

**UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

---

ANNEE 2014

2014 TOUL3 3034

**THESE**

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

**Charles LARGER**

le 06 octobre 2014

**LA DYNAMIQUE MANDIBULAIRE FONCTIONNELLE : ETAT DES  
LIEUX ET APPORT DU NUMERIQUE**

Directeur de thèse : Pr Serge ARMAND

Co-Directeur : Dr Philippe BOGHANIM

**JURY**

Président :	Pr Serge ARMAND
1er assesseur :	Dr Pierre BARTHET
2ème assesseur :	Dr Bruno COURTOIS
3ème assesseur :	Dr Philippe BOGHANIM
Invité :	Dr Philippe JOURDAN



**UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

---

ANNEE 2014

2014 TOUL3 3034

**THESE**

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

**Charles LARGER**

le 06 octobre 2014

**LA DYNAMIQUE MANDIBULAIRE FONCTIONNELLE : ETAT DES  
LIEUX ET APPORT DU NUMERIQUE**

Directeur de thèse : Pr Serge ARMAND

Co-Directeur : Dr Philippe BOGHANIM

**JURY**

Président :	Pr Serge ARMAND
1er assesseur :	Dr Pierre BARTHET
2ème assesseur :	Dr Bruno COURTOIS
3ème assesseur :	Dr Philippe BOGHANIM
Invité :	Dr Philippe JOURDAN



➔ DIRECTION

ADMINISTRATEUR PROVISOIRE

Mr Hugues CHAP

ASSESEURS DU DOYEN

• ENSEIGNANTS :

Mme GRÉGOIRE Geneviève

Mr CHAMPION Jean

Mr HAMEL Olivier

Mr POMAR Philippe

• PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme GRIMOUD Anne-Marie

• ÉTUDIANT :

Mr HAURET-CLOS Mathieu

CHARGÉS DE MISSION

Mr PALOUDIER Gérard

Mr AUTHER Alain

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme GRAPELOUP Claude

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr LAGARRIGUE Jean †

Mr LODTER Jean-Philippe

Mr PALOUDIER Gérard

Mr SOULET Henri

➔ ÉMÉRITAT

Mme GRÉGOIRE Geneviève

Mr PALOUDIER Gérard

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

**56.01** PÉDODONTIE

*Chef de la sous-section :*

Professeur d'Université :

Maîtres de Conférences :

Assistants :

Chargés d'Enseignement :

*Mr VAYSSE*

Mme BAILLEUL-FORESTIER

Mme NOIRRI-ESCLASSAN, Mr VAYSSE

Mr DOMINÉ, Mme GÖTTLE

Mme BACQUÉ, Mr TOULOUSE

**56.02** ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

*Chef de la sous-section :*

Maîtres de Conférences :

Assistants :

Chargés d'Enseignement :

*Mr BARON*

Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL-SIXOU, Mr ROTENBERG,

Mme ELICEGUI, Mme OBACH-DEJEAN, Mr PUJOL

Mr GARNAULT, Mme MECHRAOUI, Mr MIQUEL

**56.03** PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE

*Chef de la sous-section :*

Professeur d'Université :

Maître de Conférences :

Assistant :

Chargés d'Enseignement :

*Mr HAMEL*

Mme NABET, Mr PALOUDIER, Mr SIXOU

Mr HAMEL, Mr VERGNES

Mlle BARON

Mr DURAND, Mr PARAYRE

### **57.01 PARODONTOLOGIE**

***Chef de la sous-section :*** **Mr BARTHET**

**Maîtres de Conférences :** Mr BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN

**Assistants :** Mr MOURGUES, Mme VINEL

**Chargés d'Enseignement :** Mr. CALVO, Mr LAFFORGUE, Mr PIOTROWSKI, Mr SANCIER

### **57.02 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION**

***Chef de la sous-section :*** **Mr CAMPAN**

**Professeur d'Université :** Mr DURAN

**Maîtres de Conférences :** Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY

**Assistants :** Mme BOULANGER, Mme CROS, Mr EL KESRI

**Chargés d'Enseignement :** Mr FAUXPOINT, Mr GANTE, Mr L'HOMME, Mme LABADIE, Mr PLANCHAND, Mr SALEFRANQUE

### **57.03 SCIENCES BIOLOGIQUES (BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE, GÉNÉTIQUE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE**

***Chef de la sous-section :*** **Mr KÉMOUN**

**Professeurs d'Université :** Mme DUFFAUT

**Maîtres de Conférences :** Mme GRIMOUD, Mr KEMOUN, Mr POULET

**Assistants :** Mr BARRAGUÉ, Mme DUBOSC, Mme PESUDO, Mme SOUBIELLE

**Chargés d'Enseignement :** Mr BARRÉ, Mr SIGNAT, Mme VALERA

### **58.01 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE**

***Chef de la sous-section :*** **Mr GUIGNES**

**Maîtres de Conférences :** Mr DIEMER, Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE

**Assistants :** Mr ARCAUTE, Mlle DARDÉ, Mme DEDIEU, Mme DUEYMES, Mr MICHETTI

**Chargés d'Enseignement :** Mr BALGUERIE, Mlle BORIES, Mr ELBEZE, Mr MALLET, Mlle PRATS,

### **58.02 PROTHÈSES (PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE COMPLÈTE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE)**

***Chef de la sous-section :*** **Mr CHAMPION**

**Professeurs d'Université :** Mr ARMAND, Mr POMAR

**Maîtres de Conférences :** Mr BLANDIN, Mr CHAMPION, Mr ESCLASSAN, Mme VIGARIOS

**Assistants :** Mr CHABRERON, Mr DESTRUHAUT, Mr GALIBOURG, Mr HOBEILAH, Mr KNAFO

**Chargés d'Enseignement :** Mr ABGRALL, Mr FLORENTIN, Mr FOLCH, Mr GHRENASSIA, Mme LACOSTE-FERRE, Mme LASMOLLES, Mr LUCAS, Mr MIR, Mr POGÉANT, Mr RAYNALDY

### **58.03 SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, OCCLUSODONTIQUES, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE**

***Chef de la sous-section :*** **Mme JONIOT**

**Professeur d'Université :** Mme GRÉGOIRE

**Maîtres de Conférences :** Mme JONIOT, Mr NASR

**Assistants :** Mr CANIVET, Mme GARNIER, Mr MONSARRAT

**Chargés d'Enseignement :** Mr AHMED, Mme BAYLE-DELANNÉE, Mme MAGNE, Mr TREIL, Mr VERGÉ

-----  
*L'université Paul Sabatier déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats.  
(Délibération en date du 12 Mai 1891).*

*Mise à jour au 1<sup>er</sup> septembre 2014*

**Remerciement,**

Merci Valérie, pour ton soutien aimant durant l'élaboration de cette thèse, pour ton talent orthographique, ta patience et surtout d'être auprès de moi pour naviguer à travers la vie.

Je remercie mes parents pour leur présence. Vous avez été un peu surpris lorsque je me suis orienté vers une carrière médicale, mais vous m'avez toujours laissé libre dans mes choix, et je vous en remercie. J'ai aussi une pensée pour Antoine, Geoffroy, et Emmanuelle, mes chers frères et sœur.

Je remercie Philippe et Patricia qui m'ont transmis leur passion pour ce métier et une approche de la dentisterie hors du commun. J'ai une pensée pour toute ma belle-famille et en particulier Olivier et Tiphaine, et aussi pour Baboushka.

Je pense à toute ma famille, notamment Parrain et Bonne maman qui m'ont hébergé durant mes études

.

Je remercie mes amis de promotion, surtout mes camarades de l'Hotel Dieu avec qui j'ai beaucoup partagé.

Un grand merci à vous tous pour votre présence.

**A notre président de Jury et directeur de Thèse,**

**Monsieur le Professeur Serge ARMAND**

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur en Sciences Odontologiques,
- Docteur d'Etat en Odontologie,
- Responsable du Diplôme d'Université d'Implantologie,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,

Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir accepté la présidence de notre jury de thèse. Nous souhaitons vous remercier pour tout ce que vous nous avez apporté tout au long de nos études, et pour votre disponibilité. Soyez assuré de notre gratitude et de notre profonde estime.

**A notre Jury de thèse,**

**Monsieur le Docteur Pierre BARTHET**

-Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,

-Responsable de la sous-section : Parodontologie

-Docteur en Chirurgie Dentaire,

-Docteur de l'Université Paul Sabatier.

Nous vous sommes reconnaissants d'avoir accepté de faire partie des membres de ce jury. Ce fut un plaisir et un honneur de vous suivre dans votre activité clinique. Nous vous remercions pour votre gentillesse. Veuillez trouver ici le témoignage de notre profond respect et de notre gratitude.

**A notre Jury de thèse,**

**Monsieur le Docteur Bruno COURTOIS**

-Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,

-Docteur en Chirurgie Dentaire,

-Diplôme d'Etudes Supérieures en Chirurgie Buccale,

-D.E.A. Rayonnement et Imagerie en Médecine,

-CES Odontologie Chirurgicale,

-CES de Prothèse Dentaire, option : Prothèse maxillo-faciale,

-Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales

-Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous sommes très reconnaissants pour l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de faire partie des membres du jury. Nous vous remercions pour l'ensemble de votre enseignement, pour votre confiance et pour l'assurance que vous nous avez apportée lors de nos années d'étude. Nous vous devons beaucoup. Soyez assuré de notre gratitude et de notre profonde estime.

**A notre co-directeur de thèse,**

**Monsieur le Docteur Philippe BOGHANIM**

-Chargé d'Enseignement à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse.

-Docteur en Chirurgie Dentaire,

-Attaché hospitalo-universitaire.

Nous vous remercions d'avoir accepté de diriger ce travail, pour lequel vous avez fourni de précieux conseils.

Veillez trouver ici l'expression de notre profonde estime

**A notre invité de thèse,**

**Monsieur le Docteur Philippe JOURDAN**

-Docteur en Chirurgie Dentaire

-Docteur de l'Université Paul Sabatier

-Ex-assistant hospitalo-universitaire

Nous vous remercions pour l'honneur que vous nous faites de participer à cette thèse. Je ne sais comment exprimer ma gratitude pour tout ce que vous nous avez offert. C'est grâce à vous que je présente cette thèse. Merci.

## Table des matières

Introduction .....	15
I.    La Mastication.....	16
I.1.  Les déterminants postérieurs.....	16
I.1.1.  Les articulations temporo-mandibulaires (2).....	16
I.1.1.1.  La fosse mandibulaire temporale .....	16
I.1.1.2.  Le complexe condylo-discal.....	17
I.1.1.3.  Les ligaments .....	19
I.1.2.  Les théories d'évolution de la base du crane de Deshayes (7) .....	21
I.1.3.  La distance inter-condylienne.....	22
I.1.4.  La pente condylienne .....	23
I.1.5.  L'angle de Bennett.....	25
I.1.5.1.  Le condyle non travaillant .....	25
I.1.5.2.  Le condyle travaillant.....	28
I.1.6.  Intérêt de la fonction sur l'évolution de l'ATM .....	28
I.1.7.  Les mouvements des condyles mandibulaires.....	29
I.2.  Les déterminants antérieurs .....	31
I.2.1.  Le plan d'occlusion et les courbes physiologiques.....	31
I.2.1.1.  Le plan d'occlusion.....	31
I.2.1.2.  La courbe de spee .....	31
I.2.1.3.  La courbe de Wilson .....	33
I.2.1.4.  L'influence du plan d'occlusion sur la mastication .....	35
I.2.2.  Les guidages antérieurs et les angles cuspidiens. ....	36
I.2.2.1.  Le guidage canin.....	36
I.2.2.2.  Le guide incisif .....	39
I.2.2.3.  Le guidage antirétrusif (9).....	41
I.2.3.  La Dimension Verticale d'Occlusion (27) .....	41
I.2.4.  Les classes d'Angle .....	42
I.3.  Le Système Nerveux Central (SNC) .....	44
I.3.1.  Les différentes théories sur la mastication (31).....	44
I.3.2.  Le complexe trigéminal (33) .....	45

I.3.2.1.	Le tronc Cérébral .....	46
I.3.2.2.	Le centre générateur de la mastication (CPG) .....	47
I.3.3.	Le cortex .....	48
I.3.4.	Les récepteurs périphériques .....	49
I.3.4.1.	La répartition spatiale des récepteurs parodontaux (42).....	49
I.3.4.2.	Les réflexes du faisceau neuromusculaire (44).....	50
I.3.4.3.	Le fonctionnement des récepteurs périphériques durant la mastication.....	51
I.4.	Le système musculaire.....	53
I.4.1.	Les mouvements musculaires durant la mastication (11).....	53
I.4.1.1.	La phase préparatoire à distance des dents .....	53
I.4.1.2.	La phase dentaire .....	54
I.5.	Le cycle de mastication .....	57
I.5.1.	La classification des cycles de mastication .....	58
I.5.1.1.	Classification de Ahlgren (49).....	58
I.5.1.2.	Classification de Poschel.....	59
I.5.2.	Les cycles de mastication de Gibbs (26).....	60
I.6.	La Réhabilitation neuro-occlusale (RNO) .....	62
I.6.1.	Les Angles Fonctionnels Masticateur de Planas (AFMP).....	62
I.6.2.	Les lois de développement de Planas.....	63
I.6.2.1.	Dans le sens postéro-antérieur et transversal.....	63
I.6.2.2.	Croissance verticale des procès alvéolaires.....	63
I.6.2.3.	Mise en place du plan d'occlusion.....	64
I.7.	La fonction occlusale (11) .....	65
I.7.1.	Les Mouvements fonctionnels.....	65
I.7.2.	Mise place de l'occlusion.....	66
I.7.3.	L'Incision.....	67
I.7.4.	Le cycle occlusal .....	68
I.7.4.1.	Entrée de cycle.....	68
I.7.4.2.	Sortie de cycle .....	69

II.	Les enregistrements de la dynamique mandibulaire.....	71
II.1.	L'articulateur.....	73
II.1.1.	L'articulateur Reverse (11) .....	74
II.1.2.	Les limites des articulateurs .....	76
II.2.	La détermination de l'occlusion et des mouvements mandibulaires .....	77
II.2.1.	Les Matériaux d'enregistrements .....	77
II.2.2.	FGP (Functionally Generated Path).....	77
II.2.3.	L'axiographie mécanique.....	78
II.2.4.	L'axiographie électronique.....	81
II.3.	Apport du numérique dans la gestion de l'occlusion.....	82
II.3.1.	L'articulateur virtuel (54).....	82
II.3.1.1.	Un articulateur mathématique (56) .....	82
II.3.1.2.	Un montage virtuel arbitraire.....	82
II.3.1.3.	Transfert d'un montage réel sur articulateur en un montage virtuel .....	83
II.3.1.4.	Les avantages et les limites.....	85
II.3.2.	La gestion de l'occlusion pour des restaurations de petites étendues (54).....	85
II.3.3.	La capture de mouvement .....	87
II.3.3.1.	La capture électromagnétique .....	87
II.3.3.2.	La capture ultrasonique .....	88
II.3.3.3.	La capture cinématographique. ....	89
	<b>Conclusion.....</b>	<b>91</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>93</b>

# Introduction

---

« L'homme mastique ! » (1). Lors de la réalisation des reconstructions occluso-prothétiques, afin de gérer l'occlusion, historiquement, les praticiens se sont appuyés sur des concepts occlusaux (fonction de groupe, fonction canine...). La fonction occlusale, en tant que telle, n'était pas encore intégrée dans la construction des restaurations prothétiques. Ces concepts / schémas occlusaux ne reflètent pas la réalité clinique mais davantage la transposition du fonctionnement de l'articulateur en lieu et place de la dynamique articulaire du patient.

La mastication est une fonction complexe où des structures différentes interviennent, deux articulations temporo-mandibulaires et un articulé dento-dentaire. Cette organisation commune est mise en action par la neuromusculature et les mouvements se réalisent de façon synergique.

Dans la pratique clinique, le praticien peut modifier les déterminants antérieurs. Par conséquence, une analyse correcte des mouvements mandibulaires permet la création de bons guidages fonctionnels. Il en résulte une intégration des prothèses dans le fonctionnement physiologique de la dynamique mandibulaire.

Grâce aux avancées du numérique, nous pourrions évaluer la fonction masticatrice. Par ailleurs, les enregistrements précis de la cinématique permettent de régler les reconstitutions prothétiques en respectant la gestuelle masticatrice individuelle. Ainsi, les reconstitutions occluso-prothétiques seront personnalisées.

Notre travail débutera par l'étude de la fonction masticatrice, son observation et sa description ; puis son intégration dans les reconstitutions prothétiques.

Nous tenterons de montrer les moyens actuels d'enregistrement de la fonction masticatrice et les avancées qu'ont apporté les techniques numériques.

# I. La mastication

---

## I.1. Les déterminants postérieurs

Les déterminants postérieurs sont des déterminants non modifiables. Ils correspondent aux caractéristiques anatomiques des deux articulations temporo-mandibulaires.

### I.1.1. Les articulations temporo-mandibulaires (2)

#### I.1.1.1. La fosse mandibulaire temporale

La fosse mandibulaire se trouve sur l'os temporal, en avant du conduit auditif externe. Cette cavité est divisée en deux parties : l'une postérieure non articulaire et une partie antérieure articulaire. Dans cette cavité se loge le condyle mandibulaire surmonté par le disque articulaire. Lors de mouvements, le condyle est limité en médial ainsi qu'en haut à cause de l'aspect cavitaire de la fosse mandibulaire.

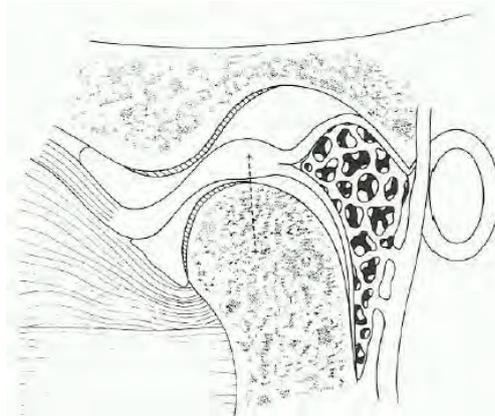


*Articulation temporo-mandibulaire*

Le tubercule articulaire se trouve en avant de la fosse mandibulaire. Son versant postérieur correspond à la pente condylienne qui permet de guider le complexe condylo-discal lors des mouvements de propulsion et de latéralité.

### I.1.1.2. Le complexe condylo-discal

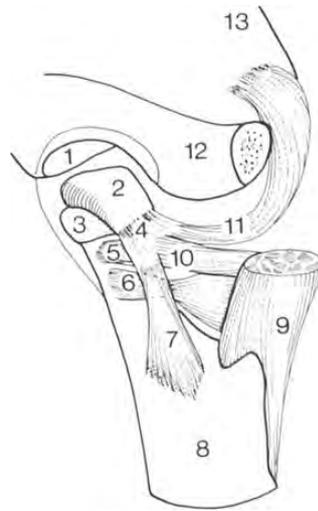
Le condyle correspond à un processus surmontant la branche montante de la mandibule. Il est composé de deux versants intra-capsulaires. Le versant postérieur est non articulaire et le versant antérieur est articulaire.



*Le complexe condylo-discal(2)*

L'appareil discal recouvre le condyle mandibulaire. Il divise l'articulation en deux compartiments : un supérieur qui permet des mouvements de translation et un inférieur qui autorise des mouvements de rotation du condyle. Le disque se compose de trois parties :

- Une zone antérieure pré-discale où s'insère en latéral les muscles temporal et masséter et en médial le chef supérieur du muscle ptérygoïdien latéral. (3)



*Schema du complexe disco-musculaire (4)*

*1 : la fosse mandibulaire*

*2 : Le Disque*

*3 : Le condyle*

*4 : La zone pré-discale*

*5 : Insertion inférieure du chef supérieur du muscle ptérygoïdien latéral*

*6 : Le chef inférieur du muscle ptérygoïdien*

*7 : Le chef disco-masséterique*

*8 : Le ramus de la mandibule*

*9 : Insertion du muscle temporal*

*10 : Insertion supérieure du chef supérieur du muscle ptérygoïdien latéral*

*11 : Le chef disco-temporal*

*12 : Le processus zygomatique*

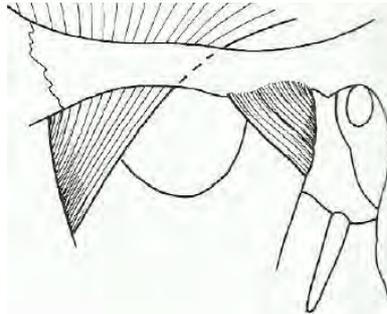
*13 : L'os temporal*

- Le disque proprement dit est biconcave. Il comprend un bourrelet antérieur un bourrelet postérieur et une partie concave au centre.
- Une zone bilaminaire rétro-discale qui comprend deux freins discaux postérieurs qui s'insèrent sur le bourrelet postérieur. Le frein discal supérieur est richement élastique, et a une fonction de rappel lors de la fermeture buccale. Le frein discal inférieur permet de plaquer le disque sur le condyle. Entre ces deux freins on observe une région inter-laminaire composée d'un plexus veineux qui fonctionne comme un amortisseur hydraulique lors des mouvements mandibulaires.

### I.1.1.3. Les ligaments

#### Les ligaments articulaires

En avant de la capsule, on note une absence ligamentaire (5) : ainsi le mouvement articulaire vers l'avant est privilégié.

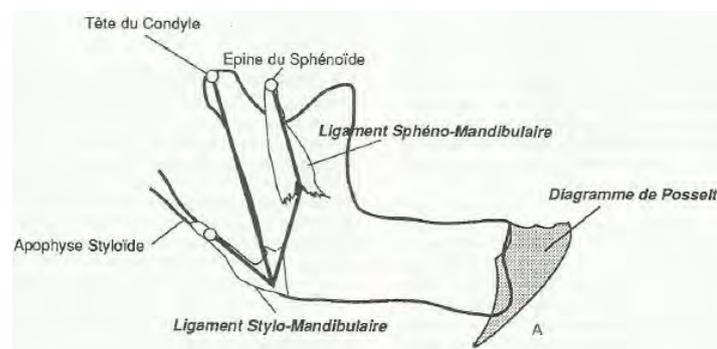


*Les ligaments articulaires (2)*

La disposition en « panier » des ligaments autour du condyle limite les mouvements de celui-ci vers le bas mais aussi vers l'arrière. De plus, ils permettent, lors de leurs tensions, de modifier le mouvement de rotation du condyle en mouvement de translation sur le rempart postérieur du tubercule articulaire. Pour finir, ils jouent un rôle proprioceptif : ils informent le système nerveux central de la position du condyle dans la cavité glénoïde.

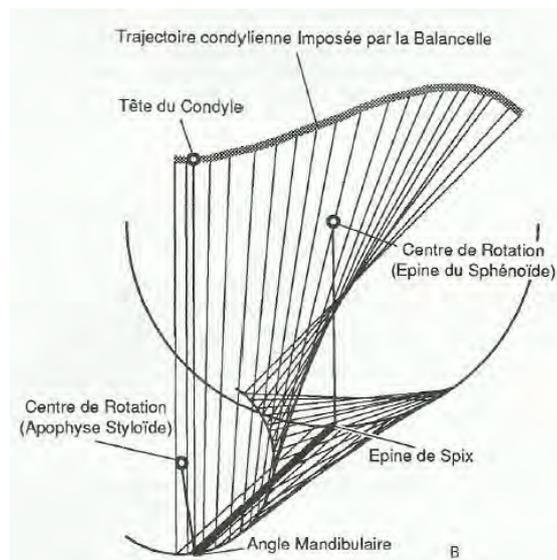
#### Ligaments extra-articulaires

Ils sont au nombre de trois : le ligament sphéno-mandibulaire, le ligament stylo-mandibulaire, et le ligament ptérygo-mandibulaire.



*Les ligaments extra-articulaires (6)*

Ces ligaments vont servir à suspendre la mandibule à la base du crane : on parle de balancelle mandibulaire. Notons qu'il existe deux centres de rotation au sein desquels s'insèrent deux ligaments : l'apophyse styloïde et l'épine sphénoïdale. Ainsi, la rotation d'un ligament est assujettie à l'autre. Cette balancelle ligamentaire va conditionner l'amplitude des mouvements, on observera des mouvements totalement différents avec une personne présentant une grande laxité ligamentaire. De surcroit, la cinématique mandibulaire doit s'inscrire dans ce contexte ligamentaire. Dans le cas contraire, des tensions adaptatrices se créent au niveau des ligaments qui entraîneraient un glissement progressif des insertions et donc une modification fonctionnelle et posturale de la mandibule (6).

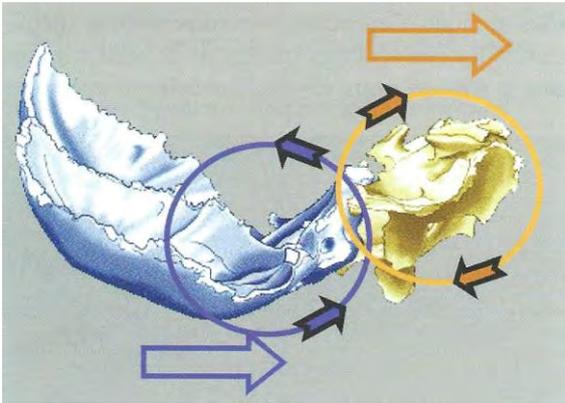


*La balancelle ligamentaire (6)*

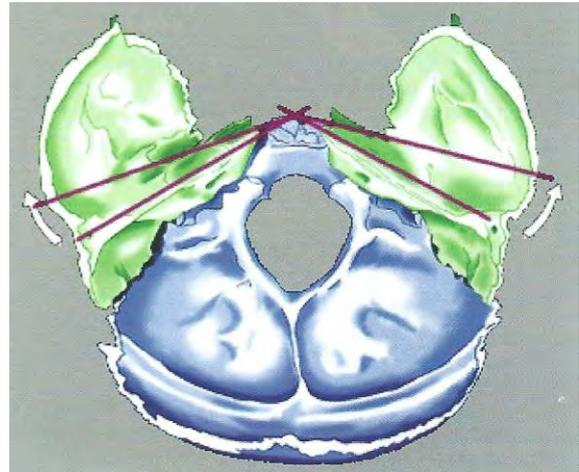
### I.1.2. Les théories d'évolution de la base du crane de Deshayes (7)

Après la naissance, l'os temporal continue sa morphogénèse pour préparer la future articulation temporo-mandibulaire dans sa position spatiale ainsi que dans son fonctionnement.

La rotation antéro-externe de l'os temporal ne peut être acquise que si le processus de flexion du complexe occipito-sphénoïdal est actif.



*Cinétique de la rotation de l'os Occipital et de l'os Sphénoïde (7)*



*Rotation antéro-externe de l'os Temporal(7)*

#### *Si la flexion basi-crânienne acquise à 3 ans est excessive*

La cavité glénoïde se retrouve trop avancée et le rapport rotation antéro-externe des temporaux est trop précoce. Ceci entraîne un hyper-fonctionnement de la mandibule en latéralité. Cette évolution va entretenir la dynamique crânienne et va prolonger la flexion au-delà de 6 ans. Cela conduit à une dérive de classe III osseuse.

*Si la flexion acquise est ralentie*

La cavité glénoïde se trouve en rétroposition par insuffisance de frontalisation pétreuse. Le rapport rotation antéro-externe temporal est très limité, il s'installe sur un axe privilégiant la rotation postérieure. Les latéralités seront très faibles car les cavités temporales ne sont pas construites suffisamment sous-squamosales. Cette dérive en classe II osseuse ainsi que la malocclusion favorisent le ralentissement de la dynamique crânienne.

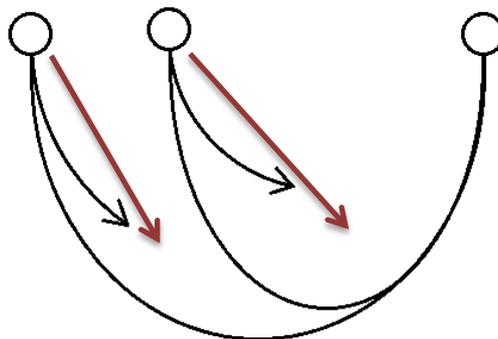
Ainsi, nous pouvons en conclure que la cinétique temporelle peut modifier considérablement la mastication.

### **I.1.3. La distance inter-condylienne**

La distance inter-condylienne est très peu étudiée dans la littérature, alors que tous les auteurs s'accordent à dire que cette donnée est essentielle aux mouvements mandibulaires.

Si nous trouvons, lors de la simulation mandibulaire, une distance inter-condylienne plus petite que la distance réelle, alors le rayon de courbure du condyle non travaillant autour du condyle travaillant sera réduit.

Si à l'inverse, la distance inter-condylienne du simulateur est plus importante que la distance réelle, le rayon de courbure sera augmenté.



*Trajectoire condylienne différente en fonction de la distance inter-condylienne*

Ainsi, lors de l'analyse de la cinématique mandibulaire, il est important d'évaluer la distance entre les deux condyles.

Un auteur en anthropologie (8) a réalisé une étude sur des crânes secs et a mesuré la distance inter articulaire entre les hommes et les femmes. (Tableau ci-dessous)

**TABLE 1**  
DESCRIPTIVE STATISTICAL PARAMETERS OF  
INTERCONDYLAR DISTANCE (mm)

Sex	Age	No.	X mm	SD	Min-Max
M	26-80	43	130,2	0,8094	116-145
F	20-80	58	123,5	0,5246	110-138
Total	20-80	101	126,3	0,7383	110-145

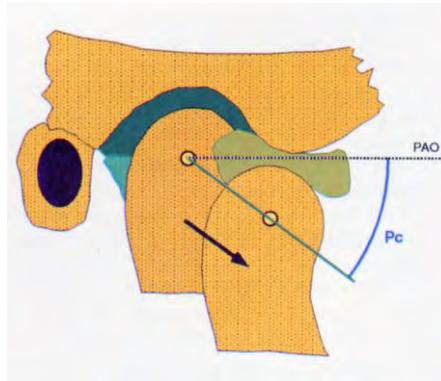
*La description statistique de la distance condylienne  
Sur un échantillon de 101 crânes secs (8)*

Cette étude décrit la différence existant entre les sexes, et relève des variations anatomiques possibles. Nous remarquons que les données sont plutôt bien réparties car l'écart type est faible.

Il est intéressant de voir que la distance inter-condylienne sur les articulateurs est fixe, ainsi nous notons déjà une première variation anatomique car le rayon de courbure de condyle sera différent, même dans l'hypothèse où nous nous trouvons en axe charnière réel.

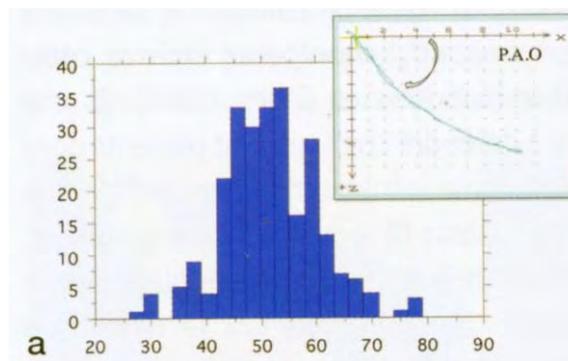
#### **I.1.4. La pente condylienne**

Lors des mouvements de propulsion de la mandibule, les condyles réalisent une translation sur les tubercules articulaires du temporal. Dans le plan sagittal, la pente condylienne correspond à l'angle formé entre le trajet condylien et le plan axio-orbitaire.



*La translation condylienne et la mise en évidence de la pente condylienne (Pc) par rapport au plan axio-orbitaire (PAO) (9)*

Dans une étude, Slavicek (10) a mesuré la pente condylienne sur un échantillon de patient. Il montre que la pente condylienne est en moyenne de  $50^\circ$  avec un écart-type de 8,6 ; ceci prouve l'étendu des valeurs. De plus, il ajoute que la pente condylienne peut s'étaler sur une plage de  $40^\circ$ . Ainsi, nous obtenons un déterminant très variable qui ne mérite pas la standardisation.



*La mesure de la pente condylienne, en abscisse : La valeur de la pente condylienne en degrés ; en ordonnée : Le nombre d'individu. (10)*

Lauret et Le Gall (11) estiment aussi que la pente condylienne varie entre  $20^\circ$  et  $70^\circ$

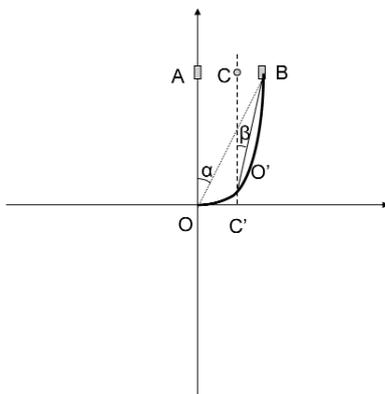
Salvador Planas (12) indique qu'il est important de connaître la pente condylienne des patients : elle est indispensable à une bonne reconstitution prothétique ; dans le cas contraire les mouvements de latéralité du condyle non travaillant seront non reproductibles entre l'articulateur et le patient. Ce déterminant est encore plus important en prothèse complète car nous cherchons à avoir un schéma occlusal généralement équilibré.

### I.1.5. L'angle de Bennett

Dans le plan transversal, la mandibule réalise des mouvements d'excursions latéraux appelés mouvements de diduction. Ainsi, le condyle du côté du mouvement latéral de la mandibule est appelé le condyle travaillant et le condyle controlatéral est nommé condyle non travaillant.

#### I.1.5.1. Le condyle non travaillant

Lors de mouvement de diduction, le condyle non travaillant va suivre deux étapes au cours de son trajet :



*Représentation de la trajectoire en latéralité du condyle non travaillant (13)*

OA: amplitude du mouvement en mm

OB: La trajectoire du condyle non travaillant sur le plan horizontal

OC': Mouvement de translation immédiat

$\beta$ : Angle sans le mouvement de translation immédiat

$\alpha$ : Angle de Bennett avec le mouvement de translation immédiat

#### Le mouvement transversal initial

C'est le déplacement qui se produit dans les premiers millimètres du mouvement. Il est dirigé vers l'intérieur et vers l'avant et sa longueur varie entre 0 et 3mm.

### *Le mouvement transversal progressif*

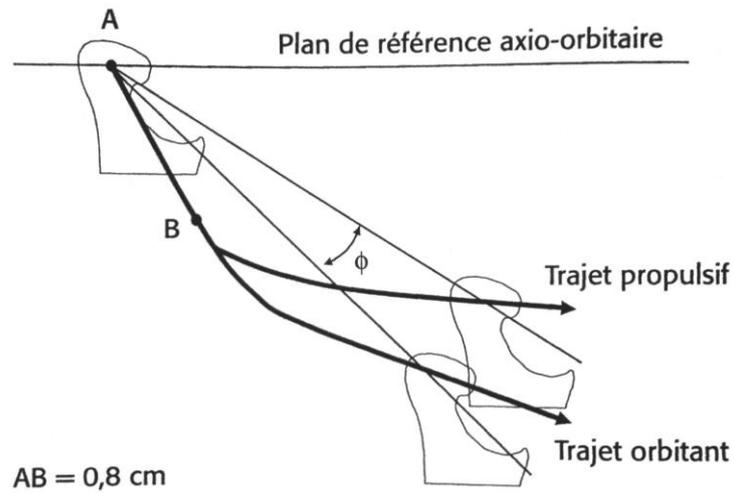
Il succède au mouvement initial : il est dirigé vers l'avant et légèrement à l'intérieur. Lundeen et Wirth (14) ont montré que les différentes trajectoires du mouvements progressifs sont parallèles pour tous les individus. Ils ont tous un angle proche de  $7^\circ$  avec l'axe médian (l'angle  $\beta$  sur le schéma). De fait, cette étude montre que seul le mouvement initial varie.

### *Les différentes Angulations du côté non travaillant*

Il existe deux angulations pour le condyle non travaillant :

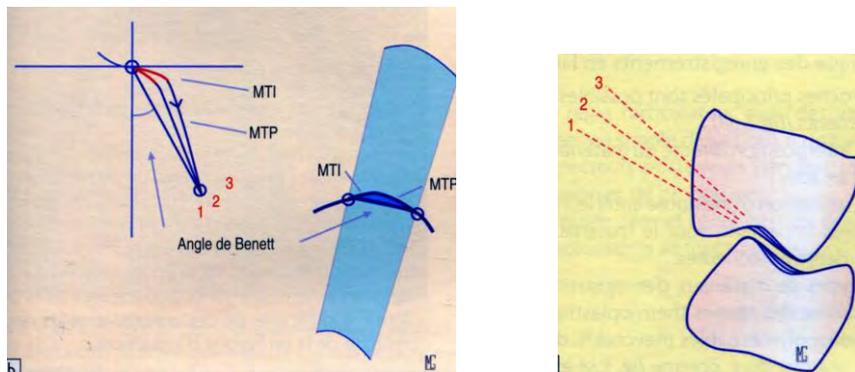
Dans le sens transversal, l'angle de Bennet, représenté par le segment passant par les deux points extrêmes du mouvement du condyle sur l'axe médian (l'angle  $\alpha$  sur le schéma). Lors de cette détermination, toutes les caractéristiques du mouvement de translation du condyle ne sont pas prises en compte. Une étude (13) montre que l'angle est en moyenne de  $12^\circ$  (écart type 5.6) pour le condyle droit et de  $10^\circ$  (écart type 4) pour un échantillon de 30 patients. Cette étude montre que la variabilité de cet angle a une importance pour les mouvements de diduction.

Dans le sens sagittal, l'angle de Fisher correspond à l'angle formé entre la position du condyle au départ, la position du condyle à la fin du mouvement de propulsion et la position du condyle à la fin du mouvement de latéralisation.(15)



*Angle de Fisher (15)*

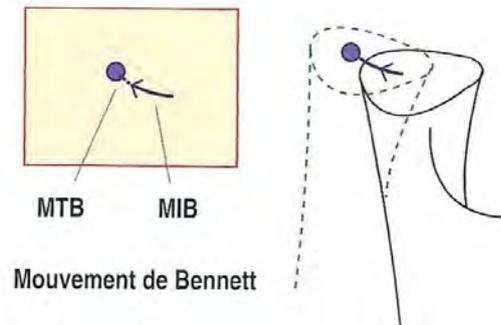
Il est important de prendre en compte, lors des reconstitutions, ces micros paramètres et de bien décrire le mouvement du condyle non travaillant. Il existe une interaction entre les déterminants postérieurs et les dents, des erreurs de guidage cuspidiens (interférences, prématurités) peuvent apparaître. (11)



*Influence de la trajectoire latérale du condyle non travaillant sur les guidages dentaires ; MTI : Mouvement Transversal Initial ; MTP : Mouvement Transversal Progressif (11)*

### 1.1.5.2. Le condyle travaillant

Le déplacement du condyle travaillant va être contenu dans une enveloppe géométrique tridimensionnelle appelée le cône de guichet.



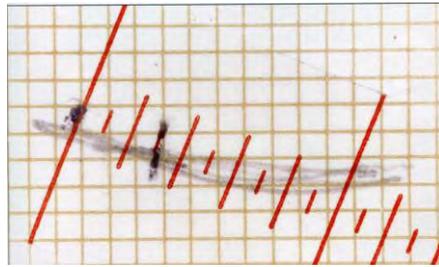
*Le mouvement de Bennett ; MIB : Mouvement Initial de Bennett ; MTB : Mouvement Terminal de Bennett (11)*

Le trajet du condyle est appelé mouvement de Bennett. Il a une direction latérale et postérieure mais jamais antérieure. Il se compose de deux phases de mouvement, une première qui a une composante latérale et externe appelée mouvement initial de Bennett et une rotation du condyle sur lui-même appelé mouvement terminal de Bennett (11).

### 1.1.6. Intérêt de la fonction sur l'évolution de l'ATM

Selon Henri Petit (6) l'articulation temporo-mandibulaire est en relation intime avec l'occlusion dentaire. C'est pourquoi, il parle de relation occluso-articulée et d'effet biunivoque entre les deux systèmes.

Avant l'apparition dentaire l'articulation est aplatie et massive. Ce n'est que lors de l'arrivée des incisives et de leurs relations avec l'articulation, que va se développer la pente condylienne. Des études montrent que le maximum de croissance sagittale de l'éminence articulaire se réalise avant trois ans et à la fin de l'apparition des dents lactéales, le tubercule atteindra 45% de sa valeur définitive. Puis, avec l'apparition des molaires définitives va se développer un modelage important des structures osseuses sur le plan frontal. (11)



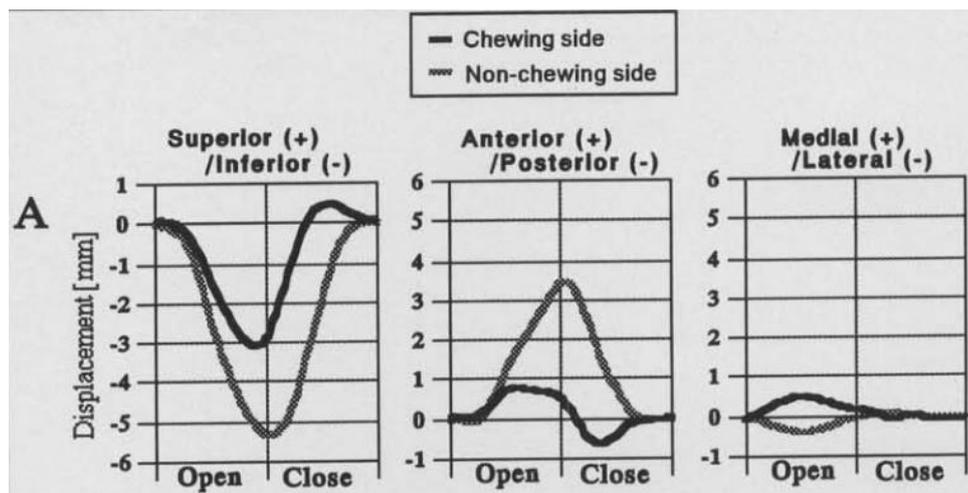
*Enregistrement axiographique de la propulsion chez un enfant de 4 ans. Nous constatons une éminence temporale très aplatie. (11)*

De ce fait, une occlusion aux mouvements excentriques normaux entraîne un fonctionnement et un développement physiologique des articulations. A l'inverse une occlusion verrouillée avec une supracclusion incisive entraîne une croissance ralentie des condyles avec une pente condylienne très marquée due au développement du tubercule articulaire.

Ainsi, il est indispensable de bien prendre en compte, lors de nos reconstitutions, la topographie unique des articulations de nos patients, car elles ont un développement particulier et une cinématique propre.

### I.1.7. Les mouvements des condyles mandibulaires

Une étude (16) décrit les mouvements condyliens lors de la mastication.



*Les mouvements condyliens lors de la mastication (16)*

Au début de la phase dentaire pendant la mastication (entrée de cycle) :

- Le condyle non mastiquant glisse sur le tubercule articulaire pour retourner dans la cavité glénoïde avec un mouvement légèrement mésialé d'avant en arrière.
- Le condyle mastiquant a une position postérieure et légèrement latérale. Il se dirige antérieurement et mésialement vers sa position centrée. Nous constatons en fin de fermeture, une position plus crâniale du condyle par rapport à la position centrée.

Lors de la fin de la phase dentaire pendant la mastication (sortie de cycle) :

- Le condyle non mastiquant réalise un mouvement de latéralité sur le tubercule articulaire avec un mouvement initial latéral et un mouvement progressif important en bas, en avant et en dehors.
- Le condyle mastiquant à un mouvement plus restreint il se dirige en bas, en avant en dehors.

Lauret et Le Gall (11) ont aussi décrit les mouvements condyliens et nous constatons une forte similitude entre les deux études. Elles s'accordent à démontrer un mouvement d'arrière en avant et de latéral en mésial du condyle mastiquant. De plus, ils observent bien une remontée du condyle côté mastiquant, ainsi, tous nos réglages occlusaux doivent prendre en compte ces paramètres

## **I.2. Les déterminants antérieurs**

Les déterminants antérieurs sont des déterminants sur lesquels nous pouvons intervenir. Ils correspondent aux caractéristiques morphologiques des arcades dentaires.

### **I.2.1. Le plan d'occlusion et les courbes physiologiques**

#### **I.2.1.1. Le plan d'occlusion**

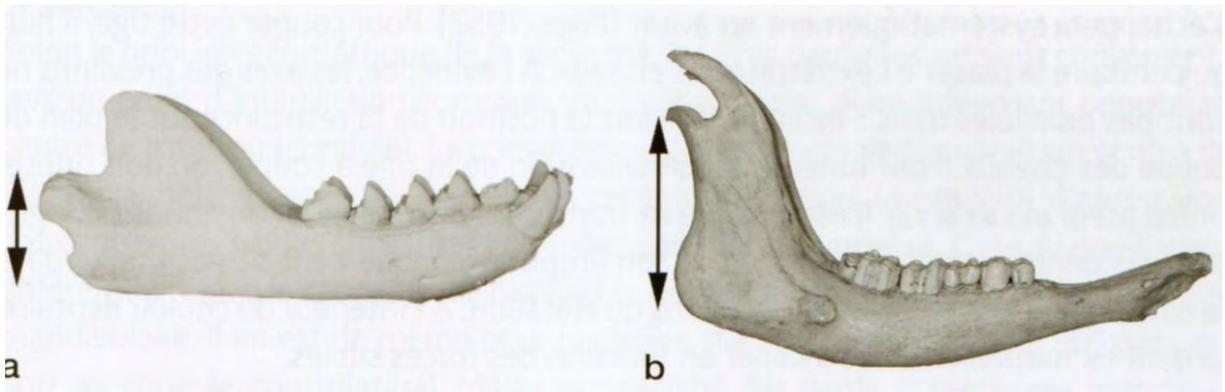
Il est difficile de concevoir un plan d'occlusion puisque le plan formé par les faces occlusales des dents décrit une ellipsoïde.

Le plan d'occlusion est une notion conceptuelle dont nous avons retenu plusieurs descriptions.

Nous retiendrons la définition du CNO qui précise que le plan d'occlusion est défini à la mandibule, les arcades en occlusion. Ce plan passe par deux points de références dentaires postérieurs et un antérieur. En prothèse les points sont les pointes des cuspidés disto-vestibulaires des secondes molaires et le bord libre des incisives.

#### **I.2.1.2. La courbe de spee**

Les études d'Orthlieb (17) montrent que la courbe de Spee évolue en fonction de la différence de hauteur entre le condyle et la courbe occlusale. Ainsi, les carnassiers, qui ont un condyle dans le prolongement du plan d'occlusion, ont une courbe occlusale plate. Cette organisation anatomique est due au fait que cet animal a des mouvements verticaux. Il remarque une différence notable avec les herbivores qui font fonctionner leur mandibule dans les trois sens de l'espace. Leurs condyles sont situés plus haut par rapport au plan d'occlusion et la courbe de Spee est présente.

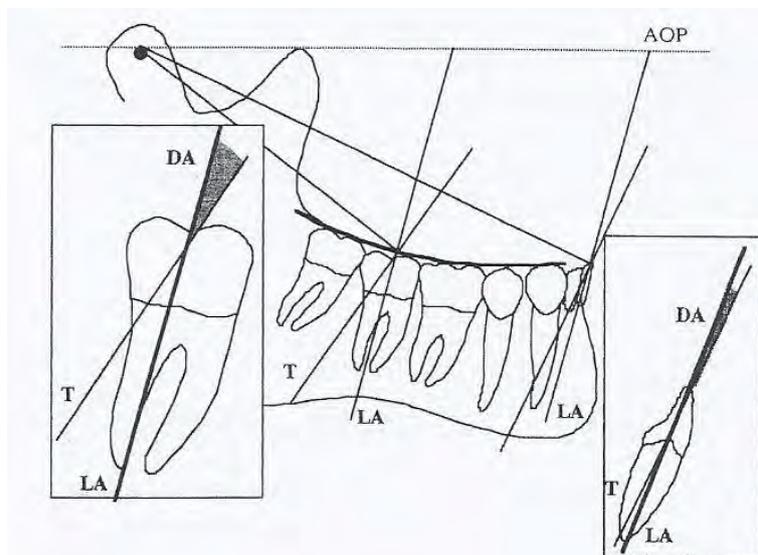


*Mandibule d'un carnassier (17)*

*Mandibule d'un herbivore*

De plus, il observe que la courbe de Spee apparaît lors de l'arrivée des molaires pour la denture adulte. On observe chez l'enfant une fonction masticatrice verticale et une courbe de Spee aplatie, due à un rapport réduit entre le condyle et le plan d'occlusion.

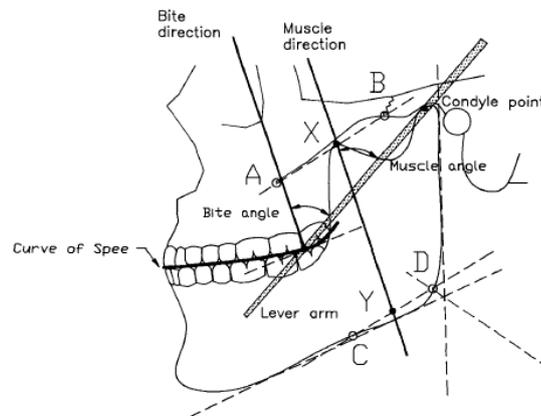
Orthlieb explique cette particularité avec la loi des tangentes qui précise que les directions des forces doivent être perpendiculaires au rayon du cercle formé par le centre de rotation du condyle. Ainsi, d'après cette loi, plus le condyle est haut plus la courbe de Spee est marquée.



*Application de la loi des tangentes pour la courbe de Spee. Présence d'une différence entre l'axe idéal défini par la loi et l'axe réel des dents. (17)*

De son étude, il confirme l'importante diversité des courbes de Spee due aux variations anatomiques de chaque individu. Il constate que la loi des tangentes est vérifiable pour les incisives inférieures mais dans le secteur prémolo-molaire l'axe des dents fait un angle plus ouvert avec la tangente du cercle formé par le condyle. Cette angulation est croissante d'antérieur en postérieur. L'auteur conclue que cette différence permet de préserver les points de contacts modifiés par l'usure dentaire.

Une autre étude anthropologique faite par Osborn (18) montre que l'axe musculaire du muscle superficiel du masséter et l'axe des forces occlusales sont définis comme étant perpendiculaires à la tangente de la courbe de Spee entre les deux dernières molaires. Il montre que chez tous les mammifères ces deux axes sont parallèles.

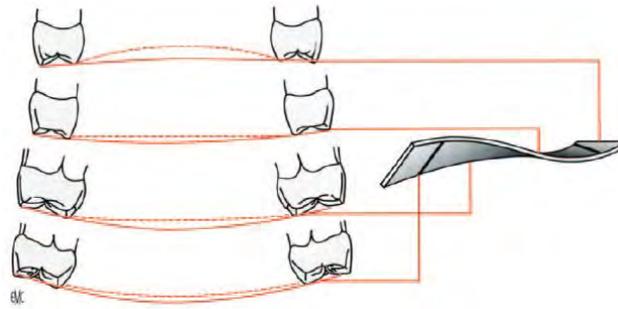


*Rapport entre l'axe du muscle masséter et la courbe d'occlusion (18)*

### 1.2.1.3. La courbe de Wilson

La courbe de Wilson est définie selon le CNO comme étant une courbe à concavité frontale généralement supérieure réunissant les sommets des cuspides vestibulaires et linguales des deux dents homologues mandibulaires.

Malgré cette définition il est impossible d'établir une seule courbe de Wilson. Ackermman décrit (19) une hélicoïde formée par l'union des cuspides vestibulaires et linguales mandibulaires. Ainsi, nous notons que la courbe de Wilson est bien plus accentuée postérieurement à la première molaire et la courbe a tendance à s'inverser vers l'avant.

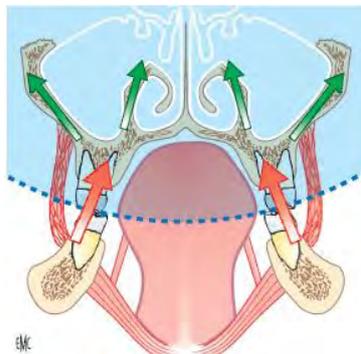


*L'association de la courbe dans le plan sagittal et des courbes dans le plan frontal répond au concept hélicoïde d'Ackermann (19)*

Pour Bezzina (20), la première molaire est une dent charnière de l'occlusion : elle fixe, avec l'éruption des incisives, la mandibule dans l'espace et commence à définir la mastication définitive de l'enfant.

Les courbes de Wilson servent avant tout à une harmonie dans les glissements entre les cuspides vestibulaires des dents mandibulaires et le versant interne des cuspides vestibulaires supérieures. De plus, ces courbes permettent d'éviter tout contact interférant dans les mouvements de diduction. Par sa concavité supérieure elle permet aussi de concentrer les forces masticatrices vers le centre de la face par des piliers de résistance (21).

Nous pouvons ajouter que cette organisation elliptique de l'occlusion permet probablement, lors des phases de mastication, un travail des dents dans leurs axes minimisant les forces trop transversales qui peuvent être nocives.

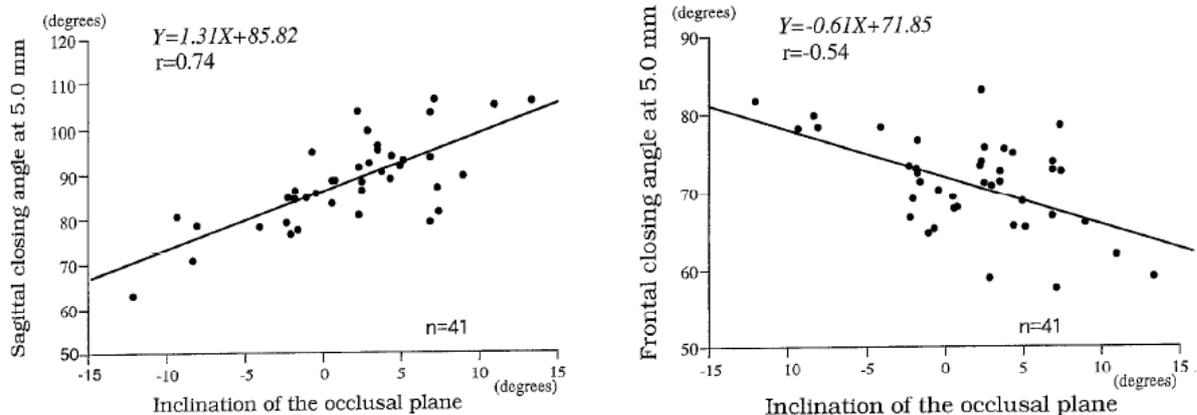


*L'inclinaison des dents permet la dispersion des forces vers le centre de la face (21)*

#### 1.2.1.4. L'influence du plan d'occlusion sur la mastication

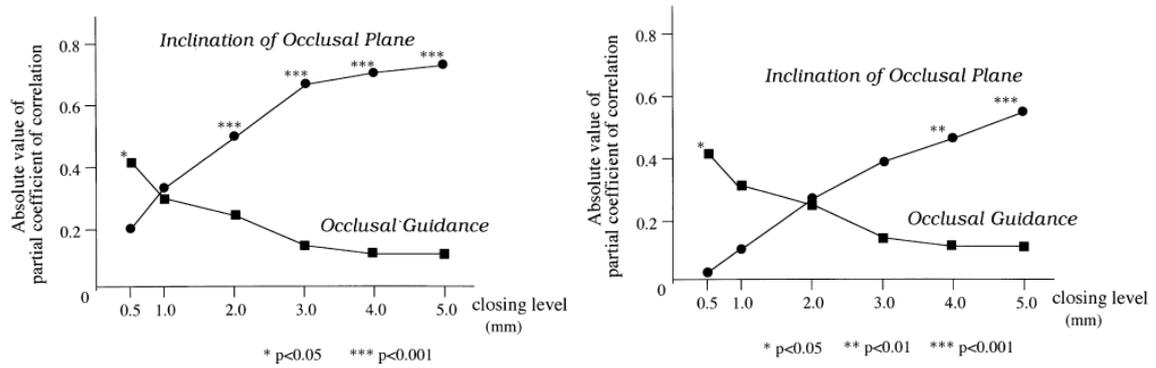
Plusieurs études montrent la forte interaction du plan d'occlusion sur la mastication. Dans son étude Ogawa (22) prend comme référence le plan d'occlusion défini comme étant le plan passant par le sommet de l'incisive centrale mandibulaire vers la cuspide disto-vestibulaire de la seconde molaire mandibulaire. De plus, il définit deux inclinaisons de ce plan par rapport au plan de Frankford : une inclinaison antérieure et une autre postérieure. Cette inclinaison du plan sera comparée avec l'angle de fermeture mandibulaire en frontal et en sagittal lors de la mastication.

L'auteur observe que plus le plan d'occlusion est incliné antérieurement, moins il existe de latéralité et l'angle de fermeture en frontal est davantage postérieur : ainsi nous trouvons une mastication verticale. A l'inverse, plus le plan est incliné en postérieur plus nous notons une mastication latéralisée et frontale.



*Relation entre l'inclinaison du plan d'occlusion et l'angle de fermeture de la mandibule dans le plan sagittal et le plan frontal (22)*

Dans une autre étude Ogawa (23) montre l'influence de l'orientation du plan d'occlusion et le guidage dentaire sur le schéma de mastication.



*Influence du plan d'occlusion et du guidage dentaire sur la fermeture de la mandibule dans le plan sagittal et le plan frontal (23)*

Cette étude montre la forte influence du plan d'occlusion par rapport au guidage dentaire pendant tout le cycle de mastication, mais lorsque les dents s'approchent de l'occlusion d'intercuspidation maximale (OIM) les guidages dentaires jouent un rôle important dans le guidage de la mandibule.

Ainsi ces études montrent que l'orientation du plan d'occlusion est importante à prendre en compte lors de réhabilitation puisqu'il peut changer un masticateur vertical en un masticateur horizontal.

## 1.2.2. Les guidages antérieurs et les angles cuspidiens.

### 1.2.2.1. Le guidage canin

Il existe une version moderne du rôle de la canine dans la mastication : le guidage canin correspond à un contact qui se situe uniquement sur les canines du côté non mastiquant durant une sortie de cycle (11). Ainsi, le pan distal de la canine inférieure glisse sur le pan mésial de la canine supérieure et ces deux canines guident le mouvement. Simultanément il se produit une désocclusion de toutes les autres dents du côté non-mastiquant. Pour assurer pleinement son rôle, la canine devra présenter deux caractéristiques : elle doit avoir un surplomb minimal pour permettre une désocclusion des autres dents dès le début du

mouvement, et aussi un recouvrement canin supérieur aux autres dents pour assurer sa fonction en évitant toute interférence.

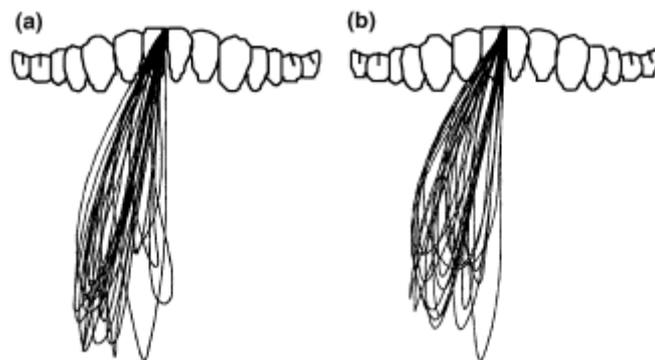
Cette fonction est appropriée pour un adulte jeune. En effet, l'usure de la canine au cours du temps implique que d'autres dents viennent accompagner le guidage de la canine : on passe de ce fait progressivement à une fonction de groupe.

Selon l'étude de Takei (24), l'angle de la pente canine doit être à peu près égal à l'angle de la pente condylienne.

Ogawa (25) a étudié l'impact de la modification de l'angle de la pente canine sur les cycles de mastication des individus. Il différencie deux groupes d'individus : les masticateurs verticaux et les masticateurs horizontaux qui ont une mastication plus latérale.

Les résultats de ces études démontrent :

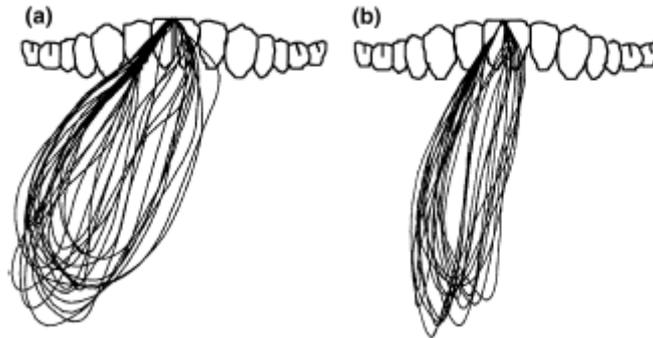
- Qu'après la modification de la pente canine, les personnes qui présentent une prédominance verticale de leur cycle de mastication, n'ont aucune modification significative dans leur cycle masticateur.



*Mastication d'un masticateur vertical avant la modification de la pente canine (a) et après la modification (b) (25)*

- A l'inverse, les personnes à prédominance latérale ont une transformation significative. L'angle de fermeture ainsi que les temps de mastication ont

augmenté. Cette altération a provoqué un ajustement des mouvements mais pas une restriction des mouvements.



*Mastication d'un masticateur horizontal avant la modification de la pente canine (a) et après la modification (b) (25)*

De cette étude nous pouvons conclure que le guidage dentaire joue un rôle dans les derniers instants de mouvements masticateurs, et a un rôle essentiel, notamment chez les masticateurs latéraux. De plus, du fait du ralentissement des cycles masticateurs pour les masticateurs horizontaux, nous pouvons penser que la modification de la pente canine entraîne un feedback vers le centre masticateur qui ajuste son mouvement.

Ainsi, il est indispensable de connaître le type de mastication que présente le patient car une pente canine erronée peut avoir des conséquences sur son type de mastication.

Pour Orthlieb (10), la compensation d'une différence entre la pente canine et le tubercule articulaire par une rotation du condyle lors des mouvements de diduction existe peu. Ainsi, une pente canine bien supérieure à la pente condylienne provoque une augmentation du mouvement de Bennett pour dégager le condyle latéralement, ce qui peut créer des troubles articulaires.

### **I.2.2.2. Le guide incisif**

Le guide incisif correspond au glissement des incisives inférieures sur la face palatine des incisives supérieures. Ce guide a deux rôles principaux :

- Mécanique : il guide la mandibule dans les mouvements de propulsion mais aussi d'incision. Il évite les interférences occlusales des secteurs postérieurs.
- Proprioceptif : les forces exercées sur les incisives ont une direction latérale. Le système proprioceptif permet d'adapter l'engagement musculaire donc l'intensité des forces. Ainsi, les dents antérieures peuvent être comparées à un palpeur proprioceptif.

Le guide incisif est déterminé par deux facteurs : le recouvrement et le surplomb. Ces deux paramètres détermineront l'efficacité du guidage.

Le recouvrement correspond à la distance entre les points de contacts des incisives mandibulaires avec les maxillaires, et la projection du bord libre des incisives maxillaires sur les incisives mandibulaires. Le recouvrement est en moyenne de 2mm.

Le surplomb est la distance entre les deux bords libres des incisives maxillaires et mandibulaires dans le sens sagittal.

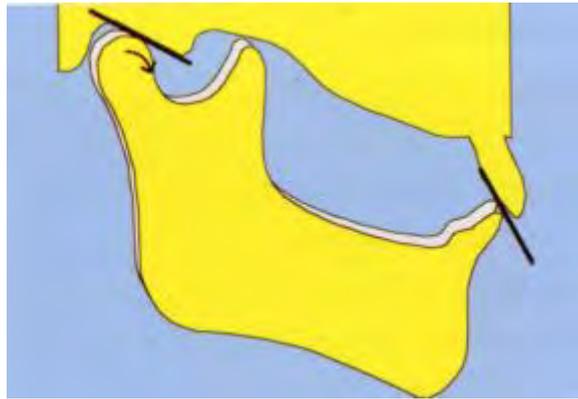
Selon Orthlieb (10) la pente de guidage des incisives est très variable, l'angle de cette pente est en moyenne de 60° par rapport au plan axio-orbitaire.

#### *Pente incisive et Pente condylienne*

La corrélation entre la pente condylienne et la pente incisive est très discutée par les chercheurs. Puisque le tubercule articulaire continue à se développer après la mise en place des incisives sur l'arcade, Gysi et Villain avaient envisagé la relation intime entre ces deux pentes.

Lundeen et Gibbs (26) ont affirmé que s'il n'y avait pas de preuve de la relation entre la pente condylienne et la pente incisive, celle-ci paraissait souhaitable.

Dawson montre que les deux guides sont dissociés car la rotation du condyle compense la différence de pente. Dans l'hypothèse où nous avons seulement une composante de translation du condyle, les pentes condyliennes et incisives devraient être équivalentes ; or, du fait de la rotation des condyles, ces pentes ne sont pas nécessairement égales.



*La relation entre la pente condylienne et la pente incisive(10)*

L'étude de Takei (24) montre une décroissance progressive des pentes de guidage des incisives supérieures vers la canine. Cette étude montre que l'incisive centrale supérieure a une pente qui est en moyenne supérieure à la pente condylienne de 10°. Ainsi, lors de reconstruction, nous devons respecter cette différence.

Dents maxillaires	Surfaces de guidage	
	Inclinaison (d°)	Distance (mm)
Incisive médiale	57,2 ± 9,7	3,4 ± 0,8
Incisive latérale	53,6 ± 10,5	3,1 ± 0,9
Canine	47,7 ± 8,1	3,6 ± 1,1
1 <sup>re</sup> prémolaire	30,7 ± 9,7	3,3 ± 0,4
2 <sup>e</sup> prémolaire	20,7 ± 9,7	3,2 ± 0,6
1 <sup>re</sup> molaire	12,0 ± 2,7	3,4 ± 0,8
2 <sup>e</sup> molaire	8,7 ± 9,7	2,7 ± 0,9

*Pente de guidage dégressive de l'incisive à la dernière molaire selon l'étude de Takei réalisée sur 5 146 Japonais (10)*

### **I.2.2.3. Le guidage antirétrusif (9)**

Le guidage anti-retrusif permet de guider la mandibule vers l'OIM et interdit les mouvements de rétro-position de la mandibule qui peuvent être délétères pour l'articulation. Ce guidage impose une légère antéposition de la mandibule de quelques dixièmes de millimètres en avant de l'occlusion en relation centrée.

Cette pente doit être supérieure à  $60^\circ$  et se trouve sur le versant mésial de la cuspide linguale de la première prémolaire maxillaire. Cette pente ne doit pas être négligée car elle permet une bonne stabilité spatiale de la mandibule en OIM.

Pour conclure, il est important de comprendre que les guidages dentaires permettent d'accompagner l'action musculaire pendant les mouvements mandibulaires. Ces guidages sont aussi des signaux proprioceptifs en direction du système nerveux central et du système musculaire pour moduler l'activité des muscles masticateurs.

### **I.2.3. La Dimension Verticale d'Occlusion (27)**

De nombreux auteurs affirment que le changement de Dimension Verticale d'Occlusion (DVO) peut entraîner des dysfonctions dans la mastication. Ainsi, un effondrement de la DVO peut entraîner des atrophies et des perforations du disque de l'articulation temporo-mandibulaire, des dysfonctionnements respiratoires, de déglutition, et de la fonction linguale, ainsi que des pertes de tension musculaire des muscles masticateurs. A l'inverse, une augmentation de la DVO au-delà de l'espace libre d'inocclusion peut engendrer des

mobilités dentaires, des intrusions, des résorptions osseuses, une fatigue musculaire et un bruxisme d'élimination.

Les preuves scientifiques restent relatives, en ce sens les études de Dahl et de Krgstad (28) montrent que les restaurations prothétiques faites avec une augmentation de la DVO ne se font qu'au détriment du système masticateur du patient, alors même que le patient présentait déjà des pathologies de type bruxisme.

Il est intéressant de constater que les gouttières occlusales chargées de corriger les pathologies musculaires ou articulaires, sont conçues en augmentant la DVO.

Woda (27) conclut que les différentes études montrent qu'il n'y a pas d'effet négatif lors d'une augmentation de la DVO dans les reconstitutions, puisqu'il se produit une adaptation. Ainsi, le changement de DVO n'interfère pas sur la mastication. Orthlieb (10) insiste bien sur le fait que l'augmentation de la DVO doit se faire en occlusion de relation centrée (ORC) pour respecter les structures articulaires.

#### **1.2.4. Les classes d'Angle**

Les rapports d'occlusion privilégiés sont représentés par des rapports d'occlusion en classe I d'Angle. C'est dans cette configuration que les guidages fonctionnels se réalisent avec la meilleure congruence de contacts entre les dents cuspidées. L'observation des situations en classe II et III d'Angle montrent des rapports moins bien coordonnés qui ne peuvent atteindre le même niveau d'harmonie et de canalisation des guidages obtenus en classe I (11).

En présence d'une classe II d'Angle, on trouve un guidage qui se réalise entre le pan mésial de la canine mandibulaire et le pan distal de canine maxillaire : cela entraîne un trajet rétrusif de la mandibule. Coffey (29) observe que pour les mouvements de classe I, les mouvements condyliens sont plus protrusifs et les tracés condyliens sont reproductibles, alors que les Classe II ont un mouvement rétrusif, et les tracés ne sont pas reproductibles, et présentent beaucoup d'irrégularités lors des mouvements de latéralité. Ainsi les classes II sont davantage sujettes aux dysfonctions cranio-mandibulaires.

Deshayes (7) insiste sur la nécessité d'observer le mouvement des jeunes enfants pour éviter de retrouver ces mouvements rétrusifs de classe II qui entretiennent une diminution de la croissance mandibulaire. Ces mouvements vont entraîner des compensations alvéolaires qui bloquent la cinématique mandibulaire et des compensations articulaires qui augmentent la pente condylienne.

La Classe III entraîne le plus souvent, selon Raymond (30) et Deshayes, un guidage de la mandibule plus protrusif qui accentue son développement. Raymond ajoute qu'il existe une bascule du plan d'occlusion en bas et en arrière, qui entraîne un effet propulsif de la mandibule. Ainsi, il préconise de réorienter le plan d'occlusion pour limiter la Classe III et permettre aux mouvements de latéralité de se faire en arrière du plan frontal défini par les incisives supérieures.

Lorsque la Classe III présente une inversion d'articulé, on constate que l'ensemble du cycle de mastication est perturbé, et que le cycle masticateur dessine une forme en huit avec une phase dentaire centrifuge, qui s'inverse à la sortie du cycle.

## **I.3. Le Système Nerveux Central (SNC)**

### **I.3.1. Les différentes théories sur la mastication (31)**

La première théorie sur la mastication considère que l'activité musculaire rythmique est due à l'activité du cortex cérébral en particulier du cortex moteur. Ces résultats résultent de l'observation de mouvements masticateurs après stimulation de zones motrices du cerveau chez des animaux et des hommes. Cependant on s'est rendu compte qu'après la lésion des centres moteurs, les animaux pouvaient toujours s'alimenter. Ainsi, les centres initiateurs des mouvements ne se trouvent pas dans le cortex.

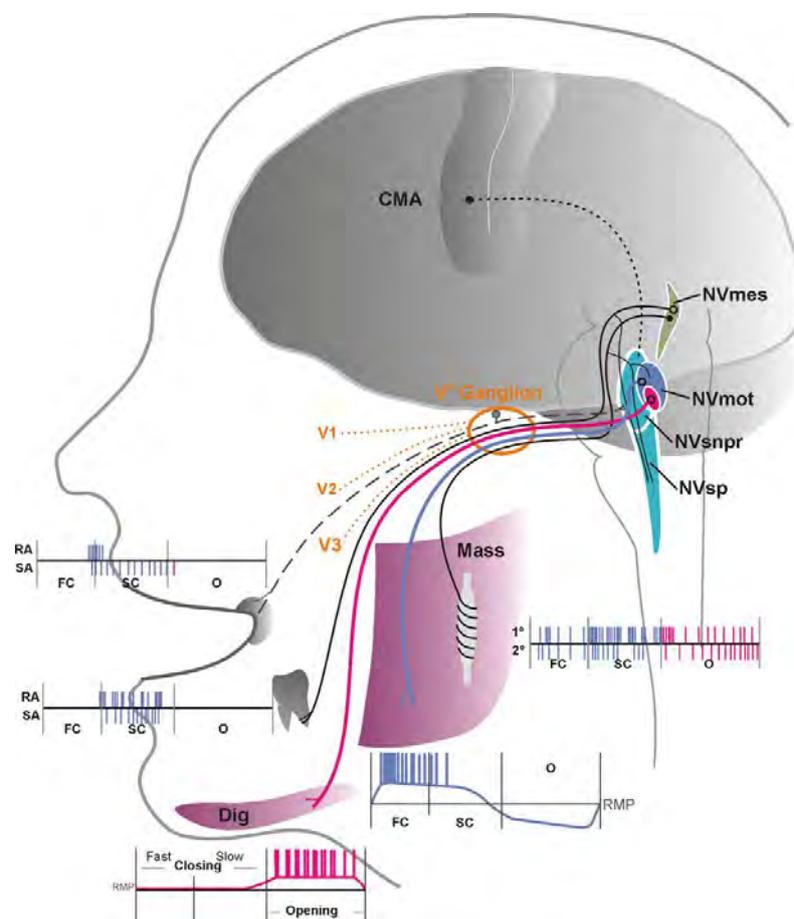
La deuxième théorie est fondée sur l'hypothèse de mouvements constitués par une succession de reflexes. Cette conception a été appliquée sur la motricité orale par Sherrington en 1917. Lors d'expérience sur des animaux après ouverture de la gueule on observe un phénomène de rebond central. Le réflexe d'étirement des muscles élévateurs entraîne une excitation de ces mêmes muscles. La fermeture va entraîner un réflexe par stimulation des récepteurs parodontaux qui inhibent les muscles élévateurs et activent les muscles abaisseurs. Ainsi nous avons une répétition sans fin d'ouverture et de fermeture. On peut objecter à cette théorie que les mouvements musculaires pendant la mastication sont progressifs et non pas brefs ; de plus, lors de la section des nerfs afférents il existe toujours des actions rythmiques présentes au niveau des noyaux moteurs du V.

La dernière théorie est une ancienne proposition de Bremer (32) devenue la théorie dominante. Elle repose sur l'existence d'un centre générateur d'activité rythmique au niveau bulbaire. Ce centre de la mastication reçoit des influx afférents provenant de la cavité buccale mais aussi des influx efférents issus du système nerveux central. Ils peuvent, tous deux, moduler le rythme de mastication.

### I.3.2. Le complexe trigéminal (33)

L'appareil stomatognathique est mis en mouvement grâce à des structures nerveuses qui forment le complexe trigéminal. Ce complexe, compliqué dans son organisation, permet une coordination de la fonction masticatrice ainsi qu'un contrôle précis des mouvements.

Il se compose de nerfs qui vont relier la cavité orale au tronc cérébral. Parmi ces nerfs, le plus important pendant la mastication, est le nerf trigéminal. Celui-ci se divise en deux parties : une partie motrice avec les axones des motoneurones des noyaux moteurs et une partie afférente avec le corps des neurones sensitifs présents dans le ganglion trigéminal.



*Organisation du complexe trigéminal (33)*

### I.3.2.1. Le tronc Cérébral

Le tronc cérébral présente plusieurs noyaux nerveux capables de contrôler le mouvement rythmique de la mandibule. Ces noyaux vont être l'origine réelle du nerf V3 et une partie du nerf V2.

#### *Les noyaux sensitifs*

De nombreux noyaux sensitifs sont présents dans le tronc cérébral. Ils reçoivent toutes les afférences des récepteurs sensoriels et informent le cortex du déroulement de la mastication. Ces noyaux communiquent aussi avec le cervelet et le noyau moteur. Cette communication est essentielle pour informer du déroulement de la mastication et ajuster l'action musculaire en fonction de la stimulation perçue.

#### *Le noyau moteur*

Ce noyau présente tous les motoneurones des muscles masticateurs à l'exception de la partie postérieure du muscle digastrique. Il recense aussi les motoneurones responsables de l'innervation motrice des faisceaux neuro-musculaires. Ce noyau est en relation avec tous les autres centres sensitifs du complexe trigéminal.

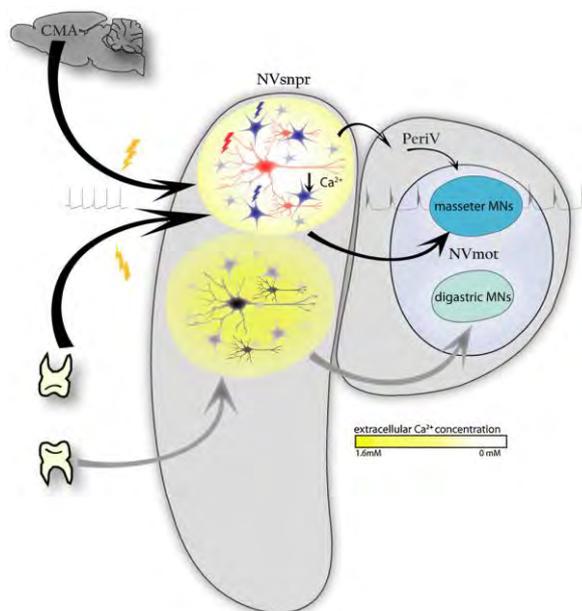
En périphérie nous observons une zone dans laquelle des interneurones sont en relations avec les structures péri-orales et des aires corticales de la mastication.

### I.3.2.2. Le centre générateur de la mastication (CPG)

Lors d'une expérience (34) les auteurs se sont aperçus que la rupture des nerf afférents et l'absence de cerveau ne supprimaient pas le rythme de mastication. Ils ont démontré qu'un centre générateur de rythme est présent dans le tronc cérébral.

Ainsi comme pour la respiration et la déglutition, il existe un centre nerveux capable de produire une action rythmique involontaire vers les muscles masticateurs. Ces neurones rythmiques se trouvent dans le noyau sensitif principal. Ils vont entraîner alternativement une inhibition des muscles élévateurs et une activation des muscles abaisseurs pendant l'ouverture, et inversement durant la fermeture (35). L'activité rythmique du CPG est influencée par les récepteurs périphériques et le cortex.

Un modèle d'organisation du CPG a été proposé par Graham Brown, il est composé de deux groupes de neurones parallèles inhibés chacun réciproquement. Cette alternance rythmique entraîne les mouvements de mastication. Ce modèle va être complété par Kriellaars (36) et Perret (37) qui décrivent deux parties dans la génération du rythme. La première partie est un contrôle de l'amplitude et de l'organisation de l'activation, la seconde partie génère un rythme intrinsèque des neurones rythmiques.



*Influence du cortex et des récepteurs périphériques sur l'activité rythmique du CPG ce qui augmente l'activité des noyaux moteurs de la mastication (33)*

### I.3.3. Le cortex

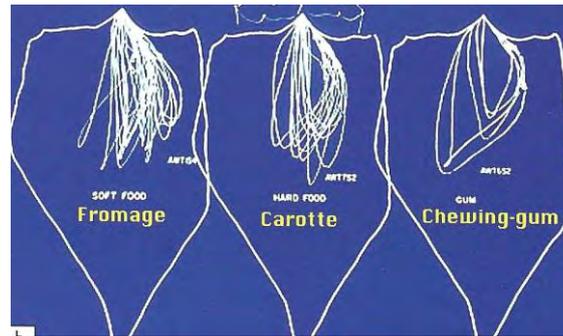
Le cortex cérébral a un rôle primordial dans la mastication et dans le rythme des cycles masticateurs. Le contrôle des muscles masticateurs est réalisé par beaucoup d'aires sous-corticales notamment les aires motrices (M1) et sensibles (S1) situées autour du sillon précentral. Toutes ces aires sont regroupées sous le terme d'aire masticatrice sous corticale. La stimulation de ces aires peut donner place à des mouvements orofaciaux, mais seule une stimulation répétitive peut entraîner des mouvements rythmiques de la mandibule.

Les aires de mastications vont se connecter aux motoneurons du nerf trigéminal de deux manières :

- Une directe vers les pré-motoneurons qui entourent le noyau moteur, elle permet un contrôle volontaire des muscles masticateurs et un contrôle fin des forces volontaires de serrement. (38)
- Une indirecte qui est la plus importante en nombre, qui va agir sur le tronc cérébral pour réguler l'activité du noyau moteur.

Lors d'une ablation des aires masticatrices sous corticales (39), ils constatent que les mouvements de mastication sont toujours présents mais ils ont du mal à être initiés. Le temps de mastication est aussi largement augmenté. Cette augmentation serait due en partie à une incapacité à coordonner la manipulation des aliments durant la mastication.

Houk (40) et Gottlieb (41) montrent qu'il existe une pré-programmation des mouvements mandibulaires dépendant de la résistance rencontrée dans les précédents fonctionnements masticateurs. Ils observent donc une mémorisation de différents types de mastication à adopter en fonction du type d'aliment. Ainsi, les mouvements masticateurs d'une carotte seront différents de ceux d'un chewing gum.



*Aspect des cycles de mastication en fonction des aliments selon Gibbs (26)*

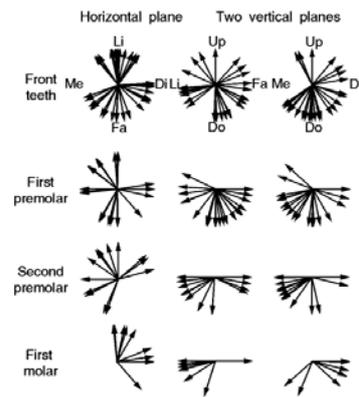
Les aires corticales assurent l'enchaînement ordonné des différentes phases de la mastication jusqu'à la déglutition. Elles reçoivent aussi les informations sensorielles venues avant ou pendant les mouvements. Le cortex ensuite anticipe ou corrige la cinématique mandibulaire.

#### **I.3.4. Les récepteurs périphériques**

Les récepteurs périphériques contrôlent les mouvements de mastication mais la plupart ont un rôle limité. Les plus présents sont les mécanorécepteurs parodontaux et les propriocepteurs intramusculaires.

##### **I.3.4.1. La répartition spatiale des récepteurs parodontaux (42)**

La répartition des récepteurs parodontaux a été étudiée sur les dents antérieures et postérieures mandibulaires pour déterminer leurs directions préférentielles.



*La direction préférentielle des récepteurs parodontaux pour chaque dent. (42)*

Tout d'abord le nombre de vecteurs directionnels décroît des dents antérieures vers les dents postérieures ce qui indique une diminution du nombre de récepteurs au niveau des molaires. Cette différence atteste d'une bonne innervation mécano-réceptive de dents antérieures utiles pour une préhension, une palpation fine et un morcellement des aliments.

Les récepteurs parodontaux au niveau molaire ont une préférence en direction disto-linguale et légèrement en direction apicale avec moins de récepteurs. En effet, les molaires servent à réduire le bol alimentaire avec de grandes forces de mastication. Lors des cycles finaux de mastication les molaires mandibulaires entrent en contact avec les molaires maxillaires en position distale et latérale pour aller vers l'inter-cuspidation maximale. Ce mouvement va entraîner des forces distales et linguales sur les première molaires mandibulaires ce qui correspond exactement aux mouvements molaires décrits par Gibbs (43), et Le Gall.

#### **I.3.4.2. Les réflexes du faisceau neuromusculaire (44)**

##### ➤ Réflexe après un étirement du muscle

En étirant le menton vers le bas, par un coup bref, nous notons un léger étirement des muscles élévateurs. Cet étirement entraîne une stimulation du faisceau neuro-musculaire par l'intermédiaire de la fibre nerveuse sensitive qui actionne le motoneurone  $\alpha$  des

muscles élévateurs. Cela permet la contraction du muscle pour répondre à cet étirement. De la même manière, on constate une inhibition des muscles abaisseurs.

➤ **Reflexe après introduction d'une charge**

Lorsque nous introduisons une charge entre les dents, les récepteurs parodontaux sont informés. Si la charge est nocive pour le système manducateur il s'en suit un réflexe d'inhibition qui stoppe l'action des muscles élévateurs et actionne les muscles abaisseurs.

➤ **Réflexe après élimination rapide de la charge**

Ce réflexe est étudié lorsque nous introduisons une charge entre les dents et que nous l'enlevons soudainement. Il s'en suit une diminution de l'électromyogramme du muscle masséter avec un temps de latence de 10ms et une activation du muscle digastrique.

### **I.3.4.3. Le fonctionnement des récepteurs périphériques durant la mastication**

Les récepteurs vont informer continuellement le système nerveux sur la direction de la force sur les dents et le contrôle spatial des mouvements mandibulaires.

Il existe une première phase durant la mastication qui implique les incisives lors de la préhension et le morcellement des aliments. Les récepteurs parodontaux vont permettre une discrimination des aliments.

Il existe ensuite une seconde phase de broiement qui concerne les dents postérieures. Durant cette phase, le retour d'information vers le système nerveux central est essentiel pour contrôler la fonction masticatrice. Puisque dans cette phase, les récepteurs parodontaux atteignent facilement leur seuil d'excitation, il existe un mécanisme permettant de diminuer le réflexe d'inhibition ce qui permet une forte activité musculaire.

Ainsi, pendant la mastication, le réflexe musculaire n'est actif que lorsque le sujet est conscient de la résistance (45).

La mémoire de la résistance de la nourriture pendant les cycles de mastication précédent est utilisée pour mieux coordonner l'action musculaire durant le broyage alimentaire (46). Les auteurs supposent que le réflexe neuro musculaire contrôle le temps de l'activité musculaire alors que les récepteurs parodontaux et le faisceau neuromusculaire contrôle l'intensité de la force.

## **I.4. Le système musculaire**

Les muscles masticateurs permettent la mobilisation de la mandibule pendant la mastication, dans l'objectif de broyer le bol alimentaire. En observant les mouvements nous nous apercevons que de nombreux muscles sont présents pour réaliser parfois le même mouvement. Ainsi nous avons besoin d'une bonne coordination neuro-musculaire pour organiser toute la dynamique manducatrice.

Il ne faut pas oublier que les muscles masticateurs n'agissent pas seuls mais avec la complicité de muscles linguaux et buccaux qui permettent de rassembler le bol alimentaire au niveau de la gouttière occlusale ; de plus, ils agissent aussi avec les muscles nucaux qui permettent de stabiliser la tête lors des mouvements, et enfin avec les muscles sous-hyoïdien qui stabilisent l'os hyoïde lors de la mastication

### **I.4.1. Les mouvements musculaires durant la mastication (11)**

#### **I.4.1.1. La phase préparatoire à distance des dents**

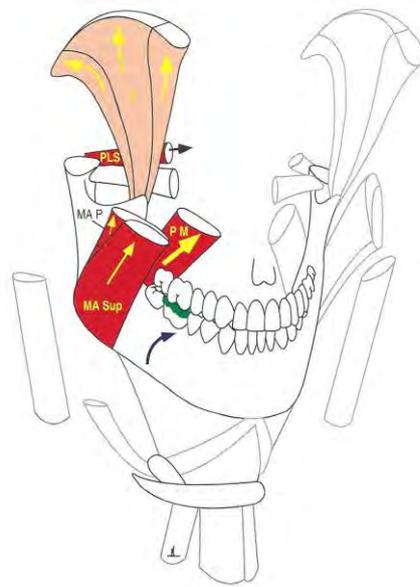
La première phase est un abaissement de la mandibule avec un léger dépassement du côté de la mastication en fin de parcours. Nous notons au début, l'activation des deux muscles digastriques et des deux muscles ptérygoïdiens latéraux. Les muscles géniohyoïdiens et mylohyoïdiens vont contribuer à la déportation de la mandibule latéralement avec l'appui des muscles digastriques. Durant toute la phase d'ouverture, les muscles sous-hyoïdiens et les muscles stylohyoïdiens se contractent pour stabiliser l'os hyoïde.

La seconde phase de remonté de la mandibule, nous constatons la contraction progressive du muscle ptérygoïdien médial opposé au côté mastiquant, qui entraîne une remontée latérale de la mandibule. Il est accompagné au cours de la remontée par tous les muscles

élevateurs du côté mastiquant. L'activité des chefs supérieurs des muscles ptérygoïdiens latéraux est importante car ils ont une contraction excentrique qui permet d'ajuster le positionnement du disque lors de la fermeture.

#### I.4.1.2. La phase dentaire

##### Entrée de cycle



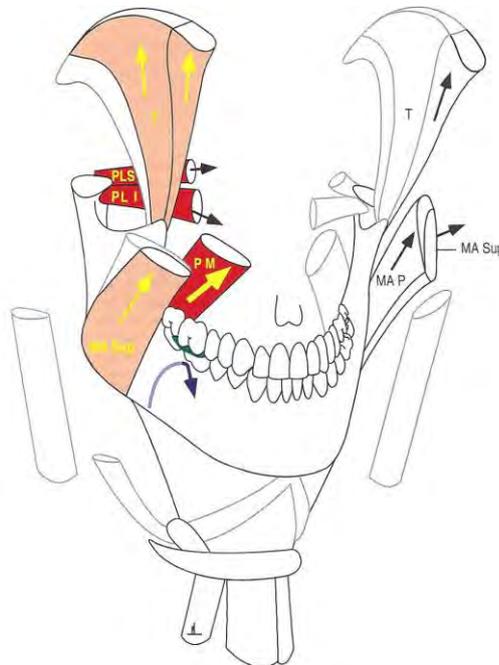
*Activité musculaire lors d'une entrée de cycle (11)*

La contraction du chef postérieur du temporal, du chef profond du masséter, du ptérygoïdien médial controlatéral et du ventre postérieur du digastrique induit une position postérieure et latérale en entrée de cycle. L'augmentation de l'activité musculaire des autres muscles élévateurs implique un glissement de la mandibule vers la position d'intercuspidation. La sangle ptérygo-masséterique permet le développement de force de mastication importante.

### La période silencieuse (47)

La période silencieuse se produit en intercuspitation maximale : on note un arrêt du point incisif mandibulaire et une augmentation des forces de mastication grâce aux muscles masticateurs. Cette période correspond à une cessation d'activité électromyographique des muscles élévateurs puis à une contraction importante de ces mêmes muscles. Nous avons tout de même une activité articulaire durant cette période.

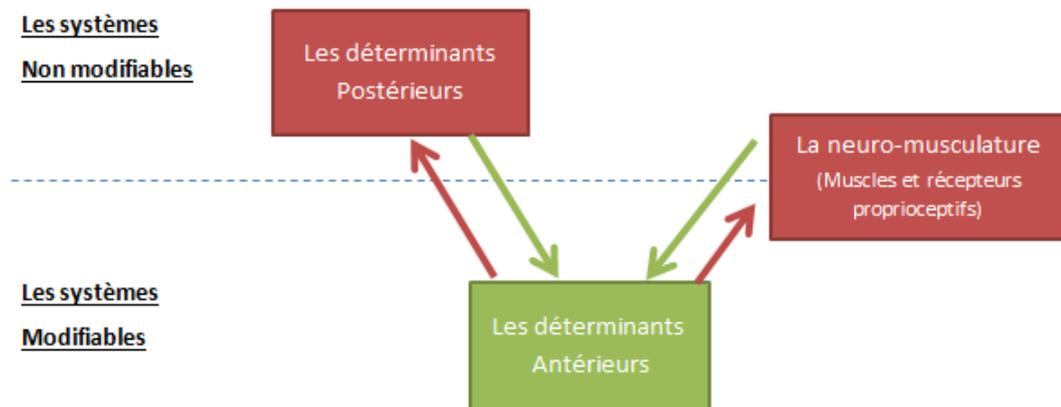
### La sortie de cycle



*Activités musculaires en sortie de cycle (11)*

A la sortie de cycle, nous constatons l'action du muscle ptérygoidien médial, du chef superficiel du masséter et du chef antérieur du temporal du côté masticant. Le ptérygoidien latéral du côté masticant entre aussi en jeu et contrôle le disque par son chef supérieur. Du côté non masticant nous soulignons l'action du muscle masséter et du chef antérieur du temporal qui contribuent à conduire la mandibule en avant et en médial.

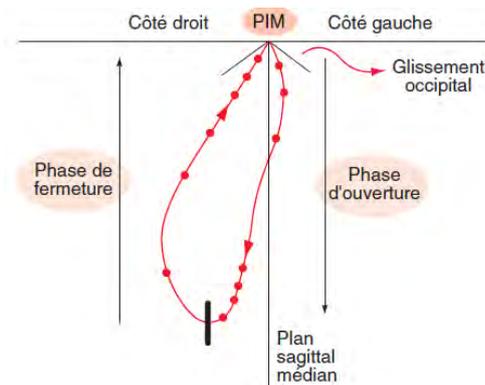
Pour conclure nous pouvons dire que s'il existe une corrélation entre les déterminants antérieurs et postérieurs, il existe aussi une corrélation entre les déterminants antérieurs et les récepteurs proprioceptifs. L'ensemble des critères des déterminants modifiables, sont perçus par le système proprioceptif et transformés en réponse musculaire. Cela s'exprime par un reflex neuro-musculaire destiné à protéger les structures dentaires et articulaires.



*Il existe des déterminants modifiables antérieurs et non modifiable, les déterminants postérieurs. Associé à ces déterminants, le système neuro-musculaire est partie prenante. Le remodelage est la conséquence de la relation à long terme entre les déterminants antérieurs et postérieurs. La neuro-musculature s'adapte instantanément aux signaux émis par les deux précédents protagonistes de l'occlusion. Il existe donc une multi-relation tripartite des trois systèmes évoqués.*

## I.5. Le cycle de mastication

La fonction masticatrice est assurée par une succession de mouvements mandibulaires rythmiques d'ouverture et de fermeture très complexes. Chaque fois que la mandibule revient à sa position initiale et qu'elle a effectué une trajectoire d'ouverture et de fermeture on parle de cycle de mastication.



*Cycle de mastication selon Ahlgren (48)*

Dans le plan frontal, le cycle masticateur a une forme en goutte d'eau décalée latéralement. Lors d'un cycle normal, le point inter incisif commence par s'abaisser et s'écarter du côté non mastiquant avec une direction postérieure dans le plan sagittal. Puis, il croise la ligne médiane et se dirige vers le côté mastiquant. A partir d'une certaine hauteur, la mandibule remonte du côté mastiquant. Son trajet est de forme parabolique dans le plan frontal, nous observons une première partie avec une direction latérale et une deuxième partie à direction médiale. Dans le plan sagittal la mandibule a une direction antérieure. Lors de son chemin de fermeture, les dents mandibulaires du côté mastiquant vont amener le bol alimentaire contre les dents maxillaires. Lors des derniers millimètres du cycle nous remarquons un contact entre les cuspides des dents, puis un guidage qui va ramener la mandibule vers la position d'intercuspidation maximale. C'est durant cette phase dentaire que nous rencontrons les forces de mastication les plus importantes, nécessaires au broyage alimentaire.

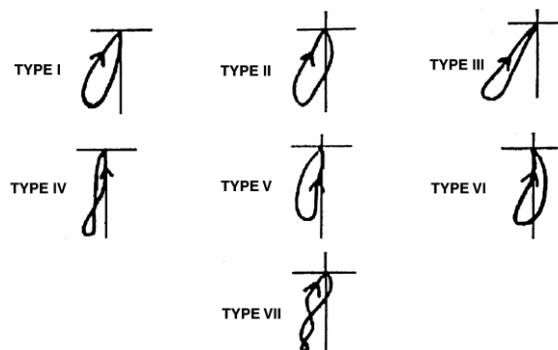
Ces cycles se réaliseront de façon alternée à droite et à gauche. On parle de mastication bilatérale alternée. Posselt (47) montre que 80% des patients examinés avaient une mastication bi latérale alternée, 12% avaient une mastication unilatérale et 8% des patients avaient une mastication bilatérale avec le bol alimentaire écrasé à la fois à gauche et à droite.

Dans son cours de DU, le docteur Darthez insiste sur le fait que nous sommes des individus latéralisés : en ce sens nous avons tous un côté préférentiel qui travaille plus que l'autre. Ce côté préférentiel est mis en évidence lors de l'introduction d'un aliment dans la bouche : il est tout de suite transporté par la langue vers le côté préférentiel.

### I.5.1. La classification des cycles de mastication

#### I.5.1.1. Classification de Ahlgren (49)

Ahlgren a utilisé un cinématographe pour analyser les mouvements mandibulaires dans le plan frontal et sagittal sur trente-cinq enfants. Il en déduit sept types de cycle de mastication.



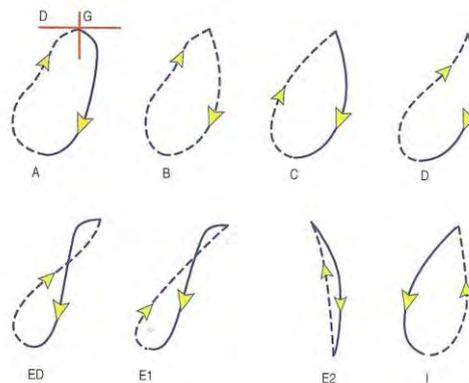
*Classification d'Ahlgren (49)*

Les types I, II et III sont des cycles normaux de mastication avec une occlusion normale. Tous les autres cycles résultent d'une malocclusion, le type IV est un mouvement vertical

inversé, le type V est un cycle inversé, le type VI est un cycle controlatéral et le type VII est un cycle très irrégulier.

Des auteurs ont évalué la fréquence des différents types de cycle dans un échantillon de soixante-trois adultes. Ils constatent que 84% des sujets présentent un cycle normal de type I, II, III ou IV. Le type II est tout de même prédominant. Les cycles de type V à VII sont plutôt rares.

### 1.5.1.2. Classification de Poschel



*Classification de Poschel(11)*

Le type A est un cycle normal décrit par Lauret et le Gall. Il représente 50% des individus.

Le type B, C et D sont des cycles plutôt verticaux, ils sont associés à un défaut de guidage selon Lauret.

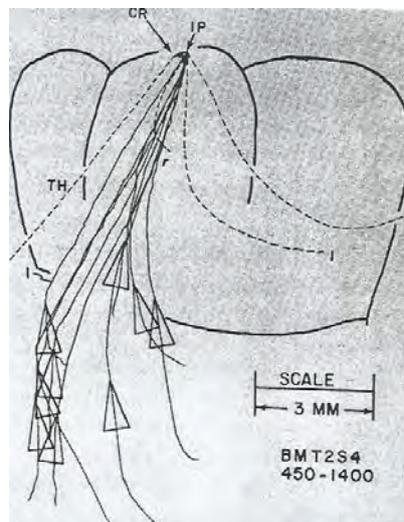
Le cycle ED et E1 sont des cycles en 8 associés à une des occlusions croisées latérales.

Les cycles E2 et I sont liés à une anomalie occlusale. Selon Lauret le cycle E2 serait associé à une anomalie articulaire ou à une perturbation du guidage dentaire alors que le cycle I serait dû à un sous guidage du côté mastiquant et un sur guidage du côté non mastiquant.

### I.5.2. Les cycles de mastication de Gibbs (26)

Gibb et Lundeen ont pour la première fois étudié les cycles de mastication avec un outil informatique, le Replicator. Ils se sont particulièrement intéressés au rapport dentaire durant les cycles de mastication.

Les auteurs montrent que lors de la mastication, nous observons une similitude des mouvements en fin de parcours. Ces mouvements coïncident avec les limites des trajets latéraux du côté travaillant dans le plan sagittal et frontal.



*Déplacement de la molaire mandibulaire dans le plan sagittal (43)*

Ils constatent sur les premières molaires deux types de trajets différents entre le côté mastiquant et non mastiquant. Les mouvements de fermeture du côté mastiquant se présentent en arrière et en latéral et réalisent une trajectoire en avant et en médial en fin de parcours. Du côté non mastiquant la fermeture débute en avant et en médial et a un mouvement en arrière et en latéral.

Ainsi, du côté mastiquant nous notons un guidage dentaire de 1,3mm qui se produit lors de la fermeture vers l'intercuspidation, puis nous soulignons un guidage de 0,9mm lors de l'ouverture sur la cuspide d'appui.

De plus, les auteurs remarquent que lorsque la nourriture est dure les mouvements latéraux du côté travaillant sont plus importants mais ils décroissent lorsque le bol alimentaire est plus mou.

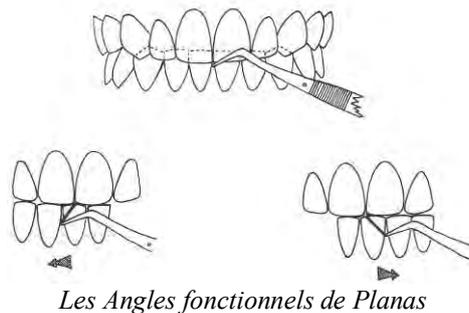
Lors d'une malocclusion, le système neuro-musculaire exerce un contrôle fin pour éviter les interférences occlusales. Ainsi, pour éviter les perturbations de ce système nous devons contrôler et harmoniser les guidages dentaires lors de la phase dento-dentaire de la mastication.

## I.6. La Réhabilitation neuro-occlusale (RNO)

La réhabilitation neuro-occlusale de planas est fondée sur le principe de Claude Bernard : « la fonction crée l'organe et l'organe s'adapte à la fonction ». Ainsi, l'origine de la fonction provient d'un stimulus physiologique qui produira une fonction manducatrice physiologique alors qu'un stimulus pathologique induira une réponse pathologique sur la croissance et sur l'ensemble de l'appareil stomatognathique.

La RNO se base sur plusieurs théories décrites par Planas pour mieux analyser la fonction et les conséquences d'un déséquilibre.

### I.6.1. Les Angles Fonctionnels Masticateur de Planas (AFMP)



Les angles fonctionnels de Planas sont en corrélation avec la hauteur minimale de Planas qui dit que la mandibule recherche en intercuspidation et en mouvement d'excursion une hauteur minimale de dimension verticale.

Ainsi, en partant de l'occlusion fonctionnelle vers des positions latérales nous trouverons toujours une augmentation de la dimension verticale. Lorsqu'il n'existe pas de différence de dimension verticale entre les mouvements latéraux droit et gauche, nous pouvons affirmer avec certitude que le patient a une mastication bilatérale alternée. A l'inverse si nous trouvons une différence, la mastication se fera forcément du côté où la dimension verticale est la plus faible.

## **I.6.2. Les lois de développement de Planas**

Les individus ont un développement influencé par le génotype. Il confère une croissance programmée et invariable. Vient s'ajouter la croissance guidée par les stimuli paratypiques du milieu ambiant et de la fonction. C'est sur ces informations que nous intervenons.

### **I.6.2.1. Dans le sens postéro-antérieur et transversal**

La stimulation de la croissance mandibulaire débute à la naissance au niveau de l'articulation temporo-mandibulaire. Le nourrisson réalise des mouvements de succion qui stimulent la croissance.

Dans l'hypothèse d'une mastication unilatérale nous notons :

- du côté balançant une stimulation du condyle et un allongement de l'hémi-mandibule homolatérale. Les dents mandibulaires ont tendance à se mésialiser et se verser en direction des sites d'extractions.
- du côté non balançant donc mastiquant, nous observons, grâce au frottement occlusal, un épaissement de la mandibule et une expansion transversale ainsi qu'un développement transversal de l'hémi-maxillaire en regard. Les dents mandibulaires du côté travaillant restent dans leurs axes de fonctionnement et se mésialisent avec un axe vertical vers des sites d'extractions.

### **I.6.2.2. Croissance verticale des procès alvéolaires**

Planas définit le squelette osseux manducateur en plusieurs parties définies par le tronc nerveux, capable de recevoir les stimuli nécessaires au développement. Nous notons :

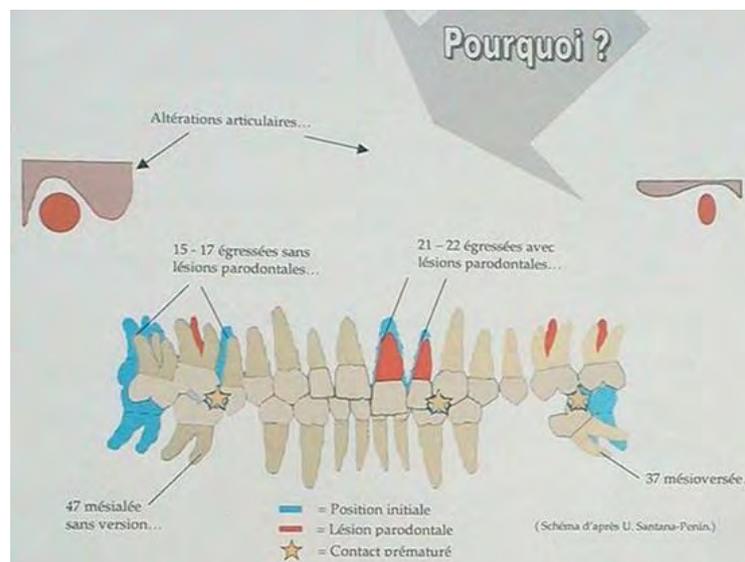
- A la mandibule, deux voies d'afférences droite et gauche
- Au maxillaire, de chaque côté une voie pour le secteur incisif, une pour les prémolaires et une pour les molaires

Lors de la mastication, si une dent dans un des secteurs est excitée les stimuli se disperseront à l'ensemble du tronc nerveux et s'exprimeront en potentiel de croissance.

### 1.6.2.3. Mise en place du plan d'occlusion

Au niveau du système stomatognathique nous notons un circuit de développement qui débute au niveau des ATM par les mouvements latéraux puis la mandibule frotte les maxillaires ce qui entraîne une réponse biologique.

Ce phénomène induit donc, du côté mastiquant un enfoncement infinitésimal du maxillaire, qui entraîne une bascule postérieure du plan d'occlusion du côté mastiquant. Simultanément, la mandibule du côté non mastiquant est guidée en bas et en avant. Ainsi le contact occlusal se perd légèrement, permettant aux dents maxillaires de réagir et d'égresser. Nous observons donc une bascule antérieure du plan d'occlusion du côté non mastiquant.

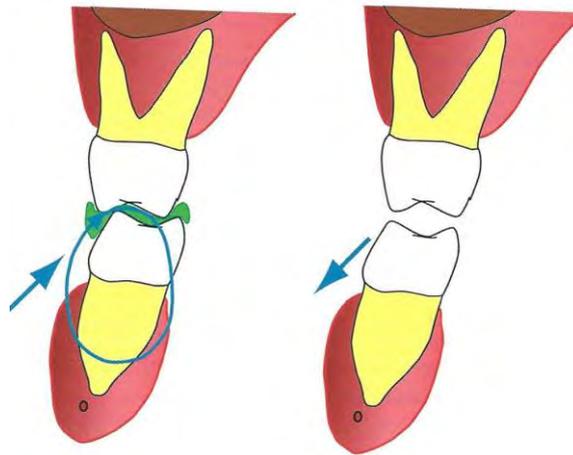


*Les conséquences des lois de planas sur le plan d'occlusion d'après U. Santana-Peni*

## I.7. La fonction occlusale (11)

### I.7.1. Les Mouvements fonctionnels

Les auteurs introduisent une notion importante pour le réglage prothétique qui se réalise par la fonction masticatrice. Ainsi lors de l'ajustage occlusal nous demandons habituellement au patient de réaliser des latéralités volontaires. Ces latéralités sont des mouvements centrifuges en dehors de la fonction de mastication.



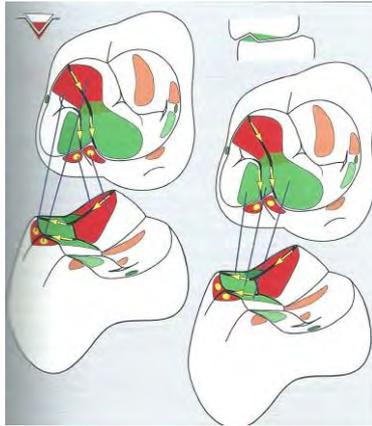
*Mouvement de mastication (à gauche), mouvement de latéroclusion (à droite) (11)*

Cet enregistrement induit une erreur d'interprétation puisque lors de la fonction de mastication nous effectuons des mouvements centripètes qui impliquent une activité musculaire différente et donc les guidages sont différents.

De plus et surtout, la simulation de la mastication entraîne une activité du chef supérieur du muscle ptérygoïdien latéral du masséter et du temporal du côté mastiquant. Cette contraction va permettre d'étirer le disque articulaire et entraîner une légère remontée du condyle travaillant dans la fosse. La mandibule remonte légèrement en arrière ce qui permet d'observer des contacts sur les dents cuspidés. Ces contacts existent en entrée de cycle et non en mouvement centrifuge de latéralité.

### I.7.2. Mise place de l'occlusion

Chez les jeunes patients en denture temporaire, les cycles de mastication sont généralement désorganisés. L'établissement progressif de la denture permanente commence par la mise en occlusion des premières molaires maxillaires et mandibulaires. Cette occlusion molaire est le pilier de l'occlusion : elle permet un calage stable et assure une fonction masticatrice qui mure vers un schéma de mastication adulte.



*Anatomie occlusale des premières molaires mandibulaires et maxillaires (11)*

L'observation cinétique des cycles permet de comprendre certaines caractéristiques de l'anatomie occlusale des molaires :

- La version mésiale de la première molaire maxillaire met la cuspide disto-vestibulaire dans une position basse ce qui permet un contact précoce en entrée de cycle



*Position basse de la cuspide disto-vestibulaire de la première molaire maxillaire (11)*

- La cuspide disto-vestibulaire a une section triangulaire avec un pan mésial et distal : cette cuspide agit comme un rail de guidage pour la première molaire mandibulaire.
- Le pont d'émail de la première molaire maxillaire, après le passage de l'OIM, se poursuit sur la cuspide mésio-palatine qui forme aussi un rail pour la molaire inférieure.
- La première molaire mandibulaire présente une troisième cuspide en distal de la cuspide centro-vestibulaire. Entre ces deux cuspidés nous notons un sillon en forme de V qui guide la molaire mandibulaire pendant la mastication.

Nous devons garder à l'esprit que ces contacts ont aussi une fonction de signal proprioceptif que nous avons évoqué plus haut.

Les canines qui ont une éruption tardives et les autres dents vont s'intégrer progressivement au schéma occlusal défini par ce couple molaire. Les canines n'ont donc pas de rôle dans l'établissement du schéma occlusal de l'adulte.

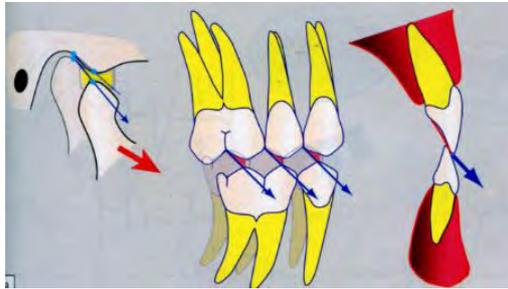
Cette idée vient encore contredire les concepts de l'occlusion enseignés précédemment dont la canine et la « fonction canine » occupait un rôle prépondérant.

Un paléanthologue (50) montre que la position de la canine est toujours contrainte par la mastication, non pas l'inverse : elle ne guide donc pas la mastication.

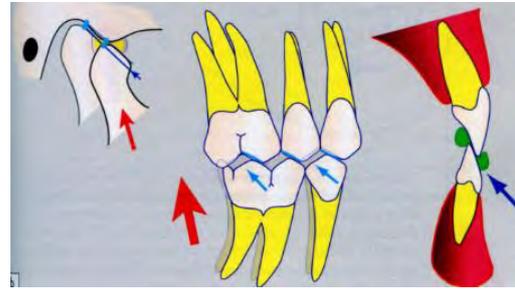
### **I.7.3. L'Incision**

Le mouvement d'incision est réalisé au début de la mastication pour couper les aliments. Il correspond à un mouvement des incisives allant du bout à bout incisif vers l'intercuspitation grâce à la contraction synchrone des muscles élévateurs ainsi que les chefs supérieurs des muscles ptérygoidien latéraux. Ce mouvement est sensiblement

différent du mouvement de propulsion qui présente des guidages dentaires moins intenses et différents du fait que le mouvement correspond à un autre groupe musculaire.



*Mouvement de propulsion (11)*



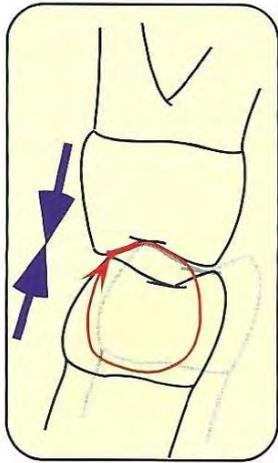
*Mouvement d'incision*

#### **I.7.4. Le cycle occlusal**

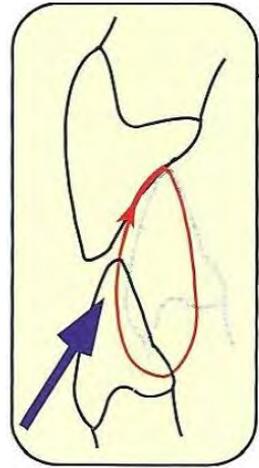
##### **I.7.4.1. Entrée de cycle**

En entrée de cycle, le versant vestibulaire du sillon entre la cuspide disto-vestibulaire et la cuspide centro-vestibulaire de la molaire mandibulaire vient se placer sur la crête de la cuspide disto-vestibulaire de la molaire maxillaire. Un deuxième guidage est présent entre la crête de la cuspide disto-vestibulaire de la molaire mandibulaire et le versant palatin du sillon entre la cuspide mésio-palatine et disto-palatine. Le mouvement se dirige vers l'avant et en dedans pour atteindre l'OIM.

Les autres dents du côté mastiquant accompagnent le guidage du couple molaires avec des plans de guidage dirigés vers l'avant et en dedans. La canine n'a aussi aucun rôle de guidage. Les dents du côté non mastiquant n'ont aucun guidage.



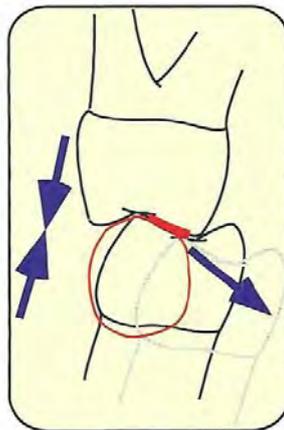
*Guidage molaire du côté mastiquant  
(11)*



*Guidage canin en fin d'entrée de Cycle*

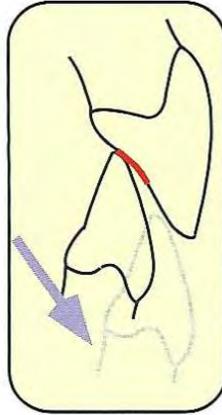
#### 1.7.4.2. Sortie de cycle

Lors de la sortie de cycle, un guidage est présent entre les cuspides d'appui maxillaire et mandibulaire. Le versant interne de la cuspide mésio-palatine de la molaire maxillaire sert de rail pour la molaire mandibulaire. C'est durant cette phase dentaire que se produit le broiement des aliments.



*Guidage molaire du côté mastiquant en sortie de cycle.*

Du côté non mastiquant s'établit un contact canin. Ce contact va permettre de guider la mandibule et éviter les interférences des dents cuspidées du côté non travaillant. De plus, cet appui canin va servir de point d'appui pour un levier de deuxième genre formé avec les muscles masticateurs du côté travaillant. Ainsi, ce levier va optimiser la trituration du bol alimentaire.



*Guidage canin du côté non mastiquant en sortie de cycle*

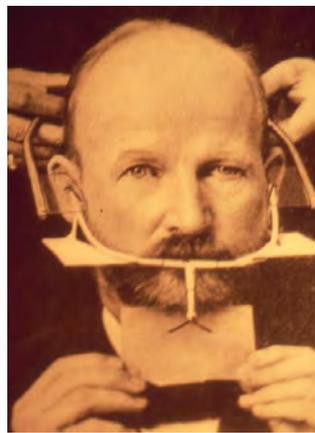
## II. Les enregistrements de la dynamique mandibulaire

---

L'odontologie n'a cessé d'étudier la cinématique mandibulaire pour permettre la construction de restaurations prothétiques efficaces. La difficulté a été tout d'abord, de trouver, pour des édentés complets, des références prothétiques utilisables. Ainsi les recherches se sont intéressées à l'enregistrement cinématique des condyles et la relation avec l'articulé dentaire.

Les premières méthodes d'enregistrement furent la photographie de la cinématique mandibulaire, ainsi que la cinématographie. Ces techniques ont été complétées par des enregistrements mécaniques. (51)

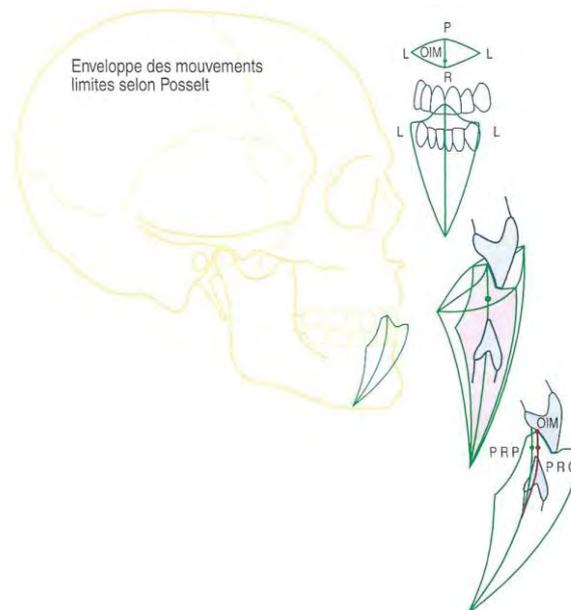
Gysi enregistrait les mouvements mandibulaires dans le plan horizontal d'une manière simple. Il utilisait une plaque maxillaire où il plaçait un stylet et une plaque mandibulaire qui permettait d'enregistrer l'arc gothique de Gysi.



*Arc gothique de gysi*

Il a été suivi par Posselt qui enregistra l'enveloppe des mouvements de la mandibule dans le plan sagittal. Il basait son étude sur le point intericisif des dents mandibulaires où il

plaçait un stylet. Lorsque la personne réalisait des mouvements le stylet marquait sur une feuille de papier millimétrique parallèle au plan sagittal médian.



*Enveloppe des mouvements de Posselt (11)*

Par ailleurs, la combinaison dans l'espace de l'enveloppe des mouvements mandibulaires sur le plan sagittal et sur le plan horizontal forme la rhomboïde de Posselt.

Stuart a imaginé un pantographe utilisé pour observer les mouvements mandibulaires. Cet appareil placé sur le patient permettait, avec six stylets, une représentation graphique de la cinématique mandibulaire sur chaque plan de l'espace. L'inconvénient était que ce dispositif ne permettait pas d'avoir une représentation tridimensionnelle de la dynamique mandibulaire.

Les enregistrements radiographiques sont aussi utilisés pour analyser les mouvements intra-oraux. Cette méthode permet d'étudier les mouvements dentaires ainsi que le mouvement du bol alimentaire. (51)

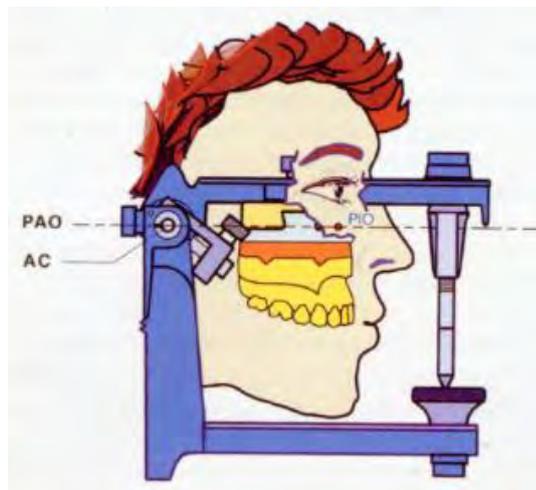
Nous allons décrire maintenant les différentes techniques actuelles d'enregistrement mandibulaire qui sont utilisées en clinique et en laboratoire

## II.1. L'articulateur

L'articulateur est un simulateur de la fonction occlusale. Il permet après montage des modèles en plâtre et l'absence du patient, un travail diagnostique et de conception de prothèses.

Ainsi, l'articulateur est un dispositif qui permet de se rapprocher de la cinématique mandibulaire (9). Il se compose :

- D'une branche supérieure où vient reposer le modèle maxillaire. Cette branche correspond au plan de référence choisi en fonction du type d'articulateur (pour les articulateurs SAM le référentiel est le plan axio-orbitaire). L'arc facial sert à placer le moulage maxillaire en fonction du plan de référence déterminé et de l'axe condylien.



*Relation entre le montage de l'arcade maxillaire sur articulateur et sa position réelle ; PAO, plan axio-orbitaire ; AC, axe charnière ; PIO, point infra-orbitaire (9)*

Dans les articulateurs ARCON les boîtes condyliennes se trouvent sur la branche supérieure, il est possible de régler la pente condylienne et l'angle de Bennett. Plus la boîte condylienne est adaptable plus nous sommes proche de la cinématique réelle du patient. A contrario dans les systèmes non-ARCON les boules condyliennes sont sur la branche supérieure.



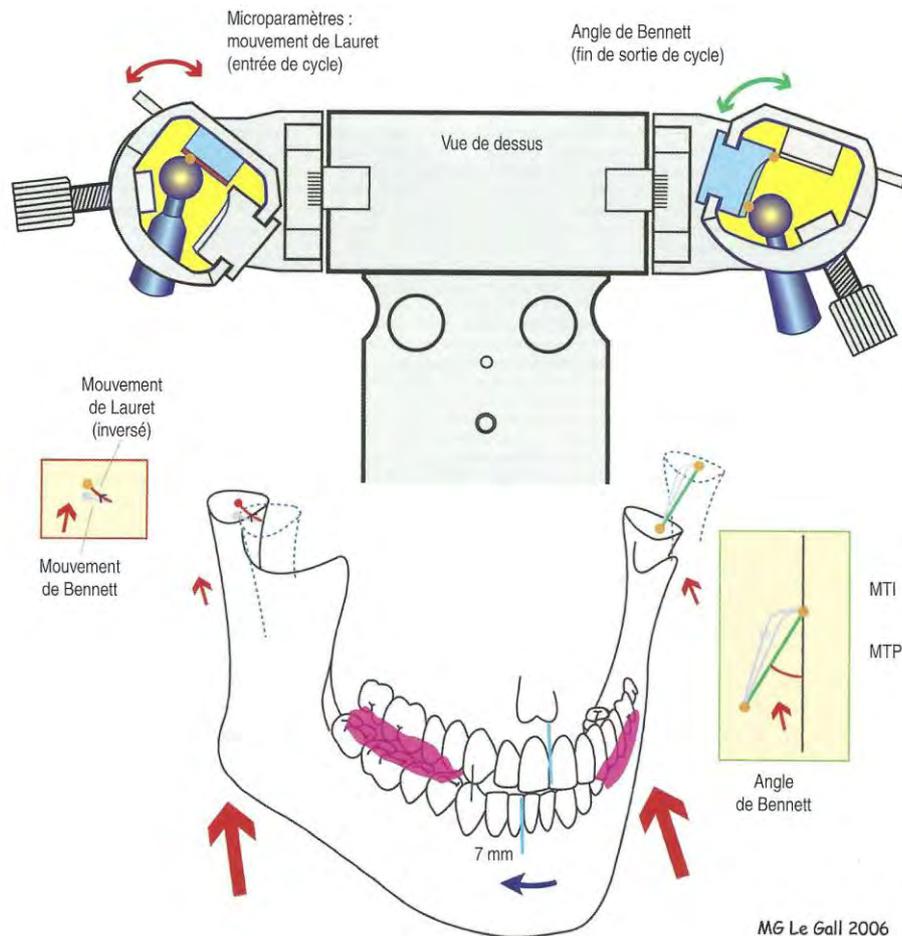
*Réglage des boîtiers condyliens (9)*

- La branche inférieure où repose l'arcade mandibulaire. Elle est munie d'une tige incisive qui permet de faire varier la dimension verticale entre les deux arcades et de régler le guidage incisivo-canin.

Les boîtiers condyliens limitent les mouvements du condyle travaillant (cf. p17). Ainsi il n'est pas possible de simuler le mouvement de Bennett du côté travaillant.

### **II.1.1. L'articulateur Reverse (11)**

L'articulateur Reverse apporte une réponse aux mouvements du condyle travaillant. Les boîtiers condyliens de cet articulateur permettent de libérer le déplacement des sphères condyliennes en haut et en arrière. Le réglage de l'articulateur en entrée de cycle se fait grâce à une clé occlusale dont les informations sont reportées sur les boîtiers.



*Réglage du mouvement d'entrée de cycle du condyle mastiquant et de l'angle de Bennett de côté non mastiquant sur l'articulateur reverse (11)*

Le réglage en sortie de cycle ne diffère pas des réglages habituels des articulateurs traditionnels la rotation du boîtier condylien doit être conforme à un simulateur conventionnel.

Il faut remarquer que lorsqu'on travaille sur cet articulateur les boîtiers fonctionnent en asymétrie de position, si on est en entrée de cycle, le condyle opposé est en sortie de cycle et vice versa.

Ce dispositif apporte plus de précision dans le réglage des reconstitutions prothétiques bien qu'il soit complexe à régler et à utiliser.

### II.1.2. Les limites des articulateurs

L'articulateur est un simulateur imparfait :

- La distance inter-condylienne est arbitraire et invariable. Ceci a des conséquences sur les mouvements comme nous avons vu précédemment (cf. page 22)
- La complexité des mouvements mandibulaires sont difficiles à reproduire sur un simulateur mécanique (cf les déterminants postérieurs).
- Lorsque nous utilisons un arc facial arbitraire la détermination des points sous-orbitaire et de l'axe charnière sont approximatifs. Ainsi, les mouvements ne seront pas parfaitement réalistes.

## **II.2. La détermination de l'occlusion et des mouvements mandibulaires**

Une fois les arcades dentaires montées sur un simulateur, il faut reporter les valeurs des déterminants postérieurs propres au patient. Nous avons différents outils qui permettent de déterminer la relation spatiale des arcades en occlusion et en mouvement.

### **II.2.1. Les Matériaux d'enregistrements**

Les matériaux d'enregistrements sont depuis longtemps utilisés pour définir les différents rapports entre les arcades dentaires. Nous disposons de cires, de résines métacrylates, de résines composites, de pâtes hydroxyde de zinc ou d'élastomères. Ces matériaux permettent de positionner les modèles mandibulaire et maxillaire dans une position spatiale voulue.

Ils sont aussi utilisés pour imprimer une dynamique de la mandibule. En réalisant une empreinte des arcades en début de mouvement et en fin de propulsion ou de latéralité, on reporte sur l'articulateur la translation de la mandibule spatialement. Ainsi, on détermine respectivement la pente condylienne et l'angle de Bennett.

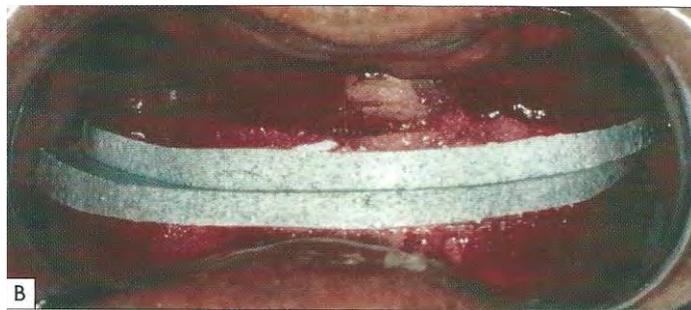
Lauret et Le Gall se servent de cire d'occlusion pour régler l'articulateur Reverse. Ils impriment sur des cires la position spatiale des arcades en entrée et en sortie de cycle.

### **II.2.2. FGP (Fonctionnally Generated Path)**

Le FGP est l'empreinte de l'enveloppe fonctionnelle de la fonction de mastication.

Cette technique fut introduite en premier par Paterson, qui caractérisait les mouvements des patients édentés complets. Une fois le rapport inter arcade déterminé, celui-ci plaçait un mélange de plâtre et de pâte abrasive sur les maquettes supérieures et inférieures. Les

bouffelets modifiés, étaient replacés en bouche et le patient réalisait des mouvements de propulsions et de latéralités. Tous ces déplacements entraînent une abrasion du plâtre et il apparaît sur les bouffelets l'empreinte fonctionnelle propre au patient. Ainsi, il se forme les courbes de Spee et de Wilson et la pente condylienne grâce aux propulsions. De ce fait, à l'aide de cette empreinte nous connaissons la typologie du patient et l'emplacement exact et fonctionnel des dents.



*Piste de Paterson (52)*

Mayer étend la technique en plaçant une cire modelable sur les dents prothétiques. Lorsque le patient effectue des mouvements cette cire se modèle en fonction de la cinématique. Il donne le nom de Generated Path Technique.

Lauret et Le Gall utilisent le FGP, Ils définissent ainsi, la morphologie occlusale d'une prothèse et règlent leur articulateur reverse.

### **II.2.3. L'axiographie mécanique**

Grâce à l'axiographie on peut analyser les tracés des trajectoires condyliennes (53). On détermine précisément, la pente condylienne par rapport au plan axio-orbitaire et la valeur exacte de l'angle de Bennett. Cet appareil est utilisé en clinique mais il est difficile à mettre en œuvre.

Il se compose :

- D'une barre frontale, placée sur la tête du patient parallèle à l'axe axio-orbitaire. Sur cette barre repose des drapeaux d'enregistrement para-condyliens.



*Barre frontale (9)*

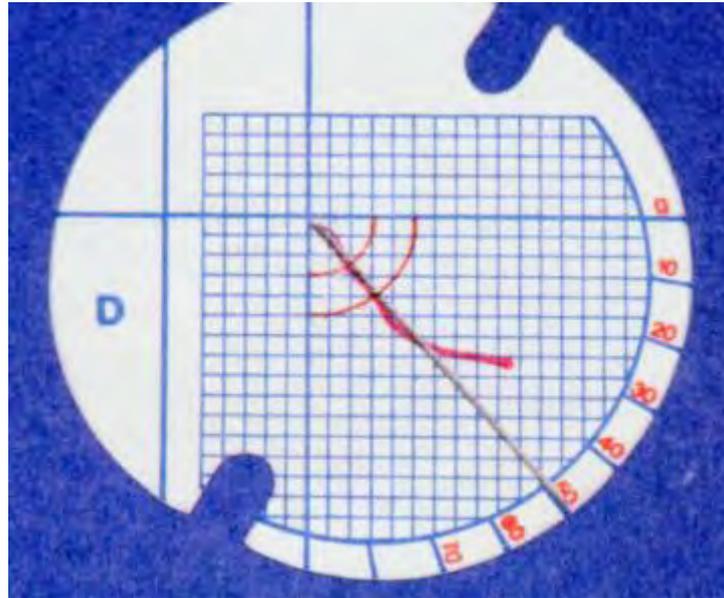
- Les bras d'enregistrement para-sagittaux sont deux branches latérales s'appuyant sur l'attelle fixée sur les dents mandibulaires. A l'extrémité de ces deux bras se trouvent deux stylets permettant de tracer les mouvements mandibulaires sur les drapeaux para-condyliens.



*Installation des bras para-sagittaux (9)*

Après avoir installé l'appareil, on règle la position des stylets pour qu'ils soient immobiles lors d'une rotation pure des condyles, position de l'axe charnière. Ceci est la preuve du bon

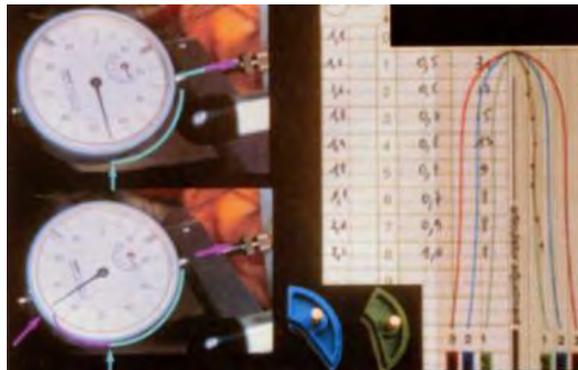
positionnement des stylets dans l'axe charnière. Par la suite, Le drapeau est orienté pour que l'origine du graphique corresponde à l'axe charnière.



*Tracé axiographique dans le plan sagittal (9)*

Les mouvements mandibulaires sont repérés :

- Dans le sens sagittal par les tracés sur les drapeaux para-condyliens.
- Dans le sens transversal par des comparateurs placés sur les stylets. Ces comparateurs sont des jauges d'enfoncement. Le relevé des valeurs indique les déplacements condyliens dans le sens transversal.



*Comparateur indiquant en millimètre le déplacement condylien dans le sens transversal (9)*

Ces enregistrements permettent d'évaluer:

- d'éventuelles pathologies articulaires au travers de l'analyse cinématographique
- les déterminants postérieurs : la pente condylienne et l'angle de Bennett, pour régler un articulateur.

#### II.2.4. L'axiographie électronique



*Axiographe électronique (9)*

Les systèmes électroniques utilisent les mêmes caractéristiques que les axiographes mécaniques mais les valeurs sont enregistrées électroniquement.

Le repérage de l'axe charnière est rapide et les valeurs de la pente condylienne et de l'angle de Bennett sont données rapidement.

Ce procédé permet aussi de quantifier précisément les déplacements et la vitesse condylienne.

Les mouvements du patient sont archivés et le praticien a un contrôle de l'évolution de la cinématique des articulations.

## **II.3. Apport du numérique dans la gestion de l'occlusion**

### **II.3.1. L'articulateur virtuel (54)**

L'articulateur virtuel est un outil qui se développe progressivement dans les laboratoires de prothèses. Ce système consiste à déplacer les arcades virtuellement selon les mêmes déterminants que l'articulateur traditionnel dit mécanique. F. Duret (55) a tenté d'étudier les mouvements mandibulaires pour les intégrer dans le logiciel de CFAO et modifier les sillons et les cuspidés des dents. Actuellement avec l'avènement du numérique et l'utilisation dans les laboratoires de la CFAO l'articulateur virtuel trouve sa place. Quatre techniques sont utilisées pour intégrer un articulateur virtuel :

#### **II.3.1.1. Un articulateur mathématique (56)**

Dans ce concept, les arcades dentaires sont numérisées. L'enveloppe limite des mouvements mandibulaires est obtenue par une série de calculs issus de moyennes faisant intervenir le sexe et la distance inter-condylienne. Ces calculs sont valables si les reconstitutions sont peu importantes, si les guidages sont présents et si la fonction occlusale n'est pas perturbée.

#### **II.3.1.2. Un montage virtuel arbitraire**

Les arcades dentaires sont placées arbitrairement dans un simulateur virtuel. Le maxillaire et le plan d'occlusion sont placés sur une sorte de table de montage virtuelle, le prothésiste peut faire varier la position du plan d'occlusion comme il le souhaite. L'articulateur possède en plus des boîtiers condyliens réglables. Les mouvements mandibulaires peuvent être reproduits avec des normes moyennes.

### II.3.1.3. Transfert d'un montage réel sur articulateur en un montage virtuel

Un double montage est nécessaire lorsqu'un arc facial a été utilisé et que le réglage des boîtiers condyliens est entrepris. Ainsi, les modèles seront montés sur un articulateur mécanique et le transfert des données pourront se faire de deux façons :

#### Utilisation d'un dispositif de transfert (57)

Cette technique nécessite l'utilisation d'un articulateur spécifique reconnu par le logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur).

#### ➤ *La calibration de l'articulateur.*

A la première utilisation du logiciel, il est nécessaire de paramétrer l'articulateur. Cette étape permet d'intégrer virtuellement les caractéristiques de l'articulateur mécanique.

La calibration est réalisée à l'aide d'une plaque de calibration montée sur l'articulateur. Ce montage est ensuite numérisé séparément.



*Vue de la plaque de calibration*



*Scannage de la pièce étalon sur plaque de montage maxillaire.*

➤ *Montage sur articulateur virtuel*

Pour construire un articulateur virtuel il faut au préalable réaliser un montage en articulateur des moulages. Les différentes parties du montage sont positionnées dans l'unité de scannage sur le socle de scannage. Puis le logiciel repositionne les modèles numériques sur les socles de l'articulateur virtuel.



*Scannage des moulages*



*Visualisation des arcades sur l'articulateur virtuel*

➤ *Le paramétrage*

Les réglages de l'angle de Bennett et de la pente condylienne sont entrés manuellement dans le logiciel. Ainsi on peut réaliser tous les mouvements possibles comme un articulateur. Des marqueurs d'occlusions peuvent être utilisés pour mettre en évidence les contacts occlusaux.

*Scannage de l'articulateur*

Dans ce cas, le logiciel de CAO possède une arthrothèque (bibliothèque d'articulateur). Ainsi un articulateur connu par le logiciel pourra être utilisé et scanné.

Une fois le logiciel informé du type d'articulateur utilisé, les moulages sont scannés individuellement et en occlusion. Enfin l'ensemble du montage en articulateur est scanné.

#### II.3.1.4. Les avantages et les limites

L'articulateur virtuel permet d'utiliser la dynamique mandibulaire pour des reconstitutions prothétiques assistées par ordinateur. De plus, il rend accessible l'intégration virtuelle des restaurations de grandes étendues qui nécessitent obligatoirement la prise en compte des déterminants postérieurs.

L'inconvénient de ces simulateurs est qu'ils n'apportent pas de grands évolutions mais ils permettent de nouvelles perspectives. Leur application dans les laboratoires de prothèses n'est pas fréquente du fait du temps mis en œuvre et d'un résultat divergeant entre les deux simulateurs virtuels et mécaniques. De plus, les limites décrites pour les articulateurs mécaniques, sont toujours présentes.

#### II.3.2. La gestion de l'occlusion pour des restaurations de petites étendues (54)

Lors du scannage d'une empreinte partielle, nous disposons de quatre méthodes qui permettent de gérer l'occlusion dans le logiciel de CAO.

##### *L'analyse géométrique*

Cette méthode est utilisée par de nombreux logiciels informatiques, elle permet de reconstituer la table occlusale d'une dent préparée en se basant sur la morphologie des dents environnantes. Des dents en bons états et en bonnes positions doivent être présentes sur l'empreinte.

### *Le mordu occlusal*

Le mordu occlusal est la numérisation de l’empreinte laissée par les dents antagonistes sur un matériau plastique. Ainsi, le logiciel reconstruira virtuellement le model positif pour qu’il soit utilisé pour le réglage de l’occlusion.

### *L’empreinte vestibulaire*

Cette technique est très utilisée avec l’avènement des empreintes optiques mais elle est plus complexe car elle demande plus d’acquisitions de données. En effet, pour enregistrer l’occlusion, il faut numériser les dents à reconstruire, scanner les dents antagonistes, et obtenir une acquisition numérique des faces vestibulaires des deux secteurs en occlusion. Une fois les données intégrées, le logiciel va générer une superposition et recréer l’OIM. Pour que le résultat soit précis, il est important de compiler le plus de données possible.

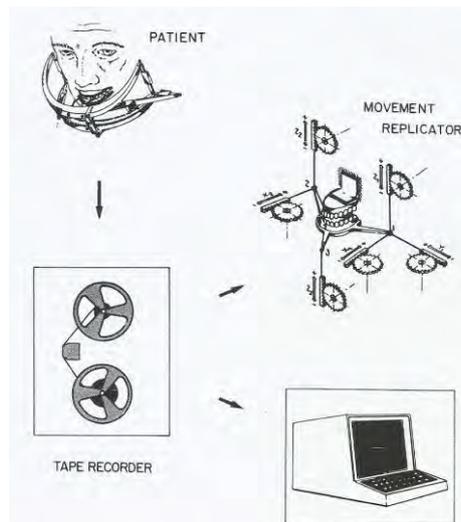
### *Le FGP (Functionally Generated Path)*

L’utilisation d’empreintes fonctionnelles est indiquée pour réaliser des prothèses assistées par ordinateur. Le FGP défini avec un matériau modulable, est scanné précisément sur les dents et recréé numériquement l’enveloppe spatiale des mouvements. Cet artifice est adapté aux petites reconstitutions. Pour des reconstitutions globales ou des examens fonctionnels, la réalisation d’études plus approfondies est indiquée.

### II.3.3. La capture de mouvement

Comme nous l'avons vu précédemment le mouvement mandibulaire est complexe et difficilement reproductible. Ainsi, il est intéressant de pouvoir enregistrer la dynamique dans l'espace et dans le temps pour des études, à des fins diagnostique et pour un ajustement fonctionnel des prothèses.

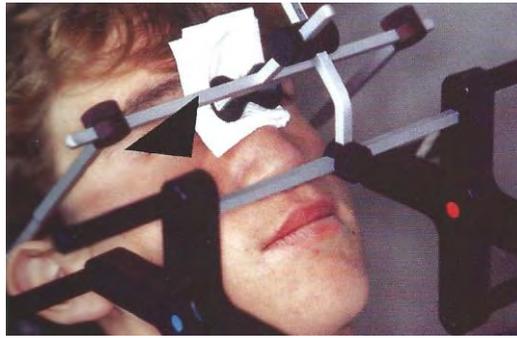
Charles H. Gibbs (58) est le premier à avoir développé un appareil d'enregistrement capable d'analyser les mouvements durant la mastication. Le Replicator était un système adapté et conçu pour minimiser les perturbations occlusales durant la mastication. Il fonctionnait par trois systèmes : un appareil placé sur la tête pour enregistrer les mouvements, une analyse informatique qui trace graphiquement les données collectées et un avatar mécanique muni de moteur qui reproduisaient la cinématique physiquement en trois dimensions.



*Le replicator (26)*

#### II.3.3.1. La capture électromagnétique

Lewin développa le sirognathographe. Cet appareil utilise la variation de champs magnétiques occasionnés par le déplacement d'une masse ferrique placé au niveau des dents mandibulaires. Ces variations sont captées grâce au champ magnétique déterminé par deux antennes mises face à face.



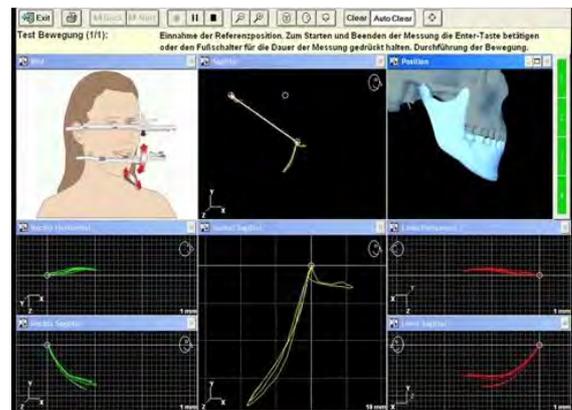
*Le sirognathographe (11)*

### II.3.3.2. La capture ultrasonique

La capture ultrasonique utilise des émetteurs ultrasoniques placés au niveau de la mandibule (zebris Medical GmbH). Les récepteurs placés au maxillaire identifient les variations de position des émetteurs. Ces informations sont numérisées et retranscrites sur des graphiques. Ce dispositif paraît intéressant pour analyser les pathologies de la dynamique articulaire et mettre en évidence les déterminants postérieurs. L'inconvénient est qu'on ne dispose pas encore de la possibilité d'utiliser ces enregistrements cinématiques pour les réglages occlusaux des prothèses.



*Enregistrement des mouvements  
mandibulaire  
(zébrais Medical GmbH)*

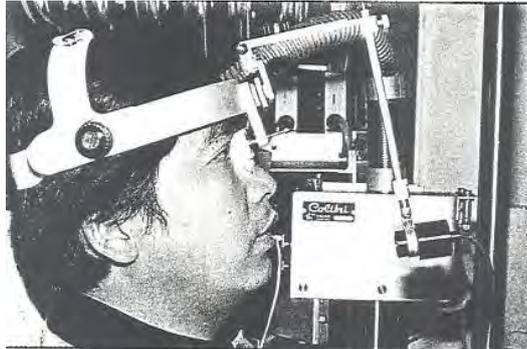


*Représentation graphique de la cinématique  
mandibulaire*

### II.3.3.3. La capture cinématographique.

L'analyse vidéo tridimensionnelle permet de décrire les déplacements, avec une précision satisfaisante et un coût qui peut être limité,

Historiquement Toubol et Duret (55) ont développé une technique de capture de mouvement (le visi-trainer III).

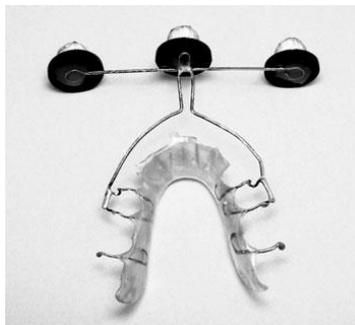


*Le visi-trainer III(55)*

Dans ce système, au moins deux caméras sont nécessaires, pour analyser le mouvement d'un point dans l'espace.

Les points peuvent être :

- Des diodes comme dans les travaux de Toubol et de Rohrlé (59). Ces diodes sont fixées tout d'abord au niveau de la face puis sur la mandibule. Sur les incisives centrales ou sur un support endo-buccal qui se fixe sur les dents.



*Support endo-buccal pour trois diodes exo-buccales nécessaires aux enregistrements mandibulaires (59)*

- Des boules très réfléchissantes comme pour les travaux de Kinuta (60), Furtado (61) et Jaisson (62). Ces boules sont placées à la fois sur la face et à la mandibule par l'intermédiaire d'un support endo-buccal. Jaisson utilise des boules réfléchissantes radio-opaques pour scanner le crâne du patient avec ces points. Une fois la capture de mouvement réalisée, une analogie est faite avec un logiciel entre les enregistrements de mouvements et le scanner du patient. Ainsi on dispose d'un aperçu tridimensionnel de la mastication.



Marqueurs placés en cutané (61)



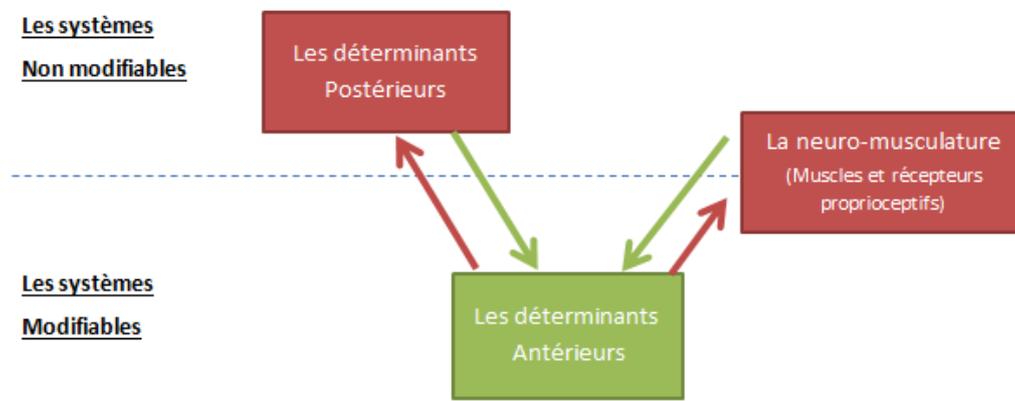
Scanner du crâne de l'individu

(62)

# Conclusion

---

Les déterminants postérieurs et antérieurs de l'occlusion sont interdépendants et influencent respectivement l'évolution, la maturation des articulations et des tables occlusales. Ainsi, la réhabilitation occluso-prothétique doit s'intégrer au système manducateur du patient. Déterminants postérieurs, neuro-musculature et réhabilitation prothétique sont intimement liés.



(Cf page 56)

L'informatique permet l'enregistrement de la dynamique articulaire pour la reproduire et contribuer aux reconstructions fonctionnelles.

S'opposent aujourd'hui des concepts universalistes, à des conceptions et réalisations individuelles plus récentes. La compréhension de la fonction occlusale permet une réponse adaptée par la création d'une anatomie des surfaces occlusales propre au patient.

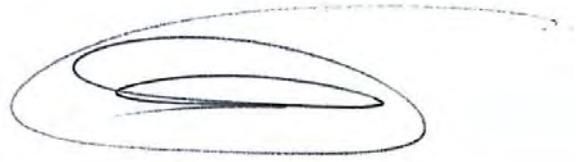
Grace à l'articulateur virtuel, de nouvelles perspectives sont possibles dans les conceptions assistées par ordinateur, par simulation de la dynamique mandibulaire. Malgré tout, cet outil est limité aux mouvements arbitraires équivalents à ceux simulés sur les articulateurs traditionnels. Les progrès de l'articulateur virtuel iront vers une meilleure intégration des

mouvements jusque-là non reproduits tels que : le mouvement de Bennett, l'angle Fisher... Même si aujourd'hui, les techniques de capture de mouvements sont réservées à la recherche, nous pensons que les avancées numériques permettront une capture simple et précise de la cinématique mandibulaire utilisable pour l'exercice courant. Ainsi, l'étude de la mastication et l'adaptation des prothèses dans la fonction occlusale du patient sera possible.

Directeur de Thèse et Président de Jury  
Pr Armand

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Armand', with a large, sweeping flourish extending to the right.

Co-directeur de Thèse  
Dr Boghanim

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping, elongated loops that form a stylized, abstract shape.

## Bibliographie

1. Picq P. Préface. La fonction occlusale: Implication clinique. 3e édition. CdP; 2011.
2. Gola R, Chossegros C, Orthlieb JD. Syndrome algo-dysfonctionnel de l'appareil manducateur (SADAM). Masson; 1992. 296 p.
3. El. Haddioui A, Laison F, Zouaoui A, Bravetti P, Gaudy JF. Functional anatomy of the human lateral pterygoid muscle. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2005 Oct 1;27(4):271–86.
4. Le Toux G, Duval J, Darnault P. The human temporo-mandibular joint current anatomic and physiologic status. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 1989;11:283–8.
5. Clément C, Bravetti P, Plénat F, Foliguet B, Haddioui AE, Gaudy J-F, et al. Quantitative analysis of the elastic fibres in the human temporomandibular articular disc and its attachments. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2006 Dec;35(12):1120–6.
6. Petit H. Relation occluso-articulées et orthodontie. *Orthopédie dento-faciale*, tome 1. 1998 Dec 1;
7. Deshayes M-J. L'art de traiter avant 6 ans. Editions Cranexplo; 2006. 263 p.
8. Lazić B, Tepavčević B, Keros J, Komar D, Stanić T. Intercondylar distances of the human temporomandibular joints. *Collegium antropologicum*. 2006;30(1):37–41.
9. Orthlieb JD. *Occlusodontie pratique*. Wolters Kluwer France; 2000. 240 p.
10. Orthlieb J-D. *Gnathologie fonctionnelle : Volume 2, occlusion et reconstitution prothétique*. CdP; 2011. 195 p.
11. Le Gall ML, Lauret J-F, Collectif. *La fonction occlusale : Implications cliniques*. 3e édition. CdP; 2011. 291 p.

12. Planas S. RNO: équilibre ou symétrie. 5ème Congrès de la FIAPP-RNO. 2012;
13. Boulos PJ, Adib SM, Naltchayan LJ. The Bennett angle. Clinical comparison of different recording methods. N Y State Dent J. 2008 Mar;74(2):34–8.
14. Lundeen H, Wirth C. Condylar movement patterns engraved in plastic blocks. Journal of Prosthodontics dentistry. 1973;30(6):243–6.
15. Dupas P-H, Picart B. Comprendre l'articulateur au cabinet dentaire et au laboratoire de prothèse. Wolters Kluwer France; 2001. 148 p.
16. Miyawaki S, Tanimoto Y, Kawakami T, Sugimura M, Takano-Yamamoto T. Motion of the Human Mandibular Condyle during Mastication. Journal of Dental Research. 2001 Feb 1;80(2):437–42.
17. Orthlieb JD. The curve of Spee: understanding the sagittal organization of mandibular teeth. Cranio. 1997 Oct;15(4):333–40.
18. Osborn JW. Orientation of the masseter muscle and the curve of Spee in relation to crushing forces on the molar teeth of primates. American journal of physical anthropology. 1993;92(1):99–106.
19. Tavernier B, Romerowski J, Boccara E, Azevedo C, Bresson G. Articulation dentodentaire et fonction occlusale. Encyclopédie Médico-Chirurgicale [Internet]. 2007 [cited 2013 May 23];Médecine Buccale. Available from: <http://www.belbachadental.com/upload/pdf/ATM/Articulation%20dentodentaire%20et%20fonction.pdf>
20. Bezzina S, Orthlieb JD, Mafart B. Les courbes de Wilson, organisation et usure dentaire. Paléoanthropologie et Paléopathologie osseuse. 2001;4:45–59.
21. Orthlieb J-D, Darmouni L, Pedinielli A, Jouvin Darmouni J. Fonctions occlusales : aspects physiologiques de l'occlusion dentaire humaine. 2013;8(1):1–11.

22. Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. Correlation between inclination of occlusal plane and masticatory movement. *Journal of dentistry*. 1998;26(2):105–12.
23. Ogawa T, Koyano K, Umemoto G. Inclination of the occlusal plane and occlusal guidance as contributing factors in mastication. *Journal of dentistry*. 1998;26(8):641–7.
24. Takei J, Akimoto S, Sato S. Occlusal guidance and occlusal plane at different ages and in different occlusion groups. *IAAID*. 2008;
25. Ogawa T, Ogawa M, Koyano K. Different responses of masticatory movements after alteration of occlusal guidance related to individual movement pattern. *Journal of Rehabilitation*. 2001;28:830–41.
26. Lundeen HC, Gibbs CH. *Advances in occlusion*. J. Wright-PSG; 1982. 252 p.
27. Woda A, Pionchon P, Palla S. Regulation of Mandibular Postures: Mechanisms and Clinical Implications. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 2001 Jan 1;12(2):166–78.
28. Dahl B, Krogstad O. Long-term observations of an increased occlusal face height obtained by a combined orthodontic prosthetic approach. *Journal of Oral Rehabilitation*. 1985;12:173–6.
29. Coffey JP, Mahan PE, Gibbs CH, Welsch BB. A preliminary study of the effects of tooth guidance on working-side condylar movement. *J Prosthet Dent*. 1989 Aug;62(2):157–62.
30. Raymond J-L. *Traitement orthopédique des classe III Réhabilitation occlusale et fonctionnelle*. 2011. 183 p.
31. Azerad J. *Physiologie de la manducation*. Masson; 1992. 192 p.

32. Bremer F. Physiologie nerveuse de la mastication chez le chat et le lapin. Reflexes de mastication. Réponses masticatrices corticales et centre cortical du goût. *Arch Int Physiol.* 1923;21:308–52.
33. Morquette P, Lavoie R, Fhima M-D, Lamoureux X, Verdier D, Kolta A. Generation of the masticatory central pattern and its modulation by sensory feedback. *Progress in Neurobiology.* 2012 Mar;96(3):340–55.
34. Dellow PG, Lund JP. Evidence for central timing of rhythmical mastication. *The Journal of Physiology.* 1971;215:1–13.
35. Lund JP. Mastication and its control by the brain stem. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine.* 1991;2:33–64.
36. Kriellaars DJ, Brownstone RM, Noga BR, Jordan LM. Mechanical entrainment of fictive locomotion in the decerebrate cat. *J Neurophysiol.* 1994;71:2074–86.
37. Perret C, Cabelguyen JM. Main characteristics of the hindlimb locomotor cycle in the decorticate cat with special reference to bifunctional muscles. *Brain Res.* 1980;187:333–52.
38. Nordstrom MA. Insights into the bilateral cortical control of human masticatory muscles revealed by transcranial magnetic stimulation. *Archives of Oral Biology.* 2007;52:338–42.
39. Yamamura K, Narita N, Yao D, Martin RE, Masuda Y, Sessle BJ. Effects of reversible bilateral inactivation of face primary motor cortex on mastication and swallowing. *Brain Research.* 2002;944:40–55.
40. Houk J. Participation of reflex mechanisms and reaction time processes in the compensatory adjustments to mechanical disturbances. Cerebral motor control in man: long loop mechanisms. *Prog Clin Neurophysiol.* 1978;4:193–215.
41. Gottlieb G, Agarwal G. Response to sudden torques about ankle in man. II. Postmyotatic reactions. *J Neurophysiol.* 1980;43:86–101.

42. Trulsson M. Sensory-motor function of human periodontal mechanoreceptors\*. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2006 Apr;33(4):262–73.
43. Gibbs CH, Lundeen HC, Mahan PE, Fujimoto J. Chewing movements in relation to border movements at the first molar. *Maxillofacial Prosthetics*. 1981;Vol 46(3):308–22.
44. Türker KS. Reflex control of human jaw muscles. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 2002;13(1):85–104.
45. Turker KS. REFLEX CONTROL OF HUMAN JAW MUSCLES. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 2002 Jan 1;13(1):85–104.
46. Ottenhoff FA, van der Bildt A, van der Glas HW, Bosman F. Control of elevator muscle activity during simulated chewing with varying food resistance in humans. *Journal of Neurophysiology*. 1992;68:933–44.
47. Woda A, Fontenelle A. Physiologie de l'appareil manducateur. *Orthopédie dento-faciale Tome I. Cahier de Prothèse*. 1993.
48. Boileau M-J, Sampeur-Tarrit M, Bazert C. Physiologie et physiopathologie de la mastication. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale*. 2006;Stomatologie.
49. Rilo B, Fernandez J, Da Silva L, Martinez Insua A, Santana U. Frontal-plane lateral border movements and chewing cycle characteristics. *Journal of oral rehabilitation*. 2001;28(10):930–6.
50. Picq P. La canine humaine : évolution et signification adaptative. *Revue d'Orthopédie Dento-Faciale*. 2010 Mar 19;44(1):9–15.
51. Soboleva U, Laurina L, Slaidina A. Jaw tracking devices—historical review of methods development. Part I. *Stomatologija*. 2005;7(3):67–71.
52. Planas P. *Réhabilitation neuro-occlusale RNO*. Wolters Kluwer France; 2006. 302 p.

53. Dupas P-H. Le dysfonctionnement cranio-mandibulaire : Comment le diagnostiquer et le traiter ? CdP; 2011. 277 p.
54. Jaisson M, Feleneç S, Nocent O. La gestion de l'occlusion par les systèmes CFAO: les critères de choix. Les Cahiers de Prothèse. 2013 Mar;161.
55. Toubol J-P, Duret F. De l'articulaire au neuro-musculaire, de la mécanique à l'électronique... Les Cahiers de Prothèse. 1989;66:43–53.
56. Jaisson M, Feleneç S. Occlusion et CFAO. L'information dentaire. 2014;96(20):48–56.
57. Laplanche O, Duminil G. L'articulateur virtuel demain... c'est tout de suite. L'INFORMATION DENTAIRE. 2011 Nov;(40):63–72.
58. Gibbs CH, Wickwire NA, Jacobson AP, Lundeen HC, Mahan PE, Lupkiewicz SM. Comparison of typical chewing patterns in normal children and adults. J Am Dent Assoc. 1982 Jul;105(1):33–42.
59. Rohrlé O, Waddell JN, Foster KD, Saini H, Pullan AJ. Using a Motion-Capture System to Record Dynamic Articulation for Application in CAD/CAM Software. Journal of Prosthodontics. 2009 Dec;18(8):703–10.
60. KINUTA S, WAKABAYASHI K, SOHMURA T, KOJIMA T, MIZUMORI T, NAKAMURA T, et al. Measurement of Masticatory Movement by a New Jaw Tracking System Using a Home Digital Camcorder. Dental Materials Journal. 2005;24(4):661–6.
61. Furtado DA, Pereira AA, Andrade AD, Junior DP. A specialized motion capture system for real-time analysis of mandibular movements using infrared cameras. Biomedical engineering online. 2013;12(1):17.
62. Jaisson M. Jaw Motion. CNO Toulouse 30ème journées internationales. 2013;

---

**LA DYNAMIQUE MANDIBULAIRE FONCTIONNELLE : ETAT DES LIEUX ET  
APPORT DU NUMERIQUE**

---

RESUME EN FRANÇAIS :

Trop souvent, les réglages dynamiques des reconstitutions prothétiques s'appuient sur des concepts occlusaux qui ne reflètent pas la réalité clinique. L'avancée des recherches permet de mieux comprendre la cinématique mandibulaire et l'importance de sa prise en compte dans l'intégration fonctionnelle des prothèses. Ainsi, les caractéristiques propres à chaque patient doivent être prises en compte. Grace aux avancées du numérique, nous pourrions enregistrer et simuler plus précisément les mouvements mandibulaires pour permettre une individualisation occlusale.

---

TITRE EN ANGLAIS : Functional mandibular dynamics : describe and digital contributions

---

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

---

MOTS CLES : Mastication, Dynamique mandibulaire, Schéma occlusale, fonction occlusale, occlusion, articulateur virtuel

---

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de chirurgie dentaire 3 chemin des Maraichers 31062 Toulouse Cedex

---

Directeur de Thèse : Professeur Serge ARMAND

Co-directeur de Thèse : Docteur Philippe BOGHANIM