituée par l'articulation temporo-mandibulaire (ATM) droite, l'ATM gauche et l'occlusion dentaire. Ainsi, chaque déplacement condylien observé d'un côté induit automatiquement un déplacement réciproque de l'autre condyle.
- elle mobilise les ATM de manière constante; ce sont les articulations les plus sollicitées, avec environ 10 000 mouvements par 24 heures. Par ailleurs, les ATM présentent la particularité de permettre les deux mouvements élémentaires (rotation et translation).
- elle combine les mouvements **élémentaires** (rotation et translation) en des mouvements **composés** (roto-translation), pour permettre les mouvements **fondamentaux** (ouverture-fermeture, propulsion-rétropulsion, diduction), et associe ces mouvements fondamentaux lors des mouvements **fonctionnels**.

Dans le cadre d'une étude théorique, le mouvement est décomposé dans les trois plans de l'espace (horizontal, sagittal et vertical), et l'on décrit la projection du déplacement des condyles ou des dents sur chacun de ces plans de référence.



4.1. MOUVEMENTS ELEMENTAIRES

Le changement de position d'un corps dans l'espace, se manifeste par des mouvements de rotation et/ ou de translation. L'anatomie de l'ATM permet d'exécuter les deux types de mouvements élémentaires; ces deux mouvements peuvent se réaliser dans les deux cavités articulaires droite et gauche de façon synchrone ou asynchrone.



Observez la vidéo suivante pour visualiser la mobilité articulaire lors du mouvement composé de roto-translation d'ouverture-fermeture.

<https://www.youtube.com/watch?v=Nmg3xl13TY0>

Vidéo 1. Dissection anatomique de l'ATM : ouverture en normalité articulaire

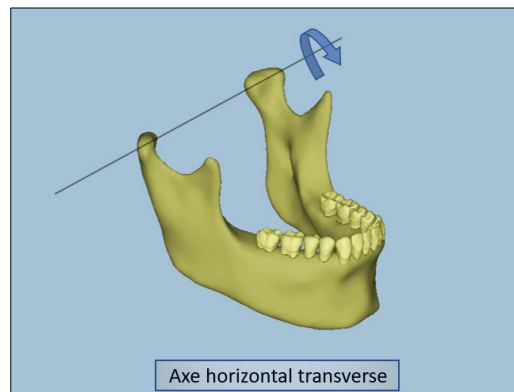
4.1.1. Rotation

Lors d'une rotation, l'objet se déplace autour d'un point ou d'un axe fixe, chaque point de cet objet étant animé d'une même vitesse angulaire. L'axe de rotation pouvant être situé à l'intérieur, ou à l'extérieur de cet objet.

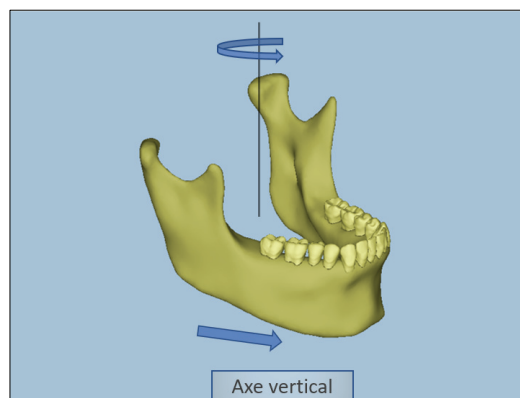
Au niveau de l'ATM, on reconnaît classiquement trois axes de rotations:

- un axe horizontal transverse, dit bi-condylien, passant, selon DAWSON, par les pôles médiaux des condyles; le compartiment inférieur (condylo-discal) est le siège de cette rotation.

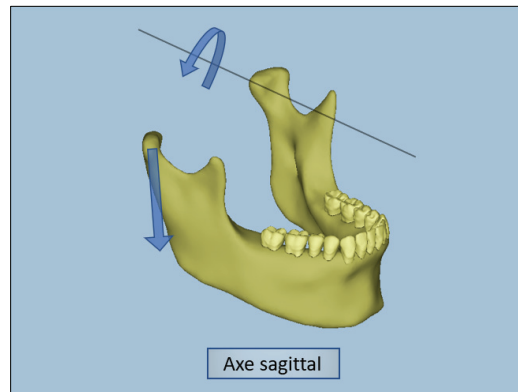
Cet axe transverse est particulièrement utile car il sera utilisé comme référence lors des manipulations de transfert du modèle maxillaire dans l'articulateur.



- un axe vertical, dont la localisation est, depuis les travaux de GYSI sur les centres instantanés de rotation, soumis à bien des controverses



- un axe sagittal, décrit par certains auteurs, lors de l'abaissement d'un des deux condyles pendant un déplacement mandibulaire en diduction.



4.1.2. Translation

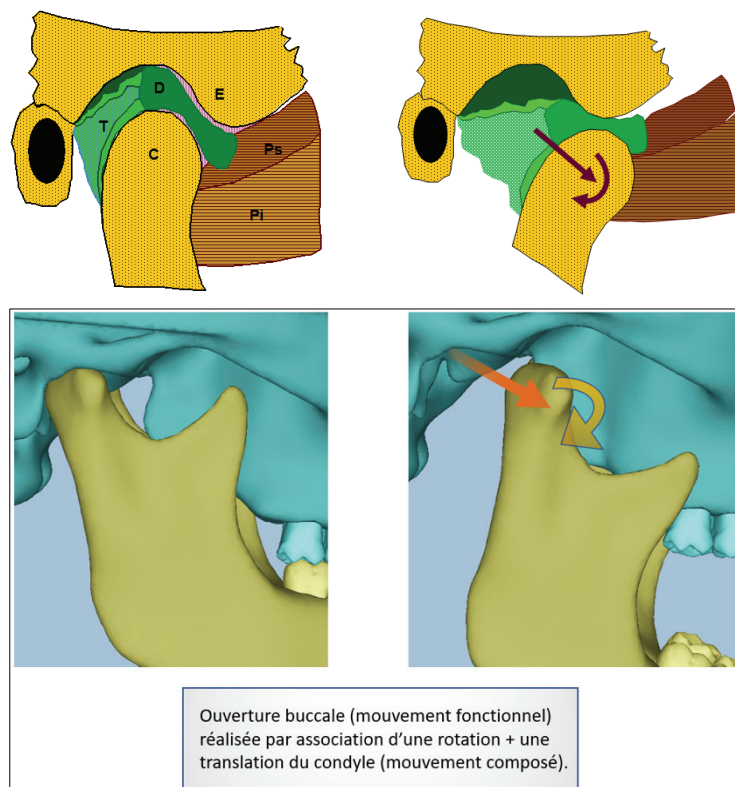
En translation, tout vecteur lié à un objet reste équipollent à lui-même, sa direction, son sens et sa longueur étant constants; cette translation s'effectue essentiellement grâce au type arthrodial du compartiment supérieur (disco-temporal).

Le mouvement de translation à direction para-sagittale est la caractéristique majeure de cette articulation impliquant des structures ligamentaires non restrictives qui permettent, en quelque sorte, une luxation articulaire physiologique (déshabitation de la fosse). Il peut exister une possibilité de faible translation à direction transversale (mouvement de BENNETT).

4.1.3. Mouvements composés

La très grande majorité des mouvements fonctionnels se caractérise par une combinaison des deux mouvements élémentaires (rotation et translation), réalisant un mouvement de roto-translation dit mouvement composé.

Cette combinaison implique un déplacement dans le temps et dans l'espace de l'axe de rotation conduisant à la notion d'axe ou de centre instantané de rotation.



4.2. MOUVEMENTS FONDAMENTAUX

Les mouvements fondamentaux sont décrits, avec l'occlusion d'intercuspitation maximale (OIM), comme point de départ et d'arrivée pour des raisons pédagogiques.

- abaissement-élévation (ouverture-fermeture)
- translation sagittale
 - propulsion-rétropulsion (en avant de l'OIM)
 - protraction-rétraction (en arrière de l'OIM)
- diduction.

Les mouvements fondamentaux extrêmes définissent l'enveloppe limite des mouvements.



Observez la vidéo suivante pour visualiser l'enveloppe limite des mouvements fondamentaux. Le script de la vidéo est dans le texte de ce chapitre.

<https://youtu.be/qNbBpzIWaw8>

Vidéo 2. Diagramme de Posselt

Position de référence :

L'Occlusion d'Intercuspidie Maximale (O.I.M.) représente la position mandibulaire où le rapport d'engrènement dentaire se caractérise par le maximum de contacts inter-arcades. Ce rapport inter-maxillaire, imposant une position condylienne lorsqu'il se réalise, constitue le point de départ et d'arrivée de la majorité des mouvements mandibulaires.

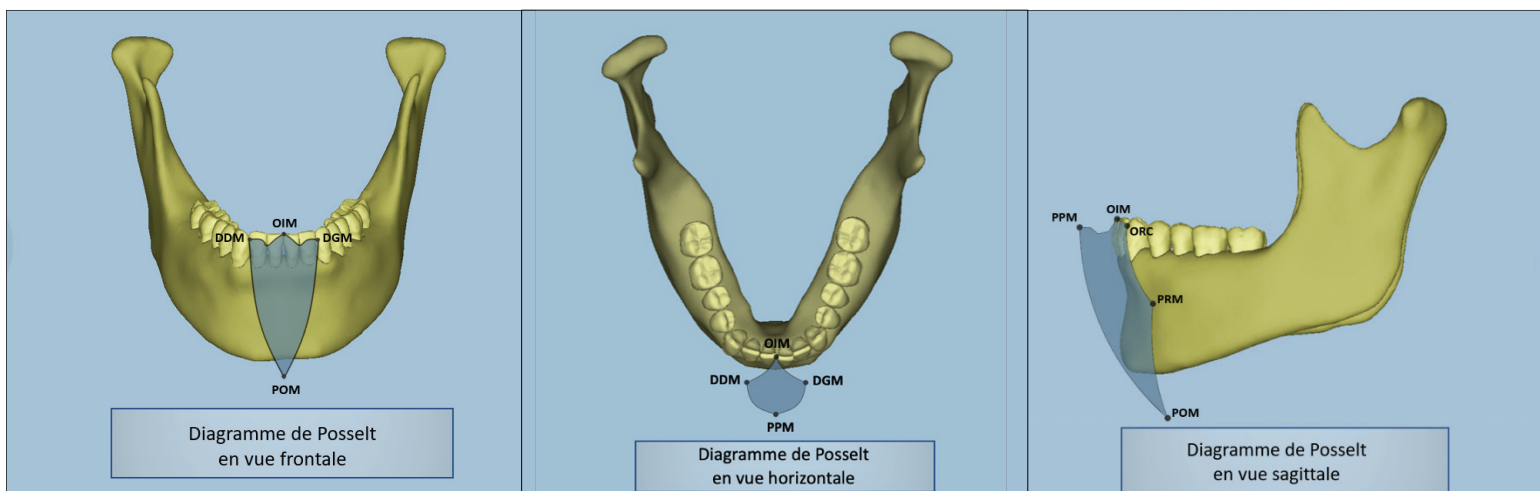
L'OIM constitue ainsi la position de référence préférentielle.

Enveloppe limite de mouvement

Pour tracer cette enveloppe limite, POSSELT a utilisé une méthode graphique d'enregistrement du déplacement du point inter-incisif mandibulaire, obtenant ainsi des schémas caractéristiques dans les trois plans de l'espace: sagittal, frontal et horizontal.

L'enregistrement sagittal dessine une figure en losange, dont les extrémités sont constituées respectivement par :

- en arrière, la position de relation centrée
- en avant, la position de propulsion maximale
- en bas, la position d'ouverture maximale.



Son intérêt primordial, outre celui de dessiner le cadre général des mouvements mandibulaires, est de définir certaines positions reproductibles nécessitant un guidage manuel par le praticien. Si les limites supérieures sont généralement dentaires, les autres positions extrêmes sont à limites ligamentaires.

4.2.1. Abaissement-élévation (ouverture-fermeture)



Observez la vidéo suivante pour visualiser la décomposition du mouvement d'ouverture - fermeture. Le script de la vidéo est dans le texte de ce chapitre.

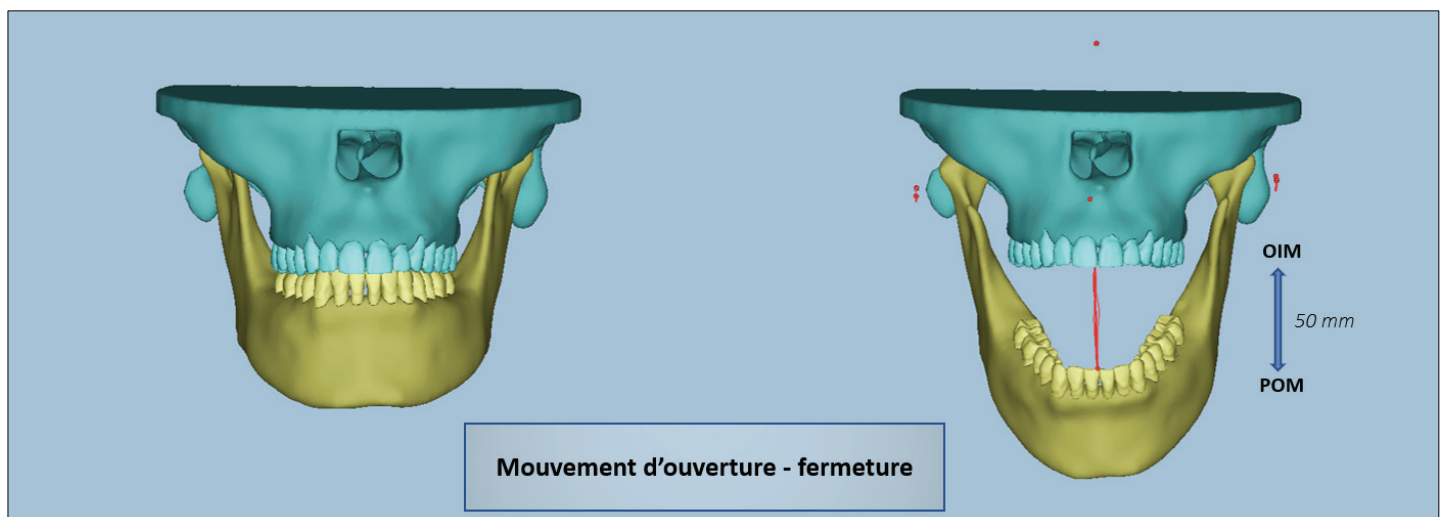
<https://youtu.be/VWKfyz-GLPY>

Vidéo 3. Mouvement d'ouverture - fermeture

Les mouvements d'abaissement (ouverture) et d'élévation (fermeture) de la mandibule sont des mouvements symétriques, situés entre deux positions limites : l'Occlusion d'Intercuspidie Maximale (OIM) et la position d'ouverture maximale (POM).

Résultant de l'action synergique des muscles abaisseurs et propulseurs, le mouvement d'abaissement a une amplitude moyenne de 50,2 mm (mesurée au niveau des points inter-incisifs).

Le retour mandibulaire (élévation) vers la position d'OIM est, dans des conditions physiologiques, symétrique et inverse à l'abaissement. Il est induit par la contraction des muscles élévateurs associés aux muscles rétro-pulseurs. **L'ouverture est un mouvement composé de roto-translation.**



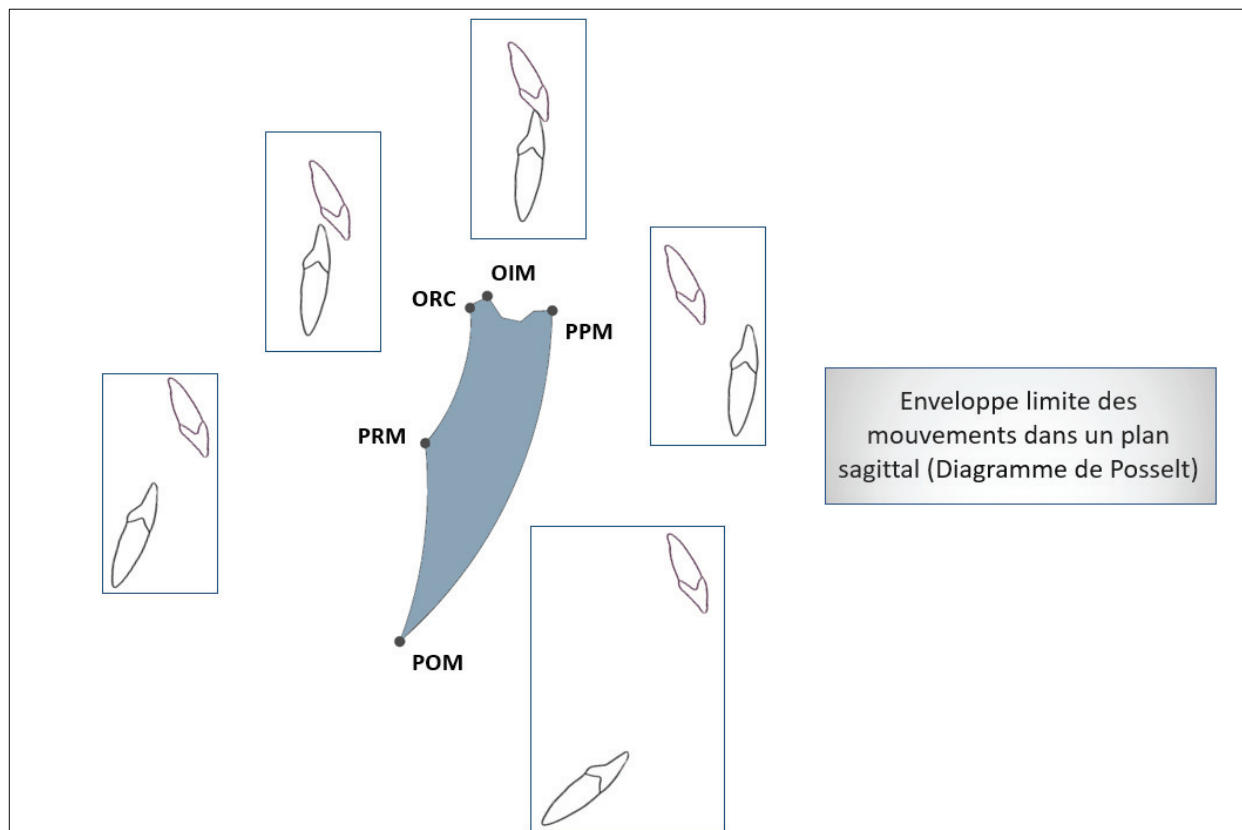
Lorsqu'elle est guidée et s'effectue à partir de la position d'Occlusion en Relation Centrée (ORC), il est possible de dissocier deux phases au niveau de cette limite postérieure de l'enveloppe des mouvements. Cette séparation est artificielle, la rotation pure ne pouvant s'obtenir que par le guidage manuel effectué par le praticien.

- phase initiale de rotation

La mandibule peut effectuer un mouvement d'ouverture-fermeture en rotation autour de l'axe transverse bi-condylien. Cet axe est appelé **axe charnière** et le mouvement, **mouvement axial terminal**. Il est subordonné à l'absence de recrutement du chef inférieur des muscles ptérygoïdiens latéraux, qui induirait une translation. Son amplitude est de l'ordre de 20 mm inter-incisif, (rotation de 4 à 17°) en l'absence de dysfonctionnement musculaire. Cela implique, lors de la manipulation mandibulaire en relation centrée, un mouvement de faible amplitude inter-arcade.

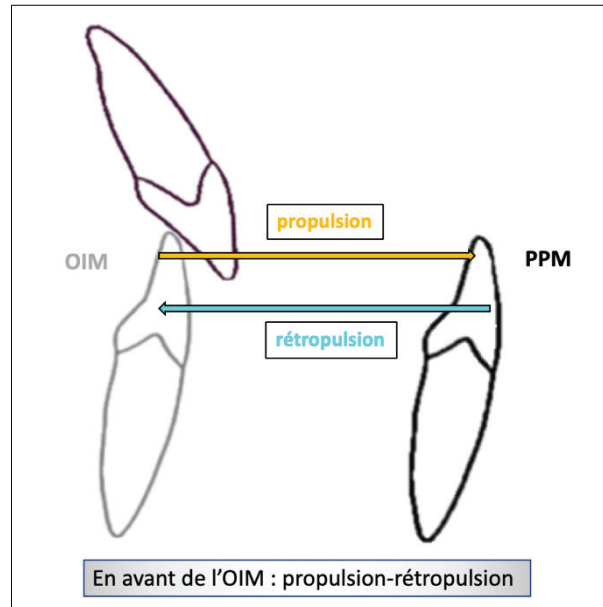
- phase secondaire de roto-translation

Elle conduit de la Position de Rotation Maximale (PRM) à la POM.



4.2.2. Translation sagittale

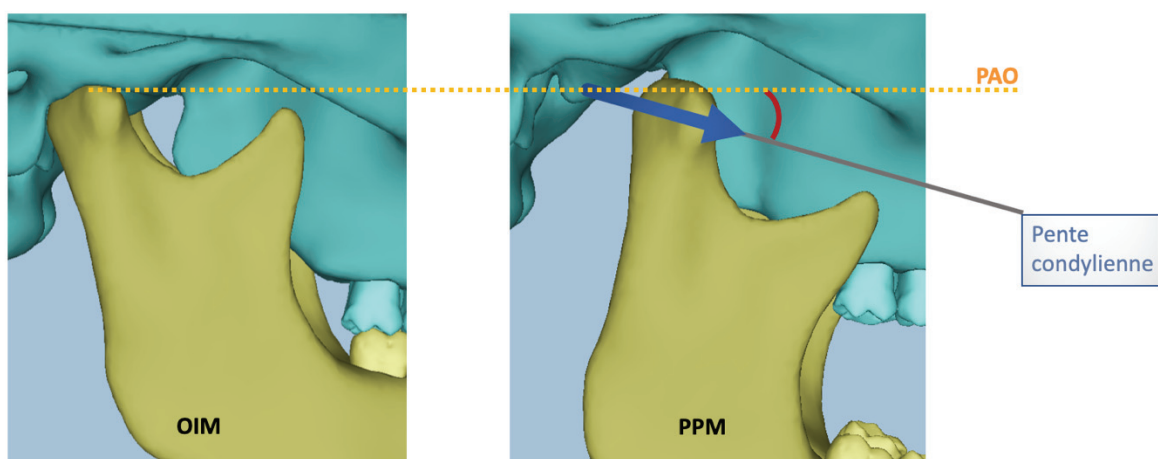
On distingue les déplacements mandibulaires se situant en avant de l'OIM de ceux qui s'effectuent en arrière de l'OIM.



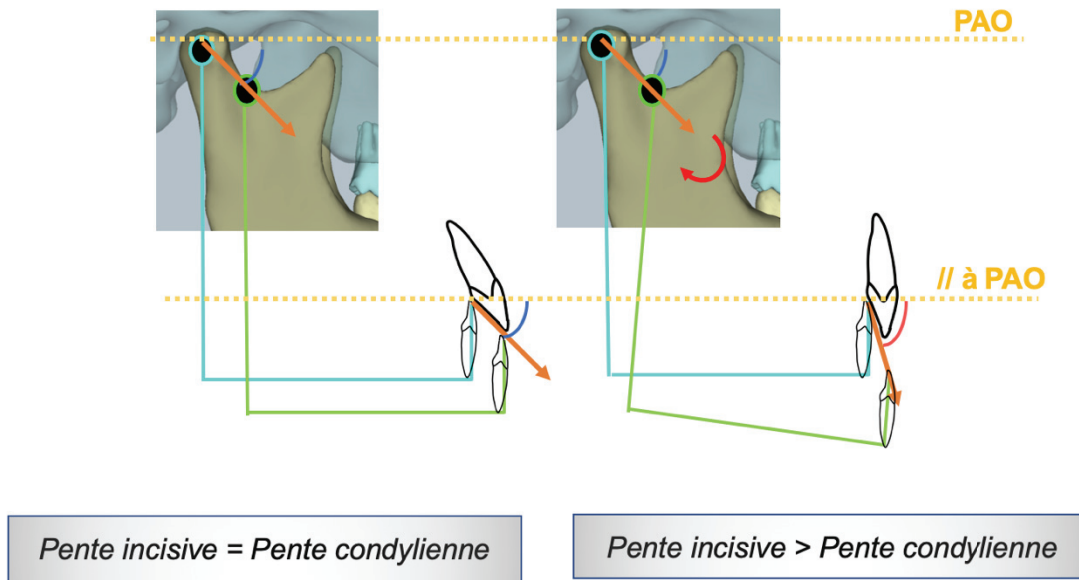
- En avant de l'OIM: propulsion-rétrouulsion

Propulsion

Le mouvement de propulsion est un mouvement postéro-antérieur qui amène la mandibule de l'O.I.M à la position de propulsion maximale (P.P.M.). Cette course sagittale est classiquement évaluée en moyenne entre 7,3 mm et 9,1 mm . La translation condylienne, le long de la face articulaire de l'éminence temporale, est pratiquement pure (très faible rotation condylienne). **L'angle formé par la projection du trajet condylien sur un plan sagittal avec un plan horizontal de référence (généralement le plan axio-orbitaire, PAO) est dénommé pente condylienne.**



PENTE CONDYLIEENNE / PENTE INCISIVE



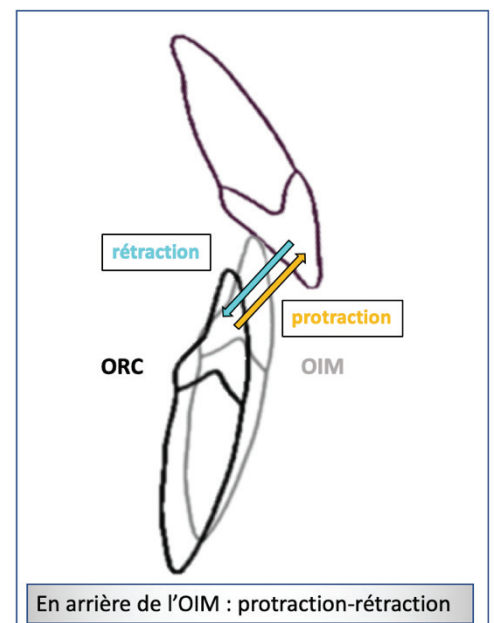
Rétropulsion

Le mouvement inverse de celui précédemment décrit est appelé rétropulsion. Il provoque un recul de la mandibule jusqu'à l'OIM par une contraction combinée et simultanée des fibres horizontales postérieures du muscle temporal, des muscles abaisseurs et du ventre postérieur du digastrique.

- En arrière de l'OIM: protraction-rétraction

En partant de l'OIM, un mouvement de recul est le plus souvent possible ; il existe une antéposition physiologique de la mandibule. Ce mouvement de rétraction mandibulaire, entre l'OIM et l'ORC, a été décrit en 1744 par Antoine FERREIN (Didier, 1963), son amplitude est très limitée (inférieure à 1 mm de déplacement horizontal). A l'inverse, on appelle protraction mandibulaire un mouvement postéro-antérieur, de l'ORC jusqu'à l'OIM, provoqué par le chef inférieur des muscles ptérygoïdiens latéraux. Il s'accompagne d'un petit mouvement d'élévation (et donc d'une légère rotation condylienne).

Ce mouvement de FERREIN s'accompagne d'un mouvement d'abaissement (et donc de rotation condylienne), par glissement sur les prématurités occlusales. Ces surfaces de guidage, anti-rétropulsives, sont idéalement symétriques, et situées entre premières prémolaires mandibulaires et versant mésial des cuspides palatines des premières prémolaires maxillaires; c'est le Guide Anti rétroposition (GAR) (Voir chapitre "les Fonctions occlusales"). Au niveau de la première prémolaire maxillaire, la cuspide palatine est naturellement déjetée mésialement.



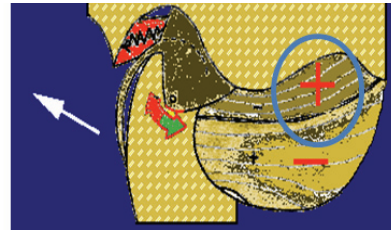
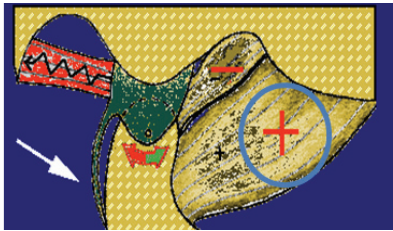
Recrutements musculaires :

Propulsion :

Mouvement postéro-antérieur, par contraction symétrique des faisceaux inf. des Ptérygoïdiens lat. + Masséter sup., amenant la mandibule de l'O.I.M. à P.P.M.

Rétropulsion :

Mouvement de retour vers l'O.I.M., par contraction des fibres horizontales du Temporal post. et ventre post. Digastrique, sous contrôle du faisceau supérieur du Ptérygoïdien Lat.



4.2.3. Diduction



Observez la vidéo suivante pour visualiser la décomposition du mouvement de diduction mandibulaire. Le script de la vidéo est dans le texte de ce chapitre.

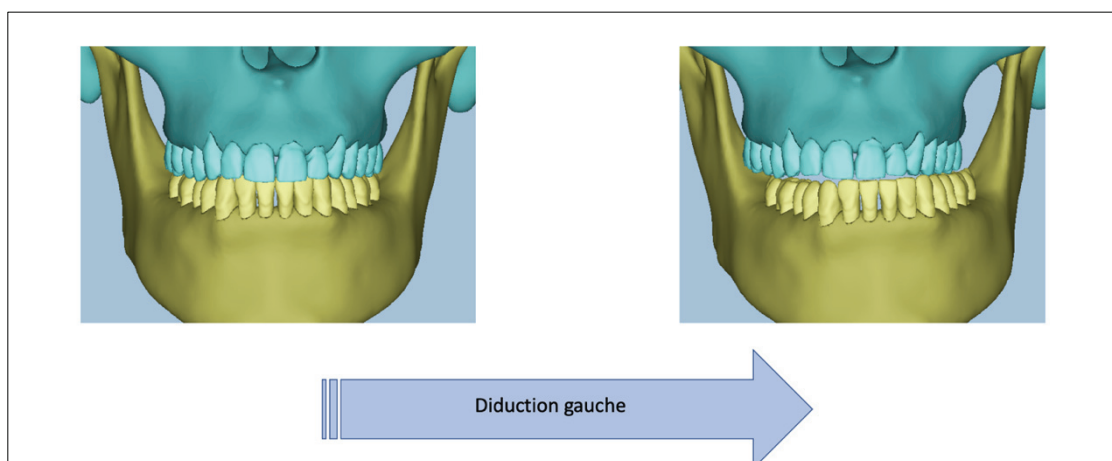
https://youtu.be/_oMQYNj_rCI

Vidéo 4. Mouvement de diduction

Pour décrire dans le détail les différents aspects de la diduction, quelques points de terminologie sont à préciser :

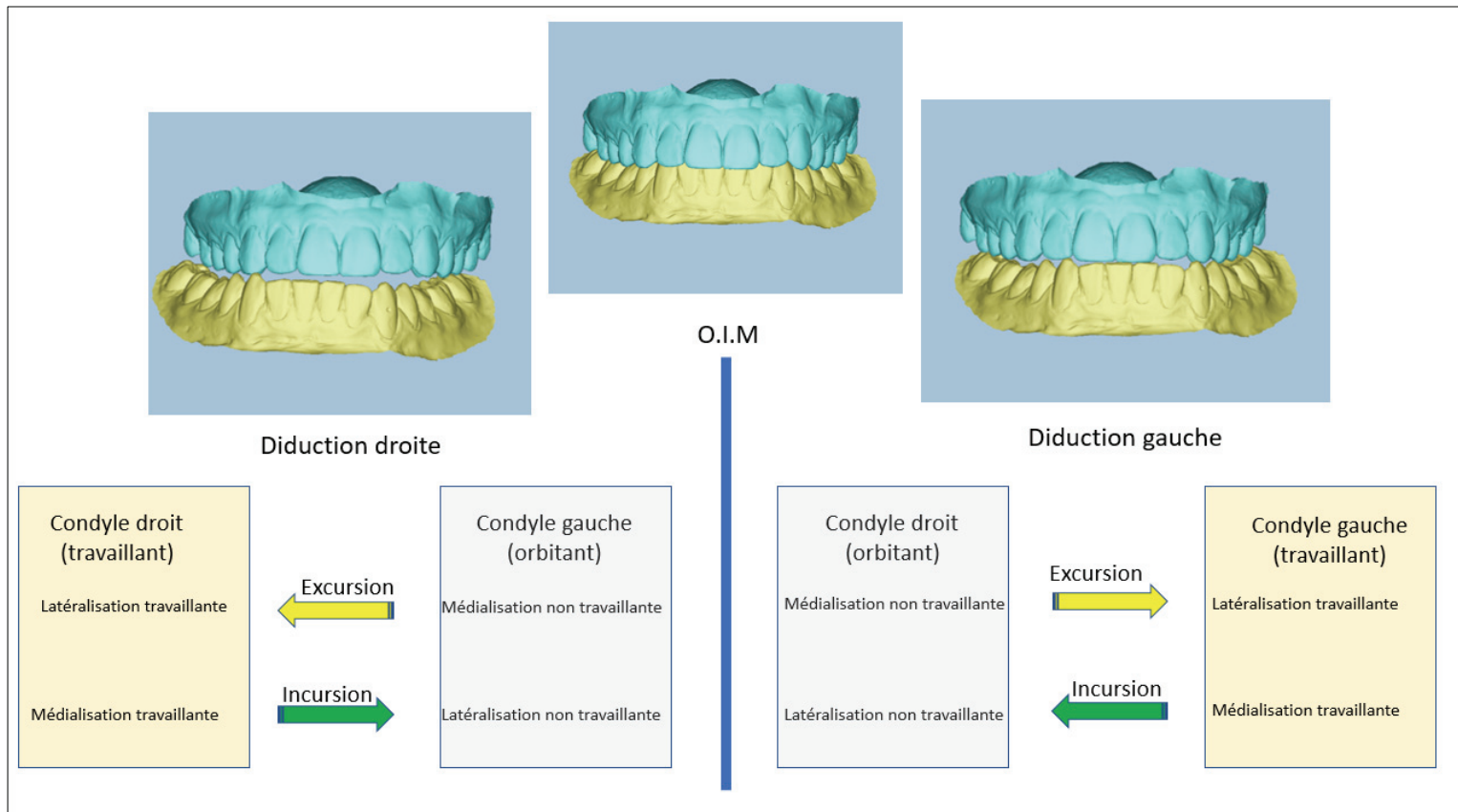
- latéralisation : qui s'éloigne du plan sagittal médian.
- médialisation : qui se rapproche du plan sagittal médian.
- excursion : qui s'éloigne de l'OIM.
- incursion : qui se rapproche de l'OIM.

Le mouvement de diduction est un mouvement mandibulaire, asymétrique, excentré, à composante horizontale, qui comprend une phase d'excursion (aller) et une phase d'incursion (retour). L'expression "mouvement de latéralité", synonyme classiquement utilisé, ne rend absolument pas compte de la complexité des déplacements de l'ensemble des points mandibulaires.



Du côté qui travaille, dans la phase d'excursion, un mouvement de latéralisation conduit le point inter-incisif mandibulaire de l'OIM (dentalé) au point de diduction maximale (PDM). L'hémi-mandibule homolatérale au mouvement réalise une **latéralisation travaillante**, tandis que l'hémi-mandibule controlatérale effectue une **médialisation non travaillante**.

Au retour du mouvement, dans la phase d'incursion, l'hémi-mandibule homolatérale au mouvement réalise une **médialisation travaillante**, tandis que l'hémi-mandibule controlatérale effectue une **latéralisation non travaillante**.



Déplacement condylien transversal et mouvement de BENNETT

Au cours du mouvement de diduction mandibulaire, le mouvement condylien transversal correspond à la translation condylienne, évaluée par rapport au plan sagittal médian. On distingue :

- un **mouvement condylien transversal liminal, (ou "immédiat")** lorsque, toujours à proximité de l'OIM, la translation transversale condylienne s'individualise nettement des autres composantes du mouvement de diduction. Ce déplacement est dit liminal car il est présent dans les phases d'incursion et d'excursion, donc au début (immédiat) mais aussi à la fin du mouvement.
- un **mouvement transversal progressif** lorsque la translation transversale condylienne est réalisée en même temps que les autres composantes du mouvement de diduction.

Du côté travaillant, le condyle est alors dit **pivotant** ; il effectue principalement une rotation associée à une faible translation transversale.

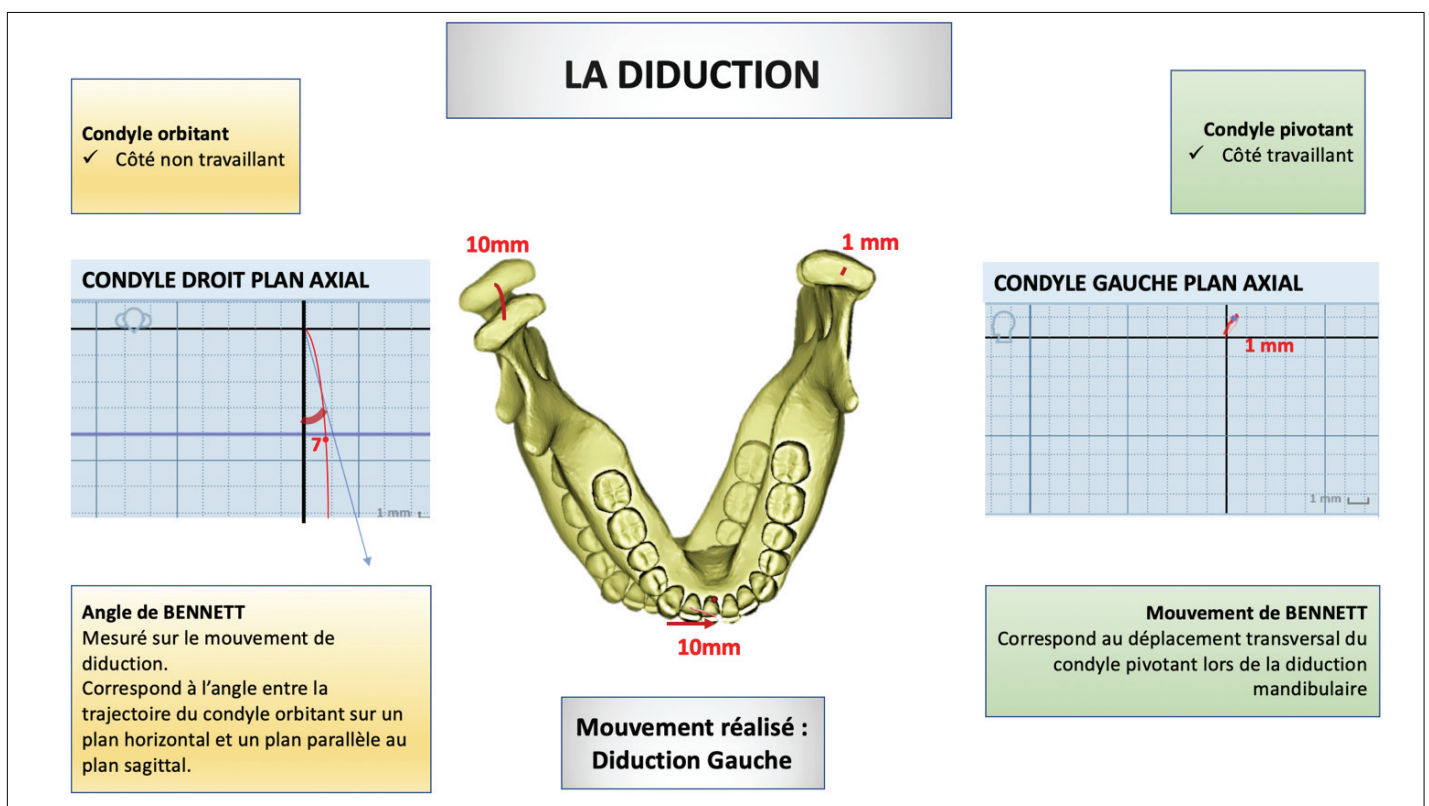
En effet, à cause de sa forme ovoïde, la tête condylienne ne peut effectuer une simple rotation, mais doit se dégager par translation à l'intérieur de la cavité articulaire. Ce déplacement transversal du condyle pivotant, est appelé **mouvement de BENNETT**. Dans une phase d'excursion, il est le plus souvent dirigé latéralement, en haut et en arrière, jamais vers l'avant. Son amplitude est limitée à quelques millimètres. Les trajectoires d'excursion et d'incursion doivent être superposées.

Le mouvement de BENNETT est le déplacement transversal du condyle pivotant lors de la diduction mandibulaire.

Du côté non travaillant, le condyle est appelé orbitant ; il décrit une trajectoire ample (supérieure à 10 mm), caractérisée, en phase d'excursion, par une translation en avant, en bas et en dedans.

L'angle de BENNETT est mesuré pendant la diduction, en projection sur un plan horizontal, entre la trajectoire du condyle orbitant et un plan parallèle au plan sagittal.

Lee (1982) a montré sur 220 cas que l'angle de BENNETT a une valeur globalement constante d'environ 7° . Les variations individuelles de trajectoire sont essentiellement liées à une quantité de déplacement condylien transversal plus ou moins liminal. Cette translation transversale, très proche de l'OIM, est donc la composante principale caractérisant ce déplacement.



Amplitude et participation musculaire

Ce trajet entre OIM et PDM est d'environ 10 mm. Chez un sujet asymptomatique, le rapport d'amplitude entre diduction et ouverture maximale est d'environ de 10/40, soit 1/4.

Du côté travaillant, un mouvement d'excursion répond à une contraction des fibres postérieures du muscle temporal, du ventre postérieur du muscle digastrique, des fibres profondes du muscle masséter, sous le contrôle du faisceau supérieur du muscle ptérygoïdien latéral.

Du côté non travaillant, il répond à une contraction du faisceau inférieur du muscle ptérygoïdien latéral (accessoirement du muscle ptérygoïdien médial et du muscle masséter superficiel).

Un mouvement incursif (retour vers l'OIM) répond à un relâchement des faisceaux musculaires cités précédemment, à une activation plus ou moins importante des muscles élévateurs et à un contrôle, par l'appareil tenseur du disque, du retour dans la fosse articulaire du complexe condylo-discal.

Différentiel excursion-incursion

Lauret et Le Gal (1997) attirent l'attention sur les différences de la trajectoire mandibulaire existant entre les phases d'excursion et d'incursion. Ils insistent sur la situation mandibulaire plus crâniale induite par l'activation des muscles élévateurs, particulièrement puissants lors des mouvements d'incursion. Lee notait déjà, en 1982, ce différentiel de positions en remarquant que la fréquence des contacts occlusaux du côté non travaillant pendant un mouvement de diduction était liée à:

- la flexibilité de la mandibule
- la viscoélasticité articulaire et desmodontale
- la puissance des muscles élévateurs
- un point d'appui que peut constituer un aliment dur entraînant une rotation de la mandibule autour de ce pivot
- l'abrasion des dents antérieures
- l'importance du déplacement condylien transversal liminal (ou immédiat).

Okeson (1989) a montré, sur 103 patients, que 29 % d'entre eux présentaient des contacts occlusaux non travaillants avec des mouvements non guidés, alors que ce chiffre passe à 87 % avec des mouvements d'incursion forcée. Laurent et Laplanche (2000), contrairement à Lauret et Le Gall (1997), remarquent que c'est le recrutement plus ou moins marqué des muscles élévateurs qui constitue le facteur déterminant beaucoup plus que le sens du mouvement (excursion ou incursion). Une excursion travaillante, dans une phase de bruxisme, montre une position mandibulaire plus crâniale que le même mouvement sans para-fonction, et donc sensiblement identique à celle qui se produit lors d'une incursion travaillante active en mastication. Ces remarques incitent le clinicien à prendre en compte ces deux phases de la diduction mais aussi et surtout la présence de para-fonctions du type bruxisme.

Résumé

COTE TRAVAILLANT :

Du côté travaillant, le condyle dit “pivotant” effectue une rotation associée à une faible translation transversale à direction latérale (quelques millimètres).

La majorité des mouvements du condyle pivotant se dirige, en haut, en dehors et en arrière, mais jamais vers l'avant.

Ce déplacement transversal de l'ensemble du corps mandibulaire vers le côté travaillant, est dit **mouvement de BENNETT**.

Latéralisation travaillante

Trajet entre OIM et point de diduction maximale (PDM), évalué entre 9 et 10 mm.

Un mouvement de latéralisation répond du côté travaillant à une contraction des fibres musculaires:

- postérieures du muscle temporal
- du ventre postérieur du muscle digastrique
- des fibres profondes du muscle masséter
- sous le contrôle du faisceau supérieur du muscle ptérygoïdien latéral.

Médialisation travaillante

Mouvement de retour vers l'OIM avec participation plus ou moins forte des muscles élévateurs.

COTE NON-TRAVAILLANT :

Du côté non-travaillant, le condyle dit “orbitant” décrit une trajectoire ample (supérieure à 10 millimètres) caractérisée par une translation en avant, en bas et en dedans. On définit ainsi **l'angle de BENNETT**, mesuré pendant la diduction, en projection sur un plan horizontal, entre la trajectoire du condyle orbitant et un plan sagittal.

Médialisation non-travaillante

Répond à une contraction du faisceau inférieur du muscle ptérygoïdien latéral (accessoirement du muscle ptérygoïdien médial et du muscle masséter superficiel).

La translation s'accompagne d'une légère rotation, compensant le différentiel existant entre pente condylienne et pente canine contro-latérale (voir cours de DCEO3).

Si le mouvement de BENNETT correspond à une translation transversale s'exprimant directement du côté travaillant, ce mouvement apparaît souvent au fur et à mesure de la translation du côté non travaillant (mouvement transversal progressif). En revanche, la laxité articulaire acquise sera caractérisée (du côté non travaillant) par un mouvement de BENNETT s'individualisant brutalement (mouvement transversal immédiat).

Latéralisation non travaillante

Mouvement de retour vers l'OIM avec participation plus ou moins importante des muscles élévateurs, et contrôle du retour dans la cavité glénoïde du complexe condylo-discal par le faisceau supérieur du muscle ptérygoïdien latéral.

4.3. Mouvements fonctionnels

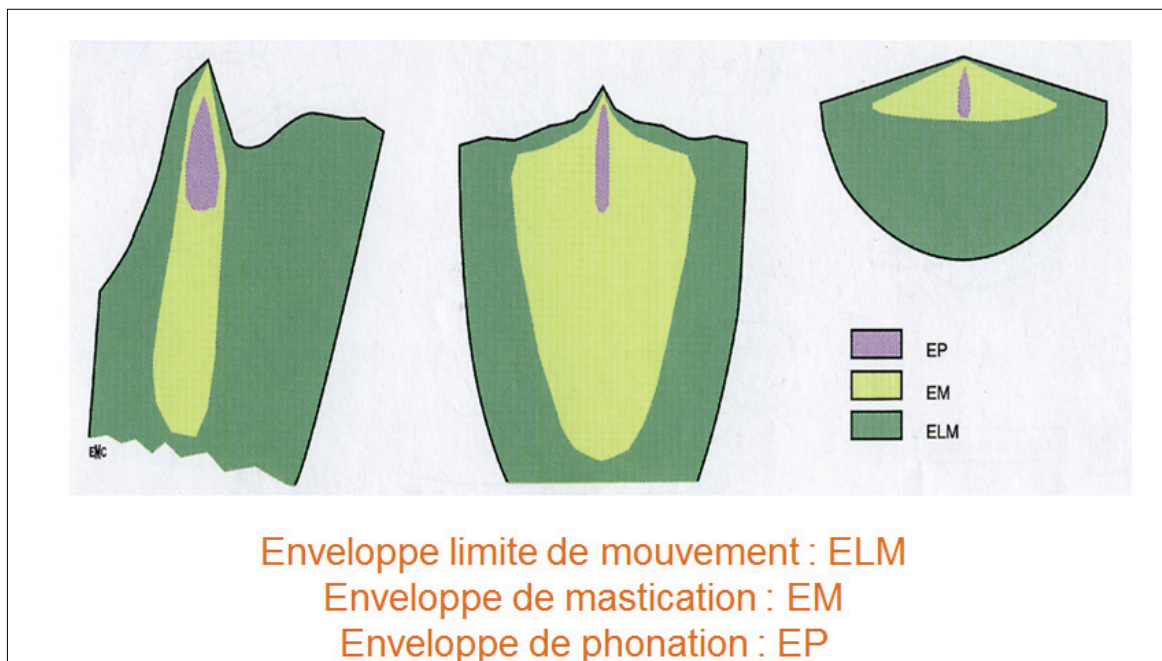


Les mouvements fonctionnels sont décrits dans cette vidéo. Le script de la vidéo est dans le texte de ce chapitre.

<https://youtu.be/3OshAZQEHuQ>

Vidéo 5. Mouvements fonctionnels

Les mouvements fonctionnels sont constitués par ceux, naturels, qui sont réalisés durant la phonation, la mastication, le bâillement, la déglutition et tous ceux qui leurs sont associés. Les enveloppes fonctionnelles s'inscrivent dans l'enveloppe limite des mouvements.



Les deux fonctions principales concernées par les mouvements mandibulaires sont la phonation et la mastication. La déglutition des aliments solides est physiologiquement exécutée dans une position statique en coïncidence avec l'OIM. L'analyse des mouvements fonctionnels des différents points mandibulaires a été décrite par Lundeen et Gibbs (1982) grâce au Replicator.

Mastication

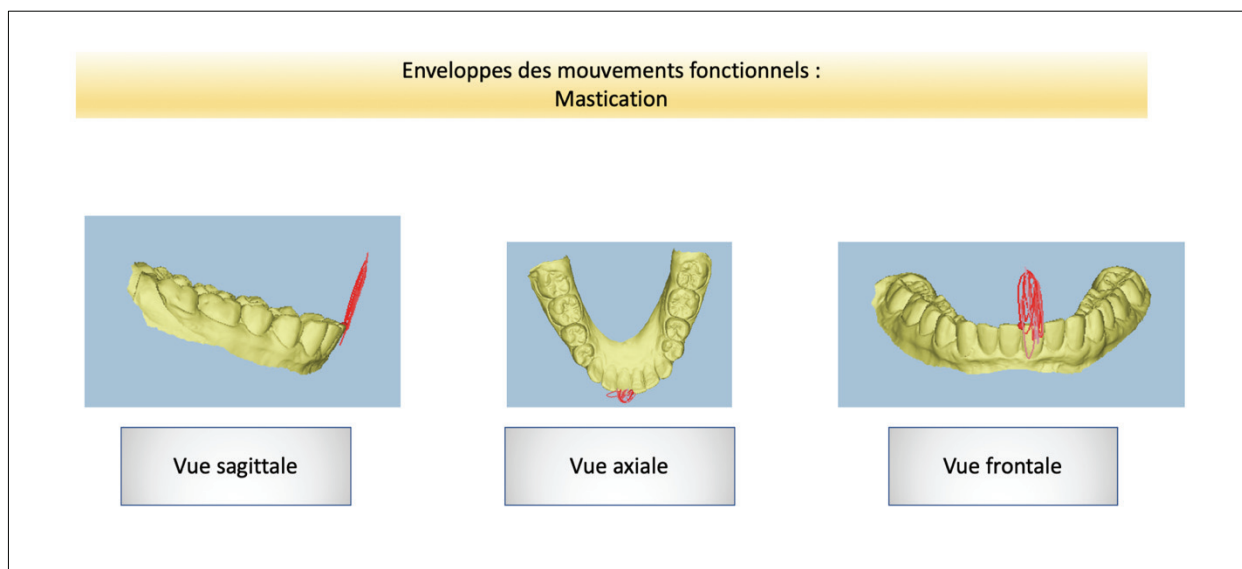
L'étude de la mastication analyse les caractéristiques des cycles masticatoires aux niveaux condylien, molaire et incisif. L'étude publiée par Lundeen et Gibbs (1982) décrit les caractéristiques essentielles d'un cycle typique de mastication chez l'adulte sain analysé par le Replicator. Ce cycle commence par l'incision de la nourriture et son placement dans la région prémolaire-molaire. La mandibule, après une légère propulsion, s'abaisse le plus souvent selon une courbe sagittale médiane puis, dès l'amorce de l'élévation, se déplace latéralement. La trajectoire de fermeture est d'autant plus latérale et postérieure que les aliments sont durs.

En médialisation travaillante, le condyle décrit une trajectoire en haut et en arrière, bien avant un quelconque contact dentaire. Puis en fin de fermeture, il se déplace en moyenne de 1/3 mm vers l'avant et de 1/5 mm médialement. Ce mouvement peut, de surcroît, avoir une composante vers le haut ou vers le bas. En fin de fermeture, la première molaire se déplace en haut, en avant et médialement vers l'OIM.

Le condyle non travaillant effectue, simultanément, un trajet dirigé vers le haut, en arrière et latéralement (latéralisation non travaillante), aboutissant à la position d'OIM; la première molaire se déplace latéralement vers le haut sans composante antérieure.

La mandibule effectue une pause moyenne en OIM de 194ms (écart type de 38 ms), avant d'exécuter un second cycle. On constate environ 15 cycles masticatoires entre la préhension des aliments et leur déglutition (la fréquence n'étant pas précisée, on admet par ailleurs qu'elle avoisine 1Hz). L'amplitude verticale entre les arcades est maximale à l'introduction des aliments, pour décroître de façon linéaire au fur et à mesure de la mastication, jusqu'à la déglutition. Lors des premiers cycles d'un bol alimentaire résistant, l'intercuspidie n'est pas atteinte.

Un contact imprévu avec un objet dur provoque un arrêt immédiat du cycle masticatoire, mais sans réflexe protecteur d'ouverture.

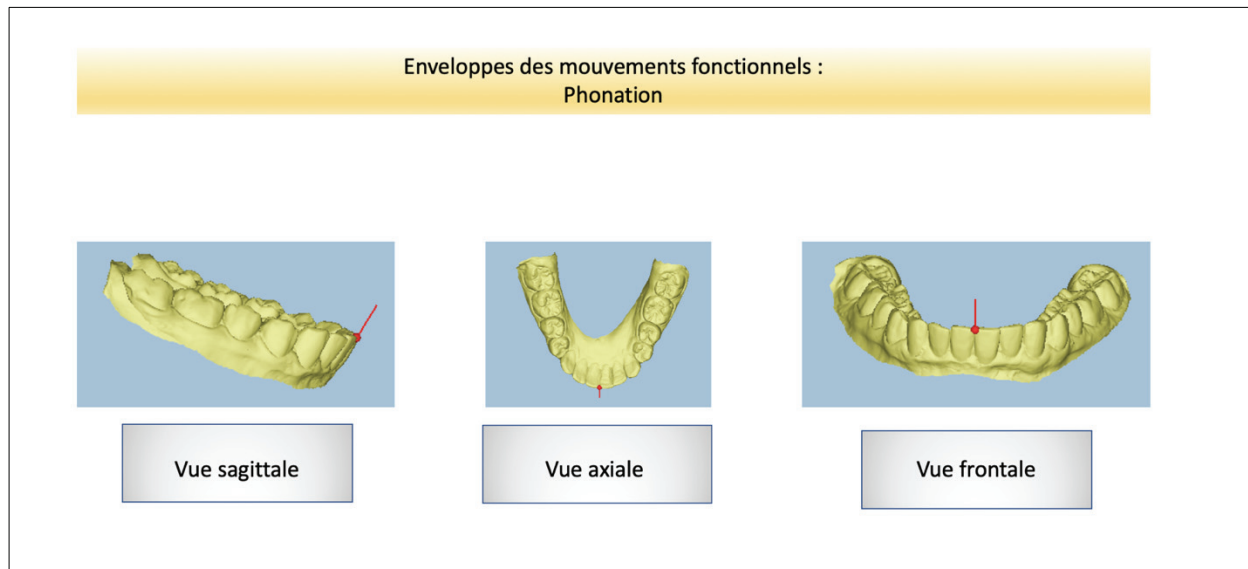


Phonation

L'évolution a permis, d'un point de vue structurel, la réalisation de la fonction de phonation durant laquelle trois types de contacts peuvent être étudiés: dents-lèvre, dents-langue et dents-dents.

Lundeen et Gibbs (1982) remarquent que dans un plan frontal, l'espace utilisé par un sujet lors de la phonation est bien plus étroit que lors de la mastication. Il n'existe presque pas de déplacement latéral et le mouvement vertical, qui n'atteint jamais l'OIM, est très petit. Dans un plan sagittal, l'espace antéro-postérieur est notable, même si le mouvement vertical est limité. Cette enveloppe fonctionnelle est augmentée par l'élévation du volume sonore.

Par exemple, les chanteurs vont utiliser un espace fonctionnel beaucoup plus important que les non-chanteurs, ce qui implique des répercussions possibles sur le plan professionnel des pathologies limitant le jeu articulaire chez ce type de patients.



Enveloppes fonctionnelles

Les mouvements fondamentaux représentent les fonctions potentielles de l'appareil manducateur alors que les mouvements fonctionnels en sont le mode de fonctionnement réel. Lundeen (Lundeen et al., 1978; Lundeen, 1979) a montré qu'au cours de la mastication, il ne survenait aucun contact incisif; il existe de très légers mais rares contacts canins. Dans des conditions physiologiques, les contacts entre les dents antérieures sont évités durant la fonction. Le contrôle proprioceptif des mouvements mandibulaires peut être comparé à la façon dont un aveugle se déplace dans une pièce qu'il connaît bien. Des contacts dentaires sporadiques, ponctuels, légers, procurent par proprioception les informations spatiales (comme la canne blanche de l'aveugle) nécessaires pour assurer une intercuspidation directe répétitive sans frottements. Ces contacts occlusaux furtifs constituent des zones frontières qui délimitent l'enveloppe fonctionnelle. Dans un cadre physiologique, sans interférences postérieures, ces zones frontières antérieures sont constituées par l'angle interne des bords libres des incisives et par les pointes des canines maxillaires.

Pendant un cycle masticatoire, la chronologie du mouvement d'abaissement est plutôt symétrique entre les condyles pivotant et orbitant, alors que le mouvement de retour est beaucoup plus asymétrique. Le condyle pivotant (en médialisation) se déplace vers l'arrière beaucoup plus vite que le condyle orbitant (en latéralisation). Cette phase critique du cycle masticatoire se déroule dans une zone parfois dénommée "orbite fonctionnelle terminale".

Les habitudes psycho-socio-comportementales peuvent imposer des attitudes mandibulaires dépassant l'enveloppe fonctionnelle pour s'inscrire plus avant dans l'enveloppe limite des mouvements.

En résumé

Les mouvements mandibulaires permettent la réalisation des fonctions manducatrices. On distingue des mouvements élémentaires, des mouvements fondamentaux (combinaison de mouvements élémentaires) et des mouvements fonctionnels (combinaison de mouvements fondamentaux). Les mouvements fondamentaux représentent les fonctions potentielles de l'appareil manducateur alors que les mouvements fonctionnels en sont le mode de fonctionnement réel. L'occlusion domine les mouvements mandibulaires en imposant non seulement le "point de chute" (l'OIM) mais également les trajectoires d'accès à cette OIM, en délimitant des zones frontières par contacts furtifs qui bornent l'enveloppe limite fonctionnelle. Au cours de la croissance de l'individu, les ATM s'adaptent à ces sollicitations. Chez l'adulte, ces structures sont plus figées que chez l'enfant, elles sont la mémoire d'un schéma fonctionnel dans lequel les traitements restaurateurs odonto-stomatologiques (orthodontie, prothèse, chirurgie orthognathique) doivent s'inscrire impérativement. Ceci sous-entend une capacité à observer et à mesurer (diagnostic clinique et enregistrements axiographiques), puis à simuler au laboratoire les potentialités de mouvements (articulateurs).

Conclusion

La connaissance de la cinématique mandibulaire, au-delà de son intérêt fondamental, est essentielle sur un plan clinique car elle permet:

- une étude diagnostique: par l'observation clinique des éventuelles dyskinésies mandibulaires (anomalies de la cinématique) qui représentent une bonne évaluation du fonctionnement des systèmes ostéo-articulaire et neuromusculaire.
- la simulation de cette cinématique au laboratoire grâce à des appareils de simulation appelé articulateurs, qui tiennent compte des déterminants du mouvement:

→ **déterminants postérieurs** (pente condylienne, angle de BENNETT, mouvement initial de BENNETT)

→ **déterminants antérieurs** (occlusion dentaire).

Position relative de ces déterminants : voir cours sur le montage sur articulateur (3^{ème} année).

LISTE DES FIGURES & TABLEAUX PAR ORDRE D'APPARITION :

Figure 1. Mannequin de simulation dentaire avec son arcade

Tableau 1. Les outils de simulation dans l'enseignement médical

Figure 2. Illustration du Simulateur Dentsim avec ses composants.

Figure 3. Constitution du Simulateur Simodont

Figure 4. Représentation en utilisation du Simulateur Simodont.

Figure 5. Gnathographe de Mc Collum

Figure 6. Pantographe de Stuart

Figure 7. Pantographe de Denar

Figure 8. Axiographe de Slavicek

Figure 9. Le « Replicator » de Gibbs

Figure 10. Aimant intrabuccal de l'électrognathographe, mis en place chez un adulte (gauche) et un enfant (droite)

Figure 11. Vue sagittale (gauche) et frontale (droite) de l'attelage crânien de l'électrognathographe.

Figure 12. Enregistrement d'une ouverture buccale présentant une déviation droite (illustration de gauche) et d'un cycle masticatoire (illustration de droite)

Figure 13. Constitution de l'axiographe mécanique (SAM)

Figure 14. Attelle de fixation Supra-occlusale

Figure 15. Attelle de fixation para-occlusale

Figure 16. Mise en place de l'arc péri crânien par réglage de l'appui nasal et méat auditif externe

Figure 17. Fixation de l'attelle mandibulaire à l'arc.

Figure 18. Localisation de l'axe charnière par le pointeau – dispositif prêt à l'enregistrement.

Figure 19. Dispositif d'enregistrement CADIAX

Tableau 2. Avantages – Inconvénients de l'axiographie Mécanique (issu de « Occlusodontie Pratique » Giraudeau A., Laplanche O. (2006)

Tableau 3. Avantages – Inconvénients de l'axiographie Electronique (issu de « Occlusodontie Pratique » Giraudeau A., Laplanche O. (2006)

Figure 20. Interface SICAT Function

Figure 21a. Système SICAT JMT+

Figure 21b. Système SICAT JMT+ en action

Figure 22 : Étapes de préparation du plateau SICAT FUSION BITE

Figure 23. Les différentes étapes du SICAT Function.

Figure 24. Le système MODJAW ®

Figure 25. Réalisation d'une hémi-arcade maxillaire par technique de Wax-up

Figure 26. Les étapes de conception des moulages en plâtre.

Figure 27. Numérisation d'une arcade en plâtre avec le scanner intra-oral Trios 3Shape ®

Figure 28. Accessoires du Modjaw permettant l'acquisition (de gauche à droite : le casque, le pointeau, et la fourchette mandibulaire)

Figure 29. Consentement de droit à l'image

Figure 30. Salle de Simulation de la Faculté d'Odontologie de Nice.

Figure 31. Feuille de recueil pour l'examen clinique.

Figure 32. Examen clinique des ATM

Figure 33. Renseignement des données administratives de la séance sur l'interface Modjaw

Figure 34. Empreinte numérique maxillaire chargée dans l'interface Modjaw

Figure 35. Vérification de l'occlusion après chargement de l'empreinte numérique mandibulaire dans l'interface Modjaw.

Figure 36. Phase de calibration du casque avec le pointeau.

Figure 37. Mise en place et ajustement de l'arc péri-crânien

Figure 38. Mise en place de l'écarteur souple « Optra-Gate ® »

Figure 39. Étapes de pose de la fourchette mandibulaire par résine auto-polymérisable Structur ®

Figure 40. Ensemble du dispositif d'acquisition Modjaw mis en place.

Figure 41. Centrage de la caméra stéréoscopique

Figure 42. Localisation du point sous-nasal avec le pointeau.

Figure 43. Localisation des axes charnières droit et gauche.

Figure 44. Positionnement de quatre points remarquables sur l'arcade mandibulaire.

Figure 45. Localisation sur l'arcade des quatre points remarquables grâce au pointeur.

Figure 46. Début de l'acquisition de la cinématique mandibulaire.

Figure 47. Fiche de lecture type utilisée pour l'enregistrement de la phonation

Figure 48. Morceaux de carottes calibrés pour l'enregistrement de la mastication

Figure 49. Salle informatique et numérique de la Faculté d'Odontologie de Nice

Figure 50. Interface de travail du logiciel Camtasia ®

Figure 51. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur la diduction mandibulaire

Figure 52. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur le mouvement d'ouverture-fermeture mandibulaire

Figure 53. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur le diagramme de Posselt

Figure 54. Flash-code permettant l'accès à la vidéo sur les mouvements fonctionnels

Figure 55. Feuille de recueil de données pour le premier enseignement dirigé

Figure 56. Flash-code permettant l'accès à la vidéo de l'enseignement dirigé sur la cinématique mandibulaire

Figure 57. Feuille d'évaluation à remplir par l'étudiant lors du troisième enseignement dirigé (1/2)

Figure 58. Feuille d'évaluation à remplir par l'étudiant lors du troisième enseignement dirigé (2/2)

Approbation – Improbation

Les opinions émises par les dissertations présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie dentaire (1).

Lu et approuvé,

Vu,
Nice, le

La Présidente du jury, et Doyenne de la Faculté de
Chirurgie Dentaire de l'UNS

Professeur Laurence LUPI

(1) Les exemplaires destinés à la bibliothèque doivent être obligatoirement signés par le Doyen et par le Président du Jury.

Serment d'Hippocrate

*En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples,
devant l'effigie d'Hippocrate,*

*Je promets et je jure, au nom de l'Etre Suprême, d'être fidèle aux lois
de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de La Médecine Dentaire.*

*Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un
salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage
clandestin d'honoraires.*

*Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui
se passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état
ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de
race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon
Devoir et mon patient.*

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès sa conception.

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes
connaissances médicales contre les lois de l'Humanité.*

*Respectueux et reconnaissant envers les Maîtres, je rendrai à leurs
enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes
promesses,*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y
manque.*

Julien DUBROMEZ

**LES OUTILS NUMERIQUES AU SERVICE DE LA
PEDAGOGIE : APPORT DU MODJAW® DANS
L'APPRENTISSAGE INITIAL DE L'OCCLUSODONTOLOGIE
ET DE LA CINEMATIQUE MANDIBULAIRE A LA FACULTE
DE CHIRURGIE DENTAIRE DE NICE.**

Thèse : Chirurgie Dentaire, Nice, 2020, n°42-57-20-06

Directeur de thèse : Docteur EHRMANN Elodie

Mots-clés : cinématique mandibulaire, Modjaw®, apprentissage mixte, simulateur virtuel, occlusodontologie, pédagogie

Résumé: L'occlusodontologie, qui se définit comme « l'étude de l'occlusion dentaire, de son évolution au cours de la vie, de ses anomalies et de ses répercussions pathologiques » est une partie essentielle de la pratique de la dentisterie. Grâce aux avancées techniques et à la place désormais centrale du numérique au quotidien, les courants de pensées dans l'enseignement se modernisent pour répondre aux nouvelles attentes des apprenants. L'objectif de ce travail était de proposer aux étudiants de la Faculté d'Odontologie de Nice, un support de cours en occlusodontologie actualisé et répondant aux dernières données acquises en matière d'apprentissage mixte. Dans un premier temps, un état des lieux est effectué sur l'apport de l'utilisation d'outils numériques dans l'enseignement. Puis l'ensemble des techniques d'enregistrement de la cinématique mandibulaire sont abordées au travers de son évolution dans l'histoire. Enfin, les étapes de conception permettant la production du nouveau contenu pédagogique en occlusodontologie à l'aide de la technologie Modjaw® sont détaillées.