



HAL
open science

Historique de l'articulateur, de l'ère mécanique à l'ère numérique

Anne Durin Touati Sandler

► **To cite this version:**

Anne Durin Touati Sandler. Historique de l'articulateur, de l'ère mécanique à l'ère numérique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03163563

HAL Id: dumas-03163563

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03163563>

Submitted on 9 Mar 2021

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4 de la Propriété Intellectuelle.

Articles L 335.2 - L 335.10

UNIVERSITÉ DE PARIS

UFR D'ODONTOLOGIE - MONTROUGE

Année 2020

N° M047

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 1^{er} juillet 2020

Par

Anne DURIN TOUATI SANDLER

Historique de l'articulateur, de l'ère mécanique à l'ère numérique

Dirigée par M. le Docteur Christophe Rignon-Bret

JURY

Mme le Professeur Claudine Wulfman

Président

Mme le Docteur Radhia Benbelaïd

Assesseur

M. le Docteur Denis Bouter

Assesseur

M. le Docteur Christophe Rignon-Bret

Assesseur

M. le Professeur Jean-Marie Rignon-Bret

Invité



Tableau des enseignants de l'UFR

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MÂÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DAVIT-BÉAL Mme DURSUN Mme VITAL	M. COURSON Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN Mme LE NORCY
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme FOLLIGUET M. PIRNAY	Mme GERMA M. TAVERNIER
2. CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER Mme GOSSET	M. BIOSSE DUPLAN M. GUEZ
	CHIRURGIE ORALE	M. MAMAN Mme RADOI	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. MOREAU M. NGUYEN Mme TAÏHI
	BIOLOGIE ORALE	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme SÉGUIER Mme POLIARD	M. ARRETO Mme BARDET (MCF) Mme CHARDIN M. FERRE M. LE MAY
3. RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES	Mme WULFMAN	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TRAMBA
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX	M. SALMON	M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE Mme TILOTTA
	PROFESSEURS ÉMÉRITES	M. BÉRENHOLC Mme BRION M. LASFARGUES M. LAUTROU M. LEVY	M. PELLAT M. PIERRISNARD M. SAFFAR Mme WOLIKOW

Liste mise à jour le 04 novembre 2019

Remerciements

À Mme le Professeur Claudine Wulfmann

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Médecine bucco-dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris 13

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance publique-Hôpitaux de Paris

Je vous remercie de me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse d'exercice. Je vous remercie également pour la grande qualité de vos enseignements mais également de m'avoir initiée à la passion de votre discipline. Je vous prie de bien vouloir trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon respect.

À Mme Le Docteur Radhia Benbelaïd

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris-Sud

Maitre de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Asssitance publique-Hôpitaux de Paris

Je vous remercie de me faire l'honneur de participer à ce jury. Je vous remercie également pour la qualité de vos enseignements. Je vous prie de bien vouloir trouver ici le témoignage de ma reconnaissance respectueuse.

À M. le Docteur Denis Bouter

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maitre de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assitance publique-Hôpitaux de Paris

Je vous remercie de me faire l'honneur de participer au jury de cette thèse. Je vous suis reconnaissante pour vos enseignements et votre pédagogie toujours bienveillante. Je vous prie de bien vouloir trouver ici le témoignage de mon profond respect.

À M. le Docteur Christophe Rignon-Bret

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris-Sud

Maitre de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Asssitance publique-Hôpitaux de Paris

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de diriger mon travail avec bienveillance et attention. Je vous suis reconnaissante pour les perspectives passionnantes que vous m'avez ouvertes et l'exigence à laquelle notre métier nous oblige. Je vous prie de bien vouloir trouver ici l'expression de mon profond respect.

À M. le Professeur Jean-Marie Rignon-Bret

Professeur Honoraire de l'Université Paris V

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur en Sciences odontologiques

Docteur d'État en Odontologie

Membre Titulaire de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Expert Honoraire près la Cour d'Appel de Paris

Je vous remercie de me faire l'honneur de participer au jury de ma thèse. Je vous remercie également pour les connaissances que vous m'avez communiquées, pour le temps que vous m'avez consacré, toujours avec disponibilité et qui ont enrichi mon travail. Je vous prie de bien vouloir trouver ici l'expression de mon profond respect et de ma gratitude.

Remerciements

À mes parents, je vous remercie pour votre soutien sans faille pendant toute la durée de mes études. Ma réussite aujourd'hui vous est en partie due, par votre implication, votre bienveillance et votre souci de l'excellence. Vous pouvez être fier de vous.

À mon frère Jacques, merci de m'avoir soutenue et accompagnée. Tu es toujours disponible et bienveillant, je te souhaite de connaître une grande réussite au cours de tes études de médecine et surtout de rester près de moi.

À mes grands-parents, Arlette et Pierre, Jacqueline et Raymond, je vous remercie pour tous les moments passés ensemble. Vous avez toujours été soucieux de mon bonheur, de ma réussite et de mon épanouissement. Je pense fort à vous.

Mais aussi à ma famille proche, Anne, Paul, Alice, Lucie, Pierre, Antoine et Alexandre merci pour votre soutien.

À mon amie Iris, qui me suis depuis bientôt 6 ans. Ce qui nous lie dépasse ce que la faculté a fait naître. Je te remercie pour ton soutien de toujours, ta bienveillance, ton ouverture d'esprit, ta soif d'aventure et ton humour. Je n'aurais pas pu espérer une plus belle rencontre.

À mes copines de fac, Alicia, Bigou, Constance, Ryme, Chloé, Noémie, Laura et Sara. Je vous remercie pour tous les moments de vies, les vacances, les joies et les émotions partagées ensemble.

Aux amis que mes études m'ont apportés, Arnaud, Pierga, Alexis. Mais également Kinz, Léa, Pauline, Timothée, Paul, Mathieu et Arthur. Je vous remercie, amicalement et fraternellement.

À mes amis d'enfance, Jean-Guilhem, Séraphine, Eloïse, Lauriane, Sophie, Louis, Anatole, merci d'être toujours présent.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont croisé mon chemin et ont contribué de près ou de loin à ma réussite d'aujourd'hui, à commencer par mes enseignants de l'hôpital Henri-Mondor.

Table des matières

INTRODUCTION	3
1 : DEFINITIONS	5
1.1 DEFINITION DU DICTIONNAIRE ODONTOLOGIQUE DE PROTHESE	5
1.2 DÉFINITION DU “GLOSSARY OF PROSTHODONTIC TERMS” GPT9.....	5
2 : HISTORIQUE DES ARTICULATEURS	6
2.1 L’OCCLUSEUR EN PLATRE	6
2.2 ARTICULATEUR A CHARNIERES.....	7
2.3 ARTICULATEURS METALLIQUES AVEC CHARNIERES	8
2.4 ARTICULATEUR DE BONWILL.....	8
2.5 ARTICULATEUR DE BALKWILL	10
2.6 ARTICULATEUR A ROTULE.....	11
2.7 ARTICULATEURS A DEPLACEMENT CONDYLENIEN INCLINE	12
2.8 ARTICULATEURS DITS « ANATOMIQUES » ET THEORIE GNATHOLOGIQUE	13
2.8.1 <i>Théorie de la sphère de MONSON</i>	14
2.8.2 <i>Théorie de l’axe charnière</i>	24
2.9 ARTICULATEURS GEOMETRIQUES, A. GYSI ET LA THEORIE DES CENTRES INSTANTANES DE ROTATION.....	27
2.9.1 <i>Définition centre instantané de rotation</i>	27
2.9.2 <i>CIR et articulateurs</i>	28
2.9.3 <i>A. GYSI et les articulateurs géométriques</i>	29
2.10 DE 1920 JUSQU’A NOS JOURS	32
2.11 CLASSIFICATION DES ARTICULATEURS SELON J.-M. RIGNON-BRET	34
2.11.1 <i>Classe I : les occluseurs</i>	34
2.11.2 <i>Classe II : les articulateurs semi-adaptables</i>	35
2.11.3 <i>Classe III : les articulateurs adaptables simplifiés</i>	35
2.11.4 <i>Classe IV : les articulateurs adaptables</i>	35
2.11.5 <i>Remarques d’ordre général</i>	35
3 : ARTICULATEUR VIRTUEL	38
3.1 INTRODUCTION.....	38
3.2 OBJECTIFS DE L’ARTICULATEUR VIRTUEL	39
3.3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS	40
3.3.1 <i>Avantages</i>	40
3.3.2 <i>Inconvénients</i>	40

3.4 MISE EN ŒUVRE	40
3.4.1 <i>Prise d’empreinte optique</i>	40
3.4.2 <i>Jaw Motion Analyzer</i>	41
3.5 ARTICULATEUR 4D	45
3.5.1 <i>Introduction</i>	45
3.5.2 <i>Fonctionnement</i>	45
3.5.3 <i>Bénéfices</i>	50
3.5.4 <i>Inconvénients</i>	50
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	52
TABLE DES FIGURES	56
TABLE DES TABLEAUX	58
ANNEXES	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

Introduction

Lors de nos études, l'arrivée en odontologie s'accompagne presque systématiquement de l'achat d'un articulateur. Cet investissement doit nous accompagner non seulement lors de nos études mais également durant toute notre vie professionnelle. Pourtant Jean Schittly remarque que seulement 10 % des chirurgiens-dentistes français l'utilisent alors que son emploi est enseigné dans toutes les facultés françaises d'odontologie¹. Une étude récente à la Faculté d'Odontologie de Toulouse montre que 38 % des odontologistes n'utilisent jamais un articulateur².

Ainsi, d'après Daniel Rosencwieg : « *Aucun articulateur, même le plus sophistiqué, n'est vraiment capable de reproduire exactement les mouvements mandibulaires du patient. L'articulateur semi-adaptable assure le meilleur rapport entre la précision approchée et la durée opératoire. Cette reproduction mécanique approximative des conditions anatomiques et physiologiques du patient est suffisante pour la majorité des traitements odontologiques.*

Hélas, en pratique courante ces articulateurs n'ont pas encore acquis le même statut d'utilisation universelle que la turbine, le microtour ou tous les autres instruments indispensables à notre exercice. Il y a là de quoi s'étonner, surtout lorsqu'on se réfère aux milliers de travaux scientifiques justifiant de manière éclatante les avantages qu'ils apportent.

Sur le plan pratique, le temps gagné sur les retouches et les corrections, la prévention des pathologies d'étiologie occlusale, en un mot, la sécurité qui en découle, suffirait à universaliser l'usage permanent de l'instrument. »³

Nos apprentissages de prothèses à l'Université illustrent un large spectre d'indications d'utilisation des articulateurs dans les différents domaines des restaurations prothétiques (prothèse complète, prothèse fixe, prothèse implanto-portée, etc...). Cependant, force est de constater que l'articulateur reste malgré tout le plus souvent utilisé comme un simple occluseur. Sa programmation semble même être réservée à une « élite ».

Un articulateur est en réalité un instrument de **diagnostic** (analyse occlusale) et de **traitement** destiné à transférer et à analyser au laboratoire les relations statiques et cinématiques entre la mandibule et le maxillaire.²

Cet outil permet une simulation externe de la cinématique mandibulaire en fonction de son paramétrage.

¹ Dupas et Margerit, *L'articulateur au quotidien : son utilisation simplifiée.*

² Andrieu, « L'articulateur au cabinet dentaire et au laboratoire de prothèse : mythe ou réalité ? »

³ Dupas et Margerit, *L'articulateur au quotidien : son utilisation simplifiée.*

Dans son utilisation **diagnostique**, le montage des modèles sur articulateur permet d'évaluer et de mettre en évidence les éventuelles pertes de calage⁴ et de centrage⁵.

« *Le caractère irréversible de l'équilibration occlusale impose son analyse sur articulateur afin d'avoir la certitude qu'elle est non seulement réalisable, mais aussi justifiée* ». ⁶

L'analyse occlusale pré-prothétique permet d'apprécier le calage, le centrage, le guidage, l'harmonie du plan d'occlusion, la symétrie des courbes occlusales, de contrôler l'efficacité du guidage antérieur et de détecter d'éventuelles prématurités ou interférences.

Dans son utilisation **thérapeutique** de réalisations prothétiques complexes, l'articulateur a comme objectifs de réaliser une équilibration occlusale avec une intercuspidation maximale dans la posture de référence choisie et enregistrée, de prévenir tout inconfort du patient lors de la mise en place des éléments prothétiques, mais surtout d'anticiper les phénomènes de fracture des restaurations, les complications et les ADAM.

Cet outil a bénéficié de nombreuses améliorations au cours du temps et de l'évolution des concepts occlusaux jusqu'à l'articulateur d'aujourd'hui. Comment a évolué l'articulateur pour aboutir au modèle numérique actuel ? Ce modèle actuel est-il unique ?

Auguste Comte dans le Cours de philosophie positive. (1798-1857) a écrit : « *On ne connaît pas complètement une science tant qu'on n'en sait pas l'histoire* ». À l'ère du numérique, il nous semble donc important, pour comprendre cet instrument, d'explorer son évolution et de décrire les évolutions apportées.

L'objectif du présent travail est donc de décrire l'évolution des articulateurs en fonction des évolutions techniques et des différentes conceptions occlusales depuis la création des articulateurs jusqu'à aujourd'hui.

Dans une première partie est détaillé l'historique des articulateurs et de ses modifications depuis l'occluseur en plâtre jusqu'à sa forme la plus actuelle.

Dans une deuxième partie est développé l'articulateur virtuel actuel.

⁴ Le calage occlusal correspond à l'obtention en position d'OIM d'une stabilité intra-arcade, d'une stabilité inter-arcade (mandibulaire), d'une stabilité dentaire et d'une stabilité mandibulaire.

Le calage dentaire et mandibulaire sont obtenus par la résultante de la répartition et de la précision des multiples contacts occlusaux sur toute l'arcade, unie par les contacts inter-proximaux.

Ce calage permet une stabilité de chaque organe dentaire. Il est impératif pour éviter les migrations dentaires.

⁵ La position mandibulaire imposée par l'OIM doit être tolérable par l'environnement musculo-articulaire (ATM, muscles et téguments) sagittalement, verticalement et transversalement.

L'élément clé de la fonction de centrage est la relation centrée.

⁶ Dupas et Margerit, *L'articulateur au quotidien : son utilisation simplifiée*.

1 : Définitions

1.1 Définition du dictionnaire odontologique de prothèse

L'articulateur se définit comme un instrument mécanique supportant les moulages maxillaires et mandibulaires et simulant les relations occlusales dans les différentes positions mandibulaires. Il est utilisé pour l'analyse occlusale et la construction de prothèses.

1.2 Définition du "Glossary of Prosthodontic Terms" GPT9

L'articulateur est défini comme un instrument mécanique qui simule l'articulation temporo-mandibulaire et les mâchoires, duquel sont solidaires les modèles maxillaires et mandibulaires permettant de simuler tout ou partie des mouvements mandibulaires.

Les articulateurs de classe I, sont de simples instruments permettant de maintenir des modèles en occlusion. Seul un mouvement vertical est possible, ce sont des articulateurs non-adaptables.

Les articulateurs de classe II permettent des mouvements aussi bien horizontaux que verticaux mais ne prennent pas en compte les déterminants de l'articulation temporo-mandibulaire.

Enfin, les articulateurs de classe III simulent les trajectoires condyliennes par le biais de moyennes ou de déterminants modifiables de cette articulation. Ces instruments permettent un positionnement des modèles par rapport aux articulations, ils peuvent être ARCON ou NON-ARCON et sont appelés articulateurs semi-adaptables.

La classe IV, ou articulateurs totalement adaptables regroupent ceux permettant de reproduire par des enregistrements 3D, les mouvements mandibulaires.

2 : Historique des articulateurs⁷

Depuis plus de deux siècles, les chercheurs et les praticiens ont mis au point des dispositifs mécaniques appelés articulateurs afin d'enregistrer et de reproduire le plus fidèlement possible la cinématique mandibulaire d'un sujet dans un but thérapeutique. Ainsi dès la fin de 18^{ème} siècle, de nombreux instruments sont apparus. Il est impossible de les citer dans ce travail de manière exhaustive. Néanmoins les rappels historiques de leurs différentes conceptions permettent de mieux comprendre leurs possibilités mais surtout l'apport des différents éléments de l'articulateur que l'on connaît dans sa forme actuelle.

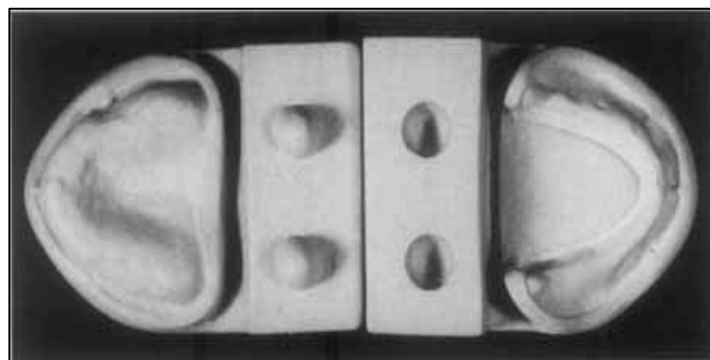
2.1 L'occluseur en plâtre

« L'invention de l'articulateur » a été attribuée à deux éminents dentistes européens : Philipp PFAFF et Jean-Baptiste GARIOT.⁸

1756 : P. PFAFF aurait été le premier à créer une clé en plâtre afin d'articuler des modèles formatés réalisant ainsi le premier « articulateur plâtre » qui est en réalité un « occluseur plâtre ».

1805 : J.-B. GARIOT construit le premier véritable « occluseur plâtre » (figure.1) en réalisant une extension des modèles en plâtre avec deux indexations en forme de cônes pour repositionner des modèles.

Figure 1 : Articulateur plâtre de J.-B. GARIOT



Source : Romerowski, « Quelques curiosités dans l'histoire des articulateurs », 2011.

⁷ Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1830 à 1920 : première partie »; Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1920 à l'ère numérique : deuxième partie ».

⁸ Romerowski, « Quelques curiosités dans l'histoire des articulateurs ».

Starcke, « The History of Articulators », 1999;

Mitchell et Wilkie, « Articulators through the years. part I. up to 1940 ».

Cet « articulateur plâtre » peut donc être classé comme un articulateur de Classe I d'après « *The Glossary of Prosthodontic Terms* » (9^{ème} version).

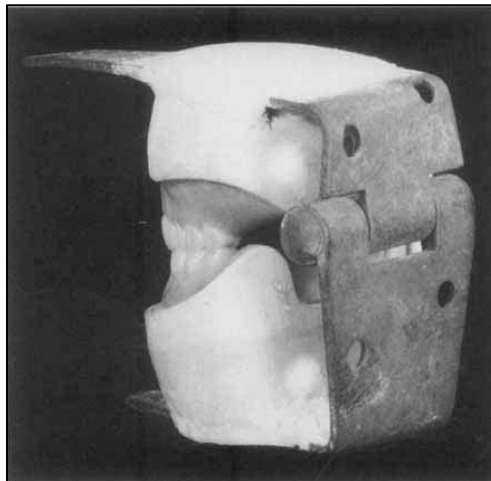
L'occluseur en plâtre est donc un « articulateur » qui permet uniquement de maintenir en occlusion deux modèles antagonistes.

Il permet de caler, d'étudier en statique le rapport maxillo-mandibulaire à une dimension verticale d'occlusion correcte.

2.2 Articulateur à charnières

1830 : À cette époque apparaissent les premiers occluseurs à charnières de HOWARTH et celui de LADMORE décrits par R. FAIRHUST⁹. Ces instruments se composaient de deux plaques de bois ou de métal réunies ensemble par une charnière et sont comparables à l'occluseur en « porte de grange » (cf. figure 2), d'origine inconnue mais souvent évoquée dans la littérature américaine.

Figure 2 : Articulateur en porte de grange



Source : Starcke, «The history of articulators : a perspective on the early years, part II », 1999.

L'articulateur à charnière permet donc pour la première fois de simuler des **mouvements d'ouverture-fermeture**, la notion de **branche supérieure et inférieure** de l'articulateur moderne commence à apparaître.

⁹ Starcke, « The history of articulators : unusual concepts or "it seemed to be a great idea at the time!" »; Starcke, « The history of articulators : a perspective on the early years, part II ».

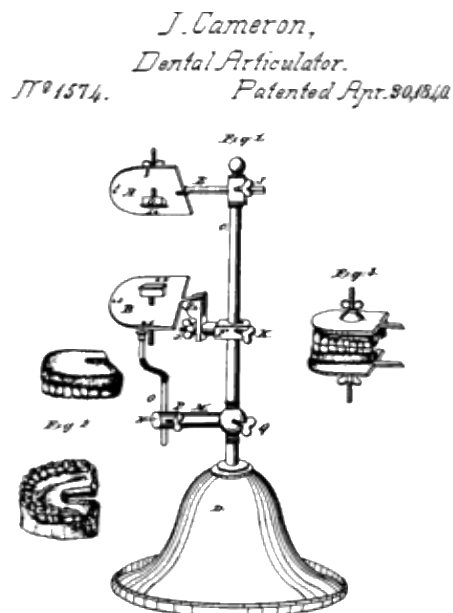
2.3 Articulateurs métalliques avec charnières¹⁰

1840 : J. CAMERON réalise le premier articulateur métallique à charnières breveté (cf. figure 3). C'est un instrument permettant un **déplacement vertical et antéro-postérieur** des modèles ainsi qu'une ouverture grâce à une charnière située au niveau du modèle mandibulaire.

La même année, D.T. EVENS¹¹ met au point un articulateur à charnières breveté qui peut être considéré comme **le premier articulateur véritable**. En effet, ces charnières introduisent un **mouvement de propulsion mais aussi, un léger mouvement de diduction**.

L'arrivée des articulateurs métalliques introduit les notions de propulsion et de diduction dans la conception des articulateurs.

Figure 3 : Articulateur métallique de J. CAMERON



Source : Starcke, « The history of articulators : unusual concepts or "it seemed to be a great idea at the time !" », 2001.

2.4 Articulateur de Bonwill

W.G.A. BONWILL¹² est le premier à véritablement tenter de reproduire les mouvements mandibulaires de propulsions et de latéralité à proprement parler (1858), en effet il observe que le condyle « *se déplace*

¹⁰ Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1830 à 1920 : première partie ».

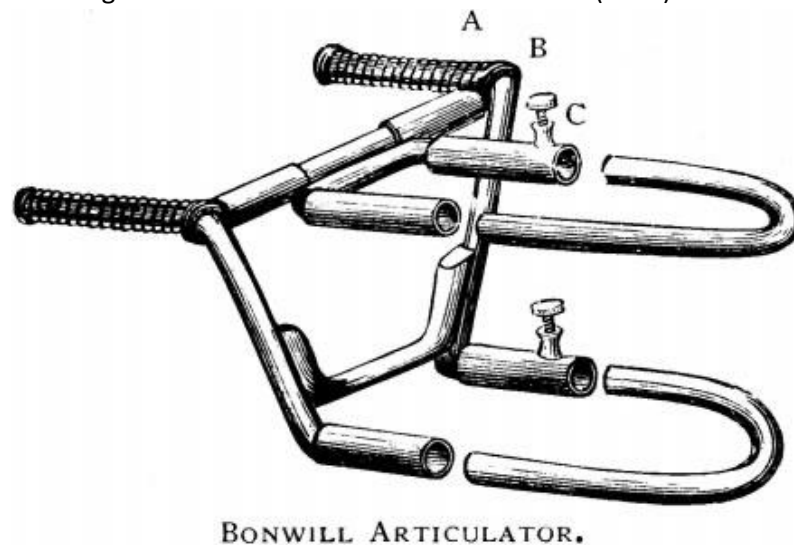
¹¹ Starcke, « The history of articulators : a perspective on the early years, part II ».

¹² Starcke, « The history of articulators : unusual concepts or "it seemed to be a great idea at the time!" »;

en dehors de sa position charnière ». Dans le plan horizontal, lors du mouvement de latéralité les condyles mandibulaires décrivent un arc de cercle dont le centre se situe en avant des incisives.

W.G.A. BONWILL ayant décrit le mouvement en avant des condyles lors de l'abaissement mandibulaire, construit un articulateur (cf. figure 4) reproduisant leurs trajectoires dans un **plan strictement horizontal**. Il s'agit d'un instrument « type charnière » avec deux ressorts (A) sur les bras horizontaux. Ces ressorts permettent de réaliser les mouvements de propulsion et de latéralité. Le maintien en occlusion des modèles est assuré par des vis de serrage (C).

Figure 4 : Articulateur de W.G.A. BONWILL (1858)



Source : Romerowski, « Quelques curiosités dans l'histoire des articulateurs », 2011.

En **1864**, W.G.A. BONWILL⁹ présente ses théories sur « l'occlusion anatomique ». En se basant sur des moyennes il met en évidence la règle suivante : « *la distance inter-condylienne est égale à la distance centre du condyle-point incisif mandibulaire* ». C'est la célèbre règle du « **Triangle de BONWILL** » qui se vérifie sur tous les articulateurs anciens ou actuels (cf. figure 5). Pour lui, la mandibule s'inscrit dans un triangle équilatéral de 104 mm.^{13 14 15} Ces travaux se finalisent par la réalisation de son articulateur,

Cruces, « Les articulateurs virtuels. Thèse diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire »;

Starcke, « The history of articulators : the appearance and early history of facebows »;

Gysi, « Le problème de l'articulation. Nouvelles considérations », 1913.

Starcke, « The history of articulators : from facebows to gnathograph, a brief history of early devices developed for recording condylar movement. Part I ».

Starcke, « The history of articulators : a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movement. Part I ».

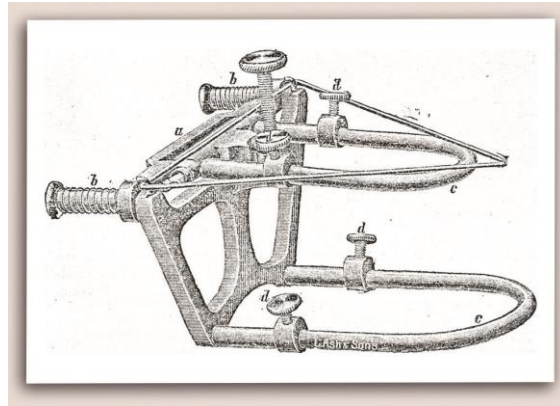
¹³ Toubol et al., *L'occlusodontie au quotidien*.

¹⁴ Christensen, « The effect of Bonwill's triangle on complete dentures ».

¹⁵ Romerowski, « Quelques curiosités dans l'histoire des articulateurs ».

avec matérialisation de ce triangle, qui permet des **trajectoires en propulsion et en diduction uniquement dans le plan horizontal**.

Figure 5 : Articulateur de W.G.A. BONWILL et triangle de BONWILL



Source : Godon, *Considérations sur l'articulateur de Bonwill et ses applications en prothèse dentaire. Applications pratiques des principes de l'articulation de Bonwill*.1904

2.5 Articulateur de Balkwill¹⁶

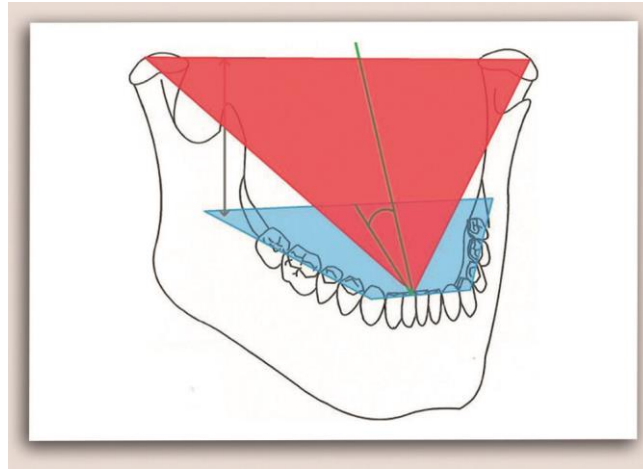
En **1866**, F.H. BALKWILL est **le premier à décrire la trajectoire inclinée des condyles**.

Par le biais d'un dispositif spécifique extrabuccal (appelé « cadre de morsure »)¹⁷, il enregistre dans un plan horizontal les mouvements de latéralité. Cet enregistrement permet ensuite de positionner par rapport à l'axe intercondylien le modèle mandibulaire sur l'instrument (aussi bien dans le sens droite-gauche, qu'antéro-postérieur).

L'angle de BALKWILL est l'angle formé entre le plan imaginaire dessiné par le triangle de BONWILL et le plan occlusal (rebord incisif-cuspides disto-vestibulaire des deuxièmes molaires mandibulaires).¹⁸ (cf. figure 6).

¹⁶ Starcke, « The history of articulators : unusual concepts or "it seemed to be a great idea at the time!" »; Cruces, « Les articulateurs virtuels »; Starcke, « The history of articulators : the appearance and early history of facebows »; Gysi, « Le problème de l'articulation. Nouvelles considérations », 1913; Starcke, « The history of articulators : from facebows to gnathograph, a brief history of early devices developed for recording condylar movement. Part I ».

Figure 6 : Schéma du triangle de Bonwill (rouge), du plan d'occlusion (bleu) et de l'angle de Balkwill (vert) entre le triangle de Bonwill et le plan d'occlusion

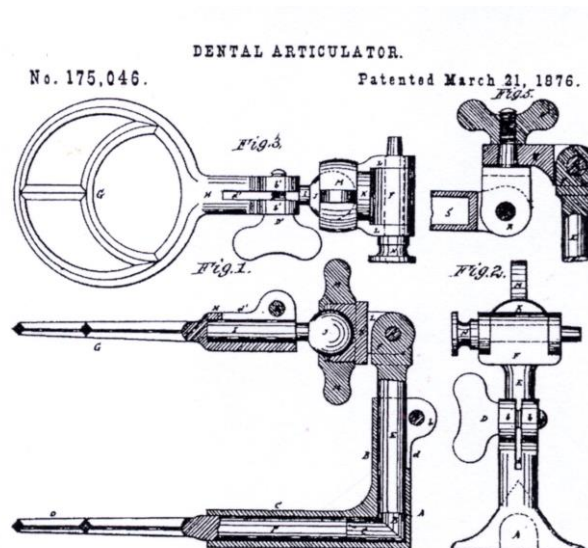


Source : Cruces, « Les articulateurs virtuels », 2016.

2.6 Articulateur à rotule

1876 : G. DAVIDSON¹⁹ présente un occluseur « adaptable » (cf. figure 7) par l'intermédiaire d'une rotule, positionnée sur la branche supérieure de l'instrument afin de permettre des **corrections dans le plan vertical et en latéralités**.

Figure 7 : Occluseur « adaptable » de G. DAVIDSON (1876)



Source : Romerowski, « Quelques curiosités dans l'histoire des articulateurs », 2011.

¹⁹ Starcke, « The history of articulators : unusual concepts or "it seemed to be a great idea at the time!" ».

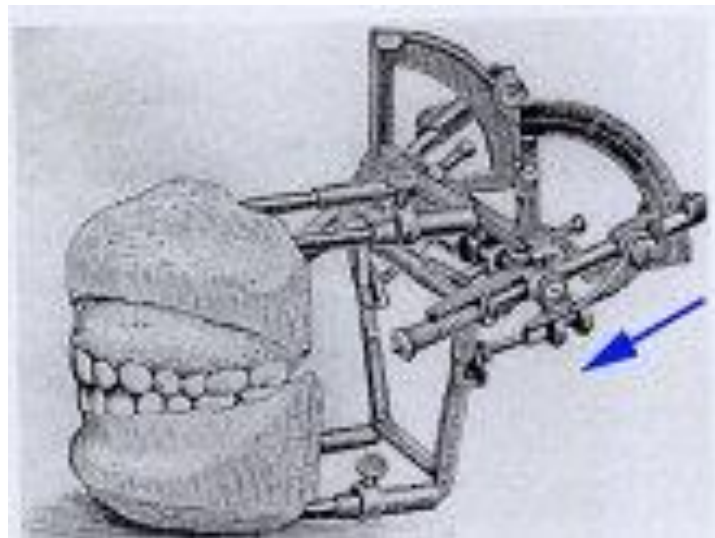
2.7 Articulateurs à déplacement condylien incliné

1889 : R.S. HAYES²⁰ réalise d'une part le premier articulateur avec des **trajectoires condyliennes inclinées** et introduit, d'autre part, la même année le **premier exemple connu d'un arc facial**²¹ fonctionnel permettant de positionner les modèles sur son articulateur au plus proche de la réalité clinique.

1896 : W.E. WALKER²² réalise un articulateur présentant des **trajectoires condyliennes qui ne sont plus horizontales mais inclinées en bas et en avant** (cf.figure 8). L'articulateur de W.E. WALKER, par un système de cales, permet d'augmenter ou diminuer la dimension verticale²³.

Cependant, ni la tige ni le plateau incisif ne sont encore apparus.

Figure 8 : Articulateur de W.E. WALKER



Source : Romerowski d'après Starcke, 1999.

²⁰ Starcke, « The history of articulators : the appearance and early history of facebows ».

²¹ Arc facial : dispositif destiné à repérer et à transférer la position de l'arcade maxillaire sur un articulateur, par rapport à l'axe bi-condylien et à un plan de référence, le plus souvent axio-orbitaire.

²² Starcke, « The history of articulators : early attempts to reproduce mandibular movement. Part III : searching for the solution to a puzzle ».

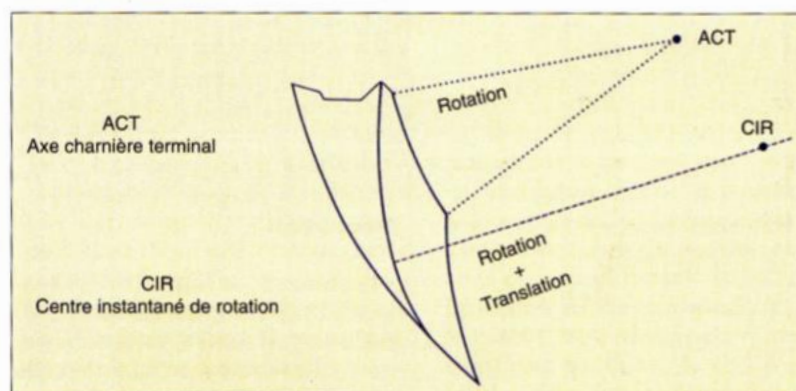
²³ Dimension verticale d'occlusion (DVO) : elle correspond à la hauteur de l'étage inférieur de la face lorsque les dents sont en contact. (Dictionnaire de prothèse odontologique)

2.8 Articulateurs dits « anatomiques » et Théorie gnathologique

« La plupart des articulateurs de l'école anatomique et gnathologique ont pour principal objectif de reproduire le plus fidèlement possible, par un moyen mécanique, la résultante au niveau occlusal des déplacements condyliens limites extrêmes lors des mouvements mandibulaires.

Physiologiquement, les mouvements mandibulaires sont déterminés par des trajectoires individuelles. Celles-ci se produisent toutes à l'intérieur d'une « enveloppe de mouvements » qui est celle des **mouvements limites extrêmes** (cf. figure 9) parfaitement décrite et mise en évidence par U. POSSELT.²⁴ Le premier prérequis est de considérer le crâne comme une pièce fixe et la mandibule comme une pièce mobile totalement indépendante du crâne (cf. figure 10). L'objectif est de déterminer la position exacte dans l'espace de la mandibule par rapport au crâne. Pour cela, les gnathologistes choisissent 3 points non alignés (formant un plan) et l'étude du mouvement est ramenée à l'étude du trajet de ces trois points non alignés. Ainsi la reproduction du mouvement se réduit à la reproduction de leur trajet. »²⁵

Figure 9 : Trajectoire du point « dentalé » lors du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal dans le diagramme de POSSELT

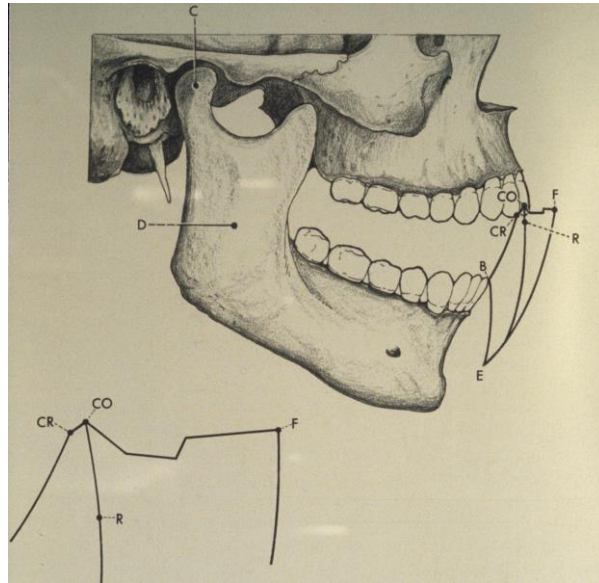


Source : Constantinescu et Deciu, « Etude du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal à l'aide d'un modèle biomécanique », 1998.

²⁴ Constantinescu and Deciu, "Etude du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal à l'aide d'un modèle biomécanique."

²⁵ Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1830 à 1920 : première partie ».

Figure 10 : Diagramme de POSSELT



Source : Ramfjord et Ash, *L'occlusion*, 1975.

2.8.1 Théorie de la sphère de MONSON

1890 : F.G. VON SPEE²⁶ montre que la courbe d'occlusion correspondant à la ligne de fermeture des arcades dans un plan sagittal décrit un arc de cercle.

1898 : G.S. MONSON, associant la théorie de F.G. VON SPEE²⁷ à la règle du triangle équilatéral de BONWILL et au triangle de BALKWILL²⁸, établit que la rotation se fait autour d'un **centre unique** (apophyse Crista-Galli) qui est celui d'une sphère de quatre « inches » de rayon (soit environ 10,4 centimètres) et il démontre sa théorie en utilisant un articulateur de BONWILL²⁹ et G.S. MONSON³⁰. En 1899, à la même époque BONWILL montre que le condyle travaillant ne se déplace pas mais fait une rotation sur lui-même³¹.

La vision de G.S. MONSON se rapproche plutôt en faveur d'un mouvement global appelé « **théorie de la Sphère** ». Pour lui, le complexe occluso-articulé est assimilable à une sphère³². En raison de

²⁶ Ackermann, *Dentures et dentiers complet : étude anatomique, physiologique, technique et pratique*. Starcke, « The history of articulators : a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movement. Part I ».

²⁷ Biedenbach MA, Hotz M, Hitchcock JP. *The gliding path of the mandible along the skull. Ferdinand Graf Spee (1855-1937), prosector at the Anatomy Institute of Kiel. J Am Dent Assoc 1980 ;100(5) :670-5.*

²⁸ Balkwill FH. *The best form and arrangement of artificial teeth for mastication. Odont Soc Gt Brit Proc 1865 ;5 :133-158*

²⁹ Orthlieb JD. *La courbe de Spee : un impératif physiologique et prothétique. Cah de Prothèses 1983 ;44 :89-*

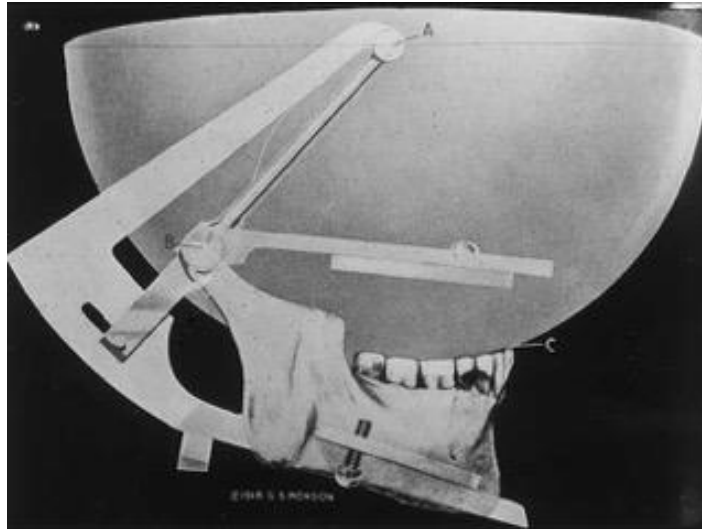
³⁰ Monson, « Applied mechanics for the theory of mandibular movements ».

³¹ Bonwill WGA. *Scientific articulation of the human teeth as founded on geometrical, mathematical and mechanical laws. Dent Item Int 1899 ;21 :617-636 :873-80*

³² Monson, « Applied mechanics for the theory of mandibular movements ».

convergence vers le haut des axes dentaires, les bords libres et les pointes cuspidiennes seraient tangents à une calotte sphérique ayant pour centre l'apophyse Crista-Galli et passant par les condyles. Les dernières recherches de G.S. MONSON aboutiront en 1923 à l'élaboration d'un articulateur breveté appelé « **instrument mandibulo-maxillaire** » (cf. figure 11) utilisant un arc facial spécifique pour positionner le modèle maxillaire.

Figure 11 : Schéma de « l'instrument mandibulo-maxillaire » de G.S. MONSON



Source : Starcke, «The history of articulators : a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movment. Part I », 2002.

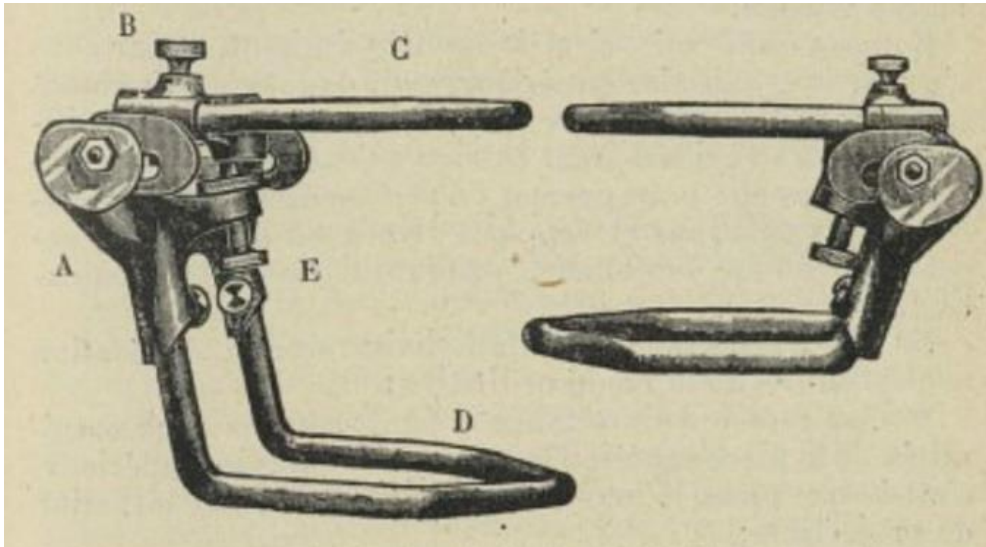
Cette sphère d'un rayon constant de **10,4 cm** a comme centre l'apophyse crista-galli de l'os ethmoïde et passe par les pointes cuspidiennes mandibulaires et le versant antérieur du condyle mandibulaire ³³. Cette valeur de la courbe de F.G. VON SPEE est une constante anatomique toujours d'actualité et universellement reconnue.

1899 : A.D. GRITMAN³⁴ réalise un articulateur avec une **trajectoire condylienne située sur la branche supérieure de l'articulateur, inclinée de 15 degrés** (cf. figure 12). L'espace la séparant de la branche inférieure peut être augmenté tout en conservant les deux branches parallèles.

³³ Starcke, « The history of articulators : a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movment. Part I ».

³⁴ Preiswerk, *Articulateur de Gritman. Atlas manuel de prothèse dentaire et buccale*.

Figure 12 : Articulateur de A.D. GRITMAN



Source : Preiswerk, « Articulateur de Gritman. Atlas manuel de prothèse dentaire et buccale », 1908.

1900 : G.B. SNOW³⁵ est le premier à réaliser un **arc facial de transfert anatomique**. Il montre l'importance de situer correctement le modèle maxillaire par rapport aux mécanismes condyliens. Il conçoit un articulateur et un **arc facial** de transfert dans l'objectif d'améliorer le montage du modèle maxillaire sur l'articulateur de A.D. GRITMAN. Il utilise pour cela des bases d'occlusion réglées suivant le plan d'occlusion parallèle au plan de Camper (point sous-nasal – tragus) comme les branches de l'articulateur.

Figure 13 : Articulateur de G.B. SNOW



Source : Starcke, « The history of articulators : early attempts to reproduce mandibular movement. Part III : searching for the solution to a puzzle », 2000

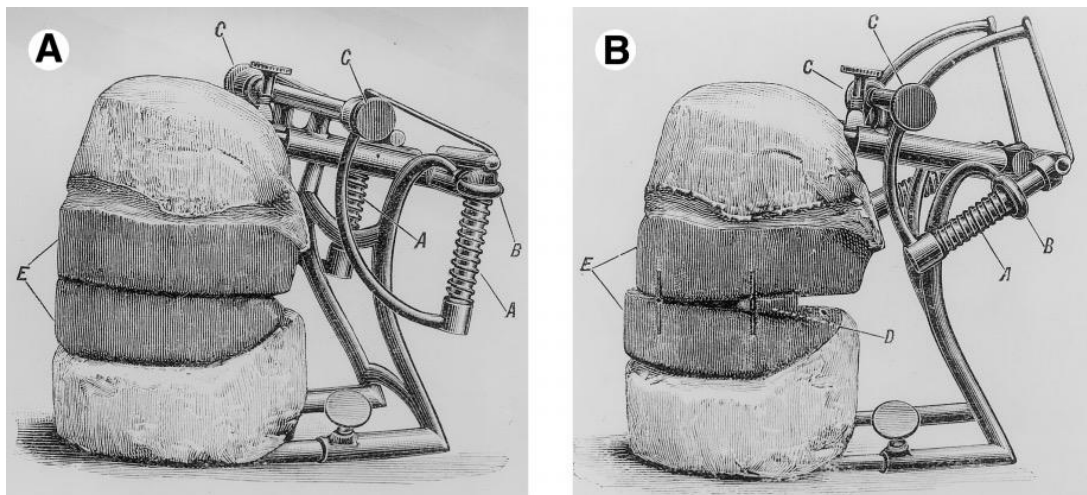
³⁵ Snow CB. *Articulation. Dent Cosmos* 1932 ;42 :51

Starcke, « The history of articulators : the appearance and early history of facebows »; Starcke, « The history of articulators : early attempts to reproduce mandibular movement. Part III : searching for the solution to a puzzle ».

G.B. SNOW améliorera l'articulateur de A.D. GRITTMAN en 1906 en introduisant une **pente condylienne**³⁶ **réglable** (cf. figure 13) et en ajoutant un ressort permettant une plus grande amplitude de mouvement. Son arc facial est toujours utilisé avec cet articulateur et il adopte la technique d'enregistrement par cires de morsure de C. CHRISTENSEN.

1901 : C. CHRISTENSEN³⁷ réalise un articulateur comparable à celui de W.E. WALKER mais plus simple dans son apparence et publie en 1905 sa technique d'enregistrement des trajectoires condyliennes en propulsion par cires de morsures « check bites »³⁸ (cf. figure 14). Il montre que le mouvement de propulsion décrit par W.E. WALKER est propre à chaque individu grâce à ces mêmes cires d'enregistrement³⁹.

Figure 14 : Articulateur de C. CHRISTENSEN



Source : Starcke. « The history of articulators : early attempts to reproduce mandibular movement. Part III : searching for the solution to a puzzle », 2000.

1907 : N.G. BENETT⁴⁰ étudie les mouvements de la mandibule et décrit le mouvement en bas, en avant, et en dedans du condyle non travaillant lors de la diduction. Il définit alors « l'angle de BENETT » comme : « la projection sur un plan horizontal de l'angle formé par la corde de la trajectoire du condyle

³⁶ La pente condylienne correspond à l'angle formé par le plan horizontal de référence axio orbitaire avec la projection dans un plan sagittal, du trajet condylien lors de la propulsion ou de la diduction (COLLEGE NATIONAL D'OCCLUSODONTOLOGIE. Occlusodontologie, Lexique. Quintessence internationale, 2001.)

³⁷ Starcke, « The history of articulators : a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movement. Part I »; Starcke, « The history of articulators : early attempts to reproduce mandibular movement. Part III : searching for the solution to a puzzle ».

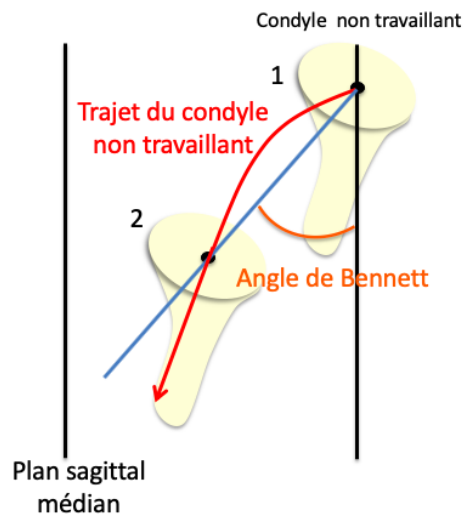
³⁸ Christensen, « The problem of the bite ».

³⁹ Romerowski, « Quelques curiosités dans l'histoire des articulateurs ».

⁴⁰ Benett, « A contribution to the study of the movement of the mandible ».

orbitant avec un plan sagittal pendant la diduction. En cinématique fonctionnelle, il correspond à la corde de la courbe décrite par le condyle lors de la sortie du cycle masticatoire, et pour laquelle on distingue le début de sortie de cycle (MTI) et la fin de sortie de cycle (correspondant au MTP) »⁴¹.. (cf. figure 15).

Figure 15 : Angle de BENETT



Source : Dr. Christophe Rignon-Bret, 2020.

Ces deux paramètres se matérialisent, par exemple, sur l'articulateur QUICK MASTER (Fag)⁴² par des **ailes de Benett interchangeables au sein du boîtier condylien**. Il y en a de deux types : des rectilignes, d'angulation 0°, 10°, 15° et 20° et des curvilignes représentant 0,55 mm, 1mm, 1,5mm de déplacement latéral immédiat (cf. figure 16).

Figure 16 : Boîtiers FAG, ailes de Benett interchangeables



Source : Parmentier, « Coffret angles de Bennett », 2016 .

⁴¹ Unger F. dictionnaire des termes de prothèses

⁴² Parmentier, « Notices articulateurs Fags ».

A l'inverse, pour l'articulateur DENTATUS, la modification de l'angle de N.G. BENETT se fait par réglage d'une molette allant de 0 à 40° (cf. figure 17).

Figure 17 : Articulateur DENTATUS



Source : Dentatus, « Articulators & facebows », 2017.

1909 : ELTNER⁴³ construit un articulateur d'après sa théorie qui considère que l'articulation temporo-mandibulaire se compose de deux articulations : **une articulation inférieure condylo-meniscale et une articulation supérieure ménisco-temporale.**

ELTNER détermine donc deux axes horizontaux, l'un passant par l'axe des condyles et l'autre par le centre des deux éminences articulaires (racines transverses de l'apophyse zygomatique). Pour le premier, celui passant par l'axe des condyles, il est donc un précurseur de l'école « gnathologique » qui bâtit toute sa théorie en fonction de cet axe, qu'elle appellera « **axe charnière** ».

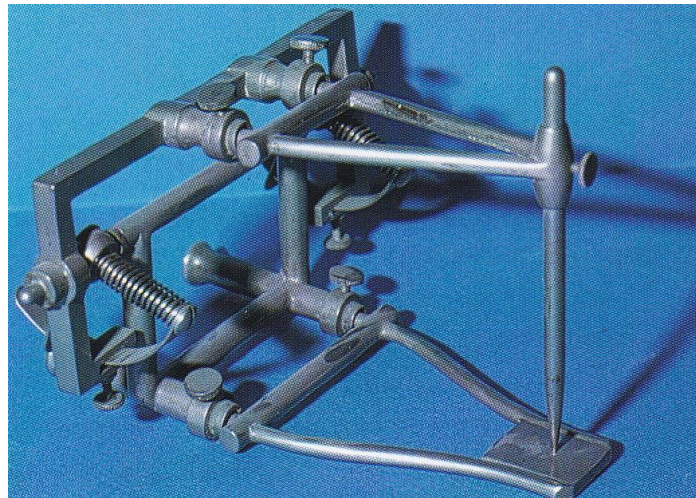
1911 : O. AMOEDO⁴⁴ perfectionne l'articulateur de W.G.A. BONWILL. Il présente ainsi un articulateur en **1890** puis un « nouvel articulateur anatomique » de sa conception en 1911. Il positionne les modèles sur son articulateur grâce à l'arc facial de Snow et **programme les trajectoires condyliennes réglables** en utilisant la technique de C. CHRISTENSEN d'enregistrements par mordus.

C'est la première fois qu'apparaissent une **tige incisive** ainsi qu'un **plateau incisif** (cf. figure 18).

⁴³ Ackermann, *Dentures et dentiers complet : étude anatomique, physiologique, technique et pratique.*

⁴⁴ Amoëdo, « Nouvel articulateur anatomique ».

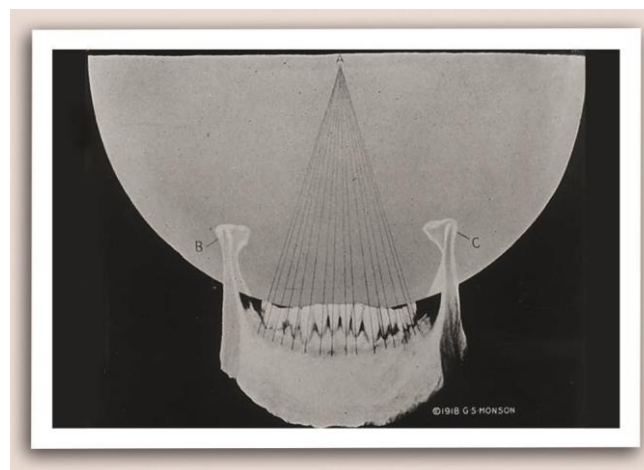
Figure 18 : Articulateur d'O.AMOEDO (1911)



Source : Romerowski, « La petite histoire des articulateurs », 1998.

1912 : G. VILLAIN⁴⁵ reprend la théorie de G.S. MONSON en essayant de démontrer que la surface articulaire des dents est sphéroïdale et tente d'établir des rapports constants entre les mouvements mandibulaires et les surfaces articulaires. Il réalise un articulateur appelé « **stabilocluseur** » (cf.figure 20), résultant de ses théories et conçu pour la prothèse amovible complète. Cet instrument vise à reconstruire la surface occlusale déterminée par les mouvements sans chercher à reproduire les mouvements qui lui ont donné naissance. Les trois courbes déterminées (courbe horizontale ou forme de l'arcade, courbe sagittale ou courbe de SPEE, courbe frontale ou courbe de WILSON) sont toutes liées ensembles par le centre de la sphère située au niveau de l'apophyse Crista-Galli. (cf. figure 19).

Figure 19 : Vue frontale de la mandibule avec la théorie de la sphère.



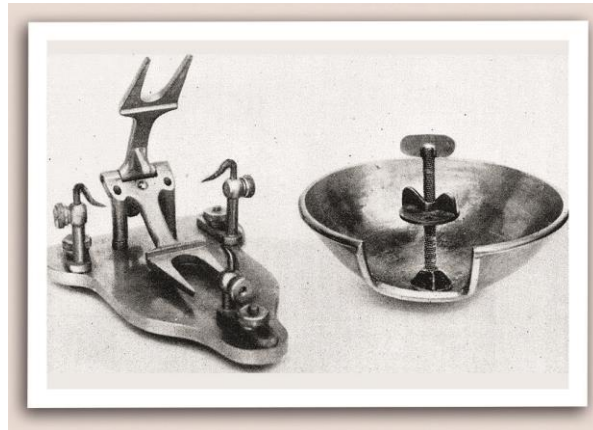
Source : Auteur, «The history of articulators: a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movement. Part I », 2002.

⁴⁵ Ackermann, *Dentures et dentiers complet : étude anatomique, physiologique, technique et pratique.*

Sphère de 8 inches de diamètre. Les lignes de force radiales convergent en un point unique. La table occlusale de chaque dent s'applique sur la surface de la sphère

L'utilisation d'une sphère fixe et unique permet un montage des dents selon une sphère de MONSON avec des caractéristiques fixes dans tous les plans.

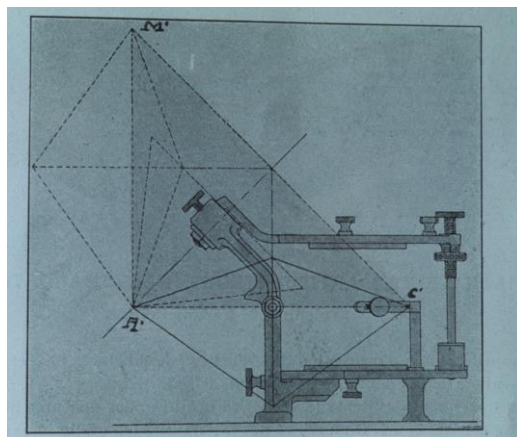
Figure 20 : Stabiloccluseur de G. VILLAIN



Source : Ackermann, *Dentures et dentiers complets*. 1930

1916 : R.E. HALL⁴⁶ réalise quatre articulateurs entre 1916 et 1924. Ils sont basés sur un nouveau concept géométrique « **la théorie du cône** » selon lequel les mouvements mandibulaires s'effectueraient selon un seul axe rétro et inter condylien, cet axe étant oblique et faisant un angle de 45° par rapport au plan condylien. R.E. HALL a également introduit sur ses articulateurs différentes versions de **plateaux incisifs réglables avec pour certains des ailettes latérales orientables**. (cf. figure 21).

Figure 21 : Schéma d'un articulateur de HALL et de la théorie du cône



Source : Ackermann. « *Dentures et dentiers complet : étude anatomique, physiologique, technique et pratique* », 1930.

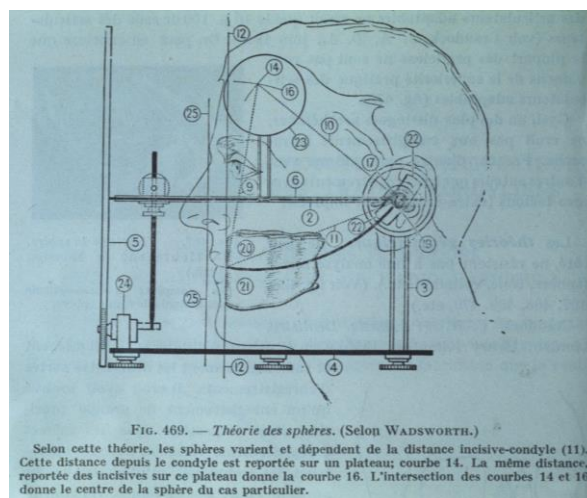
⁴⁶ Hall RE. An analysis of relations and movements of the mandible. J Am dental Assoc 1929 ;16 :1642

Starcke, « The history of articulators : a critical review of articulators based on geometric theories of mandibular movement. part ii. rupert hall's conical theory ».

1919, F.M. WADSWORTH⁴⁷ conçoit plusieurs articulateurs (1919,1921,1924). Il réactualise la théorie de la sphère de MONSON, déjà introduite dans le « stabilocluseur » de G. VILLAIN et présente en 1924 son dernier articulateur qui utilise un arc facial spécifique (avec l'ajout d'un index orbitaire sur l'arc facial de SNOW pour améliorer la précision du positionnement du modèle maxillaire sur articulateur⁴⁸).

Pour F.M. WADSWORTH la sphère est variable et doit être **adaptée à chaque patient**. (cf. figure 22). Le centre de la sphère est également variable et doit être adaptée à chaque patient en fonction de la distance incisive-condyle. Le centre de la sphère est déterminé sur un plateau vertical s'inspirant de la technique du « drapeau » actuellement utilisée pour matérialiser la courbe sagittale d'occlusion⁴⁹.

Figure 22 : Théorie des sphères selon F.M. WADSWORTH



Source : Ackermann, « Mécanismes des mâchoires », 1953.

La technique du « drapeau » décrite à l'origine par BROADRICK (1919) et reprise par PANKEY et MANN⁵⁰ sous le terme anglo-saxon « BROADRICK occlusal plane analyser » est largement diffusée pour reconstruire des courbes occlusales harmonieuses. Ces derniers ont mis au point cette technique grâce aux recherches anthropologiques de G.S. MONSON notamment dans l'utilisation de la valeur de l'écartement des branches du compas (4 inches = 10,4 cm) pour les cas simples où une individualisation de la valeur n'est pas nécessaire. Elle nécessite au préalable de monter les modèles d'étude sur articulateur (arc facial/ table de transfert et enregistrement de l'occlusion en relation centrée). Un drapeau vertical est solidaire de la branche supérieure de son articulateur et le centre individualisé de la sphère est déterminé sur celui-ci de la façon suivante (cf. figure 23) :

⁴⁷ Ackermann, *Dentures et dentiers complet : étude anatomique, physiologique, technique et pratique*; Ackermann et Dechaume, *Le mécanisme des mâchoires (naturelles et artificielles) : de la théorie à la pratique, de la clinique à la technique*; Starcke, « The history of articulators ».

⁴⁸ Starcke, « The history of articulators : a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movement. Part I ».

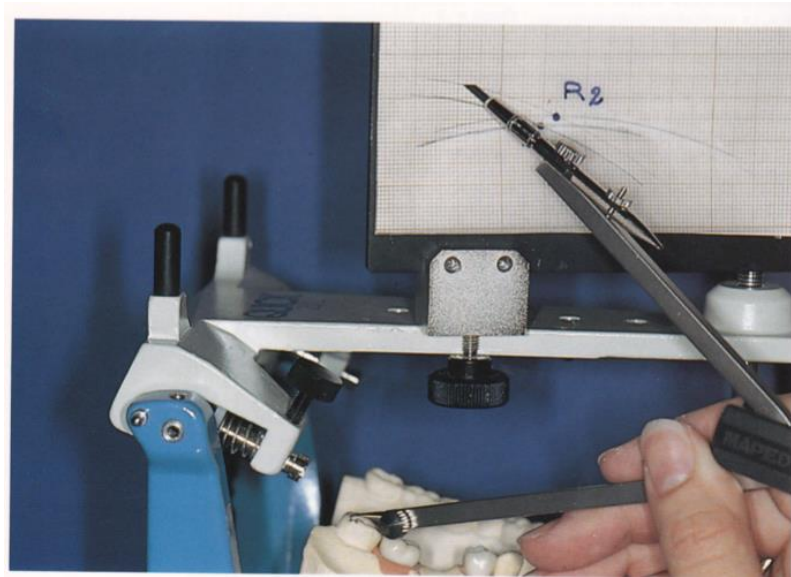
⁴⁹ Tirllet, Robert, et Barety, « Restauration d'une courbe occlusale : la technique du drapeau ».

⁵⁰ Mann et Pankey, « Use of the Pankey–Mann instrument in treatment planning and in restoring the lower posterior teeth ».

- La distance incisive-condyle est mesurée grâce à un compas à pointes sèches puis reportée à partir du centre de l'axe inter condylien en traçant un premier arc de cercle sur le drapeau.
- Un deuxième arc de cercle est ensuite reporté sur le drapeau de la même façon à partir du point inter incisif.

Le point d'entrecroisement des deux arcs de cercle est celui de la sphère individualisée à partir duquel la distance incisive condyle peut être reportée au niveau des maquettes d'occlusion, par l'intermédiaire du compas, pour tracer la courbe d'occlusion personnelle du sujet.

Figure 23 : Technique du drapeau



Source : Tirlet, Robert, et Barety, « Restauration d'une courbe occlusale : la technique du drapeau », 1993.

Ces travaux sont repris par D. ORTHLIEB et P. MARIANI qui prennent en compte la variabilité individuelle et notamment la distance entre le plan axio-arbitraire et le plan d'occlusion pour déterminer le rayon de la courbe.⁵¹

Ainsi H.C. HAGMAN (1929) reprend le concept de la sphère mais il ajoute différentes courbures ce qui aboutit à son articulateur « the BALANCER » aux sphères de courbures variables annonçant les calottes sphériques.⁵²

Ce principe est repris par de nombreux industriels et aboutissent à l'élaboration de calotte sphérique de rayons variables qui sont adaptables sur divers articulateurs pour faciliter le montage des dents en prothèse amovible complète comme avec par exemple l'articulateur STRATOS adapté à la conception d'un montage sphéroïdal en prothèse amovible complète (calottes sphériques).⁵³(cf. figure 24).

⁵¹ Orthlieb, « La courbe de Spee : un impératif physiologique et prothétique ».

⁵² Ring, « The balancer : principles of design behind Hagman vintage articulator ».

⁵³ Archien et al., « La prothèse amovible complète unimaxillaire : un traitement complexe, de nombreux pièges à éviter ».

Figure 24 : Calotte Sphérique



Source : Archien et al., « La prothèse amovible complète unimaxillaire : un traitement complexe, de nombreux pièges à éviter », 2006.

Il est ainsi possible de réaliser un montage des dents grâce à deux types de calottes : 2D et 3D. La calotte 2D permet un montage non personnalisé car le rayon de la calotte n'est pas modifiable. Concernant la calotte 3D, une modification du rayon de cette dernière permet un montage des dents adaptable au patient, à sa morphologie faciale mais également d'arcade.

2.8.2 Théorie de l'axe charnière⁵⁴

La détermination de ces trois points mandibulaires et l'analyse de leurs trajets dans l'espace s'avérant difficiles, l'école **gnathologique** a apporté un **élément de simplification** : « la **Théorie de l'Axe Charnière** » et, dès 1920, V. O'LUCIA⁵⁵ écrivait le **postulat sur lequel repose toute l'école gnathologique** :

*« ...La tête du condyle mandibulaire tourne sur la surface inférieure du ménisque. Le ménisque et le condyle peuvent se déplacer sur la surface de la cavité glénoïde. Quel que soit le déplacement ménisco-temporal, le condyle est toujours apte à effectuer une rotation au niveau condylo-méniscal...il est pratique de localiser un de ces mouvements de rotation ; le centre du mouvement vertical, le centre du mouvement latéral sont un seul et même centre et il en existe un sur chaque condyle. L'axe charnière est la ligne imaginaire joignant les centres de rotation droit et gauche. Le centre de rotation est constant pour chaque condyle et appartient à l'os mandibulaire. **Lorsque la mandibule se déplace l'axe- charnière se déplace avec elle.** »*

⁵⁴ Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1920 à l'ère numérique : deuxième partie ».

⁵⁵ Lucia, *Modern gnathological concepts*.

En prenant comme troisième point mandibulaire le point inter-incisif il est possible d'affirmer, selon ce postulat, que l'étude des mouvements mandibulaires est ramenée à l'étude des déplacements de l'axe-charnière et du point inter incisif.

Le postulat étant admis il devient alors facile de construire des instruments capables de reproduire, après les avoir enregistrés, les mouvements mandibulaires (ou plus précisément la résultante de ceux-ci) par l'intermédiaire d'un moyen mécanique : **l'articulateur**.

Une grande précision peut être obtenue dans la reproduction des mouvements limites ou de « bordures » à partir d'une position de référence reproductible répondant à la position de « **relation centrée** »⁵⁶.

En effet, il est facile, pour le praticien de guider la mandibule dans sa position la plus postérieure et d'entraîner le patient à garder cette position lors de mouvements d'ouverture-fermeture de faible amplitude.

En prenant un troisième point pris sur le massif facial supérieur, le **point sous-orbitaire**, il devient possible, par l'intermédiaire d'un arc facial de transfert, de placer le modèle maxillaire sur l'articulateur dans une relation correcte par rapport à l'axe-charnière repéré sur le patient lequel est en coïncidence avec l'axe d'ouverture-fermeture de l'instrument.

De nombreux articulateurs fonctionnent selon ce modèle : HANAU, DENTATUS, QUICK MASTER...

1920 : R.L. HANAU⁵⁷ améliore l'arc facial de SNOW en y ajoutant un pointeau orbitaire pour prendre un troisième point de référence, le **point sous-orbitaire**, afin de positionner avec précision le modèle maxillaire avec l'axe inter condylien de son articulateur (les deux points de référence de l'arc facial de R.L. HANAU étant l'émergence de l'axe charnière droit et gauche). Il est important de souligner que le plan de référence utilisé est maintenant le plan de FRANCFORT (point-infra orbitaire - tragions) et que les branches de l'articulateur de R.L. HANAU sont parallèles à ce plan comme tous les articulateurs anatomiques issus de « l'école gnathologique ».

1948 : A. GERBER⁵⁸ produit son premier articulateur « TRANSLATOR » suivi de trois autres (1951, 1956,1959) appelés « CONDYLATORS » (cf. figure 25) qui, bien que reprenant les travaux de A. GYSI et

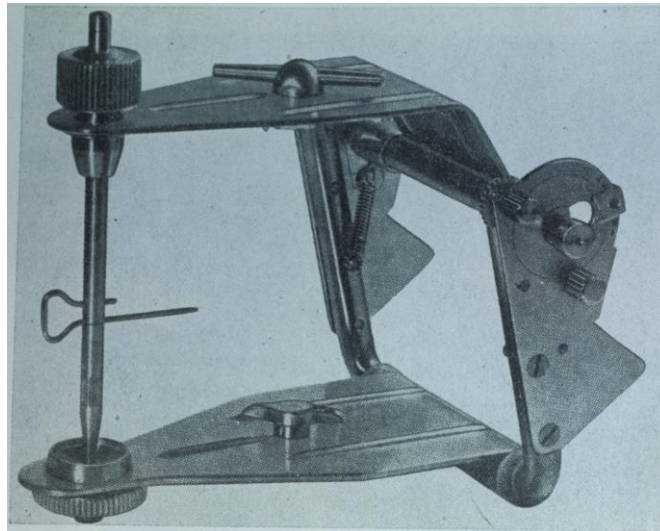
⁵⁶ Relation centrée : C'est la position condylienne de référence, la plus haute, réalisant une coaptation bilatérale condylo-disco-temporale, simultanée et transversalement stabilisée, suggérée et obtenue par contrôle non forcé, répétitive dans un temps donné et pour une posture corporelle donnée et enregistrable à partir d'un mouvement de rotation mandibulaire pur sans contact dentaire ». Elle est dite enregistrable car elle peut être transférée avec un montage sur articulateur et constitue un **élément diagnostique et thérapeutique**. Archien et al., « Relation centrée ».

⁵⁷ Starcke, « The history of articulators : the appearance and early history of facebows ».

⁵⁸ Gerber, « Notice Gerber condylator service ».

construits selon un concept « géométrique », dont on développera le concept plus loin, s'appuient sur des données « anatomiques ou gnathologiques » avec réalisation d'un arc facial en 1959.

Figure 25 : Le « CONDYLATOR » d'A. GERBER



Source : Gerber, « Notice Condylator », 1959.

A. GERBER présente en 1960 sa théorie condylienne s'appuyant sur l'analogie entre la forme de la tête du condyle (convexe) avec la forme des cuspidés d'appui d'une part et la forme de la cavité glénoïde (concave) avec la fosse des dents artificielles d'autre part. Développant son concept basé sur le principe « mortier-pilon », en 1951 A. GERBER a ainsi conçu les dents en porcelaine « Condyloform » toujours d'actualité. (cf.figure 26).

Figure 26 : Dents prothétiques porcelaine Condyloform® (A. GERBER)



Source : Rotec-fr, « Dents Condyloform II NFC+ composite teintées Candulor », 2019.

La théorie de l'axe charnière est donc le principe de base de l'école gnathologique et a passionné une série de spécialistes qui ont développé leurs articulateurs. Cependant la cinématique mandibulaire combine un mouvement de rotation et un mouvement de translation. La rotation pure intervient au début du mouvement d'abaissement puis combine un mouvement de rotation et de translation jusqu'à

l'ouverture buccale maximale. C'est pourquoi d'autres auteurs ont introduit un autre modèle biomécanique avec la conception géométrique basée sur les centres instantanés de rotation.

2.9 Articulateurs géométriques, A. GYSI et la théorie des centres instantanés de rotation

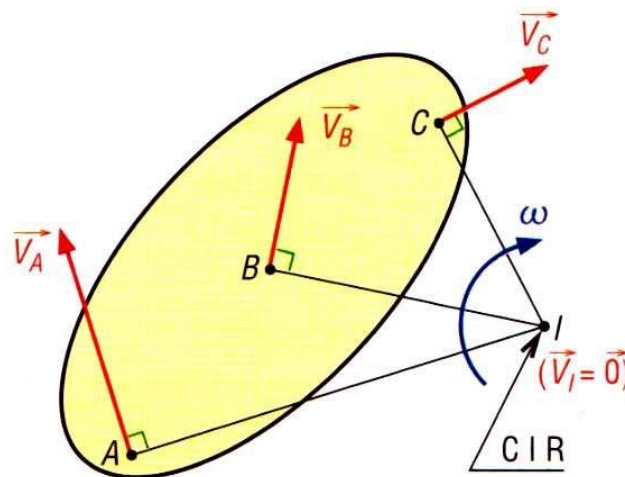
2.9.1 Définition centre instantané de rotation

Dans ce modèle biomécanique, tous les points d'un corps solide en mouvement décrivent par rapport à un axe de rotation des arcs de cercles. Ces arcs de cercle ont un rayon proportionnel à la distance qui relie les points à l'axe de rotation.⁵⁹

Pour tout solide en mouvement plan, il existe un point I et un seul, ayant une vitesse nulle à l'instant considéré et appelé Centre Instantané de Rotation (CIR). (cf figure 27).

En tant que centre de rotation, le CIR est situé à l'intersection des perpendiculaires aux vecteurs-vitesses du solide.

Figure 27 : Schéma explicatif d'un centre instantané de rotation



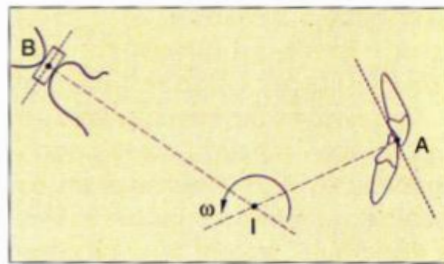
Source : Innovation technologique et eco-conception « cinématique : les mouvements plans »

⁵⁹ Innovation Technologique et Eco-conception, « Cinématique : mouvements plans ».

2.9.2 CIR et articulateurs

Suivant ce concept géométrique, de nombreux auteurs ont chacun cherché à déterminer où se situait le CIR de la mandibule (cf. figure 28).

Figure 28 : Détermination du centre instantané de rotation



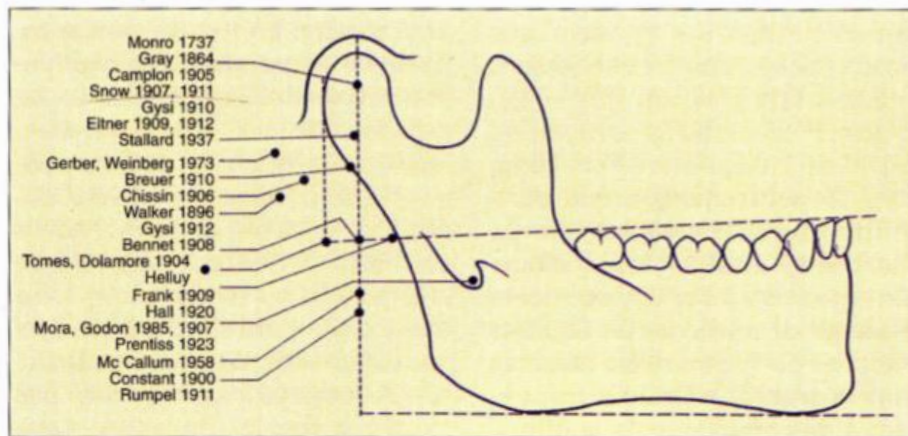
Source : Constantinescu et Deciu, « Étude du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal à l'aide d'un modèle biomécanique », 1998.

Pour cela les auteurs⁶⁰ ont défini deux points de la mandibule : le **point inter-incisif** et le **centre de la tête du condyle mandibulaire** dans un plan donné.

Lors de l'ouverture buccale, la mandibule se déplace, autour d'un point, le seul dont le vecteur vitesse est nul est le centre instantané de rotation. Ainsi suivant leurs mesures et leurs calculs selon différentes méthodes d'analyses de la cinématique mandibulaire, les auteurs ont déterminés des centres instantanés de rotations (cf. figure 29).

⁶⁰ Constantinescu et Deciu, « Etude du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal à l'aide d'un modèle biomécanique ».

Figure 29 : Localisation des centres instantanés de rotation, d'après différents auteurs



Source : Constantinescu et Deciu, « Étude du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal à l'aide d'un modèle biomécanique », 1998.

2.9.3 A. GYSI et les articulateurs géométriques⁶¹

A. GYSI, par opposition aux gnathologistes, ne cherche pas à faire reproduire à ses instruments le mouvement condylien exact. Il tente plutôt de réaliser un système reproduisant la résultante de ces mouvements au niveau occlusal et sur un faible trajet : celui du **glissement cuspidien fonctionnel**. L'articulateur envisagé devient donc « **non anatomique** » au niveau du mécanisme d'articulation mais permet de déterminer, au niveau occlusal, la résultante fonctionnelle des mouvements de glissements cuspidiens correspondant aux mouvements condyliens anatomiques réels.

A. GYSI, alors convaincu qu'un articulateur anatomique ne pourrait jamais reproduire parfaitement les mouvements condyliens trop complexes de l'articulation temporo-mandibulaire, élabore sa **théorie géométrique** « **des centres instantanés de rotation** ».

Cette théorie est à l'origine d'une douzaine d'articulateurs semi-adaptables ou adaptables produits de 1908 à 1949. Ces instruments géométriques ne sont plus conçus pour enregistrer et reproduire les déplacements condyliens mais seulement la résultante fonctionnelle des déplacements occlusaux sur de faibles trajets.

A. GYSI a réalisé un grand nombre d'enregistrements effectués sur des dentures naturelles considérées comme « parfaites » afin de déterminer ce que sont les mouvements cuspidiens moyens et leurs écarts

⁶¹ Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1830 à 1920 : première partie ».

types. Ensuite, A. GYSI a construit des articulateurs capables de reproduire les seuls mouvements de glissements cuspidiens fonctionnels nécessaires à une reconstruction occlusale correcte.

La synthèse de ces données lui a permis de déterminer les valeurs moyennes susceptibles d'être appliqué au plus grand nombre de cas et a ainsi construit l'articulateur GYSI SIMPLEX (1917)⁶² (cf. figure 30) et qui a évolué avec le GYSI NEW SIMPLEX (1960) (cf. figure 31) dans un concept identique.

Les articulateurs conçus par A. GYSI sont les premiers à avoir un plateau incisif incliné (fixe ou réglable en fonction des modèles).

Figure 30 : Articulateur SIMPLEX de A. GYSI (1917) distance intercondylienne : 101mm



Source : Association de sauvegarde du patrimoine de l'art dentaire, « Une collection d'articulateurs », 2011.

⁶² Gysi, « Le problème de l'articulation. Nouvelles considérations », 1913; Gysi, *Montage d'appareils avec les dents anatorm et les blocs Gysi : et le nouvel articulateur simple à trois points de Gysi suivi d'un appendice concernant l'emploi du « face bow » de Gysi et la manière d'enregistrer la position normale des mâchoires*; Rignon-Bret, « Analyse de la cinématique mandibulaire de l'édenté total. Thèse d'état de ».Gysi, *Éléments essentiels à la mastication des dentiers*.

Figure 31 : Articulateur NEW SIMPLEX de A. GYSI (1960) distance intercondylienne : 108 mm

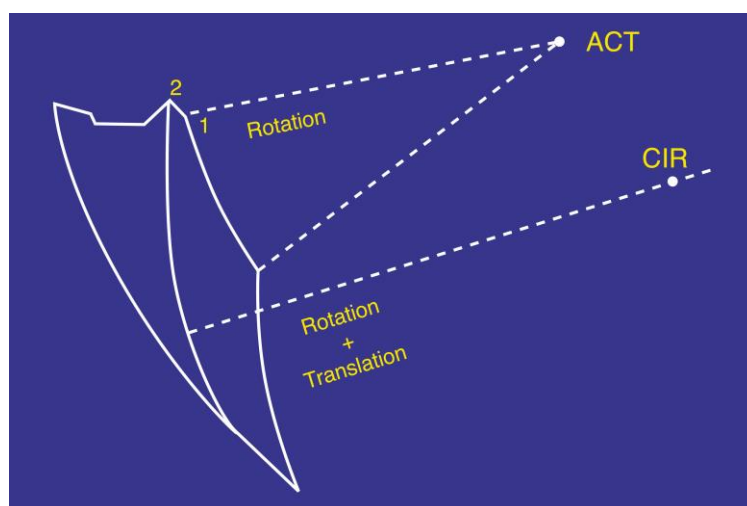


Source : Dr. J.-M. Rignon-Bret.

Pour A. GYSI avec cet articulateur, le centre instantané de rotation est variable dans le mouvement d'ensemble d'ouverture-fermeture automatique de la mandibule. En fonction du degré d'ouverture buccal, le centre instantané est situé dans un triangle situé en dessous du condyle et en arrière de l'épine de SPIX.

Le barycentre de ces centres de rotation d'ouverture-fermeture est un centre de rotation A situé 1 cm en arrière du bord postérieur de la mandibule dans le prolongement du plan d'occlusion. (cf. figure 32). Bien que n'étant plus commercialisés, l'articulateur GYSI NEW SIMPLEX constitue une référence et continue à être utilisé de nos jours.

Figure 32 : Diagramme de POSSELT



Source : Constantinescu et Deciu, « Etude du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal à l'aide d'un modèle biomécanique », 1998.

En conclusion, pour A. GYSI l'axe d'ouverture pertinent que doit reproduire un articulateur est celui qui se trouve à **mi-chemin entre l'axe des condyles et le plan d'occlusion et à environ un centimètre derrière l'axe des condyles.**

2.10 De 1920 jusqu'à nos jours⁶³

Issus de la théorie gnathologique et avec B.B. MAC COLLUM, H. STALLARD, C.E. STUART et E.R. GRANGER comme chefs de file sont apparus des articulateurs très complexes désirant reproduire toutes les particularités articulo-mandibulaires.

Lors de cette période les articulateurs ont évolué vers des outils semi-adaptables et adaptables.

En 1924 B.B. MAC COLLUM⁶⁴ découvre la première méthode permettant de localiser l'axe charnière ou axe de rotation de la mandibule autour des deux articulations temporo-mandibulaires puis il fonde en 1926 la « Gnathological Society » qui propose cette définition : « *La gnathologie est la science qui traite la biologie des mécanismes de la mastication* », par extrapolation du grec « gnathos » qui signifie « mâchoire » et « logos » qui signifie « étude » ou « connaissance de ».⁶⁵

Cette société développe un premier arc facial de repérage de l'axe charnière en 1921 puis en 1927 un arc facial de repérage réglable.⁶⁶ Ce sont sur ces principes que les articulateurs actuels sont construits. C'est aussi « l'occlusion organique » développée par les auteurs s'intéressant aux déterminants de la morphologie occlusale ou des techniques de cire ajoutées développées par E. PAYNE ou P.K. THOMAS aujourd'hui communément appelé « wax-up ».

« Il est impossible de citer tous les instruments introduits sur le marché depuis cette époque tant ils sont nombreux. Certains ont atteint une très grande complexité comme le STUART qui est une référence sur le plan gnathologique ou celui de J.M. NEY, réalisé en 1962, d'une grande complexité d'utilisation »⁶⁷

La plupart de ces instruments utilisent un localisateur d'axe charnière pour une plus grande précision, ainsi que des techniques pantographiques⁶⁸ (pantographe du Denar) ou axiographiques (axiographe du SAM) pour l'enregistrement des déplacements condyliens et leur transfert sur l'articulateur.

⁶³ Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1920 à l'ère numérique : deuxième partie ».

⁶⁴ International Academy of Gnathology, « History IAG »; Starcke, « The history of articulators : from facebows to gnathograph, a brief history of early devices developed for recording condylar movement : part ii ».

⁶⁵ Mac Collum BB et Stuart CE. A research report. Scientific press pasadena 1955

Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1920 à l'ère numérique : deuxième partie ».

⁶⁶ Romeroski

⁶⁷ Rignon-Bret, Durin Touati Sandler, et Rignon-Bret, « Évolution des articulateurs de 1920 à l'ère numérique : deuxième partie ».

⁶⁸ Pantographe : dispositif mécanique ou électronique d'enregistrement graphique de la projection des mouvements mandibulaires. (Dictionnaire de prothèse odontologique)

Sans développer leur conception il est nécessaire de citer quelques-uns de ces instruments complexes qui ont marqué leur époque et participé au développement des articulateurs.

En fonction de leur date d'apparition nous trouvons :

- Le « Kinoscope » de R.L. HANAU (1923), premier articulateur totalement adaptable permet le réglage de la pente condylienne, de la distance intercondylienne et du mouvement de Bennett.
- Le « House Articulator » (1927)
- L'« Articulateur de W.M. GAMBILL » (1928).
- Le « Gnathoscope » de B.B.MAC COLLUM (1929)
- Le « Gnathographe » de STUART et B.B.MAC COLLUM (1934)
- L'articulateur de BRANDUP-WOHNSTEN (1936)
- Le « Transograph » articulateur-enregistreur réalisé par PAGE (1961) qui a permis de démontrer la réalité de l'axe charnière⁶⁹
- Le « Gnatholator » de GRANGER (1958)
- Enfin le « Denar » avec son pantographe pneumatique présenté par N. GUICHET (distance intercondylienne de 110 mm)

Par ailleurs, l'apport de l'axiographie mécanique (enregistrement pantographique transcrivant les mouvements des condyles mandibulaires pour les programmer très facilement sur l'articulateur, supprimant ainsi les techniques d'enregistrement par cires de morsure (check-bites), hormis pour la mise en articulateur des modèles en relation centrée) a permis de bien mieux **comprendre, diagnostiquer et modéliser les fonctions manducatrices**⁷⁰

La majorité des dentistes se tourne donc vers des articulateurs certes moins précis mais plus simple d'utilisation clinique.

D'autres articulateurs plus simples, semi-adaptables, mais construits sur le même concept gnathologique, sont actuellement à la disposition de l'omnipraticien. En particulier, les derniers de la série de HANAU, le WHIP MIX, le DENTATUS ARL (utilisé par A. LAURITZEN avec le mandibulographe d'ALMORE), l'articulateur SAM et plus récemment les derniers QUICK (Fag) ou le STRATOS (Ivoclar) qui sont utilisables avec ou sans enregistrements axiographiques.

⁶⁹ Page, « Occlusal movements and obstruction. the benett movement. »; Page, « Hinge axis : arguments and typical examples ».

⁷⁰ Valentin C., Morin F.

La révolution digitale et numérique associée au progrès de la miniaturisation des capteurs ultrasonores a permis de simplifier les enregistrements de la cinématique mandibulaire. Ainsi l'axiographie digitale représente l'évolution directe de la technique pantographique car les données concernant le mouvement des articulations mandibulo-temporales peuvent être comparées simultanément en fonction de l'espace et du temps. Cette axiographie digitale a été développée avec l'outil ArcusDigma (Kavo) apparu en 2002 (cf. figure 33) puis Arcus Dima 2 en 2010 et l'enregistrement des données permet de programmer rapidement l'articulateur Stratos 300 (Ivoclar) ou Protar (Kavo)⁷¹

Figure 33 : Arcus Digma de KaVo



Source : Kavo Kerr Group, « Notice Arcus Digma », 2020.

2.11 Classification des articulateurs selon J.-M. RIGNON-BRET

Selon J.-M. RIGNON-BRET les articulateurs peuvent être classés de la manière suivante. D'abord en fonction des possibilités mécaniques de reproduction des mouvements mandibulaires :

2.11.1 Classe I : les occluseurs

Ces appareils ne permettent que des mouvements d'ouverture et de fermeture, sans aucune prise en compte des déterminants condyliens ou dentaires du patient (mise à part la mise en occlusion manuelle des modèles)

⁷¹ Pröschel et al., « Articulator-related registration. A simple concept for minimizing eccentric occlusal errors in the articulator. » Baker, Setchell, et Tredwin, « Reproduction of articulator settings and movements with an ultrasonic jaw movement recorder ».

2.11.2 Classe II : les articulateurs semi-adaptables

Ces articulateurs sont dits semi-adaptables c'est-à-dire que les mouvements qu'ils reproduisent ne correspondent pas à ceux du patient. En effet, ils sont basés sur des valeurs moyennes de différents concepts et théories géométriques.

2.11.3 Classe III : les articulateurs adaptables simplifiés

Ces articulateurs permettent de reproduire des mouvements mandibulaires basés sur des enregistrements individuels simplifiés.

2.11.4 Classe IV : les articulateurs adaptables

Ces articulateurs reproduisent les trajectoires des déplacements limites des condyles dans les cavités glénoïdes au cours des mouvements de propulsion et de diduction par l'intermédiaire d'un enregistrement pantographique ou d'une axiographie numérique.

Tableau 1 : Classification des articulateurs par J.-M. RIGNON-BRET

Les occluseurs	Les articulateurs semi-adaptables	Les articulateurs adaptables simplifiés	Les articulateurs adaptables
Mouvement simplifié	Reproduire des mouvements basés sur des données moyennes de différents concepts et théories géométriques	Reproduire des mouvements basés non plus sur des moyennes mais sur des enregistrements individuels simplifiés	Reproduire les trajectoires des déplacements limites des condyles dans les cavités glénoïdes, enregistrées, au cours des mvts de propulsion et de diduction, par l'intermédiaire d'un pantographe, de l'axiographie électronique
Occluseur en plâtre Occluseur à charnière	<ul style="list-style-type: none"> - Bonwill, Walker, Gysi New simplex, Gysi simplex (théorie des centres instantanés de rotation.) - Monson, Villain (théorie de la sphère) - Eltner (théorie du cône) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gysi True Byte Wadworth, Gerber (théorie géométrique) - Hanau, Dentatus, Fag, Stratos 300 (théorie anatomique) utilisant des enregistrements sur cire ou avec axiographie mécanique 	Tous les articulateurs de type ARCON tels que le Stuart, le Granger, le Denar ou Anti - Arcon comme le Prothe Plus ainsi que tous les articulateurs de l'ère numérique

Source : Dr. J.-M. Rignon-Bret.

2.11.5 Remarques d'ordre général

Le plan de référence horizontal d'un articulateur est celui utilisé pour la construction de l'instrument. Ainsi, par exemple pour un :

- GYSI NEW SIMPLEX (Dentsply) construit suivant la référence au plan de CAMPER, le plan horizontal sera parallèle au plan de Camper d'où sa table de transfert parallèle aux branches de l'instrument.
- Pour un QUICK MASTER (Fag) qui a été construit suivant la référence du plan de Francfort, le plan horizontal sera parallèle au plan de Francfort d'où l'inclinaison antéro-postérieure de dix degrés de sa table de transfert avec les branches de l'instrument (*différence d'angulation entre plan de Camper et plan de Francfort = 10°*).

Figure 34 : Articulateur QUICK MASTER de Fag



Source : Parmentier, « Quick Master Lab25 », 2016.

Au laboratoire de prothèse un articulateur doit être simple et facile d'utilisation. Quand il est utilisé en tant que simulateur de la cinématique mandibulaire il doit prendre en compte des réglages de plus en plus fins pour obtenir la plus fidèle reproduction de cette dernière.

Il s'en suit la nécessité de chercher constamment à concilier des exigences qui peuvent apparaître contradictoires à savoir la simplicité d'une part et la précision d'autre part. Il en résulte des différences de conception et d'évolution entre les articulateurs « Adaptables » et les articulateurs « Semi-Adaptables ou Adaptables Simplifiés ».

Mais comme aujourd'hui aucun de nos outils et méthodes n'échappent à la remise en cause par la révolution numérique, il est particulièrement intéressant d'examiner ce que l'articulateur virtuel peut nous apporter.

3 : Articulateur virtuel

3.1 Introduction

La révolution numérique atteint toutes les étapes du diagnostic, de la conception et de la réalisation des éléments prothétiques : c'est le Digital Workflow intégral, dans lequel l'articulateur virtuel cherche à s'insérer.

D'après Kordass et Gartner⁷² l'articulateur mécanique présente des limites notamment sur 3 aspects :

- pas de prise en considération de la mobilité physiologique des dents avec un modèle en plâtre.
- les subtiles déformations de la mandibule lors des mouvements d'ouverture fermeture ne sont pas pris en compte lors de la prise de l'empreinte.
- la complexité des cycles masticatoires, la résilience des tissus mous, la composante temporelle de la mastication et le guidage musculaire ne sont pas pris en compte par un articulateur mécanique.

L'articulateur mécanique est limité notamment dans la reproduction de l'occlusion en statique et en dynamique et des diverses déformations (mobilité dentaire physiologique, complexité des cycles masticatoires, résilience des tissus mous et guidage musculaire)¹². D'après ces auteurs, la fiabilité de l'articulateur mécanique est donc diminuée par ces imprécisions.

Par ailleurs, Tamaki et al.⁷³ ont mis en évidence une discordance entre les contacts en propulsion et en latéralité sur un articulateur programmé avec une axiographie numérique et les contacts observés en bouche. Ainsi sur l'articulateur, les contacts sont de 82 % en propulsion et de 90 % en latéralité alors que dans la cavité orale, ces contacts sont respectivement de 66 % et 81 %. Les auteurs en concluent donc que la transposition de la situation clinique sur l'articulateur mécanique crée de nouveaux contacts occlusaux. Un des objectifs de l'articulateur virtuel est donc de **résoudre la discordance entre les contacts dynamiques en bouche et la cinématique sur l'articulateur**.

Depuis plusieurs dizaines d'années il est désormais possible de mettre en relation virtuelle les modèles des arcades maxillaires et mandibulaires *via* un simulateur. Cette fonction « articulateur virtuel » se retrouve dans les logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) dentaire des différents distributeurs comme CEREC[®], 3Shape[®] ou Modjaw[®].

⁷² Kordaß et al., « The virtual articulator in dentistry : concept and development ».

⁷³ Tamaki et al., « Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data ».

Les premières tentatives d'un articulateur virtuel datent des années 80 avec l'apparition de l'Access Articulator du Dr. F. DURET⁷⁴. Son objectif était de réussir à répondre aux problématiques de l'occlusion en dynamique en CAO.

L'articulateur virtuel dit « **mathématique** » a été pour la première fois décrit par SZENTPETERY⁷⁵ en 1999 à la Martin Luther Université de Halle, en Allemagne. C'est un articulateur qui reproduit les mouvements d'un articulateur mécanique basé sur une simulation mathématique des mouvements d'un articulateur. Il est totalement adaptable et permet de programmer notamment des mouvements de Bennett avec des angles incurvés.

Le second type d'articulateur virtuel est celui dit « **complètement adaptable** », ce dernier reproduisant exactement les mouvements mandibulaires à l'aide d'un système informatique d'enregistrement appelé Jaw Motion Analyzer (JMA/Comp Zebris, Isny, Germany). Il a été mis au point par KORDASS et GARTNER⁷⁶ en 2003 à l'Université de Greifswald en Allemagne.

Les articulateurs virtuels mathématiques ont été mis de côté au profit des articulateurs virtuels adaptables plus largement diffusés.

3.2 Objectifs de l'articulateur virtuel

L'articulateur virtuel est un outil permettant une analyse occlusale dématérialisée aussi bien en statique qu'en dynamique.

Ses objectifs sont de :

- pallier les inexactitudes que la mise en articulateur physique des modèles génère (Tamaki et al.⁷⁷)
- reproduire les mouvements masticatoires avec plus de précision
- améliorer la conception et la fabrication des éléments prothétiques.

Plus largement, l'objectif principal de l'articulateur virtuel est d'assurer la continuité et l'intégralité du Digital Workflow dans l'évolution actuelle de la chaîne d'élaboration prothétique.

⁷⁴ Toubol JP, Duret F. De l'articulaire au neuromusculaire, de la mécanique à l'électronique. Cah Prothese. 1989 ; 143 : 43-2.

⁷⁵ Koralakunte et Aljanakh, « The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry ».

Szentpetery, « Computer aided dynamic correction of digitized occlusal surfaces ».

⁷⁶ « Zebris »; Gartner et Kordass, « The virtual articulator : development and evaluation ».

⁷⁷ Tamaki K, Celar AG, Beyrer S, Aoki H. Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data. J Prosthet Dent 1997;78:773-9.

3.3 Avantages et inconvénients ⁷⁸

3.3.1 Avantages

Les avantages de l'articulateur virtuel sont de :

- préserver de la chaîne numérique (garante de la précision)
- faciliter la communication entre le dentiste et le laboratoire de prothèse
- améliorer l'ergonomie de travail
- analyser l'occlusion statique et dynamique, mais également l'anatomie mandibulaire et de l'articulation temporo-mandibulaire
- permettre une navigation tridimensionnelle de la situation à travers le logiciel

3.3.2 Inconvénients

Par ailleurs les inconvénients sont :

- le coût, les outils sont encore trop onéreux (scanners, capteurs, logiciels, etc.)
- la présence encore faible de chaînes de CAD/CAM au sein des cabinets dentaires.
- le design et la modélisation des articulateurs virtuels, les capacités techniques en matière d'interprétation des données ne sont réservées qu'aux initiés (courbe d'apprentissage).
- que les cas complexes nécessitent encore une mise en articulateur physique avant de le transférer sur le logiciel de conception

3.4 Mise en œuvre

3.4.1 Prise d'empreinte optique

La prise d'empreinte optique peut être celle d'une dent, d'une surface dentaire, d'une restauration ou de modèles d'arcades complètes, réalisée à l'aide d'une caméra optique 3D. L'enregistrement d'arcade peut être réalisé directement ou indirectement. L'enregistrement direct se réalise dans la bouche du patient à l'aide d'une caméra intra-orale. L'enregistrement indirect est réalisé hors de la bouche du patient, sur le modèle en plâtre obtenu après une empreinte physique conventionnelle.

Il est également envisageable de scanner directement l'empreinte, le logiciel prendra le négatif.

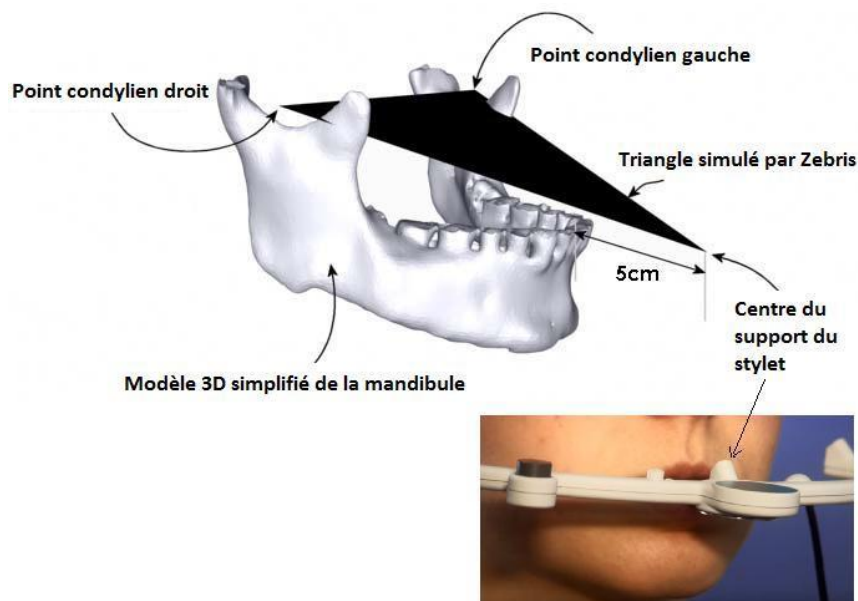
⁷⁸ Bartala et Duret, *La CFAO appliquée*.

3.4.2 Jaw Motion Analyzer

Ce système est basé sur la mesure de la vitesse des impulsions ultrasonores depuis trois émetteurs placés sur le capteur inférieur (solidaire à la mandibule) et quatre récepteurs solidaires à un arc facial permettant de détecter tous les déplacements (translation, rotation) de la mandibule dans tous les plans de l'espace (cf figure 36). L'émission « pulsée » des ultrasons est contrôlée à partir du logiciel. Les coordonnées spatiales des deux émergences cutanées des condyles mandibulaires et d'un point infra-orbitaire sont définis à l'aide d'un palpeur ou stylet pour définir le plan de référence axio-orbitaire (PAO).

La durée de parcours des ondes entre les émetteurs et chacun des récepteurs est alors déterminée. Enfin, ces durées sont converties en valeurs de distances définissant la position relative de l'arc inférieur par rapport à l'arc facial. Le JMA suit la position dans l'espace de trois points formant un plan triangulaire (cf. figure 35).

Figure 35 : Alignement du modèle 3D de la mandibule avec les données du JMA



Source : Zebris, « Jaw Motion Analyzer », 2003.

Ces enregistrements permettent entre autres de réaliser les mêmes tracés que ceux réalisés au moyen d'un axiographe, et d'enregistrer l'enveloppe limite des mouvements mandibulaires.

Un capteur de numérisation est utilisé pour déterminer les plans de référence : l'axe charnière, des points occlusaux mandibulaires remarquables.

Une impulsion ultra sonore est utilisée pour mesurer la position de ces points dans l'espace et la manière dont ils décrivent le cycle masticatoire du patient.

Ainsi le couplage et la superposition des modèles virtuels et de la modélisation des données enregistrées permet de visualiser l'occlusion statique et dynamique en 3D et de paramétrer un articulateur virtuel.

Figure 36 : Jaw Motion Analyzer (Zebris)



Source : Zebris, « Jaw motion analyzer ».2019

Les arcades dentaires (enregistrées par caméra optique) se déplacent au sein des trajectoires enregistrées grâce au JMA et sont visualisées sur l'ordinateur dans quatre fenêtres principales chacune dans un plan différent (vertical, sagittal, horizontal).

Aujourd'hui les outils qui permettent de d'enregistrer les trajectoires mandibulaires par JMA sont notamment l'**Arcus Digma** (Kavo,) et le **K7/CMS** (Myotronics-Noromed Inc).

Le logiciel calcule et visualise les impacts occlusaux aussi bien en statique qu'en dynamique et utilise ces données dans la modélisation des restaurations par CAD CAM⁷⁹ (Kordass and Gartner Virtual Articulator).

⁷⁹ CAD-CAM : Computer Aided Design- Computer Aided Manufacturing

Le logiciel de DentCam Virtual Articulator développé à l'université de Greifswald consiste en 3 principales fenêtres : ^{80 81} (cf. figure 37).

3.4.2.1. Rendering window (« fenêtre d'interprétation »)

Cette fenêtre présente les deux mâchoires en occlusion dynamique et permet de visualiser les schémas d'occlusion à l'approche de l'OIM lors du cycle masticatoire (sous plusieurs angulations). Figure 36 (en haut à droite)

3.4.2.2. Occlusion window (« fenêtre d'occlusion »)

La fenêtre d'occlusion présente les contacts occlusaux en statique et en dynamique en fonction du temps. La vitesse de ces mouvements peut être contrôlée avec plusieurs curseurs. Une échelle de colorations matérialise l'intensité de la force occlusale au niveau des contacts. Figure 36 (en haut à gauche)

3.4.2.3. Slice window (« fenêtre de coupe »)

Cette fenêtre présente toutes les coupes frontales à travers les arcades dentaires. Cet outil permet d'aider à l'analyse du degré d'intercuspidation, la hauteur et les angles fonctionnels des cuspides. Elle permet également d'analyser les guidages, facilite l'analyse occlusale et détermine morphologie des éléments prothétiques. Le logiciel a aussi intégré une représentation des trajectoires condyliennes dans les plans sagittaux et horizontaux. Cet outil permet d'observer les relations étroites entre le guide incisif et le déplacement condylien.

⁸⁰ Kordaß et al., « The virtual articulator in dentistry : concept and development ».

⁸¹ Koralakunte et Aljanakh, « The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry ».

Figure 37 : Interface de l'articulateur virtuel DentCam

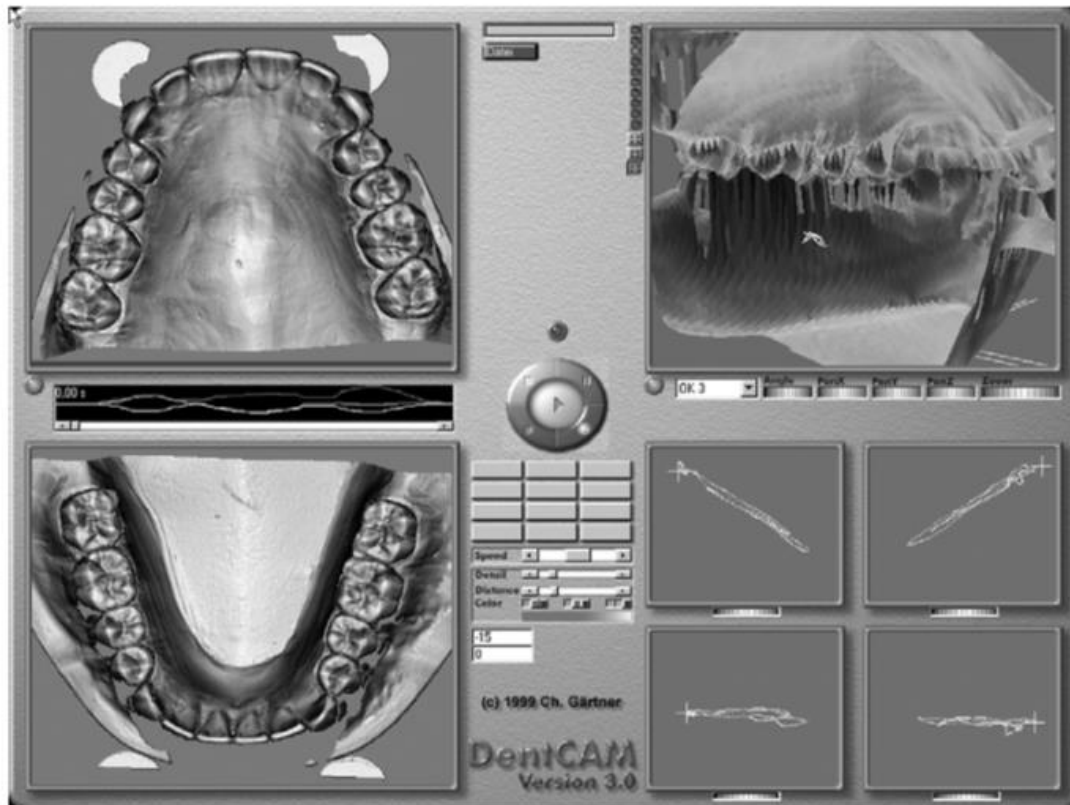


Fig. 1. Interface of the VR articulator DentCAM (occlusal contacts [left], rendering scene and condyle pathways [sagittal and horizontal, right]).

Source : Kordaß et al., « The virtual articulator in dentistry : concept and development », 2003.

3.5 Articulateur 4D⁸²

3.5.1 Introduction

L'Articulateur 4D dans sa forme la plus aboutie a été présentée à l'IDS de Cologne en 2017 avec la technologie Modjaw[®] permettant la combinaison de l'espace et du temps (cf.figure 38).

Figure 38 : Dispositif Modjaw[®]



Source : Jaisson, « Modjaw ».

3.5.2 Fonctionnement⁸³

Le prérequis à la mise en place du dispositif Modjaw[®] est l'acquisition d'empreintes numériques de la situation clinique.

⁸² Jaisson, « Modjaw Site Web ».

⁸³ Felenc et Jaisson, « Apport du digital aux choix fonctionnels et esthétiques : l'intérêt de la dentisterie 4D ».

3.5.2.1. Enregistrement initial, analyse fonctionnelle

L'enregistrement de l'occlusion se fait grâce à la mise en place de capteurs peu encombrants disposés sur la tête du patient (« diadème ») ainsi que sur les dents mandibulaires du patient (fourchette avec capteur extra-buccal).

A l'aide d'un pointeur-capteur, le praticien va venir positionner les points remarquables suivants :

- émergence de l'axe charnière, à droite et à gauche
- épine sous nasale
- plusieurs points localisés sur les dents mandibulaires (molaires et prémolaires)

L'association de ces points permet de mettre en relation les arcades scannées avec les capteurs Modjaw®. Ce couplage permet ainsi d'animer les modèles virtuels comme sur la situation clinique. (cf. figure 38).

Concernant l'occlusion, l'intensité des contacts dento-dentaires est matérialisée par un code couleur (du rouge au bleu, du plus fort au moins fort). Cette fonctionnalité peut donc être utilisée comme un outil d'équilibration (parallèle avec le papier articulé), en effet il permet de mettre en évidence les interférences et les prématurités vis-à-vis de l'enveloppe fonctionnelle de mouvements et ainsi prévenir les phénomènes de fracture des restaurations.

A l'inverse d'un diagramme de Posselt classique qui ne donne que des informations aux limites, ici, l'ensemble du trajet mandibulaire est accessible.

L'ensemble de ces informations recueillies permet de :

- mettre en évidence des incohérences occlusales et de les corriger
- réaliser des pièces prothétiques avec une prise en compte fonctionnelle précise (augmentations de DVO, soumettre des mockup virtuels à l'occlusion du patient, etc...)

Figure 39 : Enregistrement dynamique avec Modjaw®



Source : Jaisson, « Modjaw ».

L'enregistrement des mouvements du patient se fait par le biais de la technologie infrarouge et à haute fréquence (120Hz). Selon Felenc et Jaisson, les différentes mesures effectuées ont montré une précision de la caméra de 50 à 90 microns par rapport à la réalité.

La caméra enregistre les mouvements des points mandibulaires, le logiciel Modjaw crée à partir de cet enregistrement une modélisation 3D. La matérialisation des points d'impact occlusaux est possible grâce aux techniques de géométrie computationnelle.⁸⁴

Avec cet enregistrement il est possible d'avoir accès à ce qui se passe en temps réel dans la bouche des patients lors de la fonction. Le logiciel permet d'analyser l'enveloppe fonctionnelle des mouvements du patients ou « Fonctionnaly Generated Path » (ou FGP).⁸⁵ Cette intégration de l'aspect fonctionnel du patient permet d'optimiser l'anatomie occlusale des restaurations puisqu'elle est directement construite en fonction du FGP.

Il est également possible de coupler le DSD (Digital Smile Design) avec le Modjaw 4D pour obtenir le DID « Dessin Idéal Digital » qui semble être « la plus précise et la plus libre des jonctions entre l'esthétique et la fonction » (selon Felenc et Jaisson)

⁸⁴ Bartala and Duret, *La CFAO Appliquée*.

⁸⁵ Jaisson, Felenc, et Nocent, « La gestion de l'occlusion par les systèmes de CFAO : les critères de choix ».

Il est question ici de l'enregistrement des déplacements mandibulaires du patient selon l'une des techniques suivantes :

- ouverture/fermeture habituelle ;
- recherche d'une occlusion de relation centrée selon la technique bimanuelle de Dawson;
- déglutition ;

Au préalable, il est possible d'utiliser un déprogrammeur de type Koïs⁸⁶ ou d'un JIG de Lucia ou d'utiliser des électrodes TENS (Neurostimulation électrique transcutanée)

Il est toujours envisageable de multiplier les approches afin de recueillir le maximum d'informations et de les confronter.

L'analyse fonctionnelle initiale va permettre d'ores et déjà de visualiser l'impact que peut avoir la forme occlusale des dents sur la fonction du patient.

Une fois que le projet esthétique a été validé par le patient, le praticien doit maintenant prendre les décisions fonctionnelles. Cette étape est appelée la « réanimation du mock-up ». Elle consiste en la superposition du projet esthétique au maxillaire initial. La dynamique enregistrée est ensuite animée virtuellement. Les éventuelles interférences peuvent être objectivées lors de cette analyse.

S'il y a des modifications à apporter au projet esthétique il est alors possible de :

- limiter les longueurs des dents maxillaires et donc impacter l'esthétique ;
- équilibrer les dents antérieures mandibulaires et maxillaires ;
- augmenter la dimension verticale d'occlusion

3.5.2.2. Choix fonctionnels

Une fois l'analyse fonctionnelle réalisée, les choix thérapeutiques peuvent être abordés. La réalisation d'un mock-up virtuel va maintenant pouvoir être mis à l'épreuve de la fonction. Cette étape est appelée par les auteurs la « réanimation du mock-up ».

Deux interprétations s'offrent ensuite au praticien :

3.5.2.2.1 La fonction est jugée saine

La fonction est dite saine lorsque le guide antérieur est conservé. Le DID sera alors réalisable avec l'avatar enregistré du patient.

⁸⁶ Gardon-Mollard, « Le déprogrammeur occlusal de Kois ».

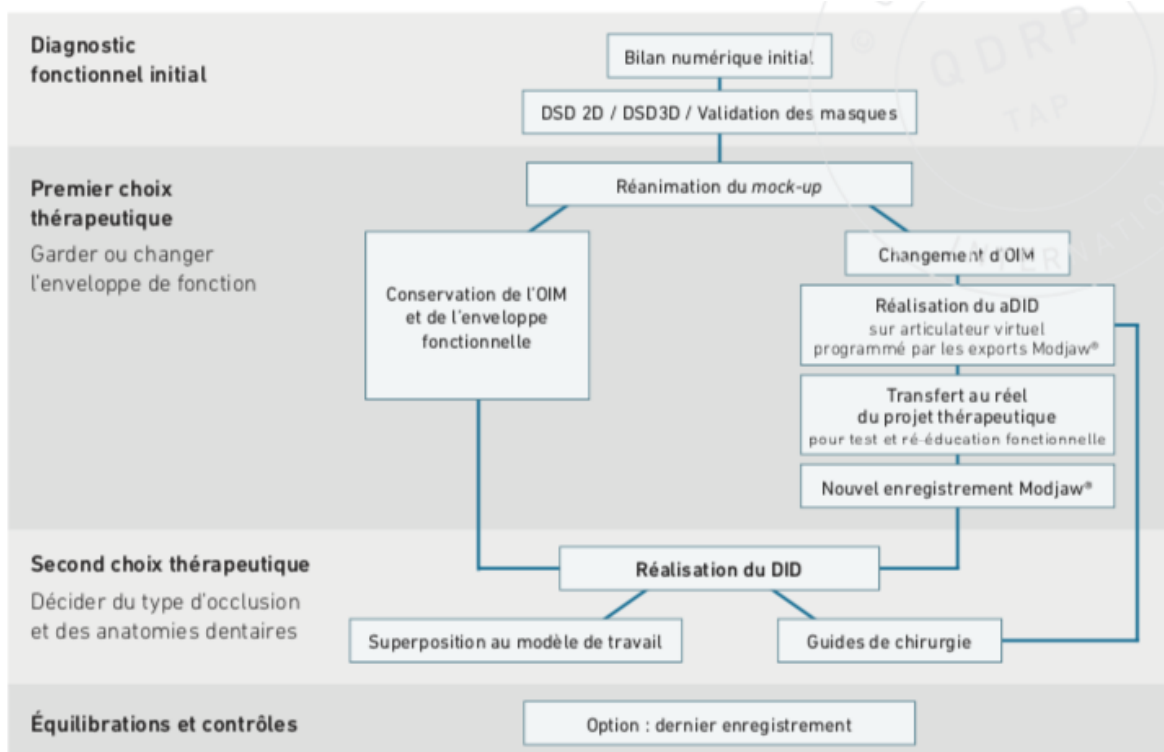
La DVO est conservée et le positionnement mandibulaire est en OIM (occlusion d'intercuspidie maximale). Les restaurations sont intégrées dans un trajet fonctionnel de mouvement excursif (latéralité, propulsion) et les entrées de cycle masticatoire. Les reconstructions (antérieures ou postérieures) sont réalisées en fonction de cette enveloppe fonctionnelle dans le but d'amélioration et de confort masticatoire du patient.

3.5.2.2.2 La fonction est altérée

A l'inverse, lorsque la fonction est altérée et où il s'avère judicieux de modifier le guidage antérieur et/ou la DVO, un projet est appelé « aDID » (anté-dessin idéal digital) est réalisé en programmant un articulateur virtuel.

Le modèle virtuel sera ensuite testé par plusieurs moyens (mock-up, provisoires ou composite injecté). Ce processus de test permet également une rééducation de la fonction du patient. Une fois la rééducation terminée, c'est-à-dire validée par le patient, on réalisera un examen 4D afin de réaliser le DID.

Figure 40 : Schéma fonctionnement Modjaw



Source : Felenc et Jaisson, « Apport du digital aux choix fonctionnels et esthétiques : l'intérêt de la dentisterie 4D », 2018.

3.5.3 Bénéfices

Les bénéfices apportés par cette technologie sont :

- tous les bénéfices que l’empreinte optique apporte, aussi bien pour le confort du patient, que pour la possible déformation du matériau d’empreinte entre le cabinet et le laboratoire de prothèse.
- une grande facilité d’enregistrement de l’occlusion, rapide à manipuler
- des dispositifs non invasifs et légers (permettant de diminuer le biais d’enregistrement généré par les capteurs)
- une plus grande pertinence des informations enregistrées et leur facilité d’utilisation dans l’espace numérique de travail
- qu’il n’y a pas de déformations liées au montage sur articulateur (manipulation et temps de prise du plâtre) ou bien au repositionnement du modèle mandibulaire par rapport au modèle maxillaire au moyen d’un enregistrement du rapport maxillo-mandibulaire.

3.5.4 Inconvénients

Les inconvénients des articulateurs sont :

- leur coût (logiciel et mises à jour)
- la nécessité d’une formation, la courbe d’apprentissage peut être longue.
- de comprendre et maîtriser la CAO et la FAO
- de savoir interpréter les données acquises par les scanners et capteurs.
- que certaines situations de grande étendue nécessitent encore la prise d’un arc facial physique et le montage sur un articulateur mécanique.

Avec l’arrivée de l’articulateur 4D, les possibilités en termes de montage sur articulateur virtuel et permettre de toujours augmenter le nombre d’indications de digital workflow intégral.

Conclusion

L'articulateur sous toutes ses formes demeure un outil indispensable à la pratique quotidienne du chirurgien dentiste. Aussi bien sur le plan diagnostique que thérapeutique il permet une prise en charge toujours plus individualisée et précise.

Les différents niveaux de complexité des articulateurs permettent de couvrir un large faisceau d'utilisations, depuis le simple occluseur jusqu'à l'articulateur totalement adaptable ou bien la reproduction de « l'articulateur du patient » aujourd'hui possible avec le Modjaw.

Plus l'articulateur est adaptable, plus l'investissement du praticien dans la compréhension de son fonctionnement est important.

À chaque cas clinique est associé une utilisation d'un articulateur adapté au degré de complexité de la tâche à réaliser. Comme toujours dans notre métier, il doit être pris en considération les avantages d'une méthode en comparaison avec ses inconvénients ou ses risques.

L'articulateur virtuel permet aujourd'hui de pouvoir réaliser une prise en charge de nos patients au sein d'un Digital Workflow intégral.

Dans le cadre de cette évolution de nos méthodes nous espérons que cet articulateur permettra d'augmenter le nombre de praticiens utilisateurs d'un articulateur.

Bibliographie

- Ackermann, F. *Dentures et dentiers complet : étude anatomique, physiologique, technique et pratique*. Paris : Masson, 1930.
- Ackermann, F., et M. Dechaume. *Le mécanisme des mâchoires (naturelles et artificielles) : de la théorie à la pratique, de la clinique à la technique*. Paris : Masson, 1953.
- Amoëdo, O. « Nouvel articulateur anatomique », *Revue Odontologique*, 5 (1911): 227-30.
- Andrieu, A. « L'articulateur au cabinet dentaire et au laboratoire de prothèse : mythe ou réalité ? » Thèse d'exercice, Paul Sabatier, 2014. <http://thesesante.ups-tlse.fr/697/1/2014TOU33042.pdf>.
- Archien, C., M. Begin, J.-C. Thépin, et F. Unger. « Relation centrée ». In *Dictionnaire de prothèse odontologique*. Paris : SNPMD, 2004.
- Archien, C., J. P. Louis, M. Helfer, Y. Mahiat, et C. Minette. « La prothèse amovible complète unimaxillaire : un traitement complexe, de nombreux pièges à éviter ». *Stratégie prothétique* 6, n° 2 (2006): 85-96.
- Baker, P. J., D. J. Setchell, et C. J. Tredwin. « Reproduction of articulator settings and movements with an ultrasonic jaw movement recorder ». *The european journal of prosthodontics and restorative dentistry* 14, n° 22 (2006): 55-62.
- Bartala, M., et F. Duret. *La CFAO appliquée*. Paris : Espace ID, 2014.
- Benett, N. G. « A contribution to the study of the movement of the mandible ». *The royal society of medicine* 8, n° 1 (1908): 41-54.
- Bonwill, W.G.A. « The scientific articulation of the human teeth as founded on geometric, mathematical and mechanical laws. the anatomical articulator ». *Prosthodontia*, n° 21 (1899): 617-43.
- Christensen, C. « The problem of the bite ». *Dental Cosmos*, n° 47 (1905): 1184-95.
- Christensen, Finn Tengs. « The effect of Bonwill's triangle on complete dentures ». *The Journal of Prosthetic Dentistry* 9, n° 5 (1959): 791-96. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(59\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(59)90040-X).
- Constantinescu, M.V., et E. Deciu. « Etude du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal à l'aide d'un modèle biomécanique ». *Journal of Gnathology*, 1998.
- Cruces, A. « Les articulateurs virtuels ». Thèse diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire, Lille 2, 2016. <http://www.sudoc.fr/195765702>.
- Dupas, P.-H., et J. Margerit. *L'articulateur au quotidien : son utilisation simplifiée*. Rueil-Malmaison : Éditions CdP, 2012.
- Felenc, S., et M. Jaisson. « Apport du digital aux choix fonctionnels et esthétiques : l'intérêt de la dentisterie 4D ». *Quintessence dentisterie restauratrice et prothèse* 12, n° 4 (2018): 335-46.

- . « Esthetic & function : the 4D solution a clinical evaluation ». *Modern approaches in dentistry and oral health care* 2, n° 3 (2018): 1-7. <https://doi.org/10.32474/MADOHC.2018.02.000137>.
- Gardon-Mollard, G. « Le déprogrammeur occlusal de Kois », *Stratégie prothétique* 5 (2019) : 248.
- Gartner, C., et B. Kordass. « The virtual articulator : development and evaluation ». *International journal of computerized dentistry* 6, n° 1 (2003): 11-24.
- Gerber, A. « Notice Gerber condylator service ». Gerber condylator®, 2018. www.condylator.com.
- Godon, C. *Considérations sur l'articulateur de Bonwill et ses applications en prothèse dentaire. Applications pratiques des principes de l'articulation de Bonwill*. Châteauroux : Mellottée, 1904.
- Gysi, A. *Éléments essentiels à la mastication des dentiers*. Paris : Mellottée, 1922.
- . « Le problème de l'articulation. Nouvelles considérations ». *L'odontologie* 30, n° 6 (1913): 538-52.
- . *Montage d'appareils avec les dents anatofom et les blocs Gysi : et le nouvel articulateur simple à trois points de Gysi suivi d'un appendice concernant l'emploi du « face bow » de Gysi et la manière d'enregistrer la position normale des mâchoires*. Londres : De Trey & Co, LTD, 1917.
- Innovation Technologique et Eco-conception. « Cinématique : mouvements plans », s. d. <http://robert.cireddu.free.fr/ITEC/Mouvements%20plans.pdf>.
- International Academy of Gnathology. « History IAG ». International Academy of Gnathology, s. d. Gnathologyusa.org.
- Jaisson, M. « Modjaw Site Web ». Modjaw, s. d. www.modjaw.com/fr/.
- Jaisson, M., S. Felenc, et O. Nocent. « La gestion de l'occlusion par les systèmes de CFAO : les critères de choix ». *Les Cahiers de Prothèse*, n° 161 (2013): 39-51.
- Koralakunte, P.-R., et M. Aljanakh. « The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry ». *Journal of clinical and diagnostic research* 8 (2014): 25-28.
- Kordaß, B., C. Gärtner, A. Söhnel, A. Bisler, G. Voß, U. Bockholt, et S. Seipel. « The virtual articulator in dentistry : concept and development ». *Dental clinics of north america* 46, n° 3 (2002): 493-506. [https://doi.org/10.1016/S0011-8532\(02\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S0011-8532(02)00006-X).
- Lucia, V. O. *Modern gnathological concepts*. St Louis : The C. V. Mosby Company, 1961.
- Mann, A. W., et L. D. Pankey. « Use of the Pankey–Mann instrument in treatment planning and in restoring the lower posterior teeth ». *Journal of prosthetic dentistry*, 1960, sect. 10.
- Mitchell, D.L., et N.D. Wilkie. « Articulators through the years. part I. up to 1940 ». *Journal of prosthetic dentistry* 39, n° 3 (1978): 330-38. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(78\)80106-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(78)80106-1).
- Monson, G.S. « Applied mechanics for the theory of mandibular movements ». *Dental Cosmos* 74, n° 11 (1932): 1039-53.
- Orthlieb, J.-D. « La courbe de Spee : un impératif physiologique et prothétique ». *Cahier de prothèse*, n° 44 (1983): 89-116.

- Page, H.L. « Hinge axis : arguments and typical examples ». *Dental digest*, n° 66 (1960): 368-411.
- . « Occlusal movements and obstruction. the benett movement. » *Dental digest*, n° 61 (1955): 333-95.
- Parmentier, A. « Notices articulateurs Fags ». FAG-dentaire, 2016. https://www.fag-dentaire.com/media/images/products/2016/11/NOTICE_B2_DEF.pdf
- Preiswerk, G. *Articulateur de Gritman. Atlas manuel de prothèse dentaire et buccale*. Paris : J.B. Baillière & Fils, 1908.
- Pröschel, P., R Nat, T. Morneburg, A. Hugger, B. Kordab, P. Ottl, W. Niedermeier, et M. Wichmann. « Articulator-related registration. A simple concept for minimizing eccentric occlusal errors in the articulator. » *International journal of prosthodontics* 15, n° 3 (2002): 289-94.
- Rignon-Bret, J.-M. « Analyse de la cinématique mandibulaire de l'édenté total ». Thèse de 3e cycle. Université Pierre et Marie Curie, 1975.
- Rignon-Bret, J.-M., A. Durin Touati Sandler, et C. Rignon-Bret. « Évolution des articulateurs de 1830 à 1920 : première partie ». *Clinic*, 2020, 1-12.
- . « Évolution des articulateurs de 1920 à l'ère numérique : deuxième partie ». *Clinic*, 2020.
- Ring, M. « The balancer : principles of design behind Hagman vintage articulator ». *Journal of dental technology* 13, n° 10 (1996): 32-35.
- Romerowski, J. « La petite histoire des articulateurs ». *Art et techniques dentaires* 9 (1998): 299-306.
- . « Quelques curiosités dans l'histoire des articulateurs ». *Société française d'histoire de l'art dentaire* 16 (2011): 48-52.
- Starcke, E. N. « The history of articulators: a critical history of articulators based on "geometric" theories of mandibular movement. Part IV : needles, wadsworth, and a look at some who followed ». *Journal of prosthodontics* 12, n° 1 (2003): 51-62. <https://doi.org/10.1053/jopr.2003.10>.
- . « The history of articulators : a critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movment. Part I ». *Journal of prosthodontics* 11, n° 2 (2002): 134-46. <https://doi.org/10.1053/jopr.2002.124356>.
- . « The history of articulators : a critical review of articulators based on geometric theories of mandibular movement. Part II. rupert hall's conical theory ». *Journal of prosthodontics* 11, n° 3 (2002): 211-22. <https://doi.org/10.1053/jopr.2002.127767>.
- . « The history of articulators : a perspective on the early years, part I ». *Journal of prosthodontics* 8, n° 3 (1999): 209-11. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.1999.tb00037.x>.
- . « The history of articulators : a perspective on the early years, part II ». *Journal of prosthodontics* 8, n° 4 (1999): 277-80. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.1999.tb00052.x>.

- . « The history of articulators : early attempts to reproduce mandibular movement. Part III : searching for the solution to a puzzle ». *Journal of prosthodontics* 9, n° 4 (2000): 217-22. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2000.00217.x>.
- . « The history of articulators : from facebows to gnathograph, a brief history of early devices developed for recording condylar movement : part ii ». *Journal of prosthodontics* 11, n° 1 (2002): 53-62. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2002.00053.x>.
- . « The history of articulators : from facebows to gnathograph, a brief history of early devices developed for recording condylar movement. Part I ». *Journal of prosthodontics* 10, n° 4 (2001): 241-48. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2001.00241.x>.
- . « The history of articulators : the appearance and early history of facebows ». *Journal of prosthodontics* 9, n° 3 (2000): 161-65. <https://doi.org/10.1053/jopr.2000.20395>.
- . « The history of articulators : unusual concepts or "it seemed to be a great idea at the time!" ». *Journal of prosthodontics* 10, n° 3 (2001): 170-80. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2001.00170.x>.
- Szentpetery, A. « Computer aided dynamic correction of digitized occlusal surfaces ». *Journal of gnathology*, 1997.
- Tamaki, K., A.-G. Čělár, S. Beyrer, et H. Aoki. « Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data ». *The journal of prosthetic dentistry* 78, n° 4 (1997): 373-78. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(97\)70044-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(97)70044-1).
- Tirlet, G., C. Robert, et J. Barety. « Restauration d'une courbe occlusale : la technique du drapeau ». *Réalité clinique*, n° 2 (1993): 199-210.
- Toubol, J.-P., G. Duminil, J.-D. Orthlieb, et J.-C. Quémard. *L'occlusodontie au quotidien*. Paris : Masson, 1996.
- Zebris. Medical. Dental. Sports. « Zebris », s. d. <https://www.zebris.de/en/dental/products-solutions/jaw-registration-jmanalyser/>.

Table des figures

Figure 1 : Articulateur plâtre de J.-B. GARIOT	6
Figure 2 : Articulateur en porte de grange	7
Figure 3 : Articulateur métallique de J. CAMERON	8
Figure 4 : Articulateur de W.G.A. BONWILL (1858).....	9
Figure 5 : Articulateur de W.G.A. BONWILL et triangle de BONWILL	10
Figure 6 : Schéma du triangle de Bonwill (rouge), du plan d'occlusion (bleu) et de l'angle de Balkwill (vert) entre le triangle de Bonwill et le plan d'occlusion	11
Figure 7 : Occluseur « adaptable » de G. DAVIDSON (1876).....	11
Figure 8 : Articulateur de W.E. WALKER.....	12
Figure 9 : Trajectoire du point « dentalé » lors du mouvement de la mandibule dans le plan sagittal dans le diagramme de POSSELT	13
Figure 10 : Diagramme de POSSELT	14
Figure 11 : Schéma de « l'instrument mandibulo-maxillaire » de G.S. MONSON.....	15
Figure 12 : Articulateur de A.D. GRITMAN	16
Figure 13 : Articulateur de G.B. SNOW.....	16
.....	16
Figure 14 : Articulateur de C. CHRISTENSEN	17
Figure 15 : Angle de BENETT	18
Figure 16 : Boîtiers FAG, ailes de Benett interchangeables	18
Figure 17 : Articulateur DENTATUS	19
Figure 18 : Articulateur d'O.AMOEDO (1911)	20
Figure 19 : Vue frontale de la mandibule avec la théorie de la sphère.	20
Figure 20 : Stabiloccluseur de G. VILLAIN.....	21
Figure 22 : Théorie des sphères selon F.M. WADSWORTH	22
Figure 23 : Technique du drapeau.....	23
Figure 24 : Calotte Sphérique	24
Figure 25 : Le « CONDYLATOR » d'A. GERBER.....	26
Figure 26 : Dents prothétiques porcelaine Condyliform® (A. GERBER)	26
Figure 27 : Schéma explicatif d'un centre instantané de rotation	27
Figure 28 : Détermination du centre instantané de rotation.....	28
Figure 29 : Localisation des centres instantanés de rotation, d'après différents auteurs.....	29

Figure 30 : Articulateur SIMPLEX de A. GYSI (1917) distance intercondyliene : 101mm.....	30
Figure 31 : Articulateur NEW SIMPLEX de A. GYSI (1960) distance intercondyliene : 108 mm.....	31
Figure 32 : Diagramme de POSSELT	31
Figure 33 : Arcus Digma de KaVo	34
Figure 34 : Articulateur QUICK MASTER de Fag	36
Figure 35 : Alignement du modèle 3D de la mandibule avec les données du JMA	41
Figure 36 : Jaw Motion Analyzer (Zebris)	42
Figure 37 : Interface de l'articulateur virtuel DentCam	44
Figure 38 : Dispositif Modjaw®.....	45
Figure 39 : Enregistrement dynamique avec Modjaw®	47
Figure 40 : Schéma fonctionnement Modjaw.....	49

Table des tableaux

Tableau 1 : Classification des articulateurs par J.-M. RIGNON-BRET	35
--	----

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge

Docteur Christophe Rignon-Bret

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président d'Université de Paris

Professeur Christine CLERICI

Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Historique de l'articulateur, de l'ère mécanique à l'ère numérique

Résumé :

Depuis le début du 19^e siècle, la pratique de la chirurgie dentaire a nécessité de reproduire la situation clinique du patient pour être transmise au laboratoire de prothèse. L'articulateur est l'outil permettant d'accomplir cette tâche. Depuis l'occluseur en plâtre, jusqu'aux versions mécaniques ou numériques qu'on lui connaît aujourd'hui, l'articulateur a subi de nombreuses évolutions de conception. L'apport des différentes théories occlusales, des différents enregistrements de la cinématique mandibulaire en ont fait un outil de plus en plus précis.

Discipline :

Prothèses dentaires

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Articulateurs dentaires -- histoire -- Dissertation universitaire ; Imagerie tridimensionnelle -- Dissertation universitaire ; Prothèses dentaires -- Thèses et écrits académiques ; Occlusion dentaire -- Thèses et écrits académiques

English keywords (MeSH) :

Dental Articulators -- history -- Academic Dissertation ; Imaging, Three-Dimensional -- Academic Dissertation

Université de Paris
UFR d'Odontologie - Montrouge
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge