



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

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

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

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

3^e cycle

THESE

**MENTION TRÈS HONORABLE
AVEC FÉLICITATIONS DU JURY**

pour le

**DOCTORAT DE 3^e CYCLE
EN
SCIENCES ODONTOLOGIQUES**

par

Pascal ADRIEN
Docteur en Chirurgie Dentaire
né le 24 Mars 1957
METZ (Moselle)

Jacques SCHOUVER
Docteur en Chirurgie Dentaire
né le 6 Mars 1957
METZ (Moselle)

**Etude de la trajectoire des faces occlusales mandibulaires sur articulateur
semi-adaptable par simulation mathématique en fonction de la programmation
des déterminants de l'occlusion.
Etude expérimentale métrologique**

présentée et soutenue publiquement le 2 Juillet 1990

<i>Examineurs de la Thèse :</i>	Mr. M. DIRAND, Professeur	Président
	Mr. M. VIVIER, Professeur	} Juges
	Mr. D. ROZENCWEIG, Professeur	
	Mr. L. BABEL, Maître de Conférences	
	Mr. J. COLIN, Ex Assistant	}



104 037340 1



UNIVERSITE DE NANCY I

Président Professeur M. BOULANGE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

*Doyen**Professeur J. VADOT**Assesseurs**Professeur S. DURIVAUX
Professeur J.P. LOUIS**Pr. Honoraires**Monsieur A. LAISNE
Monsieur R. MARGUERITE
Monsieur F. ABT*

5601	PEDODONTIE	M. J. VADOT	Professeur des Universités
		Mme D. DESPREZ-DROZ	Maître de Conférences
		Mle MP HALLET	Assistant
		Mle I. LEIBUNDGUTH	Assistant
5602	ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE	M. L. DEBLOCK	Maître de Conférences
		M. D. CAILLEUX	Assistant
		M. J. DURAND	Assistant
		Mme D. KONIG-NEVELS	Assistant
5603	EPIDEM. ECON. SANTE PREV. ODONTOL. LEGALE	M. M. WEISSENBACH	Maître de Conférences
		M. D. BETTEMBOURG	Assistant
5701	PARODONTOLOGIE	M. N. MILLER	Maître de Conférences
		M. G. MARTIN	Maître de Conférences
		M. P. AMBROSINI	Assistant
		M. C. MALHER	Assistant
5702	CHIR. BUCCALE, PATHO- THERAPEUTIQUE	M. S. DURIVAUX	Professeur des Universités
		M. D. VIENNET	Maître de Conférences
		M. C. WANG	Maître de Conférences
		M. J. DRAPP	Assistant
		M. P. WATTEAU	Assistant
5703	SCIENCES BIOLOGIQUES	M. A. WESTPHAL	Maître de Conférences
		M. G. DIDIER	Assistant
5801	ODONTOL. CONSERVATRICE	M. H. VANNESSON	Professeur 1er grade
		M. JJ. BONNIN	Maître de Conférences
		Mme MJ. CORNILLAC-BOTTERO	Maître de Conférences
		M. A. DZIERZYNSKI	Assistant
		M. E. FREISMUTH	Assistant
		Mme V. VILLISECK-AMORY	Assistant
5802	PROTHESES (CONJ., ADJ., PART.)	M. M. VIVIER	Professeur 1er grade
		M. D. ROZENCWEIG	Professeur 1er grade
		M. JP. LOUIS	Professeur 1er grade
		M. L. BABEL	Maître de Conférences
		M. P. ADRIEN	Assistant
		M. C. ARCHIEN	Assistant
		M. B. AUBRY	Assistant
		M. J. EMERY	Assistant
		M. N. NEVELS	Assistant
5803	SC. ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES	M. G. JACQUART	Professeur des Universités
		M. P. MAHLER	Maître de Conférences
		Mle C. STRAZIELLE	Assistant

Le 20 Avril 1990

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Michel DIRAND

Professeur des Universités à l'Ecole Nationale Supérieure
des Industries Chimiques

Directeur du Laboratoire de thermodynamique chimique appliquée

*Il nous a fait l'honneur d'accepter la
présidence de ce jury.*

*Sa disponibilité et son esprit d'ouverture
l'on amené à enseigner sa discipline aux
odontologistes.*

*Son exemple a permis à beaucoup d'entre
nous de découvrir des perspectives
nouvelles d'exercice, de réflexion et de
recherche.*

*Bien que ce travail soit fort éloigné de ses
préoccupations scientifiques habituelles, il
n'a pas hésité à s'y intéresser et à le juger.
Qu'il trouve ici le témoignage de notre
sincère reconnaissance et de notre profond
respect.*

A NOS JUGES

Monsieur le Professeur Michel VIVIER

Docteur en Sciences Odontologiques

Professeur à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nancy I

Chef de Service du Centre de Soins et de Consultations Dentaires

Chef du Département de Prothèses

Monsieur le Professeur Daniel ROZENCWEIG

Docteur en Sciences Odontologiques

Membre de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Professeur à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nancy I

Monsieur le Docteur Luc BABEL

Docteur en Sciences Odontologiques

Maître de Conférences à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nancy I

Monsieur le Docteur Jean COLIN

Docteur en Sciences Odontologiques

Ex-Assistant à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nancy I

Directeur du Centre de Diagnostic Préprothétique à la Faculté de
Chirurgie Dentaire de Nancy I

Vous nous faites l'honneur de juger ce travail.

Nous avons voulu vous remercier collectivement, car pour nous, vous ne faites qu'un. Avec quelques autres amis, vous représentez le Service de Prothèse. Certes, chacun possède des traits de caractère et des qualités qui lui sont propres, mais le travail que nous proposons à votre jugement est le fruit de votre enseignement commun. Chacun de vous y a apporté une contribution importante, qui aujourd'hui nous sert de référence.

Tous à votre manière, et avec le même charisme, vous nous avez inculqué l'amour de notre métier et la volonté de toujours progresser.

La rigueur, la recherche de la perfection, l'esprit d'organisation, le sens de la pédagogie, l'honnêteté sont des qualités qui vous habitent tous.

En nous montrant sans cesse l'exemple, vous nous avez souvent aidés à nous surpasser.

Vous êtes et vous resterez nos Maîtres et nos Pères Spirituels.

Que cette thèse soit l'occasion pour nous de vous assurer de notre reconnaissance et de notre très sincère amitié.

A Raymond

Sans qui cette thèse n'aurait pas vu le jour.

Vous vous êtes donné généreusement à cette tâche.

Nous espérons que ce travail est digne de votre investissement.

Nous vous exprimons notre affectueuse reconnaissance.

A tous ceux que nous aimons

**Par délibération en date du 11 Décembre 1972,
la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les
opinions émises dans les dissertations qui lui
seront présentées doivent être considérées comme
propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur
donner aucune approbation ni improbation.**

" Contrairement à ce que l'on croit communément, on peut faire une réhabilitation totale sur un articulateur semi-adaptable, à condition de simplement disposer d'un cerveau totalement adaptable"

Harold SHAVELL

PLAN

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA THESE	4
CHAPITRE 3 : LE MODELE MATHEMATIQUE	9
31. Les contraintes du mouvement de l'élément mobile de l'articulateur	10
32. Le plan de guidage canin : G	12
321. Le plan G est défini	12
322. Calcul du vecteur-directeur de G dans (CXYZ)	12
323. La rotation	13
324. Les coordonnées de C dans (OXYZ) étant XCG	14
33. Principe du modèle des mouvements	15
34. Principe général de la résolution	16
35. Le mouvement de Bennett	17
351. La translation du système M	17
352. L'inclinaison de l'axe O'1y définie dans OXYZ	18
36. La rotation du système M autour de O'1N1 (y)	20
361. Définition du plan C	20
362. Calcul des coordonnées de A1	21
363. Calcul des coordonnées du point C	22
364. Calcul des coordonnées du point B1	25
365. Calcul de la matrice O (3,3) de rotation de l'ensemble du système M	28
37. Définition des dents dans le modèle	29
38. Le programme informatique	30
CHAPITRE 4 : EXPLOITATION DU MODELE ET DES RESULTATS	34
41. Le relevé des coordonnées des dents	35
411. Choix des dents à étudier	35
412. Conditions du relevé	35
413. Valeurs numériques	37
42. La trajectoire	38
421. Forme générale de la trajectoire	38
422. La trajectoire limitée	42
423. Les paramètres de la trajectoire limitée	46

424. Différences entre deux trajectoires	47
43. Etude chiffrée des trajectoires	48
431. Trajectoire selon l'axe X	54
432. Trajectoire selon l'axe Y	59
433. Trajectoire selon l'axe Z	63
44. L'interférence cuspidienne	68
441. Le sillon d'échappement	68
442. Définition de l'interférence	68
443. Notion de trajectoire dégageante/engageante	69
444. Chiffrage de l'interférence	71
45. Influence des autres paramètres sur l'interférence	91
451. Etude de l'influence des variations du plan d'occlusion	91
452. Etude de l'influence de la pente canine	102
453. Etude de l'influence de la position de la canine sur l'arcade	107
454. Etude de l'incidence d'une variation de la largeur inter-condylienne	114
455. Etude des variations de l'axe charnière	125

CHAPITRE 5 : ETUDE ET ANALYSE DE L'ERREUR DE WEINBERG

CHAPITRE 5 : ETUDE ET ANALYSE DE L'ERREUR DE WEINBERG	137
51. Introduction	138
52. Calcul de l'interférence due à la localisation arbitraire de l'axe charnière	140
521. Généralités	140
522. Le modèle mathématique	143
53. Résultats numériques	148
531. Résultats	148
532. Analyse de l'influence de la variation de la pente occlusale	156
533. Etude de l'erreur en fonction de l'épaisseur de la cire	159
54. Conclusion	161

CHAPITRE 6 : VERIFICATION EXPERIMENTALE DU MODELE MATHEMATIQUE. SIMULATION PHYSIQUE	163
61. Introduction	164
611. But de la manipulation	164
612. Matérialisation des éléments du mouvement	165
613. Simulation du mouvement	167
614. Création d'un référentiel de mesure	167
615. Le référentiel de mesure est mobile	168
616. Procédure générale du contrôle	169
62. Le matériel	171
621. L'articulateur	171
622. La machine à mesurer	171
623. Le palpeur	172
624. Le logiciel de mesure	172
63. La transposition	173
631. Le problème	173
632. Le référentiel de mesure	173
633. Définition du référentiel de calcul	174
634. Position des sphères condyliennes de l'articulateur par rapport au référentiel de mesure	174
635. Position relative des sphères et calcul de la largeur inter-condylienne	177
636. Détermination de la matrice de rotation et de permutation	177
637. Les coordonnées du référentiel de calcul	180
64. Mesure des paramètres du plan de guidage canin	181
641. Généralités	181
642. Relations angles mesurés/angles à calculer	182
643. Mesures	184
644. Changement de référentiel	185
65. Mesure des coordonnées du point canin C	187
651. Généralités	187
652. Mesure du pointeau, et calcul de X_c , Y_c , Z_c	188
66. Evolution de la sphère M (dent)	190
661. Détermination de Têta	190
662. Mesure des coordonnées de la sphère M (dent) pour différentes positions	191

67. Calcul de la trajectoire de M et conclusion provisoire	193
671. Résultats comparatifs	193
672. Commentaires des résultats	196
673. Conclusion provisoire	196
68. Estimation des incertitudes de mesures	197
681. Les sources d'erreurs	197
682. La nature des erreurs	197
683. Le chiffrage des erreurs	198
684. Erreur sur la transposition réf.mesure/réf.calcul	199
685. Incidence de l'erreur de réglage de la pente condylienne et de l'angle de Bennett	200
686. Incidence de l'erreur de mesure de la largeur inter-condylienne	203
687. Incidence de l'erreur sur la mesure de τ et ρ	204
688. Incidence des erreurs sur la mesure du point canin-pointeau	208
689. Incidence de l'erreur sur la mesure de la position initiale de la sphère M	210
68.10. Incidence de l'erreur sur la détermination de tête à partir des cales	212
68.11. Erreurs sur la mesure de la position de la sphère M après déplacement	215
69. Conclusions générales	216
691. Tableau récapitulatif des incidences des différents aléas sur les coordonnées X, Y, Z en fonction des cas de figures	216
692. Constatations	218
 CONCLUSION	 219
 BIBLIOGRAPHIE	

CHAPITRE 1

Introduction

Le vingtième siècle est probablement la période au cours de laquelle l'Odontologie a le plus évolué au travers de profondes transformations dans tous les domaines.

D'empirique, elle est entrée dans le domaine scientifique; de paramédicale, elle s'est imposée comme une discipline associée à de nombreuses spécialités médicales. Son enseignement suit désormais une voie identique à toutes les autres matières scientifiques.

Le traitement de la dent s'inscrit à notre époque dans le cadre d'une dentisterie globale faisant appel à toutes les acquisitions.

Ainsi, la prothèse dentaire ne s'apparente plus à un "*changement de roue de voiture*" comme le disait le Professeur LEIBOWITCH, mais à une longue chaîne technologique et scientifique, dont elle n'est qu'un maillon. Toutes les spécialités de la Chirurgie Dentaire y sont représentées.

Les progrès réalisés dans le domaine de la physiopathologie occlusale ont propulsé l'occlusion au tout premier rang de nos préoccupations, que ce soit lors des traitements conservateurs, parodontaux, orthodontiques ou bien évidemment prothétiques.

Les articulateurs sont devenus des outils de diagnostic et de traitement indispensables à l'exercice d'une dentisterie moderne.

Mais, comme le disait CROUSILLAT, les articulateurs ne sont que des instruments mécaniques, sans muscles ni ligaments, ne recevant aucune impulsion nerveuse. Leurs qualités sont fonction de l'habileté manuelle et des connaissances intellectuelles du praticien.

Les plus performants sont les articulateurs adaptables, mais les plus employés sont les semi-adaptables.

Malgré leur ancienneté et leur large diffusion, ils sont cependant encore mal connus et un certain nombre d'interrogations peuvent se poser.

Notre étude s'est donnée pour objectif de mieux connaître les trajectoires des dents mandibulaires lors d'un mouvement de latéralité sur un articulateur semi-adaptable.

Notre travail a ensuite permis de quantifier l'importance des différents déterminants de l'occlusion sur ces mêmes mouvements et d'en tirer des conclusions cliniques quant à la programmation et à l'utilisation des articulateurs semi-adaptables en pratique quotidienne.

Afin de ne pas alourdir cette thèse de redites inutiles, nous avons choisi de ne pas imposer de rappels sur les articulateurs, ni sur la physiologie des mouvements mandibulaires. Ces éléments sont aujourd'hui connus de tous et ont déjà fait l'objet d'un nombre important de publications.

Enfin, volontairement et dans un but de clarification, nous avons limité les citations bibliographiques à celles qui nous semblaient indispensables à une bonne compréhension des différents problèmes exposés.

CHAPITRE 2

Présentation de la Thèse

Cette thèse repose principalement sur des analyses mathématiques et informatiques. Nous avons résumé le contenu de ce travail afin de le rendre plus compréhensible à tous ceux qui ne sont pas familiarisés avec ces disciplines. Ainsi le lecteur pourra mieux comprendre notre démarche et la progression de la recherche.

Depuis les travaux de l'Ecole Gnathologique, l'importance de la canine n'est plus à démontrer, tant en denture naturelle, qu'en prothèse fixée.

Mais, malgré la présence d'un guidage antérieur en propulsion et en latéralité correct, il subsiste toujours un certain nombre d'imprécisions lors de l'ajustage occlusal en bouche, lorsque les praticiens utilisent un articulateur semi-adaptable pour confectionner les prothèses conjointes.

Nous avons donc cherché à mesurer ces erreurs et à en connaître les origines.

Pour ce faire, nous avons choisi un sujet jeune, en normocclusion, classe I d'Angle, présentant une denture saine. Celle-ci est correctement alignée, exempte de caries, de facettes d'abrasion, de pathologies parodontales et neuro-musculo-articulaires. Les courbes d'occlusion sont correctes et l'occlusion d'intercuspidation maximale correspond à l'occlusion de relation centrée. Le guidage antérieur est de bonne qualité.

Des empreintes ont été réalisées suivant la technique de LAURITZEN.
Les modèles qui en sont issus sont montés sur un articulateur semi-adaptable FAGMATIC-PERFECT suivant la technique classique :

- arc facial de transfert arbitraire
- cire de relation centrée
- vérification du montage par split-cast.

L'articulateur est programmé selon des valeurs arbitraires :

- pente condylienne à 40°
 - angle de Bennett à 15°
- (voir page 36)

Une analyse mathématique des contraintes du mouvement de l'articulateur a été effectuée (Cf. Chapitre 3). Un système d'équations mathématiques en a été déduit. Celui-ci permet de calculer le déplacement dans les trois plans de l'espace de n'importe quel point de l'arcade mandibulaire, quelle que soit la programmation des différents déterminants de l'occlusion.

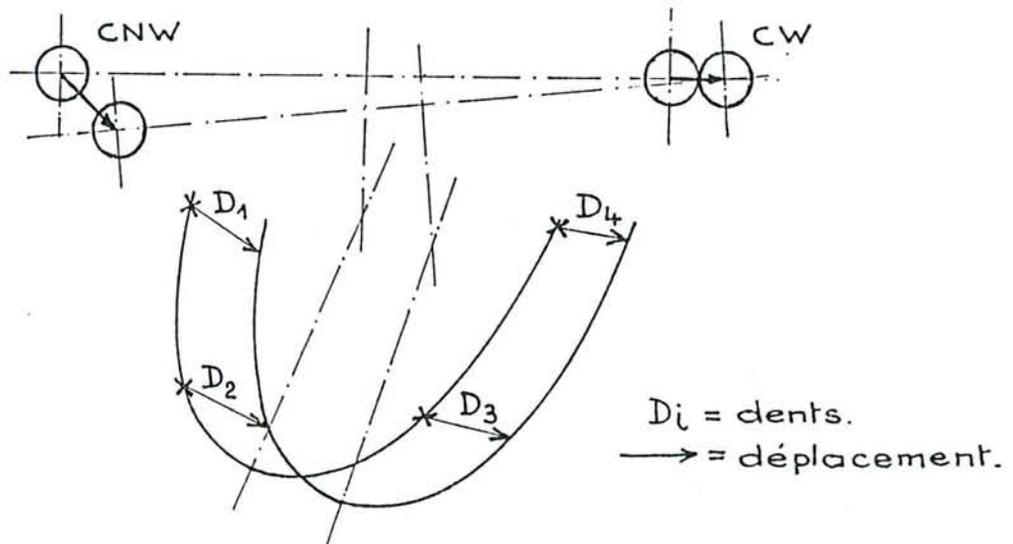


Schéma n° 1

Un ordinateur calcule les coordonnées de tous les points des trajectoires mandibulaires lors des mouvements de latéralité.

Si l'on modifie la valeur d'un ou de plusieurs déterminants, on obtient un autre déplacement que l'on peut comparer à celui de référence.

Cela a permis de connaître la nature des trajets des cuspidés mandibulaires, ainsi que l'importance relative de chaque déterminant de l'occlusion.

Les déterminants étudiés sont :

- au niveau antérieur :
 - . l'orientation du plan d'occlusion
 - . la pente canine
 - . la position de la canine sur l'arcade, aussi appelée dans cette étude tangente canine.

- au niveau postérieur :
 - . la pente condylienne
 - . l'angle de Bennett
 - . la largeur inter-condylienne
 - . la position de l'axe charnière arbitraire par rapport à l'axe réel.

L'utilisation d'un articulateur, programmé arbitrairement selon des valeurs différentes de celles du patient, peut induire des interférences une fois la prothèse en bouche.

Après une étude des interférences, l'analyse des trajectoires a mis en évidence les valeurs des déterminants de l'occlusion qui permettent la réalisation de prothèses conjointes avec un minimum de risques, et donc la programmation arbitraire idéale.

Tous les résultats obtenus dans cette thèse se situent dans l'absolu. Nous avons voulu les rendre relatifs en les comparant à d'autres imprécisions dues à l'utilisation d'un articulateur semi-adaptable.

Ainsi, nous avons recalculé l'erreur commise lors du montage du modèle mandibulaire avec une cire de relation centrée, lorsque l'axe charnière de l'articulateur ne correspond pas à celui du patient. Celle-ci était classiquement donnée par le "calcul de WEINBERG" (Cf. Chapitre 5).

Enfin, dans la dernière partie de ce travail, nous avons réalisé une expérimentation métrologique pour vérifier l'exactitude de nos formulations mathématiques (Cf. Chapitre 6).

Sur un articulateur spécialement préparé, nous avons mesuré les déplacements d'un point particulier de la branche inférieure pour une programmation donnée. Les résultats obtenus ont été comparés, aux erreurs de fabrication et de manipulation près, à ceux issus du calcul mathématique.

CHAPITRE 3

Le modèle mathématique

3.1. LES CONTRAINTES DU MOUVEMENT DE L'ELEMENT MOBILE DE L'ARTICULATEUR

Contrairement au mouvement de l'articulateur, on a considéré :

- la partie supérieure de celui-ci comme étant fixe
- la partie **inférieure** comme **mobile**, ce qui correspond au mouvement naturel.

Le déplacement de l'élément mobile (mandibule) est fonction du "guidage" de 3 points (voir schéma n° 2) :

- le point CG, de guidage "mécanique", rectiligne, confondu avec l'axe condylien fixe,
- le point CD, de guidage "mécanique", rectiligne, appartenant au plan condylien et à la droite de l'angle de Bennett,
- le point C, de guidage "physiologique", défini arbitrairement comme un point (sommet canine mandibulaire) se déplaçant dans un plan (face palatine de la canine maxillaire).

Les 5 paramètres de ce mouvement sont :

γ gamma - pente condylienne	}
	} déterminants postérieurs
β bêta - angle de Bennett	}
ω oméga - pente occlusale	}
τ tau - tangente canine	} déterminants antérieurs
ρ rô - pente canine	}

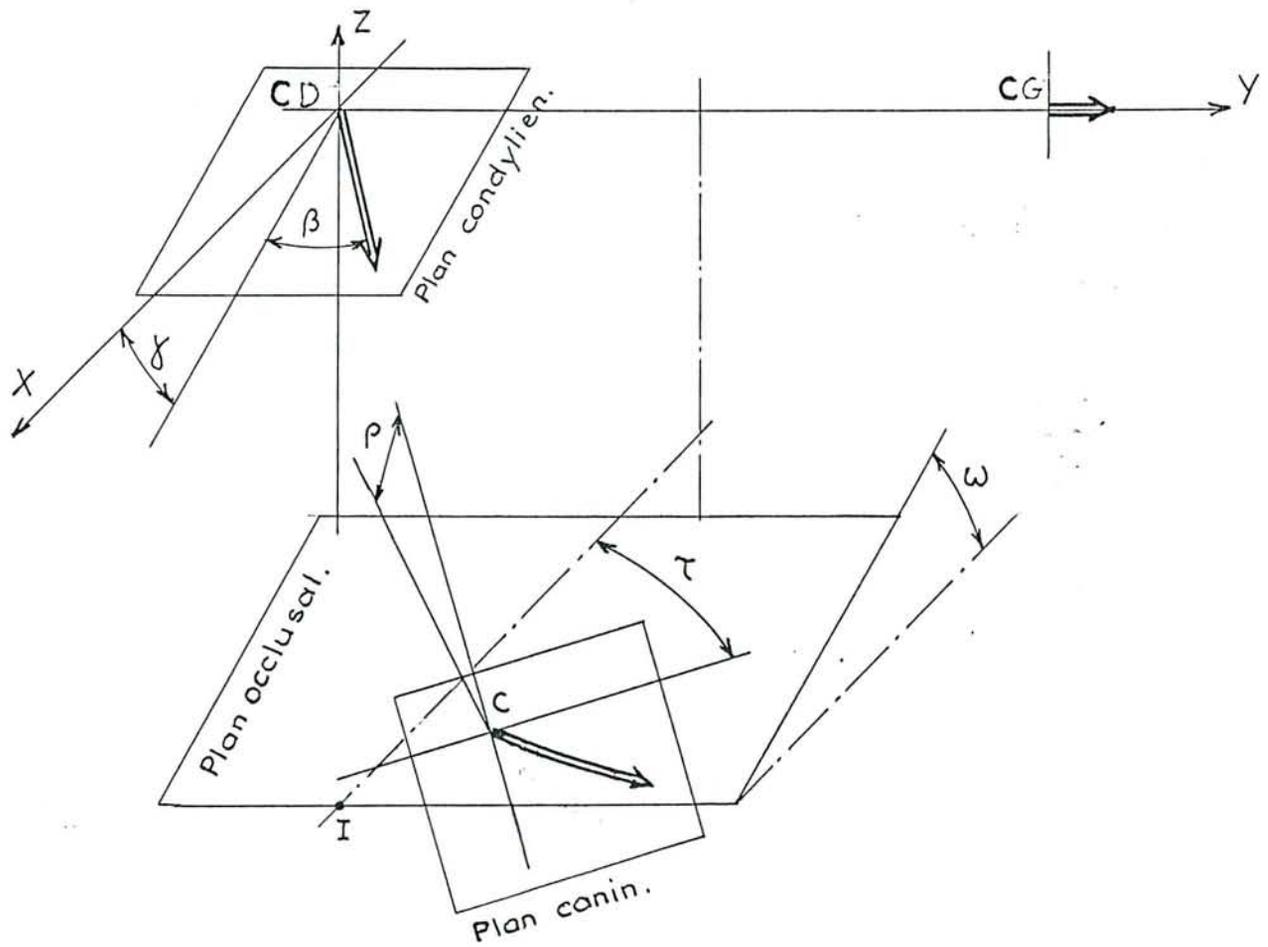
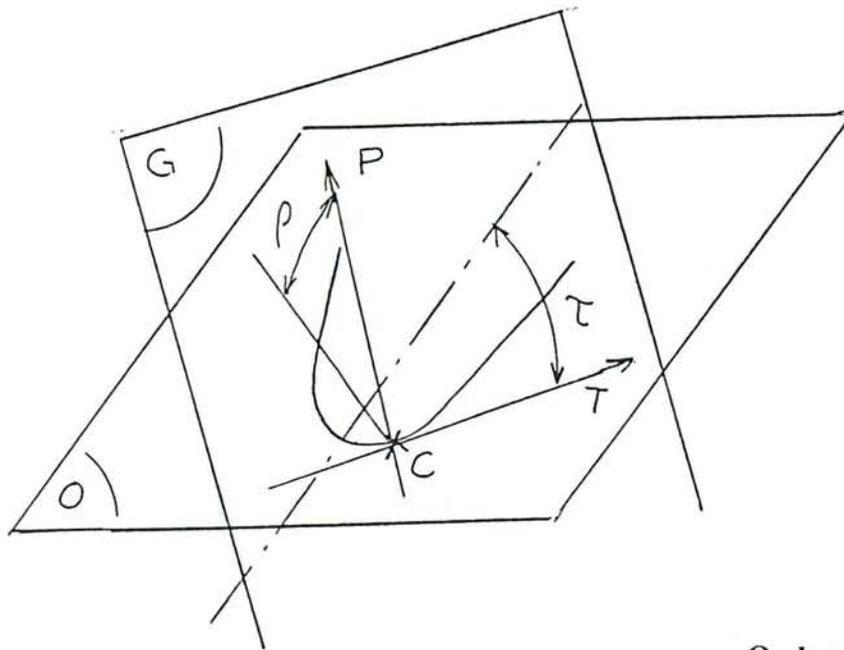


Schéma n° 2

- CG = Condyle travaillant
 CD = Condyle non-travaillant
 C = Point occlusal de la canine
 I = Point inter-incisif
 γ = Pente condylienne
 β = Angle de Bennett
 ω = Pente occlusale
 τ = Tangente canine
 ρ = Pente canine

3.2. LE PLAN DE GUIDAGE CANIN : G



O plan occlusal

Schéma n° 3

3.2.1. Le plan G est défini :

- par le point d'occlusion de la canine C appartenant au plan O, de coordonnées : (X_{CG}, Y_{CG}, Z_{CG})
- par la tangente T en C à l'arcade dentaire, d'angle τ ($T =$ trace de G sur O)
- par la pente P entre G et O, de valeur angulaire ρ

3.2.2. Calcul du vecteur-directeur de G dans (CXYZ)

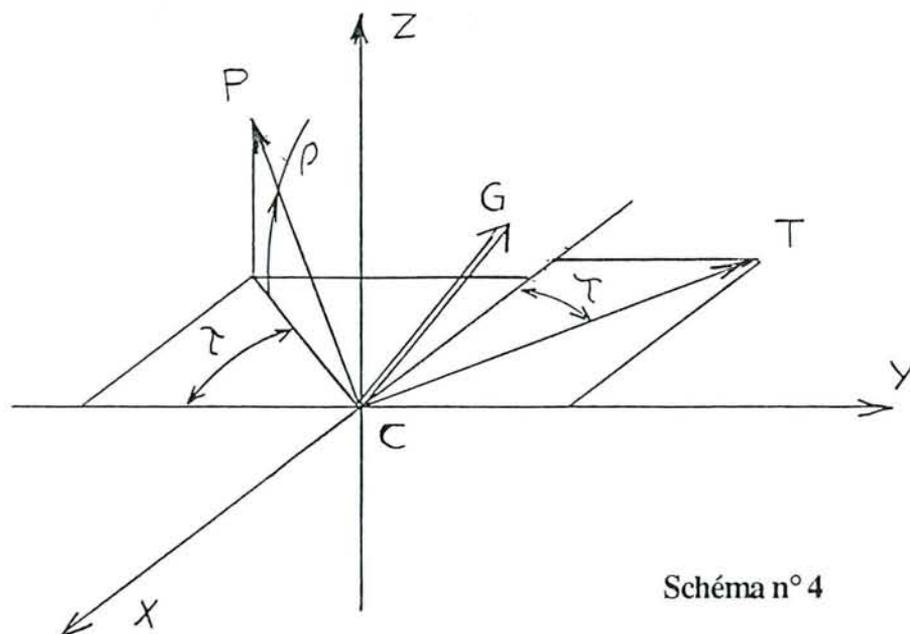


Schéma n° 4

Les vecteurs T et P définissant le plan G ont pour direction :

$$\vec{T} = \begin{array}{l|l} X & -\cos \tau \\ Y & \sin \tau \\ Z & \emptyset \end{array} \quad \vec{P} = \begin{array}{l|l} X & -\cos \rho * \sin \tau \\ Y & -\cos \rho * \cos \tau \\ Z & \sin \rho \end{array}$$

Le vecteur directeur G du plan G, défini par rapport à O, est donc :

$$\vec{G} = \vec{T} \wedge \vec{P} = \begin{array}{l|l} X & \sin \tau * \sin \rho \\ Y & \cos \tau * \sin \rho \\ Z & \cos \rho \end{array}$$

3.2.3. La rotation ω autour de Y du plan occlusal O se traduit par la matrice suivante :

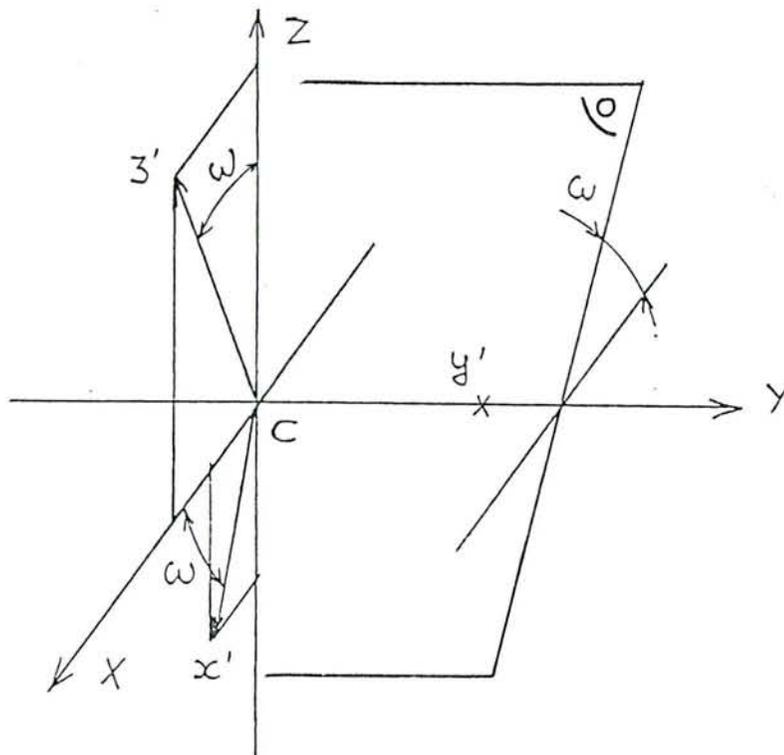


Schéma n° 5

	X =	Y =	Z =
x	Cos ω	0	- Sin ω
y	0	1	0
z	Sin ω	0	Cos ω

Si on applique la rotation ω à G on obtient :

$$G = \begin{bmatrix} \text{Cos } \omega & 0 & -\text{Sin } \omega \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{Sin } \omega & 0 & \text{Cos } \omega \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Sin } \tau * \text{Sin } \rho \\ \text{Cos } \tau * \text{Sin } \rho \\ \text{Cos } \rho \end{bmatrix}$$

Finalement :

$$G = \begin{array}{l} G(1) \\ G(2) \\ G(3) \end{array} = \begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{Cos } \omega * \text{Sin } \tau * \text{Sin } \rho + \text{Sin } \omega * \text{Cos } \rho \\ \text{Cos } \tau * \text{Sin } \rho \\ - \text{Sin } \omega * \text{Sin } \tau * \text{Sin } \rho + \text{Cos } \omega * \text{Cos } \rho \end{array} \right.$$

3.2.4. Les coordonnées de C dans (OXYZ) étant XCG :

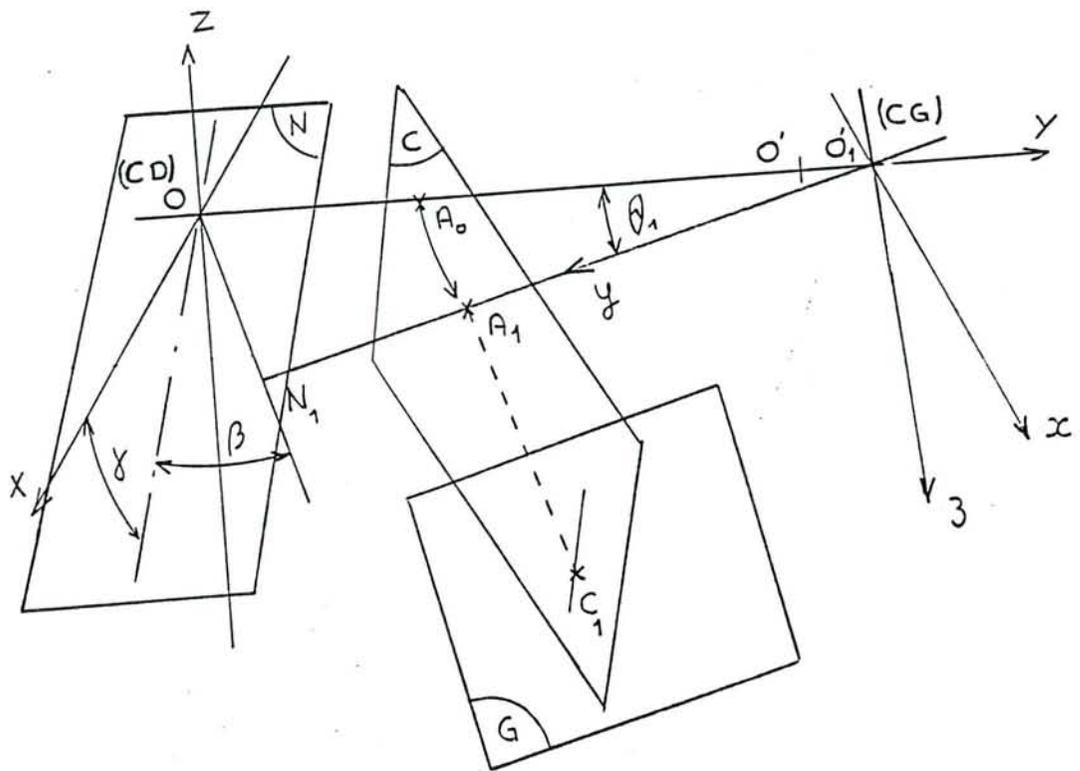
La distance du plan G à l'origine O du repère (OXYZ) est :

$$D = G(1) * XCG + G(2) * YCG + G(3) * ZCG$$

et $G(4) = -D$

G_1 à G_4 sont les paramètres du plan G dans le repère (OXYZ)

3.3. PRINCIPE DU MODELE DES MOUVEMENTS



N = plan condylien
 N1 = point sur la droite de Bennett de l'élément mobile

Schéma n° 6

On a considéré deux systèmes de référence :

- Le système fixe OXYZ (maxillaire), dans lequel sont définies les positions initiales des 4 dents et de la canine.
- Le système mobile O'xyz (mandibule) qui subit :
 - . une **translation** du centre O' en O'₁, pour une valeur θ_1 du mouvement de Bennett, liée au guidage CG,
 - . une **inclinaison** de l'axe y, confondue avec l'axe condylien N₁O'₁, due au guidage CD,
 - . une **rotation** autour de l'axe y, due au guidage canin, c'est-à-dire du mouvement du point C dans le plan G.

Remarques :

Le plan C, dont la trace avec G contient C, est défini orthogonal à y.

Le point A est la projection de C sur y.

3.4. PRINCIPE GENERAL DE LA RESOLUTION (MARTIN) (19)

Soit les deux systèmes :

F - OYYZ - maxillaire

M - O'xyz - mandibulaire.

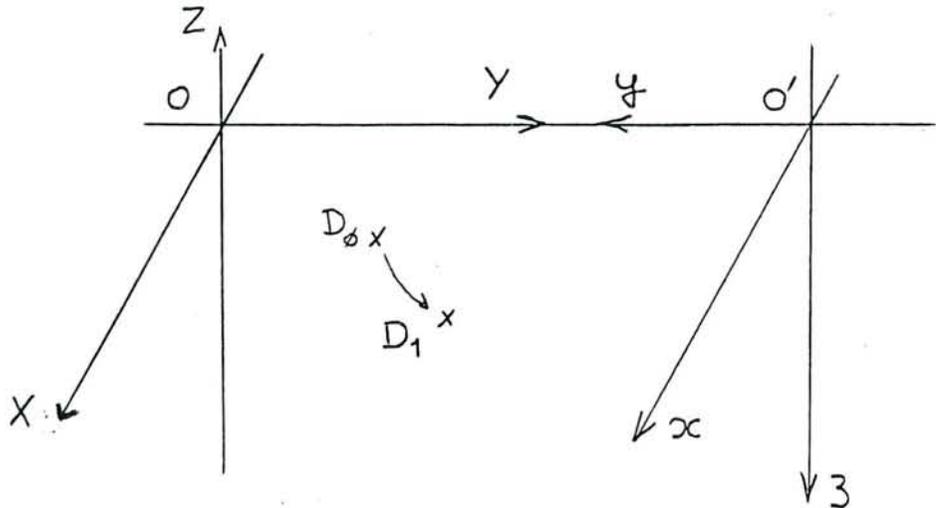


Schéma n° 7

Principe :

Un point D_0 étant défini dans F (Coord/O) :

- on transpose D_0 en M (Coord/O')
- on lui applique la translation et la rotation de M ($D_0 \rightarrow D_1$)
- on retranspose D_1 en F (Coord/O).

3.5. LE MOUVEMENT DE BENNETT

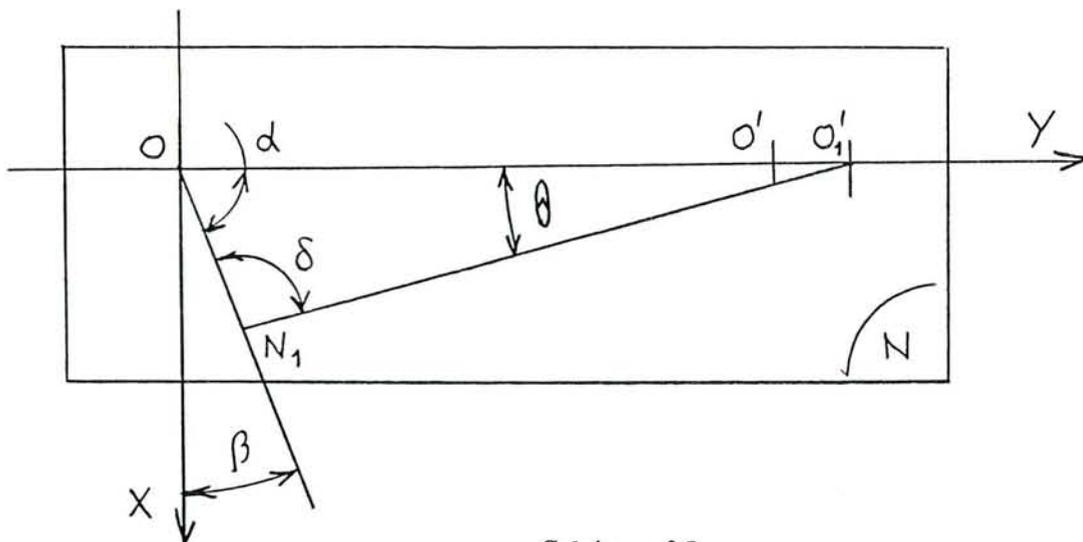


Schéma n° 8

3.5.1. La translation du système M

Dans le triangle quelconque $ON_1O'_1$, appartenant au plan N , on a les relations :

$$\frac{N_1O'_1}{\sin \alpha} = \frac{OO'_1}{\sin \delta}$$

Par ailleurs : $\alpha = \Pi/2 - \beta$ $\delta = \Pi - \alpha - \theta$

d'où : $OO'_1 = N_1O'_1 \times \frac{\sin \delta}{\sin \alpha}$

$$= N_1O'_1 \times \frac{\sin (\Pi/2 + \beta - \theta)}{\sin (\Pi/2 - \beta)}$$

avec : $\sin (\Pi/2 + x) = \sin (\Pi/2 - x) = \cos x$

il vient :

$$OO_1 = N_1O'_1 \times \frac{\cos (\beta - \theta)}{\cos \beta}$$

Comme : $N_1O'_1 = OO'$ on obtient finalement.

$$OO'_1 = OO' \times \frac{\cos(\beta - \theta)}{\cos \beta}$$

Avec : OO'_1 = distance à l'origine du système M

OO' = largeur condylienne

β = angle de Bennett

θ = variable de mouvement

et la matrice de translation :

$$T = \begin{array}{l|l} X & 0 \\ Y & OO'_1 \\ Z & 0 \end{array}$$

Remarque :

On constate que l'orientation du plan condylien est sans influence sur la translation.

3.5.2. L'inclinaison de l'axe O'_1y définie dans OXYZ

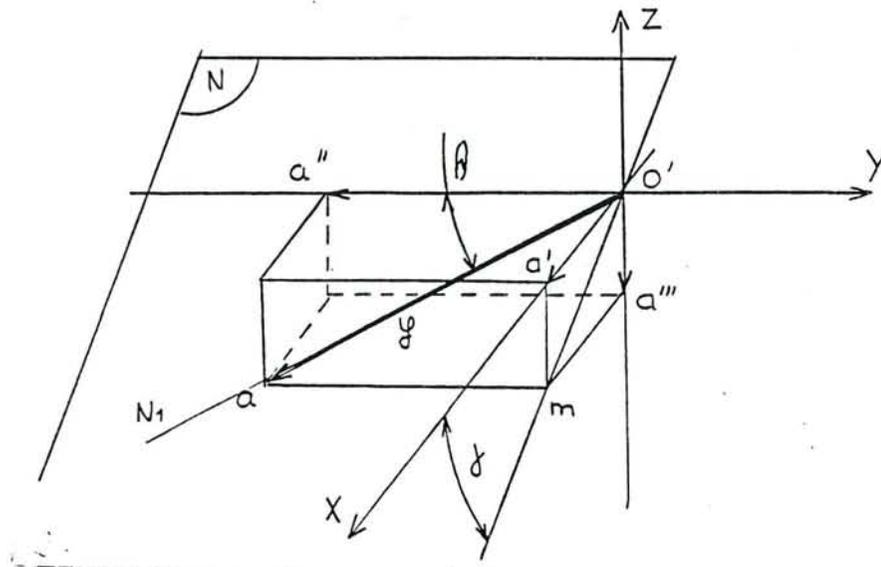


Schéma n° 9

N = plan condylien

y est défini sur $O'N_1$

$$\begin{array}{l} O'a' = \text{proj. de } a \text{ sur } X = \quad \} \\ O'a'' = \text{proj. de } a \text{ sur } Y = \quad \} \text{ Cos directeur de } y \\ O'a''' = \text{proj. de } a \text{ sur } Z = \quad \} \end{array}$$

On a : $O'm = y \times \sin \theta$

Et : $O'a' = O'm \times \cos \gamma$

$$O'a'' = y \times \cos \theta$$

$$O'a''' = O'm \times \sin \gamma$$

Pour $y = \text{vecteur unitaire} = 1$ on obtient :

$\text{Cos dir de } y =$	X	$\left \begin{array}{l} \sin \theta \cos \gamma \\ - \cos \theta \\ - \sin \theta \sin \gamma \end{array} \right.$
	Y	
	Z	

Avec : $\gamma = \text{pente condylienne}$

$\theta = \text{variable du mouvement de Bennett.}$

3.6. LA ROTATION DU SYSTEME M AUTOUR DE $O'_1N_1(y)$

3.6.1. Définition du plan C

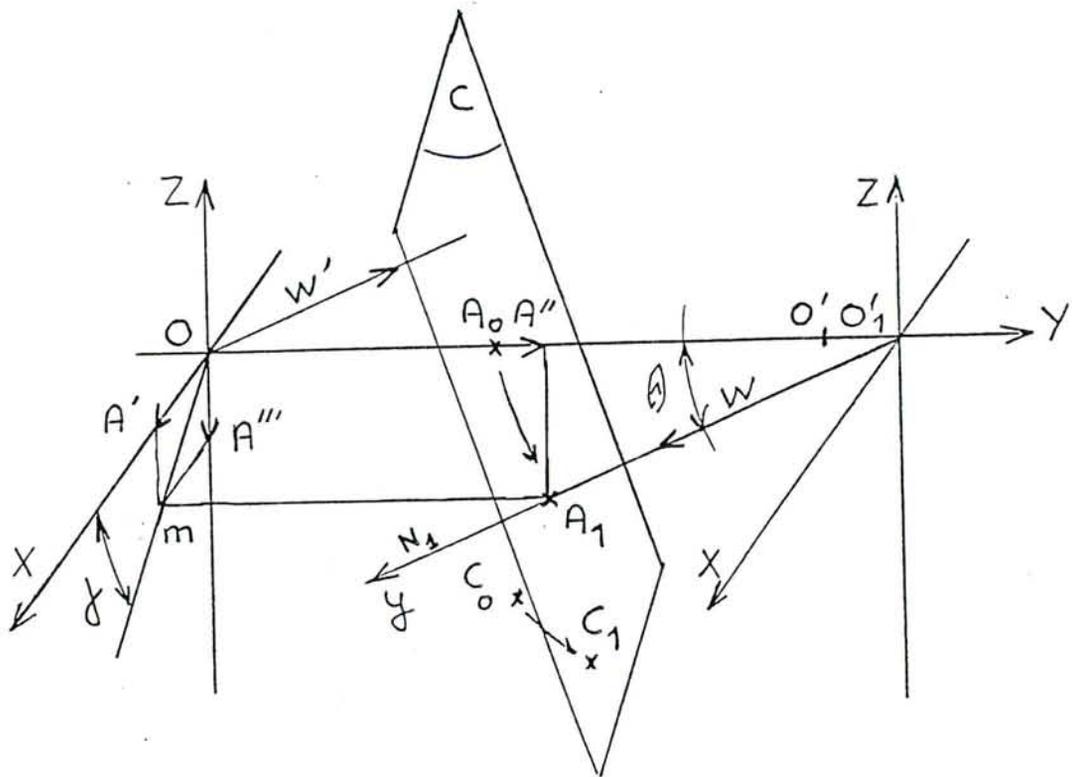


Schéma n° 10

Soit A_0 la projection du point C dans sa position initiale C_0

On peut construire un plan C orthogonal à Y (y) passant par A_0 , contenant C_0

Au cours de l'inclinaison de y, le plan C reste orthogonal à y.

Pour un angle θ :

O' passe en O'_1

A_0 passe en A_1

C_0 passe en C_1

mais le point C_1 reste élément du plan C.

Soit un vecteur W défini sur y . W' le vecteur directeur du plan a même direction, mais sens opposé.

Comme $\text{Cos.dir. } W = \text{cos. dir. } y$.

On a :

$\text{Cos.dir. } W'$	=	<table style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px; border-right: 1px solid black;">X</td> <td style="padding: 5px;">-</td> <td style="padding: 5px;">$\text{Sin } \theta \text{ cos } \gamma$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px; border-right: 1px solid black;">Y</td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">$\text{Cos } \theta$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px; border-right: 1px solid black;">Z</td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">$\text{Sin } \theta \text{ Sin } \gamma$</td> </tr> </table>	X	-	$\text{Sin } \theta \text{ cos } \gamma$	Y		$\text{Cos } \theta$	Z		$\text{Sin } \theta \text{ Sin } \gamma$
X	-	$\text{Sin } \theta \text{ cos } \gamma$									
Y		$\text{Cos } \theta$									
Z		$\text{Sin } \theta \text{ Sin } \gamma$									

3.6.2. Calcul des coordonnées de A_1

Avec :

$$W = \text{distance } O'A_0 = OO' - OA_0$$

$$= O'_1 A_1$$

$$m = \text{project. de } A_1 \text{ sur } XOZ$$

$$Om = W * \text{Sin } \theta$$

On a :

$$OA' = Om * \text{Cos } \gamma$$

$$OA'' = OO'_1 - O'_1 A''$$

$$\text{avec } O'_1 A'' = W \text{ Cos } \theta$$

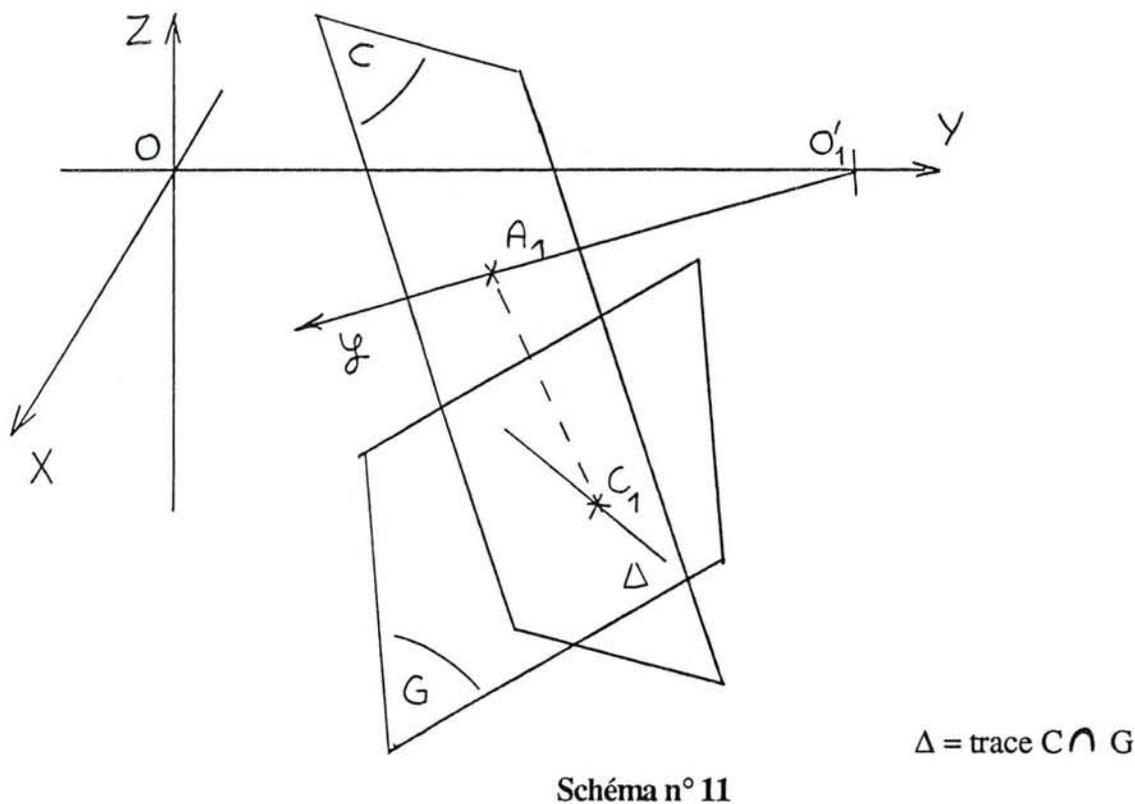
$$OA''' = Om * \text{Sin } \gamma$$

Finalement :

$OA' = (OO' - OA_0) * \text{Sin } \theta * \text{Cos } \gamma = XA_1$
$OA'' = (OO'_1 - (OO' - OA_0) \text{Cos } \theta) = YA_1$
$OA''' = -(OO' - OA_0) * \text{Sin } \theta * \text{Sin } \gamma = ZA_1$

dans le repère (OXYZ)

3.6.3. Calcul des coordonnées du point C



On sait que :

C_1 appartient au plan G et au plan C

A_1 appartient aussi à C

la distance $A_1C_1 = A_0C_0 = \text{Constante connue}$

Si le segment A_1C_1 est défini par les points :

$A_1 (x', y', z')$ et $C_1 (x, y, z)$, A_1 étant connu

le système à résoudre comprend les équations des 2 plans :

$$G - Ax + By + Cz + D = 0 \quad (1)$$

$$C - A'x + B'y + C'z + D' = 0 \quad (2)$$

et la relation :

$$(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2 = A_0C_0^2 \quad (3).$$

Résolutions :

Variables connues :

A, B, C, D les 4 paramètres du plan G, nommés G(1), G(2), G(3), G(4)

A, B, C, D les 4 paramètres du plan C, nommés (C(1), C(2), C(3), C(4))

XA, YA, ZA, coordonnées de A₁

XCØ, ZCØ coordonnées initiales de C

à calculer : X, Y, Z coordonnées de C₁.**a. Dans (1) avec :**

$$E = - \frac{G(2)}{G(1)} \quad F = - \frac{G(3)}{G(1)} \quad H = - \frac{G(4)}{G(1)}$$

Il vient :

$$\mathbf{X = E * Y + F * Z + H}$$

(à condition que G(1) ≠ 0)

b. En reportant dans (2), on a :

$$C(1) * (E * Y + F * Z + H) + C(2) * Y + C(3) * Z + C(4) = 0$$

d'où :

$$Y(C(1) * E + C(2)) + Z(C(1) * F + C(3)) + C(1) * H + C(4) = 0$$

avec :

$$K = \frac{C(4) + C(1) * H}{C(2) + C(1) * E} \quad L = - \frac{C(3) + C(1) * F}{C(2) + C(1) * E}$$

Il vient : $\mathbf{Y = L * Z + K}$

à condition que : C(2) + C(1) * E ≠ 0

soit : C(2) * G(1) - C(1) * G(2) ≠ 0

par ailleurs :

$$\begin{aligned} X &= (L * Z + K) * E + F * Z + H \\ &= (E * L + F) Z + K * E + H \\ &= O * Z + K * E + H \end{aligned} \quad \text{avec } O = E * L + F$$

c. En reportant dans (3) on a :

$$(O * Z + K * E + H - XA)^2 + (L * Z + K - YA)^2 + (Z - ZA)^2 = AC^2$$

avec :

$$P = K * E + H - XA \quad R = K - YA \quad \text{et} \quad S = -ZA$$

$$(O * Z + P)^2 + (L * Z + R)^2 + (Z - S)^2 = AC^2$$

en développant il vient :

$$Z^2 (O^2 + L^2 + 1) + 2Z (O * P + L * R + S) + (P^2 + L^2 + S^2 - AC^2) = 0$$

avec : $A = O^2 + L^2 + 1$

$$B = 2 (O * P + LR + S)$$

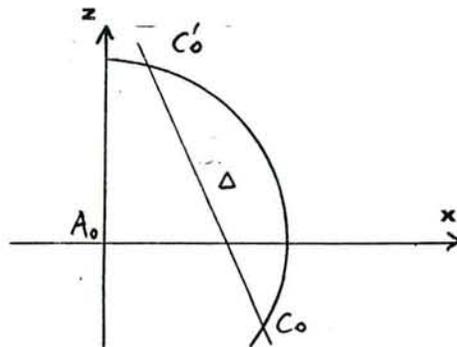
$$C = P^2 + L^2 + S^2 - AC^2$$

On a l'équation du second degré en z

$$Az^2 + Bz + C = 0$$

à condition que : $B^2 - 4 * A * C > 0$

Il y a deux racines, on retient celle de plus petit z. En effet, on voit à l'origine que l'intersection de Δ par un arc de cercle de rayon A_0C_0 donne deux points C_0 et C'_0 . C'est C_0 qui nous intéresse.



On sait :

$$Z = \frac{-B \sqrt{B^2 - 4 * A * C}}{2 * A}$$

On sait : $AC^2 = XC\emptyset + ZC\emptyset^2$

3.6.4. Calcul des coordonnées du point B₁

Soit le point B₀ projection de C₀ sur YOY.

Ce point se déplace en B₁.

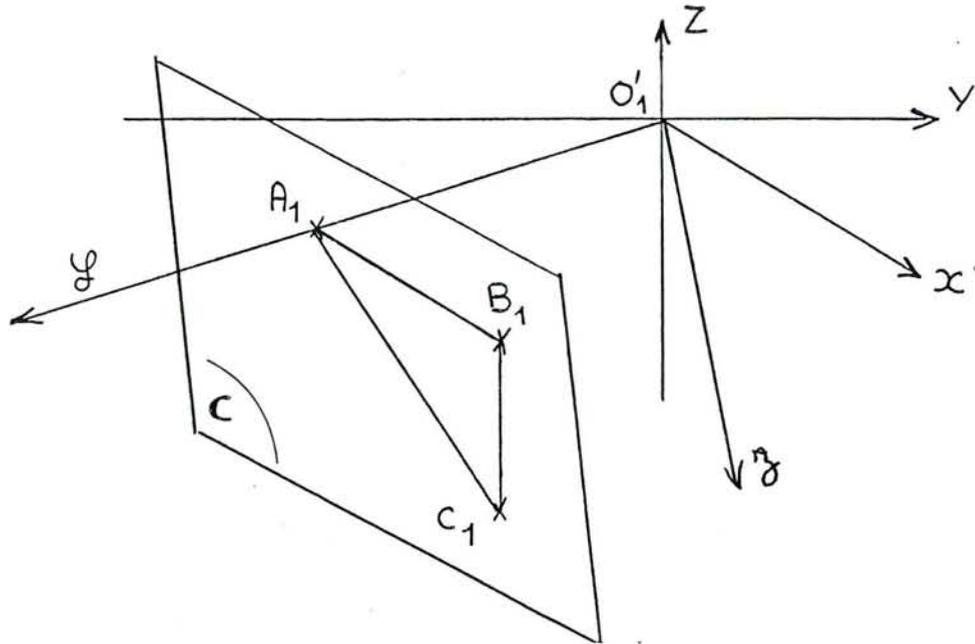


Schéma n° 12

$A_1 B_1 C_1$ appartient au plan C perpendiculaire à y

$A_1 B_1$ appartient au plan $O'x y$

$O'x$ a même orientation que $A_1 B_1$

Distance $A_1 B_1 = A_0 B_0 = X C_0$

Distance $C_1 B_1 = C_0 B_0 = Z C_0$

Le système à résoudre comprend :

l'équation du plan C :

$$C(1)X + C(2)Y + C(3)Z + C(4) = 0 \quad (1)$$

les distances AB, CB qui vérifient :

$$(X - XA)^2 + (Y - YA)^2 + (Z - ZA)^2 = XCO^2 \quad (2)$$

$$(X - XC)^2 + (Y - YC)^2 + (Z - ZC)^2 = ZCO^2 \quad (3)$$

Résolution :

Variables connues :

C (1), C(2), C(3), C(4) équation du plan

XA, YA, ZA, coordonnées du point A₁XC, YC, ZC, coordonnées du point C₁

XCO, ZCO, coordonnées initiales de C.

A calculer : X, Y, Z coordonnées de B₁.

Dans (1) avec :

$$E = - \frac{C(2)}{C(1)} \qquad F = - \frac{C(3)}{C(1)} \qquad G = - \frac{C(4)}{C(1)}$$

il vient : $X = E * Y + F * Z + G$ et $C(1) \neq 0$

Après développement et soustraction (3) de (2), il reste :

$$2X(XC - XA) + XA^2 - XC^2 + 2Y(YC - YA) + YA^2 - YC^2 + 2Z(ZC - ZA) + ZA^2 - ZC^2 = XCO^2 - ZCO^2 \qquad (5)$$

(4) dans (5), avec $H = 2 * (XC - XA)$ donne :

$$Y * E * H + Z * F * H + G * H + XA^2 - XC^2 \dots / \dots$$

$$\text{et } Y(E * H + 2(YC - YA)) + Z(F * H + 2(ZC - ZA)) \dots / \dots$$

$$\text{Avec : } K = E * H + 2(YC - YA)$$

$$L = F * H + 2(ZC - ZA)$$

$$M = G * H + XA^2 - XC^2 + YA^2 - YC^2 + ZA^2 - ZC^2 - XCO^2 + ZCO^2$$

$$\text{Il vient : } Y * K + Z * L + M = 0$$

et avec :

$$N = - \frac{L}{K} \qquad \text{et} \qquad P = - \frac{M}{K}$$

$$\text{il vient : } Y = N * Z + P \qquad (6)$$

En reportant (6) dans (4) :

$$\text{avec : } Q = E * N + F \quad \text{et} \quad R = E * P + G$$

$$\text{on obtient : } X = Q * Z + R \quad (7)$$

(6) et (7) dans (3) :

$$\text{avec } S = R - XC \quad \text{et} \quad T = P - YC$$

$$\text{on obtient : } (Q * Z + S)^2 + (N * Z + T)^2 + (Z - ZC)^2 - ZC^2 = 0$$

$$\begin{aligned} \text{avec : } U &= Q^2 + N^2 + 1 \\ V &= 2 * (Q * S + N * T - ZC) \\ W &= S^2 + T^2 + ZC^2 - ZC^2 \end{aligned}$$

$$\text{On obtient : } U * Z^2 + VZ + W = 0$$

Il existe 2 racines B et B'. On retient celle de plus grand Z. En effet, on voit à l'origine qu'il existe une solution symétrique B'₀ qui ne nous concerne pas.

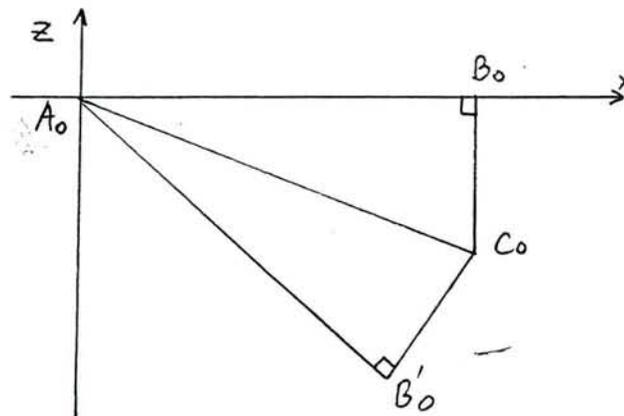


Schéma n° 13

Finalement :

$$Z = \frac{-V + \sqrt{V^2 - 4 * U * W}}{2 * U}$$

3.6.5. Calcul de la matrice O (3,3) de rotation de l'ensemble du système M

a. La direction de y est opposée à la direction du vecteur W' directeur de plan C, connu

d'où :

$$\vec{y} \begin{cases} O(1,2) = -C(1) \\ O(2,2) = -C(2) \\ O(3,2) = -C(3) \end{cases}$$

b. Calcul des cosinus directeurs de x

x est parallèle à AB, d'où pour un vecteur unitaire :

$$x \text{ unitaire} = \frac{\vec{AB}}{\|AB\|}$$

C'est-à-dire :

$$\|AB\| = \text{norme AB} = \text{longueur AB}$$

$$\|AB\| = \sqrt{(XB - XA)^2 + (YB - YA)^2 + (ZB - ZA)^2}$$

Or $\|AB\| = \text{constante}$ et vaut à l'origine A_0B_0

$$= \text{projection sur x de } C_0 = XCO$$

Finalement :

$$\vec{x} = \begin{cases} X & (XB - XA) / XCO = O(1,1) \\ Y & (YB - YA) / XCO = O(2,1) \\ Z & (ZB - ZA) / XCO = O(3,1) \end{cases}$$

c. Le vecteur z est orthogonal et direct, par rapport à x, y, donc :

$$z = x \wedge y \text{ produit vectoriel}$$

et :

$$\vec{z} = \begin{cases} O(1,3) = O(2,1) * O(3,2) - O(3,1) * O(2,2) \\ O(2,3) = O(3,1) * O(1,2) - O(1,1) * O(3,2) \\ O(3,3) = O(1,1) * O(2,2) - O(2,1) * O(1,2) \end{cases}$$

3.7. DEFINITION DES DENTS DANS LE MODELE

1. Les dents sont définies dans le plan O, par :

- la distance S à l'axe de symétrie de la courbe dentaire
- la distance d au point inter-incisif I.

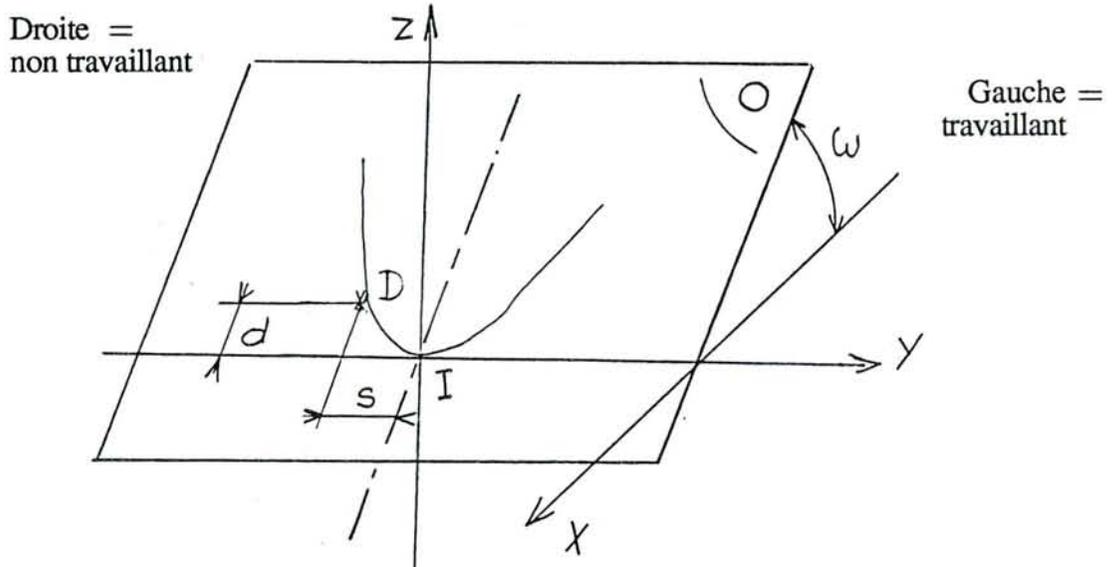


Schéma n° 14

2. Le plan O est susceptible de tourner autour de l'axe Y passant par I.

Dans le repère (I X Y Z), la position d'une dent est :

$$\text{Dent à droite} \begin{cases} X = -d * \cos \omega \\ Y = -S \\ Z = d * \sin \omega \end{cases} \quad \text{Dent à gauche} \begin{cases} X = \text{idem} \\ Y = +S \\ Z = \text{idem} \end{cases}$$

3. Les distances de I dans (O X Y Z), étant :

XI, ZI avec XI, ZI > 0

YI = implantation au milieu de l'articulateur
= (larg. condyl. / 2).

Le changement d'origine (O X Y Z) donne :

$$\text{Dent à droite} \begin{cases} X = XI - d * \cos \omega \\ Y = YI - S \\ Z = -ZI + d * \sin \omega \end{cases}$$

Dent à gauche idem, sauf Y = YI + S

Remarque : les coordonnées XCO, YCO, ZCO de la canine sont calculées comme une Dent à gauche.

3.8. LE PROGRAMME INFORMATIQUE (RIVIERE) (23) (TURBO-PASCAL) (31)

Le programme de calcul de la trajectoire a été développé :

- dans un premier temps :
en langage FORTRAN V sur un BULL DPS8.
Il reste de cette période des diapositives montrant les trajectoires à l'écran graphique et des tracés.

- dans un deuxième temps :
en langage TURBO-PASCAL version 5.0, sur un micro-ordinateur (processeur : 80286).

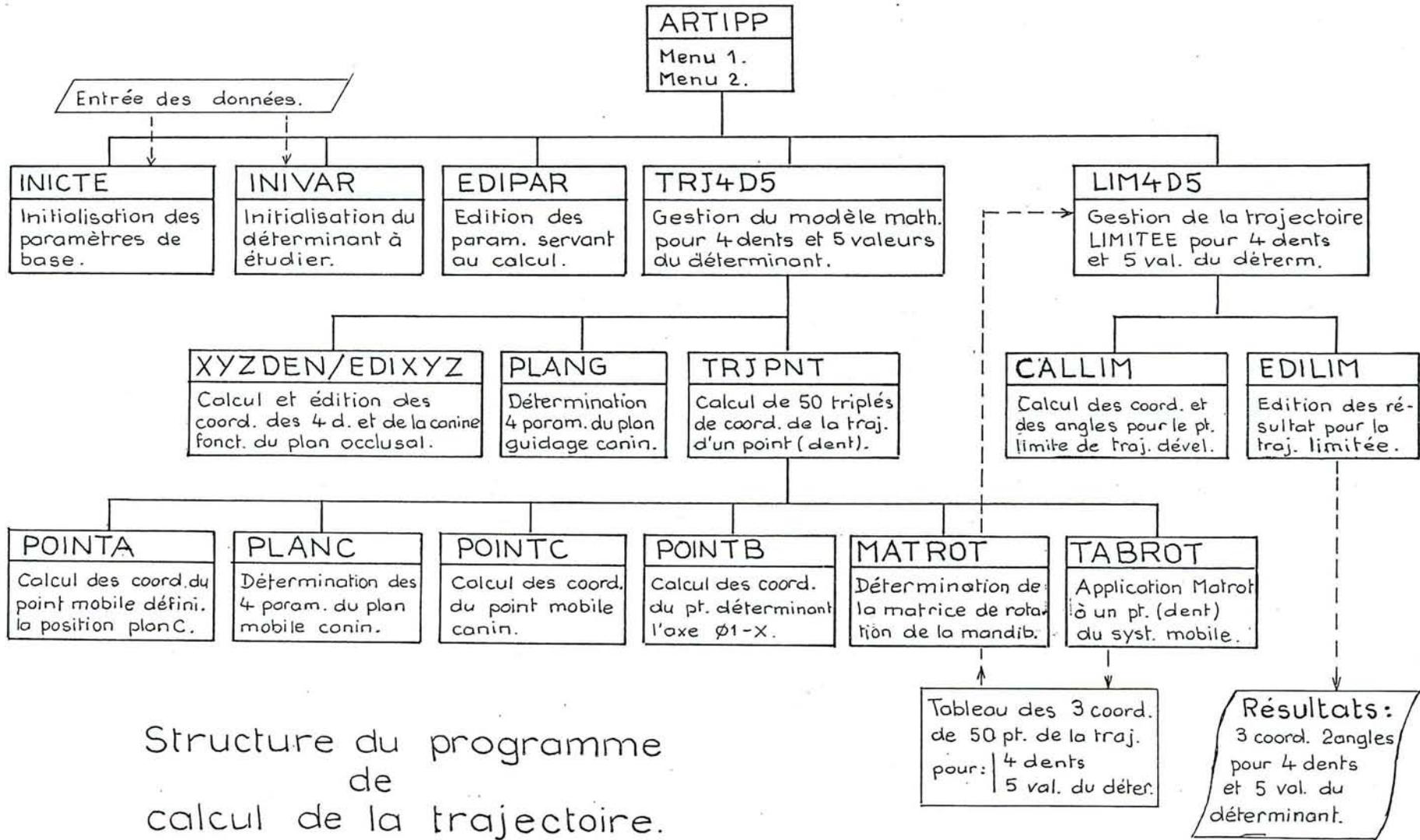
La structure du programme de calcul de la trajectoire est donnée sur le diagramme page suivante. Celui-ci représente les liaisons entre les différents sous-programmes (procédures) et résume leurs principales fonctions.

Les paramètres de base apparaissent dans un premier menu. Les déterminants dans un second (voir page suivante).

Ces éléments sont modifiables ainsi que les types de sorties en vue des résultats désirés.

Pour le calcul des "différences" qui n'apparaît pas sur ce diagramme, on génère un fichier contenant les 5 tableaux de résultats consécutifs pour les 5 valeurs du deuxième déterminant.

Ce fichier est traité ensuite pour faire apparaître ces différences.



Structure du programme de calcul de la trajectoire.

Structure du programme de calcul de la trajectoire

Premier menu

MODIFICATIONS DES PARAMETRES CONSTANTS.

Repèr.	Paramètres constants:	Valeurs:
1_	Pente condylienne	40 degr.
2_	Angle de Bennett	15 degr.
3_	Tangente canine	35 degr.
4_	Pente canine	45 degr.
5_	Pente du plan occlusal	10 degr.
6_	Largeur condylienne	110 mm.
7_	Position du point incisif .	
8_	Position de la canine.	
9_	Positions des quatre dents.	
10_	Long. trajectoire développée	1.50 mm.
11_	Incrément de Téta	0.0005 rad.

Pour modifier un paramètre indiquer son repère :
 Pour valider les paramètres faire 12 :

Votre CHOIX ? :

Sous répertoires (exemples)

Votre CHOIX ? : 7

Coord. actuelles du point incisif:

- dist. en X (vers l'avant) par rapport à l'origine = 70.00 mm.
nouvelle valeur =
- dist. en Y par rapport à l'axe de l'articulateur = 0.00 mm.
nouvelle valeur =
- dist. en Z (vers le bas) par rapport à l'origine = -60.00 mm.
nouvelle valeur =

Valeurs retenues : en X= mm_ en Y= mm_ en Z= mm.

Votre CHOIX ? : 8

Positions relatives du point canin:

- dist. en x (c.a.d. Y système) à partir du point incisive = 13.00 mm.
nouvelle valeur =
- dist. en y (c.a.d. -X système) à partir du point incisive = 8.00 mm.
nouvelle valeur =

Valeurs retenues : en x = mm. en y = mm.

Votre CHOIX ? : 9

Positions RELATIVES actuelles des quatre dents:

	Dent:1	Dent:2	Dent:3	Dent:4
dist. en x (Y système) =	-28.00	-17.00	17.00	28.00 mm.
dist. en y (-X système) =	43.00	14.00	13.00	42.00 mm.

Pas ou plus de modif. = 0, sinon indiquer le rep. de la dent ? :

Nouvelle val. en x ? :

Nouvelle val. en y ? :

Deuxième menu**CHOIX ET VALEURS DU PARAMÈTRE VARIABLE**

=====

- 1_ Pente condylienne.
- 2_ Angle de Bennett.
- 3_ Tangente canine.
- 4_ Pente canine.
- 5_ Pente du plan ~~oc~~clusal.

Indiquer le repère du paramètre à étudier.
Pour relancer les mêmes valeurs faire : 6.

Votre CHOIX ? :

Sous répertoire (exemple) :

Votre CHOIX ? : 1

Pente condylienne.

Nombre de valeurs ? : 5

1° valeur = 10

2° valeur = 20

3° valeur = 30

4° valeur = 40

5° valeur = 50

CHAPITRE 4

Exploitation du modèle et des résultats

4.1. LE RELEVÉ DES COORDONNÉES DES DENTS

4.1.1. Choix des dents à étudier

Quatre dents représentatives de toute l'arcade mandibulaire ont été retenues, car elles donnent une vision des trajectoires antérieures et postérieures, travaillantes et non travaillantes, à savoir :

- D₁ : 2ème molaire inférieure non travaillante (cuspidé disto-vestibulaire)
- D₂ : 1ère prémolaire inférieure non travaillante (cuspidé vestibulaire)
- D₃ : 1ère prémolaire inférieure travaillante (cuspidé vestibulaire)
- D₄ : 2ème molaire inférieure travaillante (cuspidé disto-vestibulaire).

4.1.2. Conditions du relevé

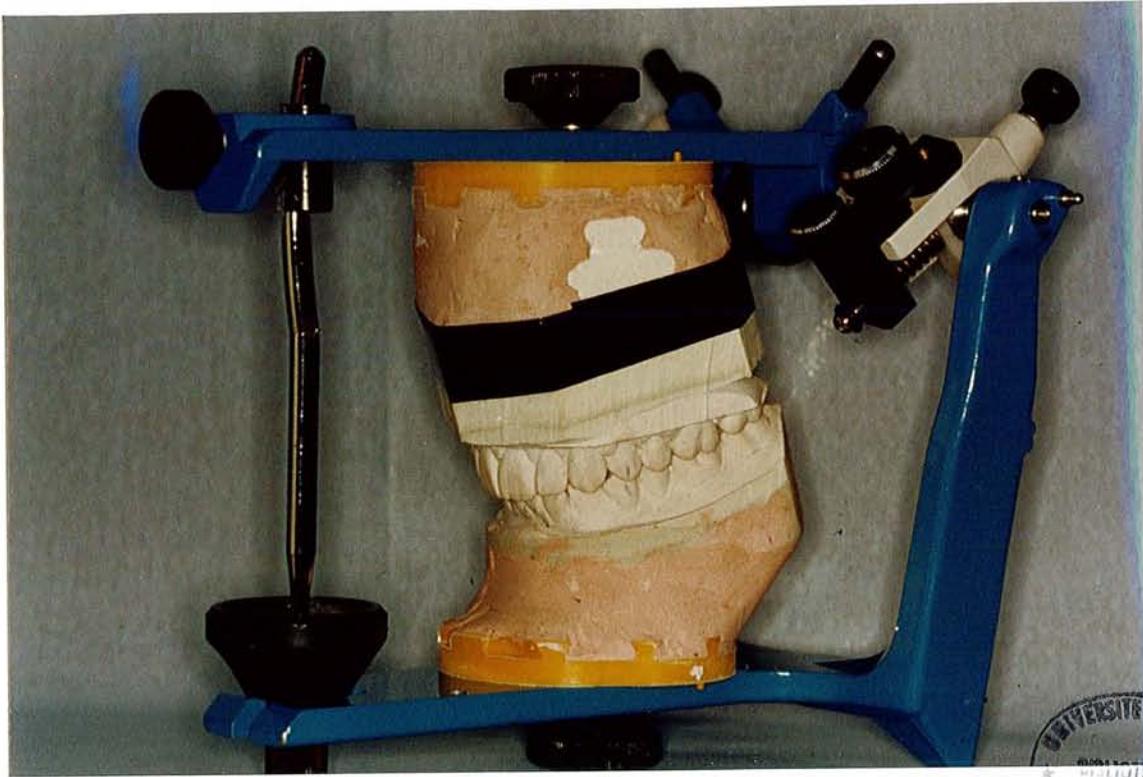
Les valeurs numériques de cette étude ont été relevées après montage sur un articulateur semi-adaptable de type FAGMATIC PERFECT, à l'aide d'un arc facial de transfert.

Les modèles sont issus d'une bouche saine exempte de caries, de traitement ODF, de pathologie articulaire et de facettes d'abrasion, chez un sujet jeune en normocclusion (classe I).

Les empreintes sont réalisées selon la technique de LAURITZEN.

Cependant, ces valeurs restent indicatives et toutes autres valeurs peuvent être programmées.

Photo des modèles :



UNIVERSITE de BANGUE
DENTOMEDICINE
Section Odontologie



UNIVERSITE de BANGUE
DENTOMEDICINE
Section Odontologie

4.1.3. Valeurs numériques

La position de la canine, nécessaire pour la définition du plan canin est relevée dans les mêmes conditions.

La pente de la face palatine de la canine maxillaire est de 45° .

Rappel :

Les dents sont définies dans le plan occlusal O par :

- la distance S à l'axe de symétrie de la courbe dentaire
- la distance d au point inter-incisif I.

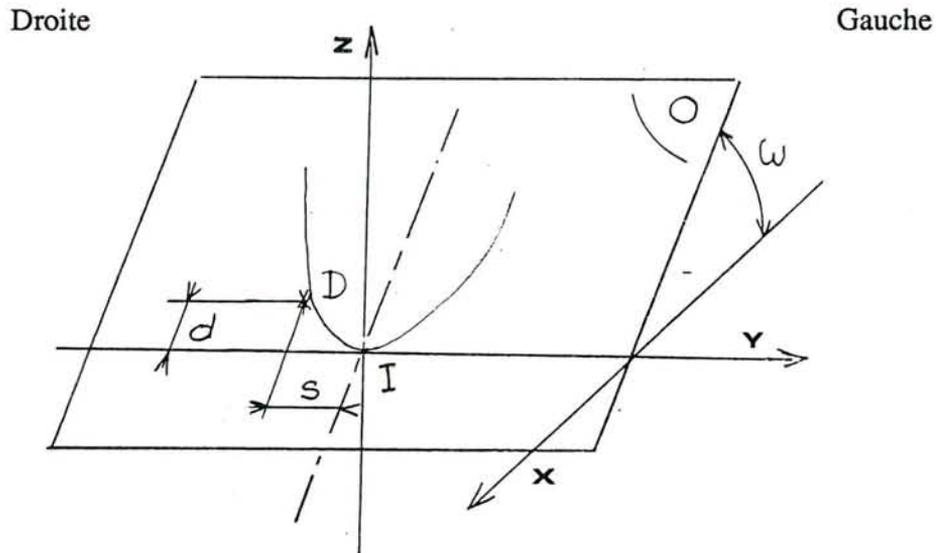


Schéma n° 15

	Distance à l'axe	Distance à I	Observation
Dent n° 1	28	43	Sommet de la cuspide disto-vestibulaire
Dent n° 2	17	14	Sommet de la cuspide vestibulaire
Dent n° 3	17	13	Sommet de la cuspide vestibulaire
Dent n° 4	28	42	Sommet de la cuspide disto-vestibulaire
Canine (5)	13	8	Sommet de la canine appartenant au plan O

I : Projection du point inter-incisif sur O

position dans l'articulateur $Z = -60$; $X = 70$

Oméga : angle de position du plan O dans l'articulateur (oméga = 10°)

Prise de cotes à la mandibule

Point 1,2,3,4, appartient au plan O, cotes en mm

4.2. LA TRAJECTOIRE

4.2.1. Forme générale de la trajectoire

La trajectoire mandibulaire est complexe. Elle présente une forme quasi-linéaire à l'origine puis s'incurve progressivement pour présenter un point d'inversion quand l'angle d'incrémentation θ est égal à l'angle de Bennett.

La perspective ci-contre à l'échelle 1,3 montre sa forme pour les 4 dents avec des longueurs de trajectoire d'environ 20 à 50 mm.

Perspectives de trois trajectoires
pour une pente condylienne de 10° , 35° et 60°

Autres paramètres :

Bennett	=	15°
Pent. Can.	=	45°
Tang. Can.	=	40°
Plan occl.	=	20°
Larg. con.	=	110 mm

Echelle : environ 1,3

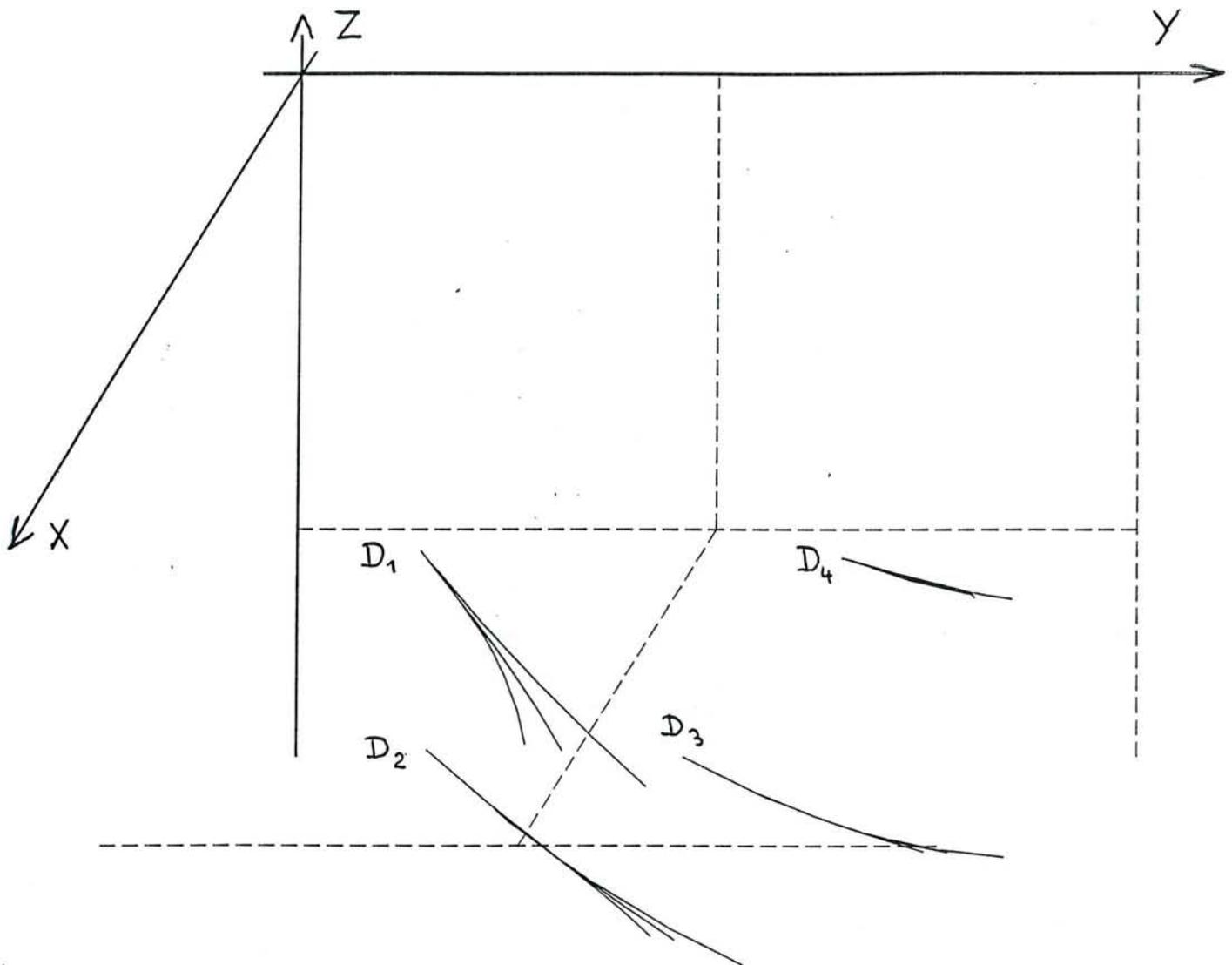


Schéma n° 16

Pour une longueur de trajectoire réduite à 1,5 mm, on peut considérer, et ceci bien au-delà de la précision nécessaire à nos calculs (le micron), la trajectoire comme **rectiligne**.

Ceci est visible sur les deux projections ZOY et XOY ci-après.

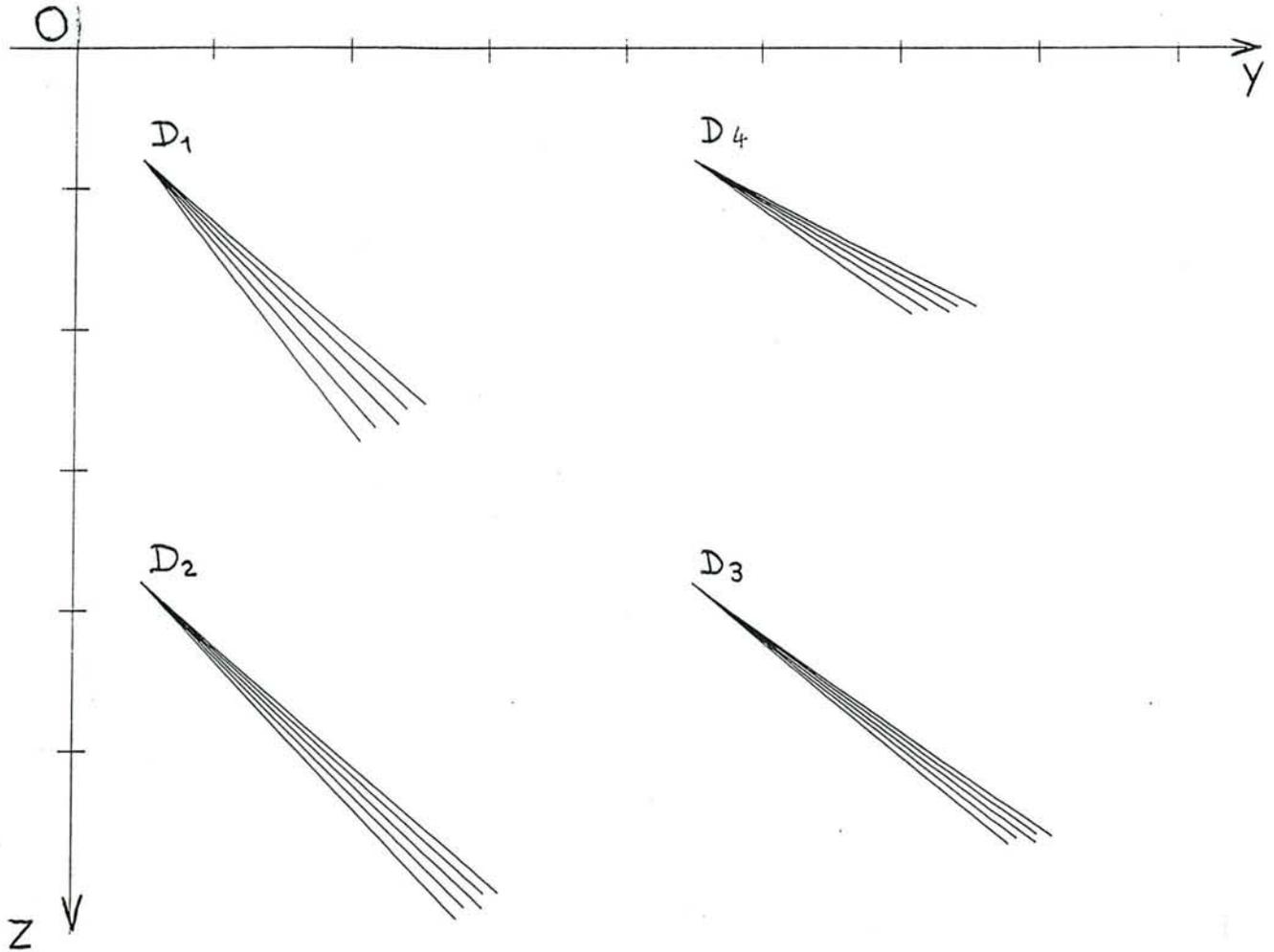


Schéma n° 17

Tracés en deux dimensions des trajectoires
pour un angle de Bennett variant de 5 à 25°
P.Cond. = 40° P.Can. = 45° P.Occl. = 20°
Echelle : 20. Une graduation : 1 mm

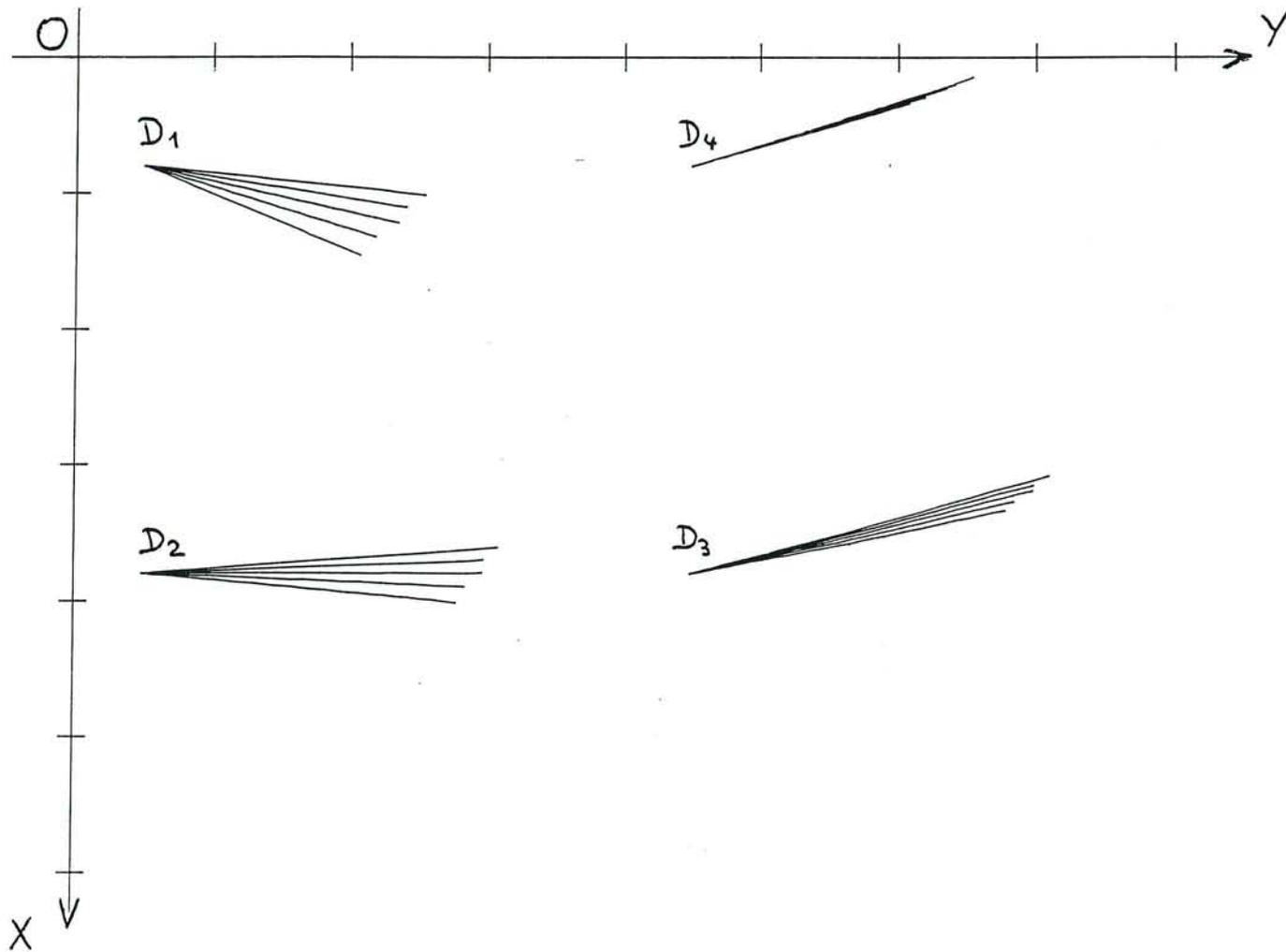


Schéma n° 18

4.2.2. La trajectoire limitée

Rappel : le modèle permet de calculer pour une valeur donnée de θ , la position du point D_1 (dent).

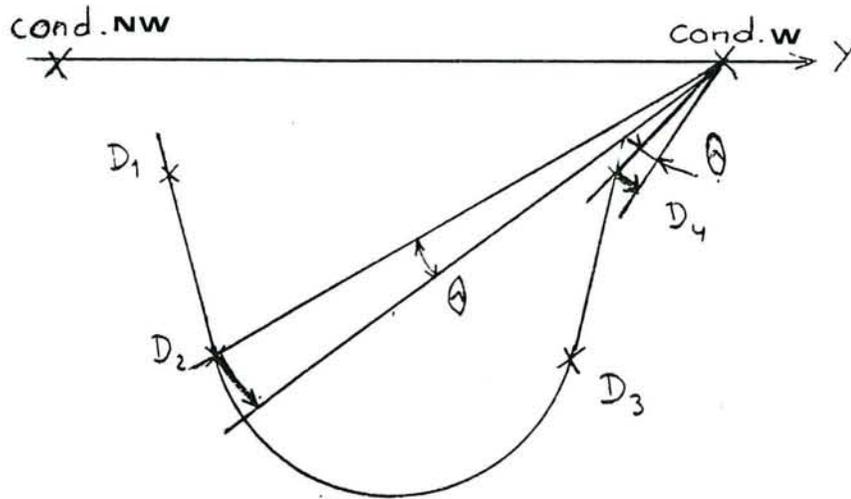


Schéma n° 19

Les quatre dents pour un même θ parcourent des distances différentes.

Il convient de calculer la position du point D_1 après un parcours limité à 1,5 mm pour chaque dent. On procède de la manière suivante :

1. On incrémente θ de 50 valeurs et on calcule les coordonnées correspondantes aux 50 positions.
2. On explore les résultats en calculant la longueur parcourue depuis l'origine pour chaque point.
3. On identifie le point dont la longueur est immédiatement inférieure et le point dont la longueur est immédiatement supérieure à la longueur cherchée.
4. Entre les deux bornes ainsi trouvées, on interpole les valeurs des coordonnées pour $l = 1,5$ mm.

Le choix de l'incrément de θ est tel que :

- aucune borne supérieure ne soit extérieure au tableau de 50 valeurs,
- aucune borne inférieure ne soit inférieure au 20^è rang, pour des raisons de précision de l'interpolation.

Voir tableaux ci-après :

1er tableau :

Les 50 valeurs

2^{ème} tableau :

Les coordonnées des dents pour $l = 1,5$ mm dans les 3 axes.

Les 50 valeurs des coordonnées de la trajectoire des différentes dents

Résul. = 1 eme valeur du param = 40.0																
	X	Y	Z	dent_1	X	Y	Z	dent_2	X	Y	Z	dent_3	X	Y	Z	dent_4
1/	27.65	27.00	-52.53		56.21	38.00	-57.57		57.20	72.00	-57.74		28.64	83.00	-52.71	
2/	27.66	27.04	-52.57		56.21	38.05	-57.62		57.18	72.06	-57.78		28.62	83.04	-52.73	
3/	27.67	27.08	-52.61		56.21	38.11	-57.67		57.17	72.11	-57.82		28.61	83.09	-52.75	
4/	27.67	27.13	-52.65		56.21	38.16	-57.72		57.16	72.17	-57.86		28.59	83.13	-52.77	
5/	27.68	27.17	-52.69		56.21	38.22	-57.77		57.15	72.22	-57.90		28.58	83.17	-52.80	
6/	27.69	27.21	-52.73		56.21	38.27	-57.82		57.13	72.28	-57.94		28.56	83.21	-52.82	
7/	27.69	27.25	-52.77		56.21	38.33	-57.87		57.12	72.33	-57.98		28.55	83.26	-52.84	
8/	27.70	27.30	-52.81		56.21	38.38	-57.92		57.11	72.39	-58.02		28.53	83.30	-52.86	
9/	27.71	27.34	-52.85		56.21	38.44	-57.97		57.09	72.44	-58.06		28.52	83.34	-52.88	
10/	27.71	27.38	-52.89		56.21	38.49	-58.02		57.08	72.50	-58.10		28.50	83.38	-52.91	
11/	27.72	27.42	-52.93		56.21	38.55	-58.07		57.07	72.55	-58.14		28.49	83.42	-52.93	
12/	27.73	27.46	-52.97		56.21	38.60	-58.12		57.05	72.61	-58.18		28.47	83.47	-52.95	
13/	27.73	27.51	-53.01		56.21	38.66	-58.17		57.04	72.66	-58.21		28.46	83.51	-52.97	
14/	27.74	27.55	-53.05		56.21	38.71	-58.22		57.03	72.72	-58.25		28.44	83.55	-53.00	
15/	27.75	27.59	-53.09		56.21	38.77	-58.27		57.01	72.77	-58.29		28.43	83.59	-53.02	
16/	27.75	27.63	-53.13		56.21	38.82	-58.31		57.00	72.83	-58.33		28.41	83.64	-53.04	
17/	27.76	27.67	-53.17		56.21	38.87	-58.36		56.99	72.88	-58.37		28.40	83.68	-53.06	
18/	27.77	27.72	-53.21		56.21	38.93	-58.41		56.97	72.94	-58.41		28.38	83.72	-53.08	
19/	27.77	27.76	-53.25		56.21	38.98	-58.46		56.96	72.99	-58.45		28.37	83.76	-53.11	
20/	27.78	27.80	-53.29		56.21	39.04	-58.51		56.95	73.04	-58.49		28.35	83.80	-53.13	
21/	27.79	27.84	-53.33		56.21	39.09	-58.56		56.93	73.10	-58.53		28.34	83.85	-53.15	
22/	27.79	27.88	-53.37		56.21	39.15	-58.61		56.92	73.15	-58.56		28.32	83.89	-53.17	
23/	27.80	27.92	-53.40		56.21	39.20	-58.66		56.91	73.21	-58.60		28.31	83.93	-53.19	
24/	27.81	27.97	-53.44		56.21	39.26	-58.71		56.89	73.26	-58.64		28.29	83.97	-53.21	
25/	27.81	28.01	-53.48		56.21	39.31	-58.76		56.88	73.32	-58.68		28.28	84.01	-53.24	
26/	27.82	28.05	-53.52		56.21	39.36	-58.81		56.87	73.37	-58.72		28.26	84.06	-53.26	
27/	27.82	28.09	-53.56		56.21	39.42	-58.86		56.85	73.43	-58.76		28.25	84.10	-53.28	
28/	27.83	28.13	-53.60		56.21	39.47	-58.91		56.84	73.48	-58.80		28.23	84.14	-53.30	
29/	27.84	28.18	-53.64		56.21	39.53	-58.95		56.83	73.54	-58.84		28.22	84.18	-53.32	
30/	27.84	28.22	-53.68		56.21	39.58	-59.00		56.81	73.59	-58.87		28.20	84.22	-53.34	
31/	27.85	28.26	-53.72		56.21	39.64	-59.05		56.80	73.65	-58.91		28.19	84.27	-53.37	
32/	27.86	28.30	-53.76		56.21	39.69	-59.10		56.78	73.70	-58.95		28.17	84.31	-53.39	
33/	27.86	28.34	-53.80		56.21	39.75	-59.15		56.77	73.76	-58.99		28.16	84.35	-53.41	
34/	27.87	28.38	-53.84		56.21	39.80	-59.20		56.76	73.81	-59.03		28.14	84.39	-53.43	
35/	27.88	28.42	-53.87		56.20	39.85	-59.25		56.74	73.86	-59.07		28.13	84.43	-53.45	
36/	27.88	28.47	-53.91		56.20	39.91	-59.30		56.73	73.92	-59.10		28.11	84.47	-53.47	
37/	27.89	28.51	-53.95		56.20	39.96	-59.35		56.72	73.97	-59.14		28.10	84.51	-53.50	
38/	27.90	28.55	-53.99		56.20	40.02	-59.39		56.70	74.03	-59.18		28.08	84.56	-53.52	
39/	27.90	28.59	-54.03		56.20	40.07	-59.44		56.69	74.08	-59.22		28.07	84.60	-53.54	
40/	27.91	28.63	-54.07		56.20	40.13	-59.49		56.67	74.14	-59.26		28.05	84.64	-53.56	
41/	27.91	28.67	-54.11		56.20	40.18	-59.54		56.66	74.19	-59.30		28.04	84.68	-53.58	
42/	27.92	28.72	-54.15		56.20	40.23	-59.59		56.65	74.24	-59.33		28.02	84.72	-53.60	
43/	27.93	28.76	-54.19		56.20	40.29	-59.64		56.63	74.30	-59.37		28.01	84.76	-53.62	
44/	27.93	28.80	-54.22		56.20	40.34	-59.69		56.62	74.35	-59.41		27.99	84.80	-53.64	
45/	27.94	28.84	-54.26		56.20	40.40	-59.73		56.61	74.41	-59.45		27.98	84.85	-53.67	
46/	27.95	28.88	-54.30		56.20	40.45	-59.78		56.59	74.46	-59.49		27.96	84.89	-53.69	
47/	27.95	28.92	-54.34		56.20	40.50	-59.83		56.58	74.52	-59.52		27.95	84.93	-53.71	
48/	27.96	28.96	-54.38		56.20	40.56	-59.88		56.56	74.57	-59.56		27.93	84.97	-53.73	
49/	27.97	29.01	-54.42		56.19	40.61	-59.93		56.55	74.62	-59.60		27.92	85.01	-53.75	
50/	27.97	29.05	-54.46		56.19	40.67	-59.98		56.54	74.68	-59.64		27.90	85.05	-53.77	

Les coordonnées des dents pour l = 1,5 mm dans les 3 axes
Dimensions en mm, angles en degrés

```

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
Pcondy   : 40      TangCan  : 35      PentOclu : 10      LongDev  : 1.5
Bennett  : 15      PenteCan  : 45      LargCond : 110     IncTeta  : 0.0005
Point incisive :      XD = 70.0      YA = 0.0      ZO = -60.0
Position relative des dents :
Rel. x (Y) =      Canine= 13.0      D1=-28.0      D2=-17.0      D3= 17.0      D4= 28.0
Rel. y (X) =      Canine= 8.0       D1= 43.0      D2= 14.0      D3= 13.0      D4= 42.0

```

```

----- PARAMETRE VARIABLE -----
Paramètre étudié : Pente condylienne.
val_1 = 40.0

```

```

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
Pour une pente occlusale de : 10 degrés

```

	Canine	PosNonT	AntNonT	AntTrav	PosTrav
Coord_X =	62.12	27.65	56.21	57.20	28.64
Coord_Y =	68.00	27.00	38.00	72.00	83.00
Coord_Z =	-58.61	-52.53	-57.57	-57.74	-52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

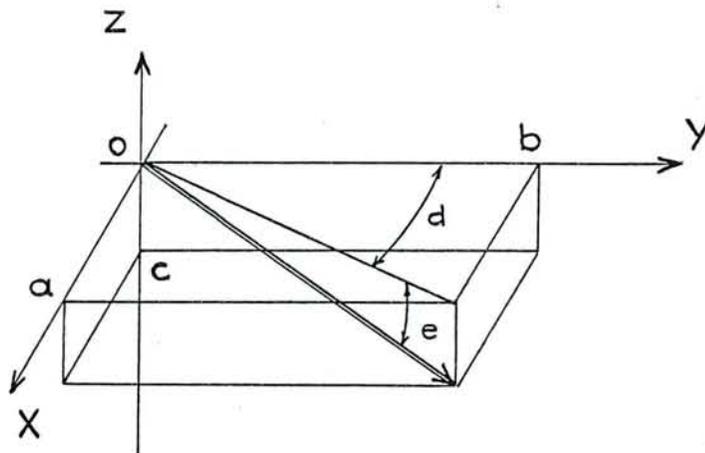
1 eme valeur de la Pente Condylienne = 40.0

Coord_X =	27.824	56.210	56.909	28.188
Coord_Y =	28.085	39.110	73.199	84.269
Coord_Z =	-53.555	-58.578	-58.596	-53.368
N_Pas_Cal =	27.000	22.000	23.000	32.000
Traject_X =	0.170	-0.002	-0.289	-0.450
Traject_Y =	1.085	1.110	1.199	1.269
Traject_Z =	-1.022	-1.009	-0.854	-0.661
Ang/AxeY =	8.923	-0.114	-13.536	-19.535
PenteTraj =	-42.948	-42.254	-34.699	-26.153

4.2.3. Les paramètres de la trajectoire limitée

4.2.3.1. La différence des coordonnées du point origine de trajectoire et du point fin de trajectoire donne trois coordonnées ou projections de la trajectoire parcourue

Origine trajectoire



Limite trajectoire

oa : trajectoire X

ob : trajectoire Y

oc : trajectoire Z

Schéma n° 20

4.2.3.2. La projection de la trajectoire sur le plan XOY donne avec l'axe Y un angle d qui traduit le mouvement latéral

$d = \text{Angle} / \text{Axe } y$

4.2.3.3. L'angle e formé par la trajectoire et le plan XOY représente la pente de la trajectoire et traduit le mouvement vertical

$e = \text{pente trajectoire.}$

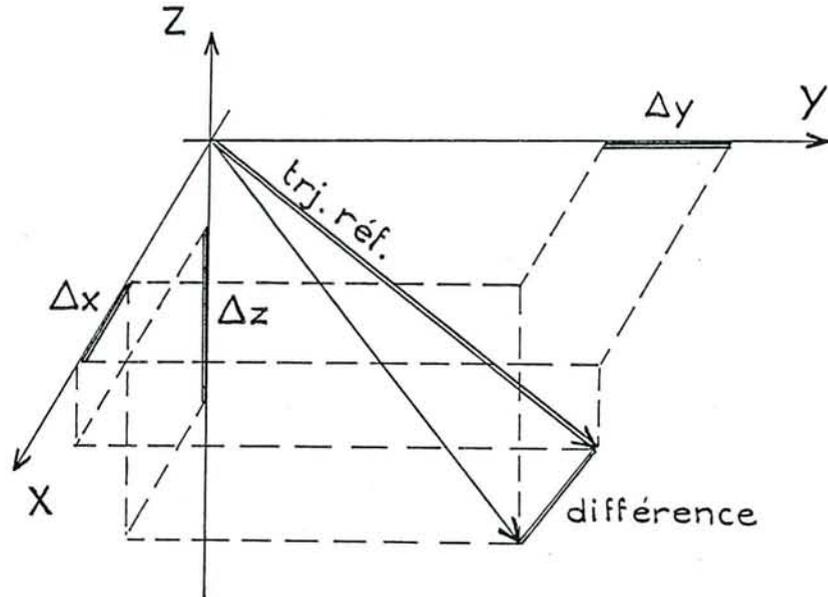
Ces 5 paramètres font l'objet du calcul et figurent sur le tableau (page 37) mais seules les trajectoires X, Y, Z présentent un intérêt pour la suite de l'étude.

4.2.4. Différences entre deux trajectoires

Pour une trajectoire de référence, il est utile de connaître l'écart entre le point limite de cette trajectoire et le point limite d'une trajectoire à étudier.

Ecart entre les deux points limites = différence en bout est égal à :

$$VD = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$



$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ = projection du segment différence

Schéma n° 21

Remarque :

Tous les points limites de trajectoires sont sur une partie de sphère de rayon égale à la longueur de la trajectoire limitée (1,5 mm).

Cette "différence en bout" présente un intérêt clinique développé par la suite.

4.3. ETUDE CHIFFREE DES TRAJECTOIRES ET INFLUENCE DES DETERMINANTS POSTERIEURS

Ce chapitre commente les résultats numériques issus du calcul (voir tableaux 1 à 5, pages suivantes).

On considère successivement l'évolution des coordonnées sur les 3 axes X, Y, Z pour les deux déterminants postérieurs : **la pente condylienne** et **l'angle de Bennett**.

Ces deux paramètres prennent pour valeurs :

- le pente condylienne : 20°-30°-40°-50°-60°
- l'angle de Bennett : 5°-10°-15°-20°-25°.

Les autres paramètres restent constants et seront étudiés un à un par la suite :

- le plan occlusal : 10°.
- la pente canine : 45°
- la tangente canine : 35°
- la largeur intercondylienne : 110 mm

Tableau 1

```

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
Pcondy : 40      TangCan : 35      PentOclu : 10      LongDev : 1.5
Bennett : 5       PenteCan : 45      LargCond : 110     IncTeta  : 0.0005
Point incisive :      X0 = 70.0      YA = 0.0      Z0 = -60.0
Position relative des dents :
Rel. x (Y) =      Canine= 13.0      D1=-28.0      D2=-17.0      D3= 17.0      D4= 28.0
Rel. y (X) =      Canine= 8.0      D1= 43.0      D2= 14.0      D3= 13.0      D4= 42.0
----- PARAMETRE VARIABLE -----
Paramètre étudié : Pente condylienne.
val_1 = 20.0      val_2 = 30.0      val_3 = 40.0      val_4 = 50.0      val_5 = 60.0

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
Pour une pente occlusale de : 10 degrés
      Canine      PosNonT      AntNonT      AntTrav      PosTrav
Coord_X =      62.12      27.65      56.21      57.20      28.64
Coord_Y =      68.00      27.00      38.00      72.00      83.00
Coord_Z =     -58.61      -52.53      -57.57      -57.74      -52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

1 eme valeur de la Pente Condylienne = 20.0
Traject_X =      0.573      0.209      -0.237      -0.497
Traject_Y =      0.982      1.097      1.172      1.190
Traject_Z =     -0.978      -1.001      -0.906      -0.766
Ang/AxeY =      30.268      10.805      -11.412      -22.653
PenteTraj =     -40.696      -41.858      -37.141      -30.688

2 eme valeur de la Pente Condylienne = 30.0
Traject_X =      0.439      0.158      -0.228      -0.448
Traject_Y =      0.970      1.075      1.175      1.214
Traject_Z =     -1.057      -1.034      -0.904      -0.759
Ang/AxeY =      24.333      8.336      -10.980      -20.265
PenteTraj =     -44.790      -43.591      -37.039      -30.385

3 eme valeur de la Pente Condylienne = 40.0
Traject_X =      0.326      0.110      -0.221      -0.407
Traject_Y =      0.955      1.054      1.179      1.233
Traject_Z =     -1.110      -1.061      -0.901      -0.751
Ang/AxeY =      18.862      5.965      -10.628      -18.247
PenteTraj =     -47.741      -45.024      -36.912      -30.034

4 eme valeur de la Pente Condylienne = 50.0
Traject_X =      0.227      0.064      -0.216      -0.369
Traject_Y =      0.938      1.035      1.182      1.251
Traject_Z =     -1.148      -1.084      -0.898      -0.742
Ang/AxeY =      13.607      3.565      -10.331      -16.442
PenteTraj =     -49.951      -46.268      -36.754      -29.631

5 eme valeur de la Pente Condylienne = 60.0
Traject_X =      0.135      0.018      -0.211      -0.333
Traject_Y =      0.921      1.015      1.186      1.267
Traject_Z =     -1.176      -1.104      -0.893      -0.731
Ang/AxeY =      8.364      1.013      -10.074      -14.741
PenteTraj =     -51.642      -47.394      -36.557      -29.165

```

Tableau 2

```

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
PenteCondyl : 40   TangCan : 35   PentOclu : 10   LongDev : 1.5
Bennett : 10   PenteCan : 45   LargCond : 110   IncTeta : 0.0005
Point incisive :   XO = 70.0   YA = 0.0   ZO = -60.0
Position relative des dents :
Rel. x (Y) =   Canine= 13.0   D1=-28.0   D2=-17.0   D3= 17.0   D4= 28.0
Rel. y (X) =   Canine=  8.0   D1= 43.0   D2= 14.0   D3= 13.0   D4= 42.0

```

```

----- PARAMETRE VARIABLE -----
Paramètre étudié : Pente condylienne.
val_1 = 20.0   val_2 = 30.0   val_3 = 40.0   val_4 = 50.0   val_5 = 60.0

```

```

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
Pour une pente occlusale de : 10 degrés

```

	Canine	PosNonT	AntNonT	AntTrav	PosTrav
Coord_X =	62.12	27.65	56.21	57.20	28.64
Coord_Y =	68.00	27.00	38.00	72.00	83.00
Coord_Z =	-58.61	-52.53	-57.57	-57.74	-52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

1 eme valeur de la Pente Condylieenne = 20.0

Traject_X =	0.455	0.134	-0.274	-0.513
Traject_Y =	1.075	1.130	1.185	1.220
Traject_Z =	-0.942	-0.977	-0.878	-0.707
Ang/AxeY =	22.939	6.772	-13.040	-22.790
PenteTraj =	-38.881	-40.646	-35.829	-28.104

2 eme valeur de la Pente Condylieenne = 30.0

Traject_X =	0.342	0.092	-0.265	-0.469
Traject_Y =	1.050	1.106	1.187	1.238
Traject_Z =	-1.016	-1.009	-0.878	-0.706
Ang/AxeY =	18.044	4.736	-12.569	-20.736
PenteTraj =	-42.611	-42.269	-35.811	-28.061

3 eme valeur de la Pente Condylieenne = 40.0

Traject_X =	0.245	0.051	-0.258	-0.431
Traject_Y =	1.026	1.085	1.190	1.254
Traject_Z =	-1.067	-1.034	-0.876	-0.702
Ang/AxeY =	13.406	2.676	-12.212	-18.967
PenteTraj =	-45.318	-43.597	-35.731	-27.891

4 eme valeur de la Pente Condylieenne = 50.0

Traject_X =	0.156	0.009	-0.252	-0.397
Traject_Y =	1.005	1.066	1.193	1.268
Traject_Z =	-1.103	-1.055	-0.873	-0.695
Ang/AxeY =	8.851	0.508	-11.944	-17.377
PenteTraj =	-47.332	-44.722	-35.590	-27.611

5 eme valeur de la Pente Condylieenne = 60.0

Traject_X =	0.073	-0.034	-0.249	-0.365
Traject_Y =	0.985	1.047	1.197	1.283
Traject_Z =	-1.129	-1.073	-0.869	-0.686
Ang/AxeY =	4.235	-1.860	-11.753	-15.891
PenteTraj =	-48.834	-45.697	-35.383	-27.223

Tableau 3

```

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
Condyl : 40      TangCan : 35      PentOclu : 10      LongDev : 1.5
Bennett : 15      PenteCan : 45      LargCond : 110     IncTeta : 0.0005
Point incisive :      X0 = 70.0      YA = 0.0      Z0 = -60.0
Position relative des dents :
Rel. x (Y) =      Canine= 13.0      D1=-28.0      D2=-17.0      D3= 17.0      D4= 28.0
Rel. y (X) =      Canine= 8.0      D1= 43.0      D2= 14.0      D3= 13.0      D4= 42.0

```

```

----- PARAMETRE VARIABLE -----
Paramètre étudié : Pente condylienne.
val_1 = 20.0      val_2 = 30.0      val_3 = 40.0      val_4 = 50.0      val_5 = 60.0

```

```

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
Pour une pente occlusale de : 10 degrés

```

	Canine	PosNonT	AntNonT	AntTrav	PosTrav
Coord_X =	62.12	27.65	56.21	57.20	28.64
Coord_Y =	68.00	27.00	38.00	72.00	83.00
Coord_Z =	-58.61	-52.53	-57.57	-57.74	-52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

1 eme valeur de la Pente Condylienne = 20.0

Traject_X =	0.348	0.068	-0.306	-0.524
Traject_Y =	1.147	1.156	1.195	1.241
Traject_Z =	-0.901	-0.954	-0.854	-0.660
Ang/AxeY =	16.863	3.375	-14.377	-22.900
PenteTraj =	-36.938	-39.476	-34.703	-26.095

2 eme valeur de la Pente Condylienne = 30.0

Traject_X =	0.254	0.033	-0.296	-0.485
Traject_Y =	1.114	1.131	1.197	1.256
Traject_Z =	-0.972	-0.984	-0.855	-0.662
Ang/AxeY =	12.852	1.684	-13.890	-21.104
PenteTraj =	-40.410	-41.012	-34.744	-26.207

3 eme valeur de la Pente Condylienne = 40.0

Traject_X =	0.170	-0.002	-0.289	-0.450
Traject_Y =	1.085	1.110	1.199	1.269
Traject_Z =	-1.022	-1.009	-0.854	-0.661
Ang/AxeY =	8.923	-0.114	-13.536	-19.535
PenteTraj =	-42.948	-42.254	-34.699	-26.153

4 eme valeur de la Pente Condylienne = 50.0

Traject_X =	0.092	-0.040	-0.284	-0.419
Traject_Y =	1.060	1.091	1.202	1.282
Traject_Z =	-1.057	-1.028	-0.851	-0.657
Ang/AxeY =	4.969	-2.076	-13.293	-18.120
PenteTraj =	-44.823	-43.280	-34.573	-25.958

5 eme valeur de la Pente Condylienne = 60.0

Traject_X =	0.016	-0.080	-0.282	-0.391
Traject_Y =	1.038	1.074	1.206	1.295
Traject_Z =	-1.082	-1.044	-0.847	-0.649
Ang/AxeY =	0.898	-4.268	-13.151	-16.805
PenteTraj =	-46.187	-44.132	-34.360	-25.629

Tableau 4

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
~~Condyl~~ : 40 TangCan : 35 PentOclu : 10 LongDev : 1.5
 Bennett : 20 PenteCan : 45 LargCond : 110 IncTeta : 0.0005
 Point incisive : XO = 70.0 YA = 0.0 ZO = -60.0
 Position relative des dents :
 Rel. x (Y) = Canine= 13.0 D1=-28.0 D2=-17.0 D3= 17.0 D4= 28.0
 Rel. y (X) = Canine= 8.0 D1= 43.0 D2= 14.0 D3= 13.0 D4= 42.0

----- PARAMETRE VARIABLE -----
 Paramètre étudié : Pente condylienne.
 val_1 = 20.0 val_2 = 30.0 val_3 = 40.0 val_4 = 50.0 val_5 = 60.0

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
 Pour une pente occlusale de : 10 degrés

	Canine	PosNonT	AntNonT	AntTrav	PosTrav
Coord_X =	62.12	27.65	56.21	57.20	28.64
Coord_Y =	68.00	27.00	38.00	72.00	83.00
Coord_Z =	-58.61	-52.53	-57.57	-57.74	-52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

1 eme valeur de la Pente Condylieenne = 20.0

Traject_X =	0.251	0.009	-0.334	-0.533
Traject_Y =	1.203	1.176	1.202	1.257
Traject_Z =	-0.860	-0.931	-0.833	-0.621
Ang/AxeY =	11.781	0.453	-15.509	-22.993
PenteTraj =	-34.982	-38.355	-33.713	-24.467

2 eme valeur de la Pente Condylieenne = 30.0

Traject_X =	0.174	-0.019	-0.323	-0.497
Traject_Y =	1.165	1.152	1.204	1.269
Traject_Z =	-0.929	-0.960	-0.834	-0.626
Ang/AxeY =	8.498	-0.958	-15.021	-21.405
PenteTraj =	-38.256	-39.815	-33.797	-24.675

3 eme valeur de la Pente Condylieenne = 40.0

Traject_X =	0.102	-0.050	-0.316	-0.466
Traject_Y =	1.133	1.131	1.206	1.281
Traject_Z =	-0.977	-0.984	-0.834	-0.627
Ang/AxeY =	5.165	-2.535	-14.676	-20.002
PenteTraj =	-40.663	-40.983	-33.779	-24.698

4 eme valeur de la Pente Condylieenne = 50.0

Traject_X =	0.033	-0.084	-0.312	-0.438
Traject_Y =	1.107	1.113	1.209	1.292
Traject_Z =	-1.012	-1.002	-0.831	-0.624
Ang/AxeY =	1.725	-4.312	-14.454	-18.733
PenteTraj =	-42.432	-41.925	-33.665	-24.563

5 eme valeur de la Pente Condylieenne = 60.0

Traject_X =	-0.036	-0.122	-0.310	-0.413
Traject_Y =	1.084	1.096	1.212	1.304
Traject_Z =	-1.036	-1.017	-0.827	-0.617
Ang/AxeY =	-1.877	-6.339	-14.349	-17.560
PenteTraj =	-43.691	-42.674	-33.451	-24.280

Tableau 5

```

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
Penny : 40      TangCan : 35      PentOclu : 10      LongDev : 1.5
Bennett : 25    PenteCan : 45      LargCond : 110     IncTeta : 0.0005
Point incisive :      XO = 70.0      YA = 0.0      ZO = -60.0
Position relative des dents :
Rel. x (Y) =      Canine= 13.0      D1=-28.0      D2=-17.0      D3= 17.0      D4= 28.0
Rel. y (X) =      Canine= 8.0      D1= 43.0      D2= 14.0      D3= 13.0      D4= 42.0

```

```

----- PARAMETRE VARIABLE -----
Paramètre étudié : Pente condylienne.
val_1 = 20.0      val_2 = 30.0      val_3 = 40.0      val_4 = 50.0      val_5 = 60.0

```

```

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
Pour une pente occlusale de : 10 degrés

```

	Canine	PosNonT	AntNonT	AntTrav	PosTrav
Coord_X =	62.12	27.65	56.21	57.20	28.64
Coord_Y =	68.00	27.00	38.00	72.00	83.00
Coord_Z =	-58.61	-52.53	-57.57	-57.74	-52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

1 eme valeur de la Pente Condylienne = 20.0

Traject_X =	0.163	-0.044	-0.358	-0.541
Traject_Y =	1.246	1.193	1.209	1.269
Traject_Z =	-0.819	-0.909	-0.813	-0.589
Ang/AxeY =	7.471	-2.112	-16.495	-23.073
PenteTraj =	-33.073	-37.280	-32.824	-23.104

2 eme valeur de la Pente Condylienne = 30.0

Traject_X =	0.101	-0.067	-0.347	-0.508
Traject_Y =	1.207	1.169	1.210	1.280
Traject_Z =	-0.885	-0.937	-0.816	-0.595
Ang/AxeY =	4.784	-3.292	-16.014	-21.659
PenteTraj =	-36.176	-38.670	-32.940	-23.370

3 eme valeur de la Pente Condylienne = 40.0

Traject_X =	0.040	-0.094	-0.340	-0.480
Traject_Y =	1.174	1.149	1.212	1.290
Traject_Z =	-0.933	-0.960	-0.816	-0.597
Ang/AxeY =	1.950	-4.678	-15.680	-20.398
PenteTraj =	-38.472	-39.771	-32.943	-23.444

4 eme valeur de la Pente Condylienne = 50.0

Traject_X =	-0.021	-0.125	-0.336	-0.454
Traject_Y =	1.146	1.131	1.215	1.300
Traject_Z =	-0.967	-0.977	-0.813	-0.595
Ang/AxeY =	-1.050	-6.289	-15.478	-19.255
PenteTraj =	-40.152	-40.639	-32.839	-23.354

5 eme valeur de la Pente Condylienne = 60.0

Traject_X =	-0.083	-0.160	-0.335	-0.431
Traject_Y =	1.123	1.115	1.218	1.311
Traject_Z =	-0.991	-0.990	-0.809	-0.589
Ang/AxeY =	-4.243	-8.159	-15.401	-18.203
PenteTraj =	-41.327	-41.301	-32.627	-23.108

4.3.1. Trajectoires selon l'axe X (voir tableaux page suivante)

C'est le déplacement antéro-postérieur.

4.3.1.1. Mouvement général des dents

- D_1 et D_2 avancent ou reculent selon la programmation

Exemple :

$$D_1/PC = 20 / B = 5 \quad \text{---> } + 0,575 \text{ mm}$$

$$D_1/PC = 60 / B = 25 \quad \text{---> } - 0,083 \text{ mm}$$

- D_3 et D_4 reculent pour toute programmation.

Récapitulatif paramètre trajectoire = Trajectoire X

**** Paramètre trajectoire : 5 = Traject_X ****					
	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
* Données.					
B = 05	0.573	0.439	0.326	0.227	0.135
B = 10	0.455	0.342	0.245	0.156	0.073
B = 15	0.348	0.254	0.170	0.092	0.016
B = 20	0.251	0.174	0.102	0.033	-0.036
B = 25	0.163	0.101	0.040	-0.021	-0.083
* DIFFERENCES.					
B = 05	0.403	0.268	0.156	0.057	-0.035
B = 10	0.285	0.172	0.074	-0.014	-0.097
B = 15	0.177	0.084	0.000	-0.078	-0.154
B = 20	0.081	0.004	-0.068	-0.137	-0.206
B = 25	-0.007	-0.069	-0.130	-0.191	-0.254
Dent n° : 2					
* Données.					
B = 05	0.209	0.158	0.110	0.064	0.018
B = 10	0.134	0.092	0.051	0.009	-0.034
B = 15	0.068	0.033	-0.002	-0.040	-0.080
B = 20	0.009	-0.019	-0.050	-0.084	-0.122
B = 25	-0.044	-0.067	-0.094	-0.125	-0.160
* DIFFERENCES.					
B = 05	0.212	0.160	0.112	0.067	0.020
B = 10	0.136	0.094	0.053	0.012	-0.032
B = 15	0.070	0.035	0.000	-0.037	-0.078
B = 20	0.012	-0.017	-0.048	-0.082	-0.120
B = 25	-0.042	-0.065	-0.092	-0.122	-0.158
Dent n° : 3					
* Données.					
B = 05	-0.237	-0.228	-0.221	-0.216	-0.211
B = 10	-0.274	-0.265	-0.258	-0.252	-0.249
B = 15	-0.306	-0.296	-0.289	-0.284	-0.282
B = 20	-0.334	-0.323	-0.316	-0.312	-0.310
B = 25	-0.358	-0.347	-0.340	-0.336	-0.335
* DIFFERENCES.					
B = 05	0.052	0.061	0.067	0.073	0.078
B = 10	0.014	0.024	0.031	0.036	0.040
B = 15	-0.018	-0.007	0.000	0.005	0.007
B = 20	-0.045	-0.034	-0.027	-0.023	-0.022
B = 25	-0.069	-0.059	-0.052	-0.048	-0.047
Dent n° : 4					
* Données.					
B = 05	-0.497	-0.448	-0.407	-0.369	-0.333
B = 10	-0.513	-0.469	-0.431	-0.397	-0.365
B = 15	-0.524	-0.485	-0.450	-0.419	-0.391
B = 20	-0.533	-0.497	-0.466	-0.438	-0.413
B = 25	-0.541	-0.508	-0.480	-0.454	-0.431
* DIFFERENCES.					
B = 05	-0.047	0.002	0.044	0.081	0.117
B = 10	-0.062	-0.018	0.019	0.053	0.085
B = 15	-0.074	-0.034	0.000	0.031	0.059
B = 20	-0.083	-0.047	-0.016	0.012	0.038
B = 25	-0.090	-0.058	-0.029	-0.004	0.019

4.3.1.2. Variation en fonction de l'angle de Bennett

(tableau 1)

On constate :

* Qu'un Bennett passant de 5 °à 25° réduit les amplitudes du mouvement.

Exemple :

$$\begin{array}{l} D_1 : PC 20/ B 5 = 0,573 \text{ mm} \\ D_1 : PC 20/B 25 = 0,163 \text{ mm} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{réduction} = 0,410 \text{ mm}$$

* D₁ qui est la dent la plus proche du condyle programmé, subit les plus fortes variations.

* D₂ et D₃ suivent un mouvement semblable mais plus faible ce qui est dû à la proximité de la canine.

* D₄ subit peu l'influence du Bennett selon l'axe X étant proche du condyle travaillant, ce dernier ne se déplaçant que latéralement selon l'axe Y.

Différence en X (en mm) pour un écart du Bennett 5° à 25° (Réf. : B = 5°)

PC	D1	D2	D3	D4
20°	-0,410	-0,253	-0,121	-0,044
40°	-0,286	-0,204	-0,119	-0,073
60°	-0,219	-0,178	-0,125	-0,098

4.3.1.3. Variation en fonction de la pente condylienne

On note :

* Qu'une pente condylienne passant de 60° à une pente de 20° réduit l'avancée en X et peut conduire à un recul pour D₁ et D₂.

Exemple :

$$\begin{array}{l} D_1 \quad B 5/PC 20 = 0,573 \text{ mm} \\ D_1 \quad B 5/PC 60 = 0,135 \text{ mm} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{réduction} = 0,438 \text{ mm}$$

Exemple :

D ₁	PC 20/B 25 = 0,163 mm	}
		} réduction + recul = 0,247 mm
D ₁	PC 60/B 25 = - 0,083 mm	}

* Pour D₃ et D₄ lorsque PC passe de 60° à 20°, il y a réduction du recul.

Exemple :

D ₄	PC 20/B 5 = - 0,497 mm	}
		} réduction du recul de 0,164mm
D ₄	PC 60/B 5 = - 0,333 mm	}

* D₁ subit les plus fortes variations.

* Sur D₂ et D₄ l'incidence de la PC est plus importante que celle de l'angle de Bennett.

* D₃ n'est pratiquement pas influencée par la PC car très proche du guidage canin.

Différence en X (en mm) pour un écart de la P.C. 20° à 60° (Réf. : PC = 20°)

Bennett	D1	D2	D3	D4
5°	-0,438	-0,191	0,026	0,164
15°	-0,332	-0,148	0,024	0,133
25°	-0,247	-0,116	0,022	-0,110

4.3.2. Trajectoire selon l'axe Y

C'est le déplacement latéral.

4.3.2.1. Mouvement général des dents

Toutes les dents se déplacent latéralement, c'est la composante la plus importante de la trajectoire.

Exemple :

D ₁	= 40/15	--->	1,085 mm
D ₂	= 40/15	--->	1,110 mm
D ₃	= 40/15	--->	1,119 mm
D ₄	= 40/15	--->	1,269 mm.

4.3.2.2. Variation en fonction de l'angle de Bennett

On note que :

* Un Bennett passant de 5 à 25° **augmente les amplitudes du mouvement.**

Exemple :

D ₁	PC 20/B 5	y = 0,982 mm	}
			} + 0,264 mm
D ₁	PC 20/B 25	y = 1,246 mm	}

* D₁ subit toujours les variations les plus fortes.

* D₂ et D₃ ont des mouvements à peu près constants.

* D₄ a une variation faible.

Différence en Y (en mm) pour un écart du Bennett 5° à 25° (Réf. : B = 25)

PC	D1	D2	D3	D4
20°	0,264	0,095	0,037	0,079
40°	0,219	0,095	0,033	0,057
60°	0,202	0,100	0,032	0,044

Récapitulatif paramètre trajectoire = Trajectoire Y

**** Paramètre trajectoire : 6 = Traject_Y ****					
	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
* Données.					
B = 05	0.982	0.970	0.955	0.938	0.921
B = 10	1.075	1.050	1.026	1.005	0.985
B = 15	1.147	1.114	1.085	1.060	1.038
B = 20	1.203	1.165	1.133	1.107	1.084
B = 25	1.246	1.207	1.174	1.146	1.123
* DIFFERENCES.					
B = 05	-0.102	-0.115	-0.130	-0.147	-0.164
B = 10	-0.009	-0.035	-0.059	-0.080	-0.100
B = 15	0.063	0.029	0.000	-0.025	-0.046
B = 20	0.118	0.080	0.049	0.022	-0.001
B = 25	0.162	0.122	0.089	0.062	0.039
Dent n° : 2					
* Données.					
B = 05	1.097	1.075	1.054	1.035	1.015
B = 10	1.130	1.106	1.085	1.066	1.047
B = 15	1.156	1.131	1.110	1.091	1.074
B = 20	1.176	1.152	1.131	1.113	1.096
B = 25	1.193	1.169	1.149	1.131	1.115
* DIFFERENCES.					
B = 05	-0.013	-0.035	-0.056	-0.075	-0.095
B = 10	0.020	-0.004	-0.025	-0.044	-0.063
B = 15	0.046	0.021	0.000	-0.019	-0.037
B = 20	0.066	0.042	0.021	0.003	-0.014
B = 25	0.082	0.059	0.039	0.021	0.006
Dent n° : 3					
* Données.					
B = 05	1.172	1.175	1.179	1.182	1.186
B = 10	1.185	1.187	1.190	1.193	1.197
B = 15	1.195	1.197	1.199	1.202	1.206
B = 20	1.202	1.204	1.206	1.209	1.212
B = 25	1.209	1.210	1.212	1.215	1.218
* DIFFERENCES.					
B = 05	-0.027	-0.024	-0.020	-0.017	-0.013
B = 10	-0.014	-0.012	-0.009	-0.006	-0.002
B = 15	-0.004	-0.002	0.000	0.003	0.007
B = 20	0.003	0.005	0.007	0.010	0.014
B = 25	0.010	0.011	0.013	0.016	0.019
Dent n° : 4					
* Données.					
B = 05	1.190	1.214	1.233	1.251	1.267
B = 10	1.220	1.238	1.254	1.268	1.283
B = 15	1.241	1.256	1.269	1.282	1.295
B = 20	1.257	1.269	1.281	1.292	1.304
B = 25	1.269	1.280	1.290	1.300	1.311
* DIFFERENCES.					
B = 05	-0.079	-0.055	-0.036	-0.018	-0.002
B = 10	-0.049	-0.031	-0.015	-0.000	0.014
B = 15	-0.028	-0.013	0.000	0.013	0.026
B = 20	-0.012	0.000	0.012	0.023	0.035
B = 25	0.000	0.011	0.021	0.031	0.042

4.3.2.3. Variation en fonction de la pente condylienne

On constate que :

* Une variation de PC de 20 à 60° entraîne une **réduction du déplacement latéral pour D₁ et D₂**.

Exemple :

D ₁	PC 20/B 5 = 0,982 mm	}
D ₁	PC 60/B 5 = 0,921 mm	}
		} réduction = 0,061 mm

* Et une **augmentation du déplacement latéral pour D₃ et D₄**.

Exemple :

D ₃	PC 20/B 5 = 1,172 mm	}
D ₃	PC 60/B 5 = 1,186 mm	}
		} augmentation = 0,014 mm

Différence en V (en mm) pour un écart de la PC 20° à 60° (Réf. : PC = 20°)

Bennett	D1	D2	D3	D4
5°	-0,061	-0,082	0,014	0,076
15°	-0,109	-0,082	0,011	0,054
25°	-0,123	-0,077	0,009	0,041

4.3.2.4. Variation relative en fonction du couple PC - B

	Bennett	PC = 20°	40°	60°
D1	05°	-0,102	-0,130	-0,164
	15°	0,063	0,000	-0,046
	25°	0,162	0,089	0,039
D2	05°	-0,013	-0,056	-0,095
	15°	0,046	0,000	-0,037
	25°	0,082	0,039	0,005
D3	05°	-0,027	-0,020	-0,013
	15°	-0,004	0,000	0,007
	25°	0,010	0,013	0,019
D4	05°	-0,079	-0,036	-0,002
	15°	-0,028	0,000	0,026
	25°	0,000	0,021	0,042

Si le couple 40/15 sert de référence :

* L'angle de Bennett augmente le déplacement alors que la pente condylienne entraîne une diminution ou un accroissement du déplacement en y.

Si on considère la dent n° 1 :

- une pente condylienne faible et un angle de Bennett fort ou une pente condylienne forte et un angle de Bennett faible se conjuguent pour accroître les variations en y.

Ex : PC 20/B 25 = 0,126 mm
 et PC 60/B 05 = 0,164 mm.

Inversement si la pente condylienne et l'angle de Bennett sont faibles ou forts ensemble, ils se contrarient et donnent des variations en y plus faibles.

Ex : PC 20/B 05 = 0,102 mm
 et PC 60/B 25 = 0,039 mm.

4.3.3. Trajectoire selon l'axe Z

Elle représente la composante verticale du mouvement.

4.3.3.1. Mouvement général des dents

Toute la mandibule effectue un déplacement vers le bas, c'est une composante majeure de la trajectoire, après le déplacement latéral.

Exemple :

D₁ PC 20/B 5 Z = - 0,978 mm

D₂ PC 40/B 15 Z = - 1,009 mm.

4.3.3.2. Variation en fonction de l'angle de Bennett

On constate que :

* Les quatre dents se déplacent de manière semblable et constante.

* Un angle de Bennett passant de 5° à 25° réduit la composante verticale du mouvement.

D₁ PC 20/B 5 = - 0,978 mm }
 D₁ PC 20/B 25 = - 0,819 mm } + 0,160 mm

Différence en Z (en mm) pour un écart du Bennett 5° à 25° (Réf. : B = 5°)

PC	D1	D2	D3	D4
20°	0,160	0,092	0,093	0,177
40°	0,177	0,102	0,085	0,154
60°	0,186	0,114	0,085	0,142

Récapitulatif paramètre trajectoire = Trajectoire Z

**** Paramètre trajectoire : 7 = Traject_Z ****						
	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60	
Dent n° : 1						
* Données.						
B = 05	-0.978	-1.057	-1.110	-1.148	-1.176	
B = 10	-0.942	-1.016	-1.067	-1.103	-1.129	
B = 15	-0.901	-0.972	-1.022	-1.057	-1.082	
B = 20	-0.860	-0.929	-0.977	-1.012	-1.036	
B = 25	-0.819	-0.885	-0.933	-0.967	-0.991	
* DIFFERENCES.						
B = 05	0.044	-0.035	-0.088	-0.126	-0.154	
B = 10	0.080	0.006	-0.045	-0.081	-0.107	
B = 15	0.121	0.050	0.000	-0.035	-0.060	
B = 20	0.162	0.093	0.045	0.010	-0.014	
B = 25	0.203	0.137	0.089	0.055	0.031	
Dent n° : 2						
* Données.						
B = 05	-1.001	-1.034	-1.061	-1.084	-1.104	
B = 10	-0.977	-1.009	-1.034	-1.055	-1.073	
B = 15	-0.954	-0.984	-1.009	-1.028	-1.044	
B = 20	-0.931	-0.960	-0.984	-1.002	-1.017	
B = 25	-0.909	-0.937	-0.960	-0.977	-0.990	
* DIFFERENCES.						
B = 05	0.008	-0.026	-0.052	-0.075	-0.095	
B = 10	0.032	-0.000	-0.026	-0.047	-0.065	
B = 15	0.055	0.024	0.000	-0.020	-0.036	
B = 20	0.078	0.048	0.025	0.006	-0.008	
B = 25	0.100	0.071	0.049	0.032	0.019	
Dent n° : 3						
* Données.						
B = 05	-0.906	-0.904	-0.901	-0.898	-0.893	
B = 10	-0.878	-0.878	-0.876	-0.873	-0.869	
B = 15	-0.854	-0.855	-0.854	-0.851	-0.847	
B = 20	-0.833	-0.834	-0.834	-0.831	-0.827	
B = 25	-0.813	-0.816	-0.816	-0.813	-0.809	
* DIFFERENCES.						
B = 05	-0.052	-0.050	-0.047	-0.044	-0.040	
B = 10	-0.024	-0.024	-0.022	-0.019	-0.015	
B = 15	-0.000	-0.001	0.000	0.003	0.007	
B = 20	0.021	0.020	0.020	0.022	0.027	
B = 25	0.041	0.038	0.038	0.040	0.045	
Dent n° : 4						
* Données.						
B = 05	-0.766	-0.759	-0.751	-0.742	-0.731	
B = 10	-0.707	-0.706	-0.702	-0.695	-0.686	
B = 15	-0.660	-0.662	-0.661	-0.657	-0.649	
B = 20	-0.621	-0.626	-0.627	-0.624	-0.617	
B = 25	-0.589	-0.595	-0.597	-0.595	-0.589	
* DIFFERENCES.						
B = 05	-0.104	-0.098	-0.090	-0.080	-0.070	
B = 10	-0.045	-0.044	-0.041	-0.034	-0.025	
B = 15	0.001	-0.001	0.000	0.005	0.012	
B = 20	0.040	0.035	0.034	0.038	0.044	
B = 25	0.073	0.066	0.054	0.067	0.072	

4.3.3.3. Variation en fonction de la pente condylienne

On note :

* Une variation de la pente condylienne de 20 à 60° conduit à une augmentation du déplacement vers le bas pour D₁ et D₂,

Exemple :

D ₁	PC 20/ B 5	Z = - 0,978 mm	}	
			}	- 0,198 mm
D ₁	PC 60/B 5	Z = - 1,176 mm	}	

* Et à une variation infime sur D₃ et D₄ vers le haut.

Exemple :

D ₃	PC 20/B 5	Z = - 0,906 mm	}	
			}	+ 0,012 mm
D ₃	PC 60/B 5	Z = - 0,893 mm	}	

Différence en Z (en mm) pour un écart de la PC 20° à 60° (Réf. : PC = 20°)

Bennett	D1	D2	D3	D4
5°	-0,198	-0,103	0,012	0,035
15°	-0,181	-0,091	0,007	0,011
25°	-0,172	-0,081	0,004	0,000

* D_3 varie d'une manière à peu près constante autour de la valeur de référence. Son déplacement vertical est peu affecté par la programmation postérieure.

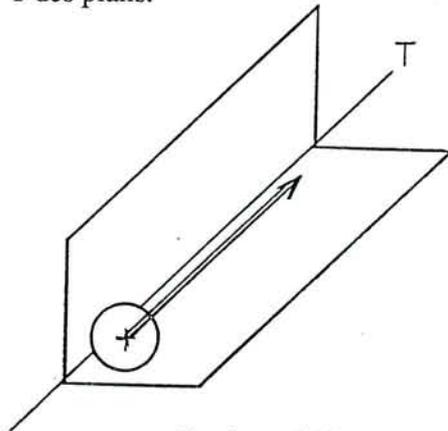
* Les influences de B et de PC sont comparables pour D_1 et D_2 alors que la variation de la PC est sans influence sur D_3 et D_4 .

4.4. L'INTERFERENCE CUSPIDIENNE

4.4.1. Le sillon d'échappement

La complexité de la morphologie occlusale a conduit aux simplifications suivantes :

- les faces cuspidiennes maxillaires sont assimilées à deux plans sécants formant le sillon d'échappement,
- le sommet cuspidien mandibulaire est représenté par une sphère qui se déplace dans le sillon suivant une direction parallèle à la trace T des plans.



T : trace des plans

Schéma n° 22

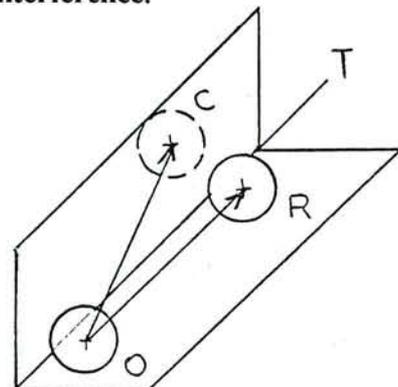
4.4.2. Définition de l'interférence

4.4.2.1. A la suite de l'**ajustement** sur l'articulateur, pour une programmation donnée, on peut déclarer que :

- la trace T est orientée dans le sens de la trajectoire d'ajustement OR, définie par les paramètres affichés,
- la sphère se déplace sans jeu, ni contrainte, le long des deux plans.

4.4.2.2. Si une programmation différente de la précédente conduit à une trajectoire de la sphère entraînant une pénétration **fictive** dans l'un des deux plans sécants, on est en présence d'une **interférence**.

OR : Trajectoire référence
 OC : Trajectoire interférente
 Schéma n° 23



4.4.3. Notion de trajectoire dégageante/engageante

Rappel : La norme du vecteur différence est la distance qui sépare les points terminaux de deux trajectoires différentes (cf. chapitre Résultats numériques).

d : vecteur différence

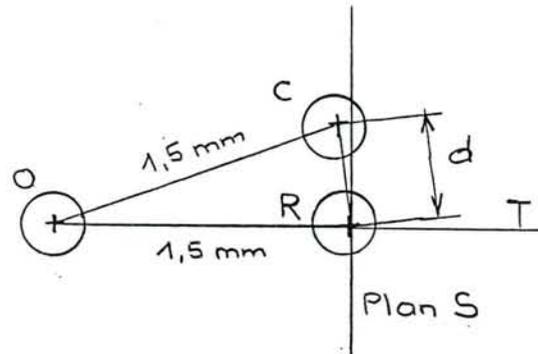
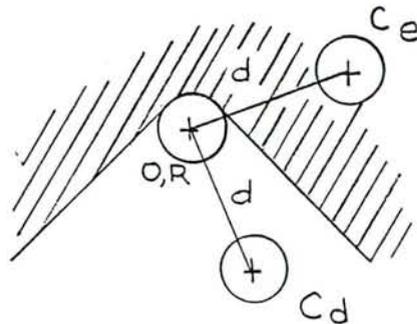


Schéma n° 24

Tous les points terminaux forment une calotte sphérique (de rayon 1,5 mm) .

Si on considère un plan S perpendiculaire à la trajectoire (OR) au niveau du point limite de trajectoire R, deux cas peuvent se présenter :

1. la sphère reste en dehors des deux plans cuspidiens
---> la trajectoire est dégageante
2. la sphère "pénètre" dans l'un des plans
---> la trajectoire est engageante ou interférente.



$OR =$ Trj. référence
 $OC_e =$ Trj. engageante
 $OC_d =$ Trj. dégageante

Coupe perpendiculaire à T

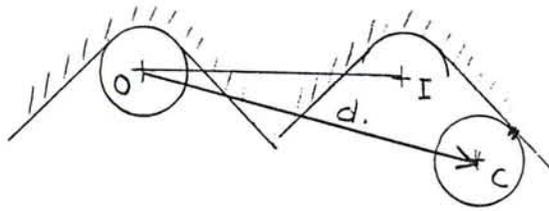
Schéma n° 25

La position du point C est caractérisée par la distance OC : **vecteur différence**.

Cette interférence peut être :

- **totale**, c'est-à-dire qu'elle est égale à la projection du vecteur différence sur le plan S,
- **partielle**, si le déplacement du sillon est inférieur à la valeur de la projection du vecteur.

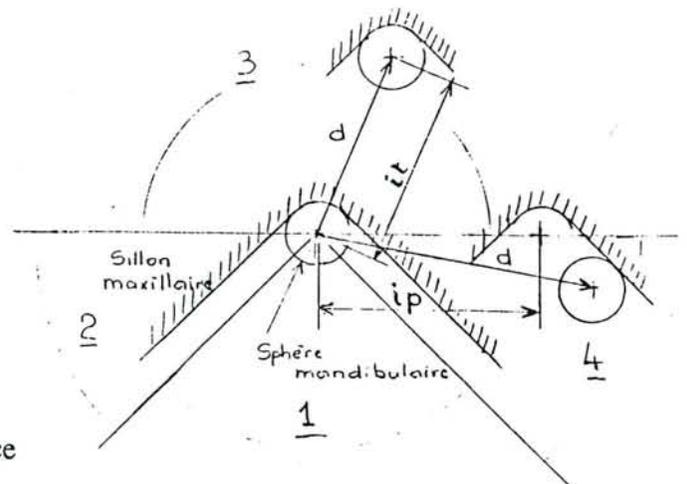
Interférence partielle.



OC = différence des trajectoires.
 OI = déplacement du sillon.

Schéma n° 26

Au regard de la direction du vecteur, il existe 4 zones.



d : projection du vecteur différence
 ip : interférence partielle $ip < d$
 it : interférence totale $it = d$

Schéma n° 27

La zone 1 est totalement dégageante.

Les zones 2 et 4 sont partiellement interférentes.

La zone 3 est totalement interférente, c'est-à-dire que la projection du vecteur se traduit intégralement en interférence.

4.4.4. Chiffrage de l'interférence

Il est nécessaire de calculer des paramètres définissant la différence entre deux trajectoires, dont l'une est **référence** afin de mieux situer cet écart dans l'espace.

4.4.4.1. Le référentiel x y z

Définition du référentiel x y z lié à OR (trajectoire de référence).

Soit P un plan contenant OR et perpendiculaire au plan occlusal. Ce plan est le plan de symétrie du sillon.

On a :

- o : origine du référentiel
- axe y : confondu avec OR (trajectoire de référence)
- axe z : perpendiculaire à y, dans P.
- axe x : trièdre direct avec y, z.

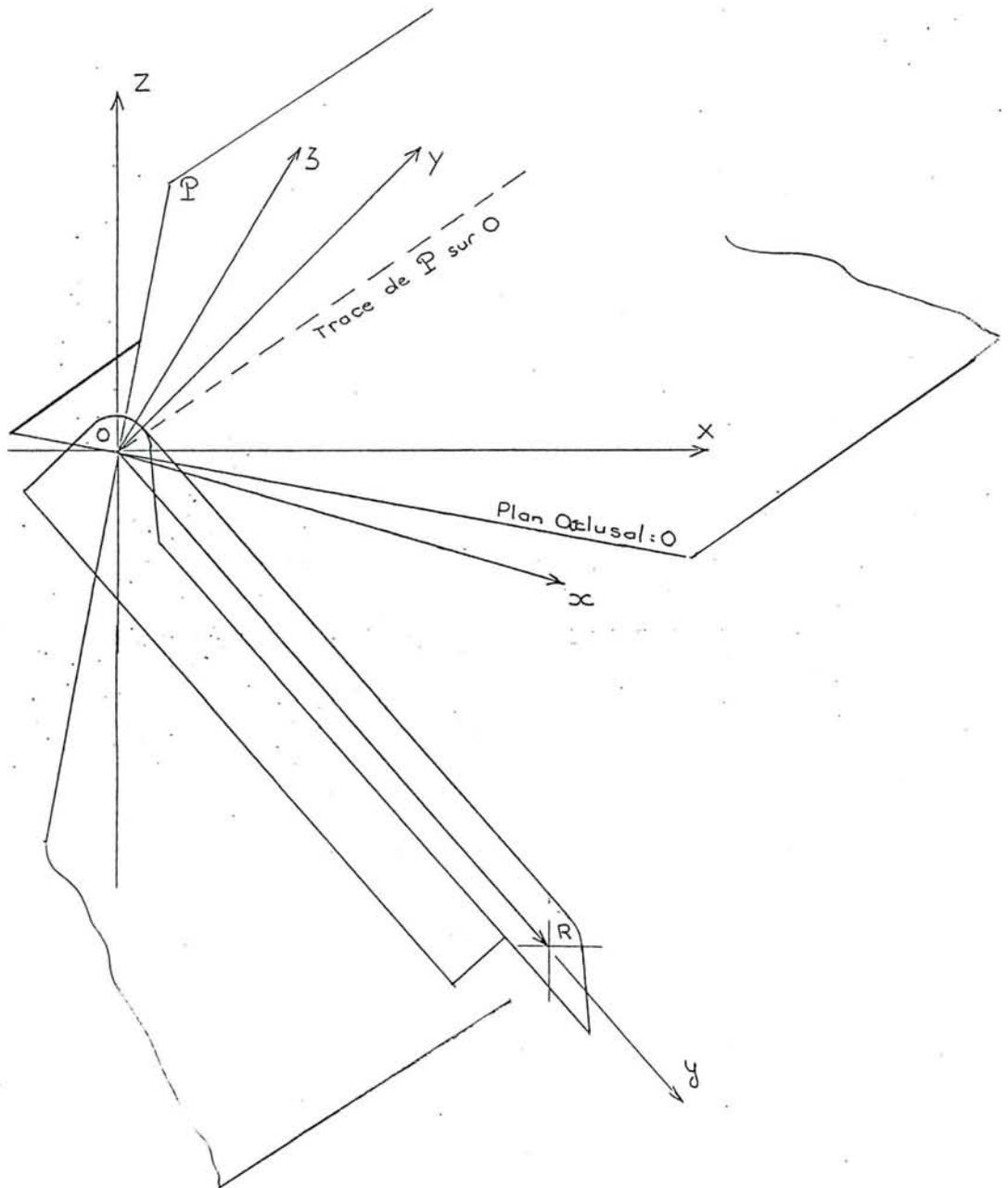


Schéma n° 28

4.4.4.2. Le changement de référentiel

Les éléments chiffrés dans $X Y Z$ peuvent se chiffrer dans $x y z$ par un changement de coordonnées en fonction de trois rotations successives. A savoir :

- Une première rotation autour de Y d'un angle ω (ω = angle du plan occlusal) (Voir chapitre 3) ayant pour matrice :

	X	Y	Z
XO	Cos	O	- Sin
YO	O	1	O
ZO	Sin	O	Cos

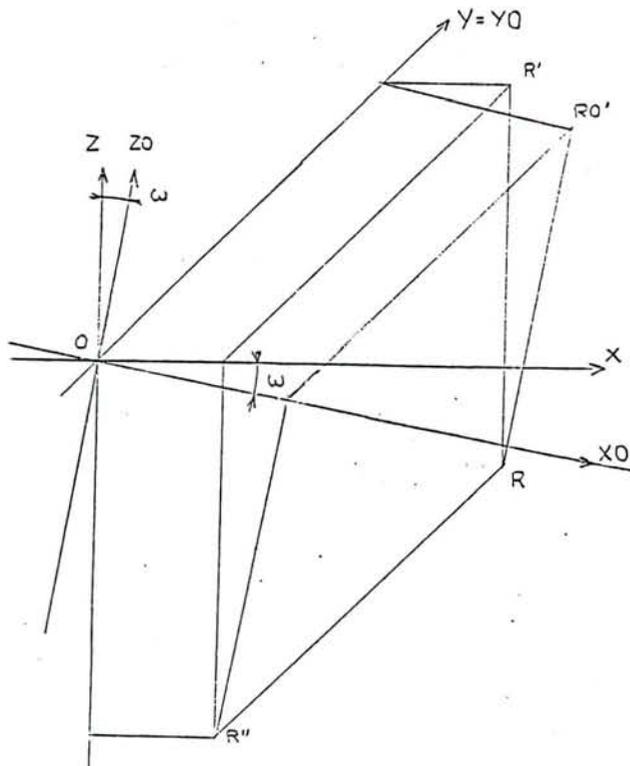


Schéma n° 29

- Une deuxième rotation autour de ZO d'un angle α (α : orientation du plan P dans XO, YO, ZO) ayant pour matrice :

	XO	YO	ZO
XP	Cos	- Sin	0
YP	Sin	Cos	0
ZP	0	0	1

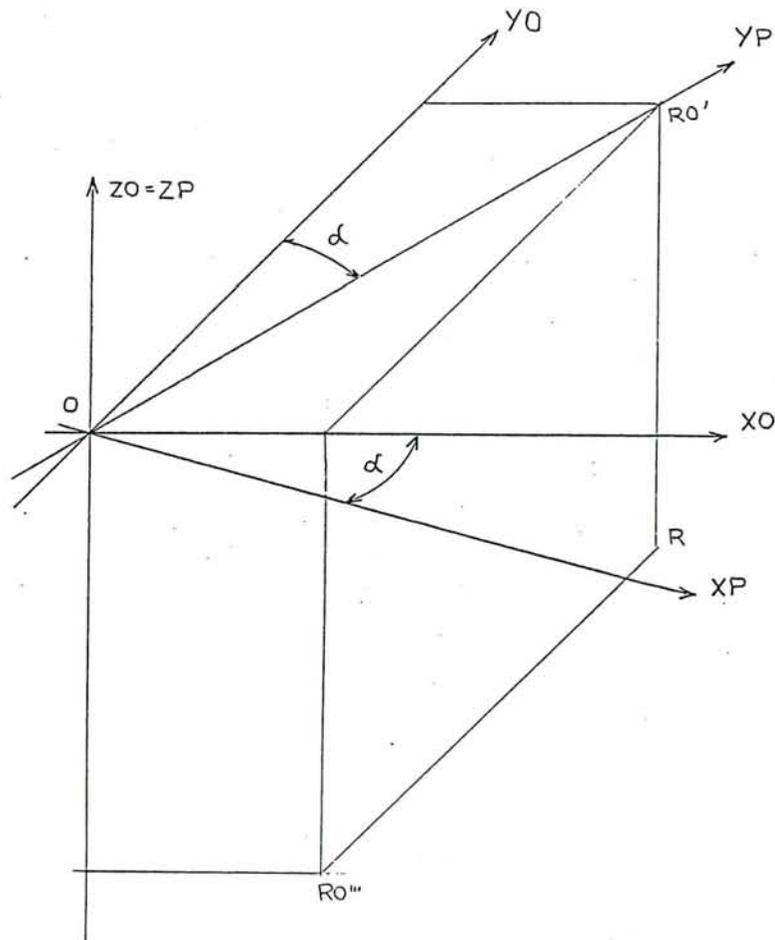


Schéma n° 30

- Enfin une troisième rotation autour de XP d'un angle β (β : orientation de OR dans XP, YP, ZP) ayant pour matrice :

	XP	YP	ZP
x	1	0	0
y	0	$\cos \beta$	$-\sin \beta$
z	0	$\sin \beta$	$\cos \beta$

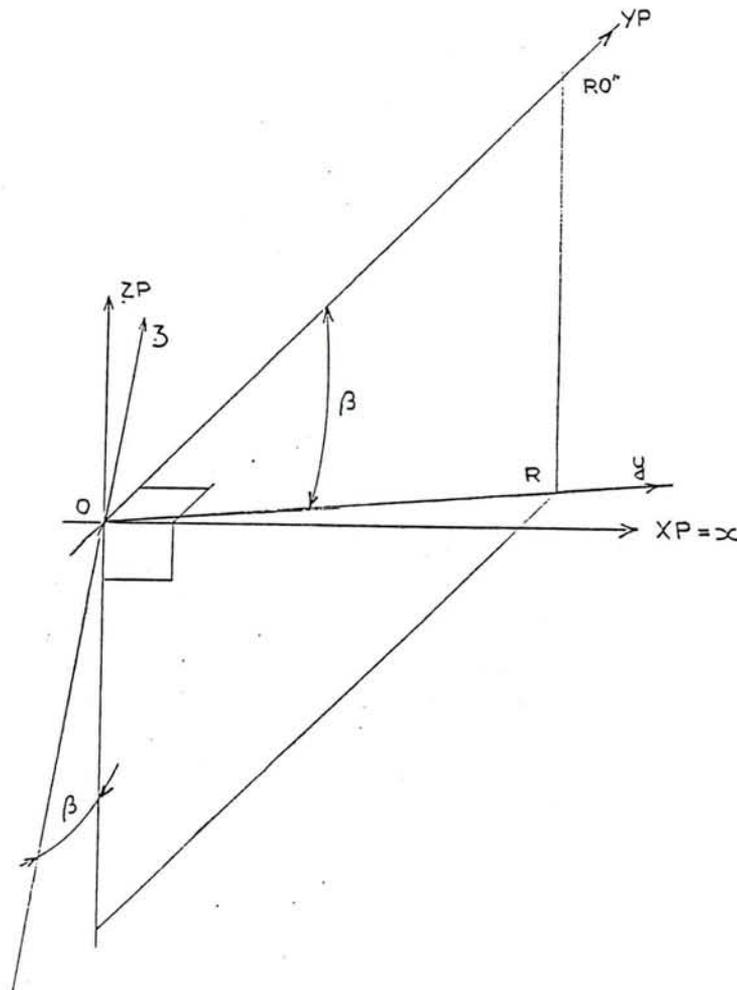


Schéma n° 31

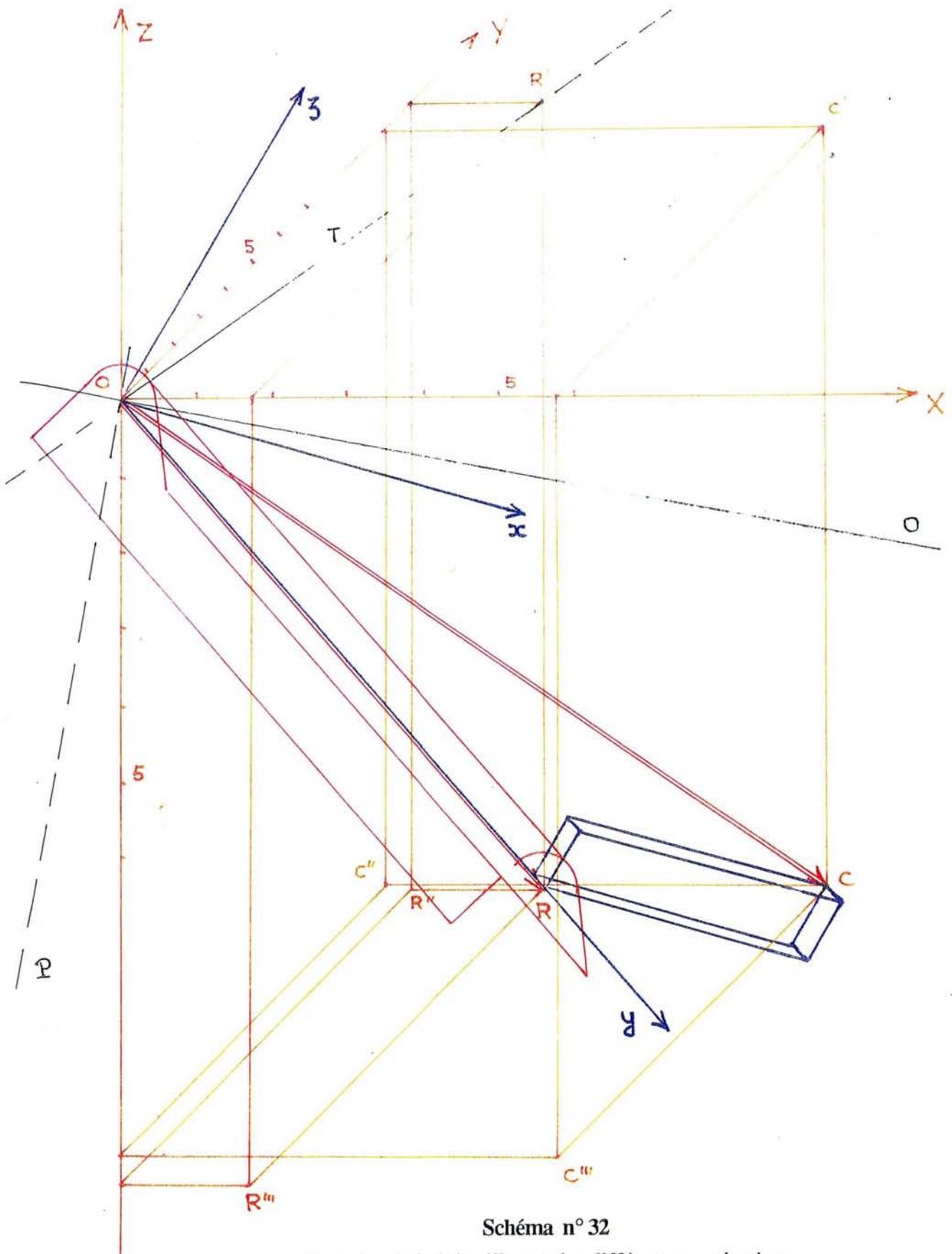


Schéma n° 32

Croquis général du sillon et des différentes projections

4.4.4.3. Les 5 paramètres d'une trajectoire calculée dans x, y z sont :

- les trois coordonnées x, y, z du point C (point terminal de la trajectoire considérée).
- la distance de l'axe y (OR) à C : projection du vecteur différence sur S, c'est-à-dire l'interférence.
- l'angle γ formé par la projection ci-dessus avec l'axe de x dans S : angle d'engagement/dégagement (le signe de γ est le signe de Z).

Ces 5 paramètres sont chacun exprimés dans les 5 tableaux suivants :

*** INTERFERENCE (B25) ***

) Paramètre sillon = INTERFERENCE.

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	0.414	0.292	0.221	0.201	0.227
B = 10	0.295	0.175	0.105	0.115	0.176
B = 15	0.223	0.101	0.000	0.089	0.172
B = 20	0.216	0.123	0.095	0.139	0.206
B = 25	0.259	0.195	0.181	0.208	0.258
Dent n° : 2					
B = 05	0.212	0.165	0.136	0.126	0.136
B = 10	0.141	0.094	0.064	0.066	0.096
B = 15	0.100	0.048	0.000	0.046	0.093
B = 20	0.103	0.066	0.058	0.082	0.121
B = 25	0.136	0.113	0.111	0.128	0.159
Dent n° : 3					
B = 05	0.078	0.082	0.085	0.087	0.088
B = 10	0.031	0.036	0.039	0.041	0.042
B = 15	0.018	0.008	0.000	0.006	0.012
B = 20	0.050	0.040	0.034	0.034	0.037
B = 25	0.081	0.071	0.065	0.064	0.068
Dent n° : 4					
B = 05	0.139	0.112	0.106	0.116	0.136
B = 10	0.091	0.057	0.047	0.063	0.090
B = 15	0.079	0.037	0.000	0.034	0.066
B = 20	0.093	0.059	0.040	0.046	0.068
B = 25	0.116	0.083	0.074	0.074	0.086



interférences totales



sans interférences

*** INTERFERENCE (B25) ***

) Paramètre sillon = Angle avec x (Dgr.)

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	13.865	-1.650	-24.858	-53.869	-79.227
B = 10	29.361	12.842	-24.861	-77.577	-75.725
B = 15	55.084	52.599	0.000	-47.766	-45.374
B = 20	86.562	72.860	24.867	-9.943	-22.167
B = 25	69.871	50.357	24.870	4.106	-8.111
Dent n° : 2					
B = 05	12.530	-1.643	-20.859	-44.582	-68.149
B = 10	28.408	11.534	-20.863	-66.437	-83.957
B = 15	58.718	55.552	0.000	-49.531	-46.615
B = 20	83.113	61.695	20.869	-8.776	-20.725
B = 25	58.796	41.554	20.873	3.772	-7.069
Dent n° : 3					
B = 05	-43.337	-37.116	-31.904	-27.117	-22.321
B = 10	-58.310	-42.784	-31.898	-22.722	-13.487
B = 15	-12.661	-21.009	0.000	44.323	58.889
B = 20	18.478	23.768	31.889	41.356	49.330
B = 25	24.374	27.703	31.884	36.400	40.543
Dent n° : 4					
B = 05	-70.366	-87.664	-63.184	-41.753	-25.651
B = 10	-45.490	-71.807	-63.094	-26.834	-8.214
B = 15	-10.430	-13.331	0.000	19.207	22.240
B = 20	16.798	30.004	62.956	76.112	56.719
B = 25	31.935	44.047	62.900	84.464	78.828

*** INTERFERENCE (B25) ***

) Paramètre sillon = INTERFERENCE.

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	0.243	0.248	0.222	0.249	0.303
B = 10	0.206	0.117	0.129	0.196	0.271
B = 15	0.122	0.000	0.101	0.190	0.271
B = 20	0.144	0.105	0.153	0.224	0.296
B = 25	0.222	0.199	0.225	0.276	0.336
Dent n° : 2					
B = 05	0.180	0.145	0.133	0.142	0.167
B = 10	0.101	0.068	0.070	0.100	0.140
B = 15	0.053	0.000	0.048	0.094	0.141
B = 20	0.074	0.061	0.083	0.120	0.162
B = 25	0.124	0.117	0.131	0.158	0.194
Dent n° : 3					
B = 05	0.082	0.086	0.089	0.092	0.094
B = 10	0.034	0.040	0.044	0.047	0.049
B = 15	0.011	0.000	0.008	0.014	0.019
B = 20	0.044	0.038	0.030	0.021	0.035
B = 25	0.076	0.066	0.061	0.061	0.064
Dent n° : 4					
B = 05	0.122	0.111	0.120	0.140	0.166
B = 10	0.063	0.049	0.067	0.094	0.125
B = 15	0.042	0.000	0.037	0.070	0.102
B = 20	0.064	0.041	0.047	0.071	0.098
B = 25	0.094	0.075	0.074	0.087	0.106

*** INTERFERENCE (B25) ***

) Paramètre sillon = Angle avec x (Dgr.)

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	5.408	-18.881	-49.231	-74.747	-88.412
B = 10	20.206	-18.883	-73.131	-81.072	-69.229
B = 15	59.006	0.000	-54.472	-52.206	-49.913
B = 20	68.474	18.888	-17.301	-29.589	-33.885
B = 25	45.589	18.890	-2.869	-15.444	-21.969
Dent n° : 2					
B = 05	3.029	-16.785	-40.392	-63.033	-80.988
B = 10	16.850	-16.791	-61.401	-89.588	-75.481
B = 15	62.485	0.000	-56.433	-53.474	-50.522
B = 20	56.885	16.799	-13.962	-26.552	-31.286
B = 25	37.428	16.804	-0.809	-12.169	-18.560
Dent n° : 3					
B = 05	-38.670	-32.962	-28.171	-23.750	-19.302
B = 10	-45.527	-32.955	-24.107	-16.439	-8.552
B = 15	-6.350	0.000	20.805	31.178	44.136
B = 20	25.045	32.943	43.747	54.384	61.409
B = 25	28.731	32.938	37.858	42.749	46.782
Dent n° : 4					
B = 05	-84.178	-69.441	-46.581	-30.091	-18.436
B = 10	-62.771	-69.334	-31.259	-13.023	-2.760
B = 15	-7.134	0.000	12.562	15.367	18.274
B = 20	34.421	69.175	67.071	47.708	40.965
B = 25	48.905	69.111	87.499	69.847	59.713

*** INTERFERENCE (B25) ***

>> Paramètre sillon = INTERFERENCE.

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	0.288	0.252	0.284	0.343	0.411
B = 10	0.135	0.150	0.229	0.311	0.389
B = 15	0.000	0.122	0.223	0.310	0.390
B = 20	0.119	0.176	0.256	0.334	0.407
B = 25	0.224	0.253	0.309	0.372	0.436
Dent n° : 2					
B = 05	0.160	0.145	0.153	0.177	0.211
B = 10	0.075	0.078	0.109	0.148	0.191
B = 15	0.000	0.053	0.100	0.146	0.192
B = 20	0.065	0.088	0.124	0.165	0.208
B = 25	0.126	0.137	0.162	0.195	0.234
Dent n° : 3					
B = 05	0.090	0.094	0.098	0.101	0.104
B = 10	0.041	0.048	0.054	0.057	0.059
B = 15	0.000	0.011	0.018	0.024	0.028
B = 20	0.026	0.028	0.025	0.027	0.033
B = 25	0.067	0.058	0.054	0.054	0.059
Dent n° : 4					
B = 05	0.120	0.128	0.149	0.175	0.205
B = 10	0.053	0.072	0.103	0.135	0.166
B = 15	0.000	0.042	0.079	0.112	0.144
B = 20	0.043	0.051	0.078	0.106	0.135
B = 25	0.078	0.077	0.091	0.112	0.136

*** INTERFERENCE (B25) ***

>> Paramètre sillon = Angle avec x (Dgr.)

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	-12.428	-45.167	-71.384	-87.702	-81.917
B = 10	-12.427	-69.791	-85.351	-74.365	-67.783
B = 15	0.000	-60.682	-58.620	-56.520	-54.363
B = 20	12.428	-25.276	-37.320	-41.457	-42.682
B = 25	12.431	-10.626	-23.436	-29.921	-33.045
Dent n° : 2					
B = 05	-12.563	-36.814	-59.057	-76.149	-88.680
B = 10	-12.569	-57.485	-84.266	-81.618	-72.701
B = 15	0.000	-63.229	-60.339	-57.438	-54.495
B = 20	12.581	-19.914	-33.102	-38.005	-39.474
B = 25	12.588	-5.996	-18.029	-24.766	-28.177
Dent n° : 3					
B = 05	-34.203	-29.218	-24.996	-21.066	-17.082
B = 10	-34.193	-25.323	-18.689	-12.638	-6.220
B = 15	0.000	6.054	12.161	20.089	30.488
B = 20	34.179	47.262	62.859	74.384	78.989
B = 25	34.172	39.797	45.947	51.457	55.313
Dent n° : 4					
B = 05	-76.748	-51.587	-34.284	-22.654	-14.271
B = 10	-76.623	-35.456	-17.413	-7.740	-1.174
B = 15	0.000	6.226	8.755	11.375	14.120
B = 20	76.439	56.707	38.057	31.833	30.036
B = 25	76.369	77.855	59.462	49.445	44.574

*** INTERFERENCE (B25) ***

)) Paramètre sillon = INTERFERENCE.

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	0.243	0.132	0.135	0.208	0.290
B = 10	0.137	0.000	0.112	0.209	0.298
B = 15	0.150	0.117	0.175	0.252	0.321
B = 20	0.236	0.221	0.256	0.312	0.377
B = 25	0.329	0.314	0.335	0.376	0.428
Dent n° : 2					
B = 05	0.118	0.077	0.076	0.107	0.151
B = 10	0.058	0.000	0.053	0.103	0.153
B = 15	0.078	0.068	0.094	0.123	0.178
B = 20	0.133	0.129	0.146	0.176	0.213
B = 25	0.189	0.185	0.196	0.220	0.252
Dent n° : 3					
B = 05	0.042	0.046	0.050	0.053	0.056
B = 10	0.010	0.000	0.008	0.015	0.021
B = 15	0.048	0.040	0.036	0.036	0.040
B = 20	0.084	0.075	0.070	0.069	0.073
B = 25	0.115	0.106	0.101	0.100	0.103
Dent n° : 4					
B = 05	0.081	0.062	0.077	0.107	0.141
B = 10	0.047	0.000	0.041	0.079	0.114
B = 15	0.072	0.049	0.057	0.082	0.112
B = 20	0.108	0.090	0.090	0.103	0.124
B = 25	0.141	0.125	0.121	0.128	0.143

*** INTERFERENCE (B25) ***

)) Paramètre sillon = Angle avec x (Dgr.)

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	19.959	-15.522	-71.638	-81.148	-69.606
B = 10	55.773	0.000	-52.875	-51.406	-49.905
B = 15	68.288	15.526	-18.217	-29.885	-34.418
B = 20	43.134	15.528	-5.138	-16.927	-23.298
B = 25	33.189	15.531	1.083	-8.937	-15.371
Dent n° : 2					
B = 05	16.366	-14.653	-59.329	-88.238	-77.235
B = 10	59.273	0.000	-55.269	-53.287	-51.291
B = 15	56.145	14.663	-14.583	-26.921	-32.090
B = 20	35.565	14.667	-2.312	-13.295	-19.764
B = 25	28.047	14.671	3.051	-5.719	-11.768
Dent n° : 3					
B = 05	-43.044	-32.006	-23.417	-15.947	-8.753
B = 10	-15.191	0.000	27.658	35.626	44.902
B = 15	24.060	31.992	42.028	51.956	59.360
B = 20	27.822	31.986	36.675	41.335	45.366
B = 25	29.219	31.981	34.966	37.916	40.560
Dent n° : 4					
B = 05	-68.956	-69.135	-31.862	-12.753	-2.339
B = 10	-12.794	0.000	16.738	18.760	20.847
B = 15	34.130	68.942	71.406	52.397	44.773
B = 20	49.162	68.870	89.713	73.320	63.216
B = 25	55.510	68.807	82.907	84.786	75.623

*** INTERFERENCE (B25) ***

>> Paramètre sillon = INTERFERENCE.

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	0.155	0.157	0.243	0.335	0.421
B = 10	0.000	0.137	0.249	0.344	0.431
B = 15	0.135	0.206	0.295	0.378	0.457
B = 20	0.252	0.294	0.357	0.424	0.493
B = 25	0.357	0.379	0.422	0.476	0.534
Dent n° : 2					
B = 05	0.085	0.083	0.116	0.159	0.206
B = 10	0.000	0.058	0.111	0.161	0.210
B = 15	0.075	0.101	0.141	0.185	0.231
B = 20	0.141	0.156	0.184	0.220	0.260
B = 25	0.200	0.209	0.229	0.258	0.293
Dent n° : 3					
B = 05	0.048	0.054	0.058	0.062	0.065
B = 10	0.000	0.010	0.018	0.024	0.030
B = 15	0.041	0.034	0.031	0.033	0.033
B = 20	0.077	0.068	0.064	0.064	0.068
B = 25	0.108	0.099	0.095	0.094	0.098
Dent n° : 4					
B = 05	0.068	0.083	0.115	0.151	0.186
B = 10	0.000	0.047	0.088	0.126	0.161
B = 15	0.053	0.063	0.091	0.122	0.154
B = 20	0.095	0.095	0.110	0.133	0.158
B = 25	0.131	0.127	0.134	0.149	0.169

*** INTERFERENCE (B25) ***

>> Paramètre sillon = Angle avec x (Dgr.)

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
Dent n° : 1					
B = 05	-9.005	-69.314	-84.044	-73.314	-67.395
B = 10	0.000	-57.913	-56.605	-55.259	-53.860
B = 15	9.002	-25.509	-36.688	-40.960	-42.633
B = 20	9.003	-12.543	-24.265	-30.439	-33.689
B = 25	9.004	-6.187	-16.368	-22.750	-26.618
Dent n° : 2					
B = 05	-10.337	-56.245	-84.650	-81.374	-73.206
B = 10	0.000	-60.206	-58.306	-56.382	-54.413
B = 15	10.349	-19.862	-32.341	-37.514	-39.584
B = 20	10.355	-7.269	-18.555	-25.139	-28.790
B = 25	10.361	-1.718	-10.784	-16.998	-20.990
Dent n° : 3					
B = 05	-33.226	-24.435	-17.544	-11.450	-5.482
B = 10	0.000	14.909	20.399	27.021	35.036
B = 15	33.209	44.843	57.833	68.290	74.132
B = 20	33.202	38.447	43.998	49.070	52.967
B = 25	33.196	36.498	39.897	43.057	45.667
Dent n° : 4					
B = 05	-76.567	-35.769	-16.184	-6.054	0.367
B = 10	0.000	11.714	13.546	15.438	17.415
B = 15	76.345	62.112	44.039	37.041	34.324
B = 20	76.263	80.628	63.953	54.155	48.825
B = 25	76.193	88.430	75.488	66.207	60.191

4.4.4.4. Les résultats

- Sur le tableau des coordonnées en x, on note que l'influence de l'angle de Bennett est prépondérante. Il fait reculer l'ensemble de la branche inférieure de l'articulateur au fur et à mesure que l'angle augmente (valeurs négatives).

- Pour les coordonnées en y, toutes les valeurs sont très proches de 1,5 mm car les limites des trajectoires se situent pratiquement dans un plan orthogonal à y.

- Sur le tableau des coordonnées en z on constate des valeurs positives et négatives. C'est le signe sur z qui permet de distinguer les trajectoires totalement engageantes (signe positif) des autres trajectoires. C'est ce signe qui qualifie le 5ème paramètre : l'angle avec x.

- Les différences en bout (interférences).

La dent n° 1 subit les plus fortes variations. Un écart de 10° de la pente condylienne ou de 5° de l'angle de Bennett induit une différence moyenne de 0,1 mm. La différence maximum de 0,4 mm est due au couple 20/5.

La dent n° 2 possède une évolution identique des interférences mais les différences sont réduites de moitié.

La répartition des écarts pour les dents n° 3 et n° 4 est différente des précédentes. Un passage de 15° à 20° amène une différence de 0,04 mm sur la dent n° 3 et de 0,06 mm sur la dent n° 4. Ces valeurs restent très faibles au regard de celles du côté non travaillant.

- Le paramètre "angle avec x" comporte 2 zones sur le tableau :
 - . une zone de signe positif correspondant à une interférence totale,
 - . une zone de signe négatif correspondant à une interférence partielle ou à un dégagement.

Si l'on se donne un angle d'ouverture du sillon à 114° (cuspidé à 33°), la zone négative comprend elle-même deux parties :

- . l'une d'angles supérieurs à 33° où la trajectoire est dégagée sans interférence,
- . l'autre d'angles compris entre 0° et 33° où l'interférence est partielle.

Conclusion :

Si l'on superpose la nature de la trajectoire tirée du paramètre "angle avec x" avec les "différences en bout", on peut conclure sur **l'interférence**.

Exemple sur la dent n° 1 :

+ 10° de pente condylienne et - 5° de Bennett par rapport à la référence 40/15, soit 50/10 donne une différence de trajectoire de 0,115 mm **non interférente**.

+ 20° de pente condylienne et + 5° de Bennett, soit 60/20 donne une différence de 0,206 mm **partiellement interférente**.

- 10° de pente condylienne et - 5° de Bennett, soit 30/10 donne une différence de trajectoire de 0,175 mm **totalelement interférente**.

4.4.4.5. Choix d'une programmation

Les 5 tableaux suivants représentent les interférences des trajectoires de références suivantes : 40/15, 30/15, 20/15, 30/10 et 20/10.

Ils représentent également les zones interférences totales, interférences partielles et non interférentes (voir chapitre 4.5.4.4.).

On note que :

- la diminution de la pente condylienne de 40° à 20° augmente la zone non interférente du côté non travaillant, mais diminue celle-ci du côté travaillant,
- la baisse de l'angle de Bennett de 15° à 10° amène une augmentation de la zone interférente de toutes les dents.

La recherche d'une programmation implique en prothèse fixée :

- l'absence de contacts non travaillants en latéralité selon les concepts gnathologiste et fonctionnaliste pour le plus grand nombre de couples,
- et de retenir l'interférence minimale du côté travaillant.

A partir de ces éléments de choix, on peut tirer comme conséquences que :

- les valeurs 40/15, 30/15, 30/10 et 20/10 sont à éliminer car les interférences totales sont les plus fortes soit du côté non travaillant soit du côté travaillant, en fonction de la programmation.
- les critères de choix retenus conduisent à considérer le 20/15 comme la programmation la plus judicieuse.

*** INTERFERENCE (B25) ***

>> Paramètre sillon = Coord_x

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
			Dent n° : 1		

B = 05	0.402	0.292	0.200	0.119	0.042
B = 10	0.257	0.171	0.095	0.025	-0.043
B = 15	0.128	0.062	0.000	-0.060	-0.121
B = 20	0.013	-0.036	-0.086	-0.137	-0.191
B = 25	-0.089	-0.125	-0.164	-0.207	-0.255
			Dent n° : 2		

B = 05	0.207	0.165	0.127	0.089	0.051
B = 10	0.124	0.092	0.060	0.026	-0.010
B = 15	0.052	0.027	0.000	-0.030	-0.064
B = 20	-0.012	-0.031	-0.054	-0.081	-0.113
B = 25	-0.071	-0.085	-0.104	-0.128	-0.157
			Dent n° : 3		

B = 05	0.057	0.065	0.072	0.077	0.082
B = 10	0.017	0.026	0.033	0.038	0.041
B = 15	-0.018	-0.007	-0.000	0.004	0.006
B = 20	-0.047	-0.036	-0.029	-0.025	-0.024
B = 25	-0.074	-0.063	-0.056	-0.052	-0.051
			Dent n° : 4		

B = 05	-0.047	0.005	0.048	0.086	0.123
B = 10	-0.064	-0.018	0.021	0.056	0.089
B = 15	-0.078	-0.036	0.000	0.032	0.061
B = 20	-0.089	-0.051	-0.018	0.011	0.037
B = 25	-0.098	-0.064	-0.034	-0.007	0.017

*** INTERFERENCE (B25) ***

)> Paramètre sillon = Coord_y

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
			Dent n° : 1		

B = 05	1.442	1.471	1.484	1.486	1.483
B = 10	1.471	1.490	1.496	1.496	1.490
B = 15	1.483	1.497	1.500	1.497	1.490
B = 20	1.484	1.495	1.497	1.494	1.486
B = 25	1.477	1.487	1.489	1.486	1.478
			Dent n° : 2		

B = 05	1.485	1.491	1.494	1.495	1.494
B = 10	1.493	1.497	1.499	1.499	1.497
B = 15	1.497	1.499	1.500	1.499	1.497
B = 20	1.496	1.499	1.499	1.498	1.495
B = 25	1.494	1.496	1.496	1.495	1.492
			Dent n° : 3		

B = 05	1.498	1.498	1.498	1.497	1.497
B = 10	1.500	1.500	1.499	1.499	1.499
B = 15	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
B = 20	1.499	1.499	1.500	1.500	1.500
B = 25	1.498	1.498	1.499	1.499	1.498
			Dent n° : 4		

B = 05	1.494	1.496	1.496	1.496	1.494
B = 10	1.497	1.499	1.499	1.499	1.497
B = 15	1.498	1.500	1.500	1.500	1.499
B = 20	1.497	1.499	1.499	1.499	1.498
B = 25	1.496	1.497	1.498	1.498	1.498

*** INTERFERENCE (B25) ***

>> Paramètre sillon = Coord_z

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
			Dent n° : 1		

B = 05	0.099	-0.008	-0.093	-0.162	-0.223
B = 10	0.144	0.039	-0.044	-0.112	-0.170
B = 15	0.183	0.081	0.000	-0.066	-0.122
B = 20	0.215	0.118	0.040	-0.024	-0.078
B = 25	0.243	0.150	0.076	0.015	-0.036
			Dent n° : 2		

B = 05	0.046	-0.005	-0.048	-0.088	-0.126
B = 10	0.067	0.019	-0.023	-0.060	-0.095
B = 15	0.086	0.040	0.000	-0.035	-0.068
B = 20	0.102	0.058	0.021	-0.013	-0.043
B = 25	0.116	0.075	0.040	0.008	-0.020
			Dent n° : 3		

B = 05	-0.054	-0.049	-0.045	-0.040	-0.034
B = 10	-0.027	-0.024	-0.021	-0.016	-0.010
B = 15	-0.004	-0.003	-0.000	0.004	0.010
B = 20	0.016	0.016	0.018	0.022	0.028
B = 25	0.033	0.033	0.035	0.038	0.044
			Dent n° : 4		

B = 05	-0.130	-0.112	-0.094	-0.077	-0.059
B = 10	-0.065	-0.054	-0.042	-0.029	-0.013
B = 15	-0.014	-0.009	-0.000	0.011	0.025
B = 20	0.027	0.029	0.035	0.044	0.057
B = 25	0.061	0.062	0.066	0.073	0.084

*** INTERFERENCE (B25) ***

) Paramètre sillon = Angle avec x (Dgr.)

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
			Dent n° : 1		

B = 05	13.865	-1.650	-24.858	-53.869	-79.227
B = 10	29.361	12.842	-24.861	-77.577	-75.725
B = 15	55.084	52.599	0.000	-47.766	-45.374
B = 20	86.562	72.860	24.867	-9.943	-22.167
B = 25	69.871	50.357	24.870	4.106	-8.111
			Dent n° : 2		

B = 05	12.530	-1.643	-20.859	-44.582	-68.149
B = 10	28.408	11.534	-20.863	-66.437	-83.957
B = 15	58.718	55.552	0.000	-49.531	-46.615
B = 20	83.113	61.695	20.869	-8.776	-20.725
B = 25	58.796	41.554	20.873	3.772	-7.069
			Dent n° : 3		

B = 05	-43.337	-37.116	-31.904	-27.117	-22.321
B = 10	-58.310	-42.784	-31.898	-22.722	-13.487
B = 15	-12.661	-21.009	0.000	44.323	58.889
B = 20	18.478	23.768	31.889	41.356	49.330
B = 25	24.374	27.703	31.884	36.400	40.543
			Dent n° : 4		

B = 05	-70.366	-87.664	-63.184	-41.753	-25.651
B = 10	-45.490	-71.807	-63.094	-26.834	-8.214
B = 15	-10.430	-13.331	0.000	19.207	22.240
B = 20	16.798	30.004	62.956	76.112	56.719
B = 25	31.935	44.047	62.900	84.464	78.828

*** INTERFERENCE (B25) ***

>> Paramètre sillon = INTERFERENCE.

	PC = 20	PC = 30	PC = 40	PC = 50	PC = 60
			Dent n° : 1		

B = 05	0.414	0.292	0.221	0.201	0.227
B = 10	0.295	0.175	0.105	0.115	0.176
B = 15	0.223	0.101	0.000	0.089	0.172
B = 20	0.216	0.123	0.095	0.139	0.206
B = 25	0.259	0.195	0.181	0.208	0.258
			Dent n° : 2		

B = 05	0.212	0.165	0.136	0.126	0.136
B = 10	0.141	0.094	0.064	0.066	0.096
B = 15	0.100	0.048	0.000	0.046	0.093
B = 20	0.103	0.066	0.058	0.082	0.121
B = 25	0.136	0.113	0.111	0.128	0.159
			Dent n° : 3		

B = 05	0.078	0.082	0.085	0.087	0.088
B = 10	0.031	0.036	0.039	0.041	0.042
B = 15	0.018	0.008	0.000	0.006	0.012
B = 20	0.050	0.040	0.034	0.034	0.037
B = 25	0.081	0.071	0.065	0.064	0.068
			Dent n° : 4		

B = 05	0.139	0.112	0.106	0.116	0.136
B = 10	0.091	0.057	0.047	0.063	0.090
B = 15	0.079	0.037	0.000	0.034	0.066
B = 20	0.093	0.059	0.040	0.046	0.068
B = 25	0.116	0.089	0.074	0.074	0.086

4.5. INFLUENCE DES AUTRES PARAMETRES SUR L'INTERFERENCE

4.5.1. Etude de l'influence des variations du plan d'occlusion

4.5.1.1. Définition

Le plan d'occlusion choisi pour les calculs est celui passant par le sommet des cuspidés disto-vestibulaires des deuxième molaires et des cuspidés vestibulaires des premières prémolaires mandibulaires.

Ce plan peut effectuer une rotation autour d'un axe Y passant par le point inter-incisif.

L'angle qu'il forme avec le plan horizontal est appelé ω (oméga). Il est en moyenne de 10° (GEOFFROY) (9).

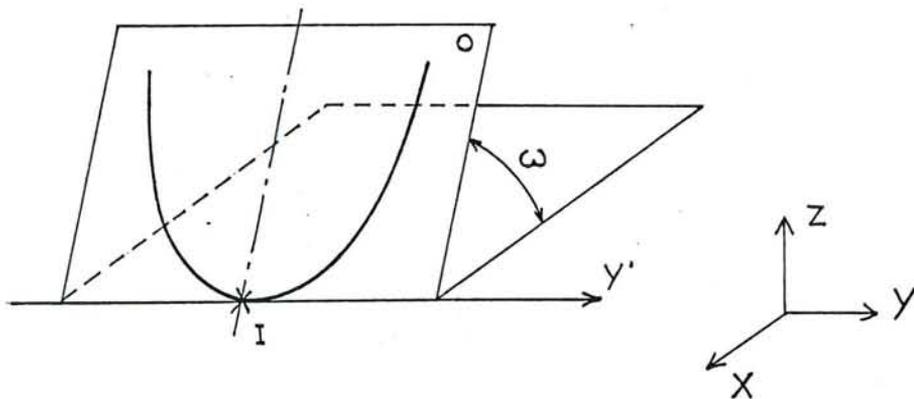


Schéma n° 33

4.5.1.2. Calcul

4.5.1.2.1. Une première étude permet d'apprécier l'influence de l'orientation du plan d'occlusion sur les déplacements dentaires lorsque la pente condylienne est programmée à 40° et l'angle de Bennett à 15° .

Les valeurs du plan d'occlusion choisies sont : 0° , 5° , 10° , 15° , 20° .
 10° est la valeur de référence.

4.5.1.2.2. Une seconde étude est réalisée pour des plans d'occlusion réglés à 0° , 10° , 20° dans les cas suivants :

Pente condylienne	Angle de Bennett
20°	15°
60°	15°
40°	5°
40°	25°

4.5.1.3. Résultats

4.5.1.3.1. Résultats du calcul n° 1

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)

PLAN D'OCCLUSION

Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 15° - Largeur inter-condylienne 110° -

Tangente canine 35° -

Plan d'occlusion 10°

Variation du plan d'occlusion 0°/5°/10°/15°/20°

Plan d'occlusion		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
0°	X	0,124	0,084	0,011	0,039	-0,275	0,042	-0,483	0,066
	Y	1,127		1,135		1,224		1,285	
	Z	-0,982		-0,981		-0,822		-0,605	
5°	X	0,149	0,036	0,007	0,022	-0,280	0,023	-0,466	0,036
	Y	+1,107		1,124		1,213		1,279	
	Z	-1,001		-0,994		-0,837		-0,630	
10°	X	-0,170	0	-0,002	0	-0,289	0	-0,450	0
	Y	1,085		1,110		1,199		1,269	
	Z	-1,022		-1,009		-0,854		-0,661	
15°	X	0,188	0,032	-0,015	0,026	-0,300	0,019	-0,434	0,043
	Y	1,06		1,094		1,181		1,255	
	Z	-1,045		-1,026		-0,874		-0,697	
20°	X	0,202	0,077	-0,032	0,065	-0,315	0,063	-0,418	0,090
	Y	1,033		1,076		1,160		1,237	
	Z	-1,069		-1,045		-0,897		-0,739	

La norme du vecteur interférence

L'écart maximum est de 0,090 mm sur la dent n° 4 lorsque le plan d'occlusion passe de 10° à 20°. La moyenne des quatre dents est de 0,073 mm.

La différence minimale est de 0,019 mm sur la dent n° 3 pour un angle de 15°, avec une moyenne de 0,030 mm.

La moyenne des écarts est plus importante pour les plans d'occlusion situés au dessus de 10°.

Plan d'occlusion	Moyenne de l'écart
20°/10°	0,073 mm
15°/10°	0,030 mm
5°/10°	0,029 mm
0°/10°	0,057 mm

4.5.1.3.2. Résultats du calcul n° 2

4.5.1.3.2.1. Influence de l'angle de Bennett

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)

PLAN D'OCCLUSION

Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 5° - Largeur inter-condylienne 110° -

Tangente canine 35° -

Plan d'occlusion 10°

Variation du plan d'occlusion 0°/10°/20°

Plan d'occlusion		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
0°	X	0,293	0,076	0,134	0,049	-0,197	0,055	-0,428	0,079
	Y	1,011		1,083		1,211		1,266	
	Z	-1,069		-1,029		-0,863		-0,682	
10°	X	0,326	0	0,110	0	-0,221	0	-0,407	0
	Y	0,955		1,054		1,179		1,233	
	Z	-1,110		-1,061		-0,901		-0,751	
20°	X	0,344	0,077	0,070	0,067	-0,258	0,074	-0,383	0,102
	Y	0,894		1,017		1,134		1,184	
	Z	-1,154		-1,100		-0,948		-0,838	

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)

PLAN D'OCCLUSION

Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 25° - Largeur inter-condylienne 110° -

Tangente canine 35° -

Plan d'occlusion 10°

Variation du plan d'occlusion 0°/10°/20°

Plan d'occlusion		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
0°	X	-0,016	0,074	-0,089	0,033	-0,334	0,033	-0,521	0,062
	Y	1,204		1,169		1,231		1,295	
	Z	-0,895		-0,936		-0,789		-0,552	
10°	X	0,040	0	-0,094	0	-0,340	0	-0,480	0
	Y	1,174		1,149		1,212		1,290	
	Z	-0,933		-0,960		-0,816		-0,597	
20°	X	0,082	0,077	-0,115	0,050	-0,359	0,054	-0,441	0,082
	Y	1,131		1,118		1,179		1,269	
	Z	-0,982		-0,994		-0,855		-0,667	

Elle est **très faible** tant pour la hauteur en Z que pour la norme du vecteur différence.

Norme du vecteur interférence sur la dent n° 4

Angle de Bennett	5°	15°	25°
Plan d'occlusion			
0°	0,079	0,066	0,062
10°	0	0	0
20°	0,102	0,090	0,082

4.5.1.3.2.2. Influence de la pente condylienne

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)

PLAN D'OCCLUSION

Pente condylienne 20° - Angle de Bennett 15° - Largeur inter-condylienne 110° -

Tangente canine 35° -

Plan d'occlusion 10°

Variation du plan d'occlusion 0°/10°/20°

Plan d'occlusion		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
0°	X	0,281	0,081	0,081	0,038	-0,296	0,042	-0,581	0,078
	Y	1,187		1,178		1,218		1,243	
	Z	-0,877		-0,925		-0,824		-0,606	
10°	X	0,348	0	0,068	0	-0,306	0	-0,524	0
	Y	1,147		1,156		1,195		1,241	
	Z	-0,901		-0,954		-0,854		-0,660	
20°	X	0,390	0,075	0,038	0,059	-0,329	0,059	-0,464	0,097
	Y	1,100		1,123		1,158		1,222	
	Z	-0,943		-0,993		-0,895		-0,735	

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)

PLAN D'OCCLUSION

Pente condylienne 60° - Angle de Bennett 15° - Largeur inter-condylienne 110° -

Tangente canine 35° -

Plan d'occlusion 10°

Variation du plan d'occlusion 0°/10°/20°

Plan d'occlusion		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
0°	X	-0,012	0,071	-0,067	0,038	-0,266	0,044	-0,405	0,065
	Y	1,085		1,099		1,231		1,318	
	Z	-1,036		-1,018		-0,814		-0,591	
10°	X	0,016	0	-0,080	0	-0,282	0	-0,391	0
	Y	1,038		1,074		1,206		1,295	
	Z	-1,082		-1,044		-0,847		-0,649	
20°	X	0,035	0,079	-0,108	0,056	-0,311	0,064	-0,380	0,089
	Y	0,981		1,038		1,167		1,255	
	Z	-1,134		-1,078		-0,890		-0,728	



Seule la norme du vecteur interférence est étudiée.

Les variations du plan d'occlusion, que la pente condylienne soit à 20°, 40° ou 60°, entraînent pratiquement les mêmes modifications en Z.

Quant à la norme du vecteur interférence, elle est également **peu influencée**.

Norme du vecteur interférence sur la dent n° 4

Pente condylienne	20°	40°	60°
Plan d'occlusion			
0°	0,078	0,066	0,065
10°	0	0	0
20°	0,097	0,090	0,089

4.5.1.4. Conclusion pour une pente condylienne à 40° et un angle de Bennett à 15°

L'influence de la pente condylienne et de l'angle de Bennett est négligeable (0,012 mm).

Un changement d'orientation du plan d'occlusion de 10° à 20° entraîne une différence maximale de 0,090 mm (moyenne de 0,073 mm sur les quatre dents), avec une baisse en Z de 0,078 mm et donc une diminution du risque d'interférence (dent n° 4).

Par contre, lorsque le plan passe à 0°, l'erreur est de 0,084 mm (dent n°1), mais la hauteur en Z augmente de 0,056 mm entraînant un risque accru d'interférence.

Ces résultats indiquent qu'en prothèse conjointe il est préférable de construire les prothèses avec un **plan d'occlusion relativement plat, proche de 0°**.

C'est la situation théorique la plus défavorable, mais qui permet de limiter le risque d'erreur au cas où le plan réel du patient serait plus élevé.

Enfin, les faibles écarts enregistrés (0,024 mm en moyenne pour une variation de 5°) conduisent à penser, en ce qui concerne uniquement l'angulation du plan d'occlusion, qu'une table de montage arbitraire est suffisante dans tous les cas ne présentant pas de difficulté particulière.

4.5.2. ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA PENTE CANINE

4.5.2.1. Définition

Lors d'une excursion en latéralité, la pointe de la canine mandibulaire se déplace sur la face palatine de la canine maxillaire.

Compte tenu de la faible amplitude du mouvement et de la morphologie de la face palatine, nous pouvons assimiler ce déplacement à une section de droite.

Cette droite, qui appartient au plan de guidage canine (cf. Chapitre 3), forme avec le plan d'occlusion un angle ρ (rô) appelé pente canine.

La valeur moyenne de ρ est de 45° (SLAVICEK) (26).

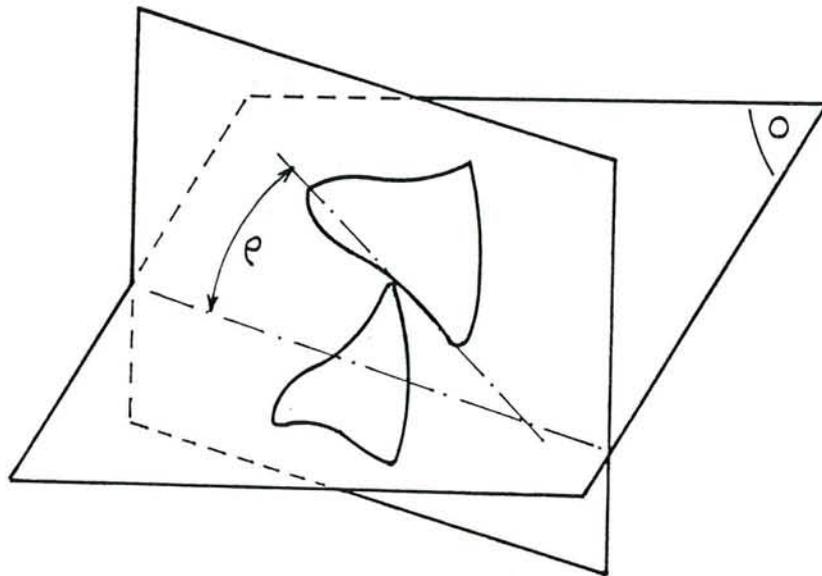


Schéma n° 34

4.5.2.2. Calcul

La pente canine varie de 10° à 60° . Les valeurs étudiées sont : 10° , 25° , 35° , 45° , 50° , 60° .

La pente condylienne est réglée à 40° , l'angle de Bennett à 15° , le plan d'occlusion à 10° .

Remarque :

- 10° correspond pratiquement à une absence de guidage latéral, cas rencontré par exemple dans certains bruxismes (valeur minimum de calcul retenue).

- 60° représente une pente canine très accentuée, rencontrée dans les cas d'occlusions serrées (classes II/2) (valeur maximum de calcul retenue).

Au-delà de cette valeur la désocclusion devient pratiquement instantanée, la résultante d'un mouvement latéral étant pratiquement verticale.

Paramètres constants

```

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
Pcondy   : 40   TangCan  : 35   PentOclu : 10   LongDev  : 1.5
Bennett  : 15   PenteCan = 45   LargCond : 110   IncTeta  : 0.0005
Point incisive :   XO = 70.0   YA = 0.0   ZO = -60.0
Position relative des dents :
Rel. x (Y) =   Canine= 13.0   D1=-28.0   D2=-17.0   D3= 17.0   D4= 28.0
Rel. y (X) =   Canine=  8.0   D1= 43.0   D2= 14.0   D3= 13.0   D4= 42.0

```

```

----- PARAMETRE VARIABLE -----
Paramètre étudié : Pente canine.
val_1 = 25.0   val_2 = 35.0   val_3 = 45.0   val_4 = 50.0   val_5 = 60.0

```

```

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
Pour une pente occlusale de : 10 degrés

```

	Canine	PosNonT	AntNonT	AntTrav	PosTrav
Coord_X =	62.12	27.63	56.21	57.20	28.64
Coord_Y =	68.00	27.00	38.00	72.00	83.00
Coord_Z =	-58.61	-52.53	-57.57	-57.74	-52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

1 eme valeur de la Pente Canine = 25.0

Traject_X =	0.565	0.367	0.079	-0.003
Traject_Y =	1.107	1.236	1.381	1.423
Traject_Z =	-0.840	-0.766	-0.581	-0.474
Ang/AxeY =	27.016	16.526	3.262	-0.108
PenteTraj =	-34.040	-30.723	-22.780	-18.403

2 eme valeur de la Pente Canine = 35.0

Traject_X =	0.378	0.183	-0.111	-0.232
Traject_Y =	1.108	1.187	1.305	1.365
Traject_Z =	-0.938	-0.899	-0.731	-0.577
Ang/AxeY =	18.858	8.764	-4.865	-9.667
PenteTraj =	-38.693	-36.835	-29.164	-22.633

3 eme valeur de la Pente Canine = 45.0

Traject_X =	0.170	-0.002	-0.289	-0.450
Traject_Y =	1.085	1.110	1.199	1.269
Traject_Z =	-1.022	-1.009	-0.854	-0.661
Ang/AxeY =	8.923	-0.114	-13.536	-19.535
PenteTraj =	-42.948	-42.254	-34.699	-26.153

4 eme valeur de la Pente Canine = 50.0

Traject_X =	0.057	-0.095	-0.372	-0.553
Traject_Y =	1.062	1.063	1.136	1.208
Traject_Z =	-1.057	-1.054	-0.906	-0.695
Ang/AxeY =	3.093	-5.091	-18.134	-24.590
PenteTraj =	-44.825	-44.664	-37.135	-27.623

5 eme valeur de la Pente Canine = 60.0

Traject_X =	-0.186	-0.278	-0.528	-0.744
Traject_Y =	0.992	0.949	0.995	1.066
Traject_Z =	-1.110	-1.128	-0.990	-0.749
Ang/AxeY =	-10.614	-16.345	-27.962	-34.927
PenteTraj =	-47.731	-48.751	-41.308	-29.943

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)
PENTE CANINE
 Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 15° - Largeur inter-condylienne 110° -
 Tangente canine 35° - Plan d'occlusion 10°
 Variation de la pente condylienne de 25° / 35° / 45° / 50° / 60°

Pente Canine		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
25°	X	0,565	0,468	0,367	0,454	0,079	0,493	-0,003	0,508
	Y	1,107		1,236		1,381		1,423	
	Z	-0,840		-0,766		-0,581		-0,474	
35°	X	0,378	0,225	0,183	0,224	-0,111	0,240	-0,232	0,252
	Y	1,108		1,187		1,305		1,365	
	Z	-0,938		-0,899		-0,731		-0,577	
45°	X	0,170	0	-0,002	0	-0,289	0	-0,450	0
	Y	1,085		1,110		1,199		1,269	
	Z	-1,022		-1,000		-0,854		-0,661	
50°	X	0,057	0,12	-0,095	0,117	-0,372	0,116	-0,553	0,124
	Y	1,062		1,063		1,136		1,208	
	Z	-1,057		-1,054		-0,906		0,695	
60°	X	-0,186	0,378	-0,278	0,310	-0,528	0,342	-0,744	0,367
	Y	0,992		0,949		0,995		1,066	
	Z	-1,110		-1,128		-0,990		-0,749	

4.5.2.3. Résultats

La norme du vecteur interférence

Les normes ont été calculées pour les pentes 25°, 35°, 45°, 50°, 60°. Les différences sont importantes et progressent presque de façon proportionnelle, que ce soit pour les baisses ou les augmentations de la pente canine.

On obtient en moyenne pour les 4 dents environ 0,120 mm pour un écart de 5°, 0,240 mm pour 10°, 0,360 mm pour 15°, 0,480 mm pour 20°.

Il y a peu de différence entre les quatre dents, les n° 1 et 4 étant les plus sensibles.

La différence maximale est de 0,508 mm pour une variation de 45° à 25° sur la dent n° 4.

4.5.2.4. Conclusion

La présence ou l'absence d'une canine sur l'arcade est toujours un facteur important dans l'élaboration d'un plan de traitement prothétique.

Les résultats obtenus montrent clairement qu'une pente canine accentuée permet une désocclusion rapide par un abaissement de la mandibule, ce qui simplifie toujours les ajustements occlusaux.

En revanche, toute diminution de la pente entraîne un risque d'interférence.

Une baisse de 10° peut conduire à une différence de déplacement de 0,252 mm. Il est donc important lors des équilibrations de ne modifier les faces palatines des canines maxillaires qu'avec beaucoup de prudence et de minutie.

Dans les cas d'articulés serrés au niveau molaire, associés à une protection canine faible, il est préférable de retoucher les surfaces mandibulaires, afin de ne pas risquer, par une baisse de la pente canine, de créer des interférences postérieures.

De tous les facteurs étudiés dans ce travail, la pente canine est celui qui engendre les variations les plus importantes.

4.5.3. Étude de l'influence de la position de la canine sur l'arcade

4.5.3.1. Définition

Le plan de guidage canin est représenté par la face palatine de la canine supérieure du côté travaillant.

Il coupe le plan d'occlusion suivant une droite T, tangente à la courbe dentaire.

La position de la canine sur l'arcade est définie par l'angle τ (tau) que forme cette droite avec l'axe de symétrie passant par le point inter-incisif.

Cet angle est d'environ 35° sur l'arcade dentaire de référence, ce qui correspond à une moyenne physiologique.

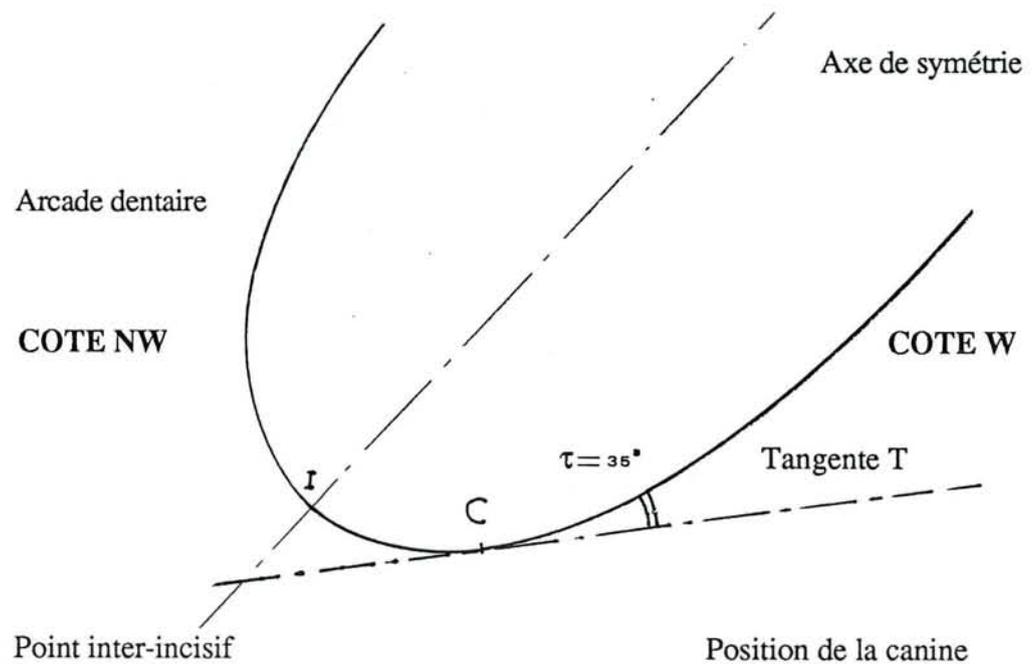


Schéma n° 35

4.5.3.2. Calcul

L'influence de la position de la canine est étudiée en faisant varier cet angle.

Les valeurs choisies sont : 20°, 30°, 40° et 50°.

La pente condylienne est réglée à 40°, l'angle de Bennett à 15°, le plan d'occlusion à 10°.

Paramètres constants

```

----- PARAMETRES CONSTANTS -----
Pcondy   : 40   TangCan = 30   PentOclu : 10   LongDev  : 1.5
Bennett  : 15   PenteCan : 45   LargCond : 110   IncTeta  : 0.0005
Point incisive :   X0 = 70.0   YA = 0.0   Z0 = -60.0
Position relative des dents :
Rel. x (Y) =   Canine= 13.0   D1=-28.0   D2=-17.0   D3= 17.0   D4= 28.0
Rel. y (X) =   Canine= 8.0   D1= 43.0   D2= 14.0   D3= 13.0   D4= 42.0

```

```

----- PARAMETRE VARIABLE -----
Paramètre étudié : Tangente canine.
val_1 = 20.0   val_2 = 30.0   val_3 = 40.0   val_4 = 50.0   val_5 = 60.0

```

```

*** COORDONNEES DE LA POSITION ORIGINE DES DENTS ***
Pour une pente occlusale de : 10 degrés

```

	Canine	PosNonT	AntNonT	AntTrav	PosTrav
Coord_X =	62.12	27.65	56.21	57.20	28.64
Coord_Y =	68.00	27.00	38.00	72.00	83.00
Coord_Z =	-58.61	-52.53	-57.57	-57.74	-52.71

*** RESULTATS TRAJECTOIRE LIMITEE ***

1 eme valeur de la Tangente Canine = 20.0

Traject_X =	0.045	-0.104	-0.381	-0.564
Traject_Y =	1.059	1.057	1.130	1.201
Traject_Z =	-1.061	-1.059	-0.911	-0.699
Ang/AxeY =	2.422	-5.630	-18.627	-25.155
PenteTraj =	-45.015	-44.901	-37.377	-27.773

2 eme valeur de la Tangente Canine = 30.0

Traject_X =	0.126	-0.039	-0.322	-0.492
Traject_Y =	1.077	1.092	1.175	1.246
Traject_Z =	-1.037	-1.028	-0.875	-0.675
Ang/AxeY =	6.672	-2.047	-15.344	-21.548
PenteTraj =	-43.723	-43.239	-35.696	-26.765

3 eme valeur de la Tangente Canine = 40.0

Traject_X =	0.217	0.037	-0.252	-0.405
Traject_Y =	1.092	1.129	1.224	1.292
Traject_Z =	-1.005	-0.987	-0.830	-0.645
Ang/AxeY =	11.226	1.890	-11.632	-17.396
PenteTraj =	-42.086	-41.163	-33.592	-25.463

4 eme valeur de la Tangente Canine = 50.0

Traject_X =	0.315	0.124	-0.169	-0.303
Traject_Y =	1.103	1.165	1.274	1.338
Traject_Z =	-0.966	-0.937	-0.773	-0.606
Ang/AxeY =	15.913	6.062	-7.568	-12.765
PenteTraj =	-40.105	-38.650	-31.027	-23.831

5 eme valeur de la Tangente Canine = 60.0

Traject_X =	0.417	0.219	-0.074	-0.187
Traject_Y =	1.110	1.199	1.323	1.380
Traject_Z =	-0.919	-0.875	-0.703	-0.558
Ang/AxeY =	20.603	10.373	-3.218	-7.721
PenteTraj =	-37.793	-35.680	-27.965	-21.837

Remarque :

Le changement de position de la canine sur l'arcade revient à transférer le guidage latéral sur une autre dent.

Ainsi le guidage est assuré par l'incisive latérale pour un angle plus grand (exemple $\tau = 50^\circ$) et par la première prémolaire pour un angle plus petit (exemple $\tau = 20^\circ$).

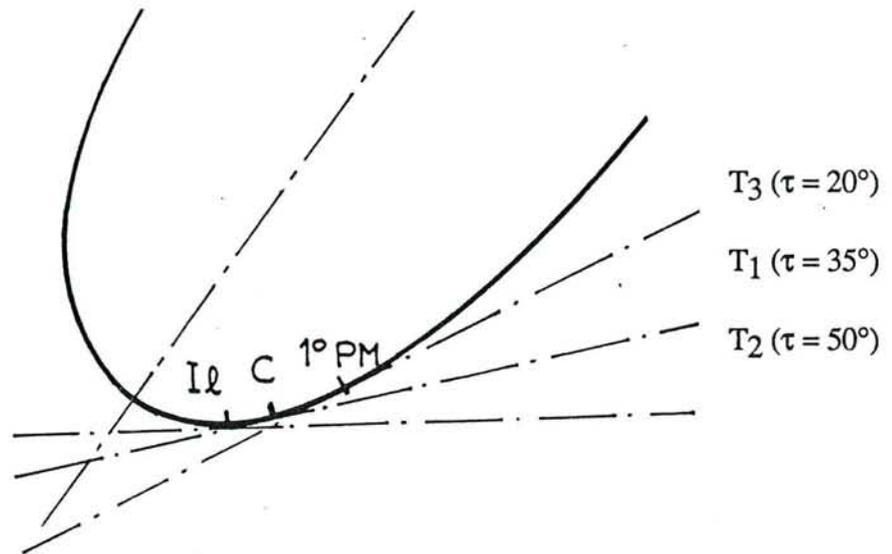


Schéma n° 36

4.5.3.3. Résultats

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)
 Tangente canine - Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 15° - Largeur
 inter-condylienne 110° - Pente canine 45° - Plan d'occlusion 10°
 Variation tangente canine 20° / 30° / 35° / 40° / 50°

Position référence Tangente canine		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
20°	X	0,045	0,095	-0,104	0,125	-0,381	0,127	-0,564	0,138
	Y	1,059		1,057		1,130		1,201	
	Z	1,061		-1,059		-0,911		-0,699	
30°	X	0,126	0,047	-0,039	0,045	-0,322	0,045	-0,492	0,049
	Y	1,077		1,092		1,175		1,246	
	Z	-1,037		-1,028		-0,875		-0,675	
35°	X	0,170	0	-0,002	0	-0,289	0	-0,450	0
	Y	1,085		1,110		1,199		1,269	
	Z	-1,022		-1,009		-0,854		-0,661	
40°	X	0,217	0,050	+0,037	0,048	-0,252	0,046	-0,405	0,053
	Y	1,092		1,129		1,224		1,292	
	Z	-1,005		-0,987		-0,830		-0,645	
50°	X	0,315	0,152	0,124	0,155	-0,169	0,163	-0,303	0,171
	Y	1,103		1,165		1,274		1,338	
	Z	-0,966		-0,937		-0,773		-0,606	

Norme du vecteur interférence

Les écarts sont plus significatifs :

- minimum : 0,045 mm sur les dents n° 3 et 4 pour $\tau = 30^\circ$
- maximum : 0,171 mm pour la dent n° 4 pour $\tau = 50^\circ$, la moyenne pour les 4 dents étant de 0,160 mm.

Une variation de 5° de la position de la canine entraîne un écart moyen d'environ 0,050 mm quelle que soit la dent.

Pour les écarts d'angles équivalents, la norme du vecteur différence est toujours plus faible pour les angles inférieurs à 35° .

Exemple pour la dent n° 4 :

$\tau = 50^\circ$	$\tau = 20^\circ$	$\tau = 40^\circ$	$\tau = 30^\circ$
0,171 mm	0,138 mm	0,053 mm	0,049 mm

4.5.7.4 Conclusion

Une variation de position du guidage latéral peut entraîner des modifications importantes des trajectoires au niveau des cuspidés des dents mandibulaires (0,171 mm).

Son aménagement doit donc être réalisé préalablement à l'élaboration de la prothèse.

Si tel n'est pas le cas, il est préférable de déplacer le guidage en direction de la première prémolaire afin de diminuer l'importance de l'erreur et de limiter le risque d'interférence par un abaissement de la mandibule lors des mouvements.

Lorsque la canine est elle-même reconstituée, et que le réglage de l'occlusion est délicat, l'utilisation d'une table incisive modelée à partir de prothèses transitoires adaptées, permet de limiter les risques d'erreur.

Ces résultats confirment que dans les cas de reconstructions prothétiques plures incluant la canine, il est prudent de régler la prothèse selon un mode d'occlusion fonction de groupe canine-prémolaire, puis de gonfler la face palatine de la canine pour permettre à cette dernière d'assurer à elle seule, le guidage latéral.

Cette précaution permet d'éviter qu'une usure anormale de la canine ne vienne compromettre l'avenir de la restauration ou des autres structures.

4.5.4. Etude de l'incidence d'une variation de la largeur inter-condylienne

4.5.4.1. En considérant les trois coordonnées x, y, z, de la trajectoire (voir tableaux 1,2,3,4) pour les valeurs de LIC égales à 100, 110 et 120 mm, on constate que les écarts entre 100/110 et 110/120 sont symétriques et de valeur pratiquement égale. Ceci nous permet de ne plus différencier une augmentation ou une réduction de la LIC et de parler de **variation moyenne** de celle-ci : LIC = 110 ± 10 mm.

4.5.4.2. Comparaisons où seul LIC varie

1. La longueur du vecteur différence

Avec LIC = 110 références pour 5 valeurs du couple PC-B (voir tableau 5).

On constate :

- que l'ensemble des écarts reste relativement faible si on les compare aux écarts dus à d'autres paramètres.
- que l'influence du couple PC-B au sein de la variation LIC reste faible, mais que le Bennett est prédominant.
- que la dent n° 4 est de loin la plus influencée : le double de D_1 .

Cela est dû au fait que la branche inférieure de l'articulateur tourne autour du condyle travaillant.

2. Etude des normes des vecteurs interférences pour les variations simultanées 100/110, 120/110 et PC/B/15/40

(voir tableaux 6-7)

- La symétrie est retrouvée.
- La variation entre un PC-B donné et le PC-B de référence est pratiquement la même quelle que soit la LIC.

Ainsi dans la largeur LIC = 110, une différence 20-5/40-15 donne 0,418mm alors que la même différence en LIC = 100 donne 0,405mm.

4.5.4.3. Variation simultanée du couple PC-B et de la LIC

(voir tableaux 8,9,10).

En prenant pour référence la programmation 40-15-110, on constate pour la norme du vecteur différence :

1. Pour la D_1 :

- que l'écart 20-5-100 / 40-15-110 (0,375 mm) est inférieur à 20-5-110 / 40-15-110 (0,418 mm) et montre que la LIC de 100 "compense" l'écart dû aux couples PC-B de 20-5 / 40-15.
- au contraire :
l'écart 20-5-120 / 40-15-110 (0,458 mm) est supérieur à 20-5-110 / 40-15-110 (0,418 mm) et donc que la LIC de 120 "amplifie" l'écart dû aux couples 20-5 / 40-15.

2. Pour la D_4 :

- l'écart 20-5-120 / 40-15-110 (0,163 mm) et l'écart 20-5-100 / 40-15-110 (0,170 mm) sont "amplifiés" par LIC = 100 comme par LIC = 120 par rapport à 20-5-110 / 40-15/110 (0,139 mm).

4.5.4.4. Conclusion

Malgré la complexité des relations, on peut constater que des variations de ± 10 mm sur la LIC induisent des écarts négligeables (0,042 mm) sur le vecteur interférence comparativement à l'influence d'une variation de $\pm 5^\circ$ sur le Bennett.

Tableau 1
Dent = 1

Coord.	PC-B	Données : en mm			Différences		Différence moyenne
		100	110	120	110/110	120/110	
X	20-5	0,534	0,573	0,608	-0,039	0,035	0,037
	60-5	0,096	0,135	0,172	-0,039	0,037	0,038
	40-15	0,142	0,170	0,197	0,028	0,027	0,028
	20-25	0,150	0,163	0,176	0,013	0,013	0,013
	60-25	-0,104	-0,083	-0,065	0,021	0,018	0,020
Y	20-5	1,009	0,982	0,957	0,027	0,025	0,026
	60-5	0,942	0,921	0,900	0,021	-0,021	0,021
	40-15	1,096	1,085	1,074	0,011	-0,011	0,011
	20-25	1,249	1,246	1,244	0,003	-0,002	0,003
	60-25	1,126	1,123	1,120	0,003	-0,003	0,003
Z	20-5	-0,973	-0,978	-0,982	0,005	-0,004	0,005
	60-5	-1,163	-1,176	-1,187	0,013	-0,011	0,012
	40-15	-1,015	-1,022	-1,028	0,007	-0,006	0,007
	20-25	-0,817	-0,819	-0,820	0,002	-0,001	0,002
	60-25	-0,985	-0,991	-0,995	0,006	-0,004	0,005

Tableau 2
Dent = 2

Coord.	PC-B	Données : en mm			Différences		Différence moyenne
		100	110	120	110/110	120/110	
X	20-5	0,172	0,209	0,245	0,037	0,036	0,037
	60-5	-0,021	0,018	0,055	0,039	0,037	0,038
	40-15	-0,029	-0,022	0,023	0,027	-0,025	0,026
	20-25	-0,059	-0,044	-0,03	0,015	0,014	0,015
	60-25	-0,179	-0,160	-0,142	0,019	0,018	0,019
Y	20-5	1,118	1,097	1,077	0,021	0,020	0,021
	60-5	1,031	1,015	0,999	0,016	-0,016	0,016
	40-15	1,121	1,110	1,100	0,011	0,010	0,011
	20-25	1,199	1,193	1,186	0,006	-0,007	0,007
	60-25	1,119	1,115	1,112	0,004	0,003	0,004
Z	20-5	-0,985	-1,001	-1,015	0,016	-0,003	0,015
	60-5	-1,089	-1,104	-1,117	0,015	-0,013	0,014
	40-15	-0,997	-1,009	-1,019	0,011	0,010	0,011
	20-25	-0,899	-0,909	-0,917	0,010	--0,008	0,009
	60-25	-0,982	-0,990	-0,997	0,008	-0,007	0,008

Tableau 3
Dent = 3

Coord.	PC-B	Données : en mm			Différences		Différence moyenne
		100	110	120	110/110	120/110	
X	20-5	-0,287	-0,237	-0,188	0,050	0,049	0,050
	60-5	-0,260	-0,211	-0,163	-0,049	0,048	0,049
	40-15	-0,326	0,289	-0,253	0,370	0,036	0,037
	20-25	-0,387	-0,358	-0,332	0,290	0,026	0,028
	60-25	-0,363	-0,335	-0,310	0,280	0,025	0,027
Y	20-5	1,183	1,172	1,160	0,011	-0,012	0,012
	60-5	1,199	1,186	1,172	0,013	-0,014	0,014
	40-15	1,206	1,199	1,191	0,007	-0,008	0,008
	20-25	1,213	1,209	1,205	0,004	-0,004	0,004
	60-25	1,223	1,218	1,213	0,005	-0,005	0,005
Z	20-5	-0,872	-0,060	-0,932	0,034	0,026	0,030
	60-5	-0,863	-0,893	-0,922	0,030	-0,029	0,030
	40-15	-0,830	-0,854	-0,876	0,024	-0,022	0,023
	20-25	-0,796	-0,813	-0,829	0,017	0,016	0,017
	60-25	-0,789	-0,809	-0,826	0,020	-0,017	0,019

Tableau 4
Dent = 4

Coord.	PC-B	Données : en mm			Différences		Différence moyenne
		100	110	120	110/110	120/110	
X	20-5	-0,577	-0,497	-0,417	-0,080	0,080	0,080
	60-5	-0,401	-0,333	-0,267	-0,068	-0,066	0,067
	40-15	-0,506	-0,450	-0,397	-0,056	-0,053	0,055
	20-25	-0,586	-0,541	-0,498	-0,045	-0,043	0,044
	60-25	-0,469	-0,431	-0,395	-0,037	0,036	0,037
Y	20-5	1,184	1,190	1,192	-0,006	0,002	0,004
	60-5	1,279	1,267	1,250	0,012	-0,017	0,014
	40-15	1,268	1,269	1,268	-0,001	-0,001	0,001
	20-25	1,259	1,269	1,278	-0,010	0,009	0,010
	60-25	1,312	1,311	1,308	0,001	-0,003	0,002
Z	20-5	-0,718	-0,766	-0,809	0,048	-0,043	0,046
	60-5	-0,673	-0,731	-0,784	0,058	-0,053	0,056
	40-15	-0,622	-0,661	-0,696	0,039	-0,035	0,037
	20-25	-0,567	-0,589	-0,608	0,022	-0,019	0,021
	60-25	-0,555	-0,589	-0,619	0,034	-0,030	0,032

Tableau 5
Norme du "vecteur interférence" pour LIC = 110 ± 10 mm

Ce tableau est calculé à partir des différences moyennes des 3 coordonnées:

$$\sqrt{\frac{T_X^2}{X} + \frac{T_Y^2}{Y} + \frac{T_Z^2}{Z}}$$

En mm

PC-B	D 1	D 2	D 3	D 4
20-5	0,045	0,045	0,060	0,092
60-5	0,046	0,043	0,059	0,088
40-15	0,031	0,030	0,044	0,066
20-25	0,013	0,018	0,033	0,049
60-25	0,021	0,021	0,033	0,049

Tableau 6
Variation de norme du vecteur interférence pour chacune des 3 largeurs en
prenant PC - B= 40 x 15 pour référence
Dent = 1

PC-B	Données :vect.dif. PC-B/40-15			Différence	
	100	110	120	110/110	120/110
20-5	0,405	0,418	0,430	-0,013	0,012
60-5	0,218	0,228	0,237	-0,010	0,009
40-15	000	000	000	-	-
20-25	0,251	0,260	0,269	-0,009	0,009
60-25	0,249	0,258	0,268	-0,011	0,010

PC-B	Données :vect.dif. PC-B / 40-15			Différence	
	100	110	120	110/110	120/110
20-5	0,145	0,139	0,138	0,006	-0,001
60-5	0,117	0,136	0,158	-0,023	0,022
40-15	000	000	000	-	-
20-25	0,098	0,116	0,135	-0,018	0,019
60-25	0,089	0,086	0,087	0,003	0,001

Tableau 8
Calcul de la norme du vecteur Interférence
Dent = 1
Réf. 40 - 15 - 110, X = 170, Y = 1085, Z = - 1022

PC - B	Coord.	Données		Différence 40-15-110	
		100	120	100/110	120/110
20-5	X	0,534	0,608	0,364	0,438
	Y	1,009	0,957	-0,076	-0,128
	Z	-0,973	-0,982	0,049	0,040
	V.b.	-	-	0,375	0,458
60-5	X	0,096	0,172	-0,074	0,002
	Y	0,942	0,900	-0,143	-0,185
	Z	-1,163	-1,187	-0,141	-0,165
	V.b.	-	-	0,214	0,248
20-25	X	0,150	0,176	-0,020	0,006
	Y	1,249	1,244	0,164	0,159
	Z	-0,817	-0,820	0,205	0,202
	V.b.	-	-	0,263	0,257
60-25	X	-0,104	-0,065	-0,274	-0,235
	Y	1,126	1,120	0,041	0,035
	Z	-0,985	-0,995	0,037	0,027
	V.b.	-	-	0,279	0,239

Tableau 9
Calcul de la norme du vecteur Interférence
Dent = 4
Réf. : 40 - 15 - 110, X = - 450, Y = 1269, Z = - 661

PC - B	Coord.	Données		Différence 40-15-110	
		100	120	100/110	120/110
20-5	X	-0,577	-0,417	-0,127	0,033
	Y	1,184	1,192	-0,085	-0,077
	Z	-0,718	-0,809	-0,057	-0,148
	V.b.	-	-	0,163	0,170
60-5	X	-0,401	-0,267	0,049	0,183
	Y	1,279	1,250	0,010	-0,019
	Z	-0,673	-0,784	-0,012	-0,123
	V.b.	-	-	0,051	0,21
20-25	X	-0,586	-0,498	-0,136	-0,048
	Y	1,259	1,278	0,010	0,011
	Z	-0,567	-0,608	0,094	0,053
	V.b.	-	-	0,166	0,072
60-25	X	-0,469	-0,395	-0,019	0,055
	Y	1,312	1,308	0,043	0,039
	Z	-0,555	-0,619	0,106	0,042
	V.b.	-	-	0,115	0,079

Tableau 10
Norme du vecteur Interférence
Réf. 40 - 15 - 110
Récapitulatif

Dent :	PC - B	100	110	120
D1	20-5	0,375	0,418	0,458
	60-5	0,214	0,228	0,248
	40-15	-	000	-
	20-25	0,263	0,260	0,257
	60-25	0,279	0,258	0,239
D4	20-5	0,163	0,139	0,170
	60-5	0,051	0,136	0,221
	40-15	-	000	-
	20-25	0,165	0,116	0,072
	60-25	0,115	0,086	0,079

4.5.5. Etude des variations de l'axe charnière

4.5.5.1. Introduction

Lorsque des prothèses sont réalisées sur un articulateur semi-adaptable, le modelage des surfaces occlusales est sous la dépendance de l'axe de l'articulateur.

Si une localisation réelle n'est pas effectuée, l'axe de rotation de l'articulateur ne correspond pas à l'axe du patient. Il est donc arbitraire.

Les arcs faciaux de transfert sont conçus pour que la localisation arbitraire soit située en moyenne dans un rayon de 5 mm autour de l'axe réel.

Ainsi, lors de l'essayage en bouche, les prothèses conçues selon l'axe arbitraire sont resituées par rapport à l'axe réel du patient, ce qui entraîne un décalage et donc la possibilité de contacts prématurés et d'interférences.

L'ensemble de l'étude qui va suivre a pour but de quantifier les erreurs issues d'une localisation arbitraire de l'axe charnière pour différentes localisations et pour tous les déterminants postérieurs de l'occlusion.

4.5.5.2. Définitions

Sur le montage servant de référence, le point inter-incisif I est situé 70 mm en avant de 0 dans le plan horizontal et 60 mm en dessous dans le plan vertical.

Les coordonnées de I sont donc : $X = 70$ mm, $Z = -60$ mm.

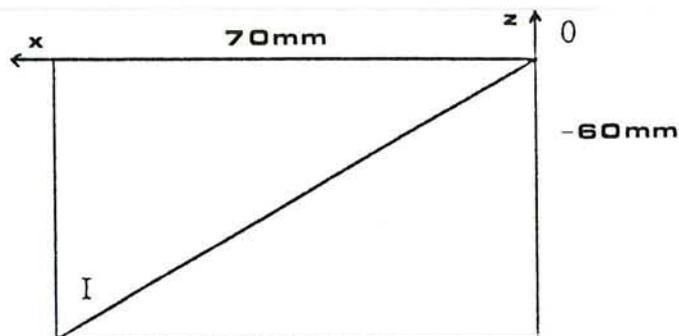


Schéma n° 37

L'ensemble des calculs est réalisé avec l'hypothèse que l'axe réel est situé dans un rayon de 5 mm par rapport à l'axe de l'articulateur.

Dans le modèle mathématique, l'axe 0 est fixe. Aussi, lorsque l'on veut déplacer 0 en 0', cela équivaut en fait à déplacer le point inter-incisif I.

Huit positions de l'axe charnière réel sont étudiées :

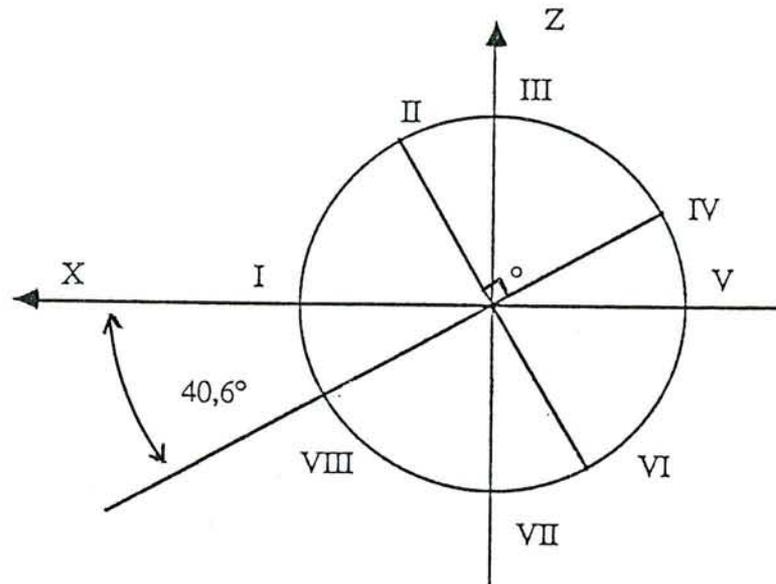


Schéma n° 38

Les coordonnées de I' correspondant aux huit positions de 0' sont les suivantes en millimètres :

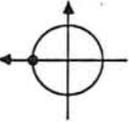
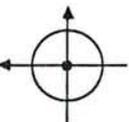
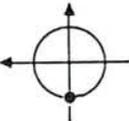
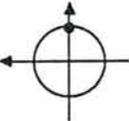
0	:	X	=	70	Z	=	- 60
I	:	X	=	65	Z	=	- 60
II	:	X	=	66,7	Z	=	- 63,8
III	:	X	=	70	Z	=	- 65
IV	:	X	=	73,8	Z	=	- 63,3
V	:	X	=	75	Z	=	- 60
VI	:	X	=	73,3	Z	=	- 56,2
VII	:	X	=	70	Z	=	- 55
VIII	:	X	=	66,2	Z	=	- 56,7.

4.5.5.3. Calcul n° 1

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)

AXE CHARNIERE

Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 15° - Tangente canine 35° - Pente canine 45° - Largeur inter-condylienne 110° - Plan d'occlusion 10°

		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4		
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	
Position n° V		X Y Z	0,168 1,08 -1,027	0,007	0,004 1,107 -1,012	0,007	-0,272 1,195 -0,865	0,020	-0,421 1,263 -0,692	0,042
Position n° I		X Y Z	0,172 1,090 -1,016	0,008	-0,009 1,114 -1,005	0,009	-0,308 1,203 -0,841	0,023	-0,483 1,275 -0,625	0,049
Position n° 0		X Y Z	0,170 1,085 -1,022	0	-0,002 1,110 -1,009	0	-0,289 1,199 -0,854	0	-0,450 1,269 -0,661	0
Position n° VII		X Y Z	0,229 1,057 -1,039	0,067 *	0,042 1,092 -1,027	0,052	-0,248 1,190 -0,879	0,048	-0,401 1,269 -0,692	0,057
Position n° III		X Y Z	0,114 1,109 -1,003	0,063	-0,044 1,127 -0,989	0,049	-0,327 1,206 -0,829	0,046	-0,495 1,267 -0,632	0,053

DEFERRECE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)
AXE CHARNIERE

Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 15° - Tangente canine 35° - Pente canine 45° - Largeur inter-condylienne 110° - Plan d'occlusion 10°

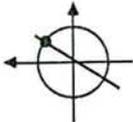
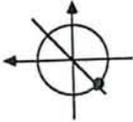
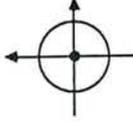
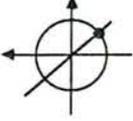
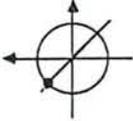
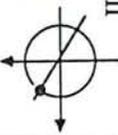
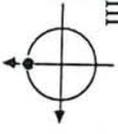
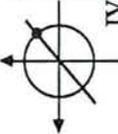
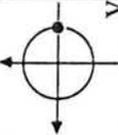
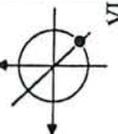
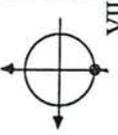
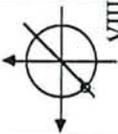
		Dent n° 1		Dent n° 2		Dent n° 3		Dent n° 4	
		Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.	Coord.	V.I.
Position n° II 	X Y Z	+0,127 1,107 1,004	0,051	-0,040 1,125 -0,991	0,044	-0,331 1,207 -0,616	0,051	-0,503 1,271 -0,616	0,071 *
Position n° VI 	X Y Z	0,212 1,062 -1,038	0,050	0,034 1,095 -1,025	0,038	-0,247 1,189 -0,880	0,050	-0,394 1,264 -0,704	0,070
Position n° 0 	X Y Z	0,170 1,085 -1,022	0	-0,002 1,110 -1,009	0	-0,289 1,199 -0,854	0	-0,450 1,269 -0,661	0
Position n° IV 	X Y Z	0,133 1,097 -1,014	0,039	-0,025 1,119 -0,999	0,026	0,300 1,201 -0,847	0,013	-0,457 1,264 -0,666	0,009
Position n° VIII 	X Y Z	0,211 1,071 -1,029	0,043	0,022 1,101 -1,018	0,023	-0,267 1,197 -0,861	0,014	-0,443 1,275 -0,655	0,011



Tableau récapitulatif
DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)
AXE CHARNIERE

Pente condylienne 40° - Angle de Bennett 15° - Tangente canine 35° - Pente canine 45° - Largeur inter-condylienne 110° - Plan d'occlusion 10°

		0	0	0	0
		0,008	0,009	0,023	0,049
		0,051	0,044	0,051	0,071 ★
		0,063	0,049	0,046	0,053
		0,039	0,026	0,013	0,009
		0,007	0,007	0,020	0,042
		0,050	0,038	0,050	0,070
		0,067	0,052	0,048	0,057
		0,043	0,023	0,014	0,011
Dent n° 1	V.I.				
Dent n° 2	V.I.				
Dent n° 3	V.I.				
Dent n° 4	V.I.				

L'influence d'un changement d'axe charnière est étudiée lorsque la pente condylienne est réglée à 40° et l'angle de Bennett à 15° . Chaque position est comparée à l'axe de référence 0.

La norme du vecteur interférence :

Les variations s'échelonnent entre 0,007 mm sur les dents n° 1 et n° 2 dans la position V et 0,071 mm sur la dent n° 4 en position II.

$$0,007 < \vec{V} < 0,071$$

$$\begin{array}{l} 0,007_V < V \text{ dent 1} < 0,067_{VII} \\ 0,007_V < V \text{ dent 2} < 0,052_{VII} \\ 0,013_{IV} < V \text{ dent 3} < 0,051_{II} \\ 0,009_{IV} < V \text{ dent 4} < 0,071_{II}. \end{array}$$

La moyenne pour les quatre dents est de :

0,056 mm en VII

0,054 mm en II

0,052 mm en VI et en III.

C'est dans ces quatre positions que l'erreur est la plus importante.

d. Conclusion :

Lorsque l'axe charnière réel est situé dans un rayon de 5 mm autour de l'axe arbitraire, et que la pente condylienne est réglée à 40° , et l'angle de Bennett à 15° , l'erreur maximale de déplacement au niveau d'une dent est de 0,071 mm après un mouvement de 1,5 mm d'amplitude.

Les variations sont les plus importantes entre les points II, III, VI et VII, c'est-à-dire lorsque l'axe réel est situé dans une position perpendiculaire ou proche de la perpendiculaire à l'axe OI.

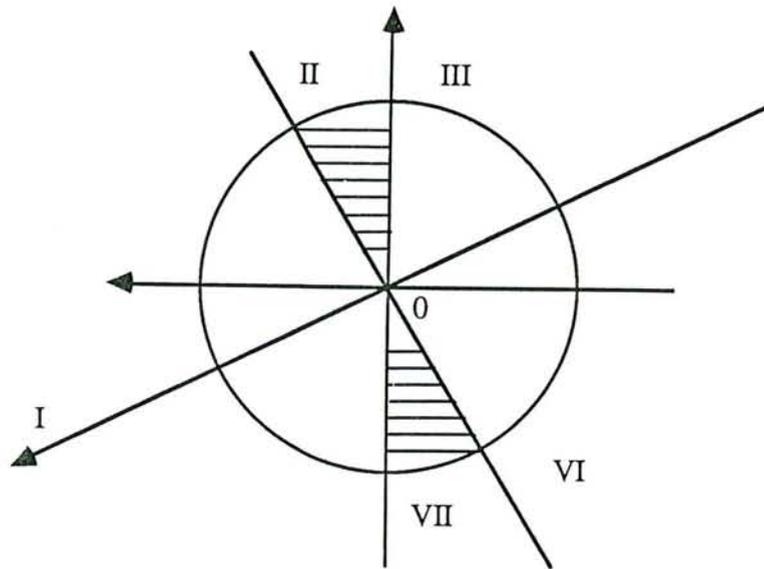
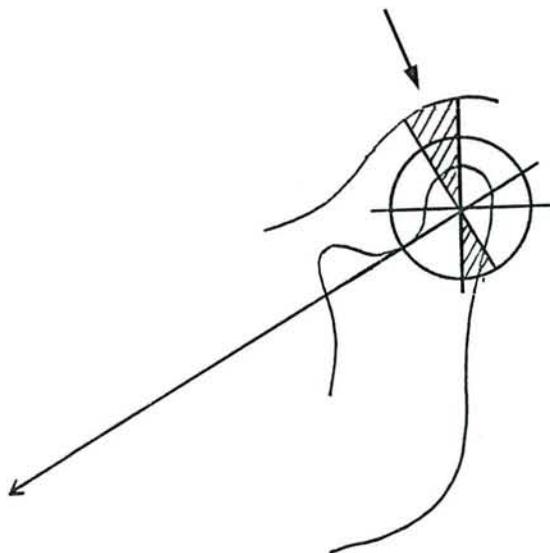


Schéma n° 39

La position antéro-postérieure de la mandibule subit une erreur moins importante suivant l'axe OI lors de l'enregistrement de la relation centrée qu'une erreur dans la situation du condyle mandibulaire par rapport au temporal dans le sens vertical.



Point inter-incisif

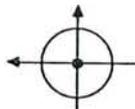
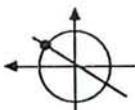
Schéma n° 40

4.5.5.4. Calcul n° 2

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)
AXE CHARNIERE

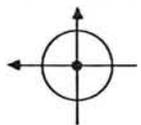
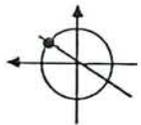
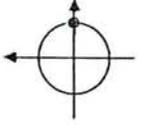
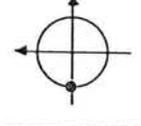
Angle de Bennett 5° - Tangente canine 35° - Pente condylienne 45° - Largeur
inter-condylienne 110° - Plan d'occlusion 10°

Variation de la pente condylienne de 20° / 40° / 60°

		DENT N° 1			DENT N° 2			DENT N° 3			DENT N° 4			
		20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	
Position n° 0		X	0,573	0,326	0,135	0,209	0,110	0,018	-0,237	-0,221	-0,211	-0,497	-0,407	-0,333
		Y	0,982	0,955	0,321	1,097	1,054	1,015	1,172	1,179	1,186	1,190	1,233	1,267
		Z	-0,978	-1,110	-1,176	-1,001	-1,061	-1,104	-0,906	-0,901	-0,893	-0,766	-0,751	-0,731
		V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Position n° II		X	0,556	0,289	0,095	0,183	0,076	0,018	0,281	0,263	-0,250	-0,573	-0,466	-0,383
		Y	1,001	0,978	0,947	1,114	1,071	1,032	1,182	1,189	1,197	1,187	1,239	1,275
		Z	0,969	-1,100	-1,160	-0,988	-1,048	-1,088	-0,880	-0,876	-0,869	-0,716	-0,706	-0,690
		V	0,027	0,044	0,050	0,033	0,040	0,042	0,052	0,049	0,047	0,091	0,074	0,065
Position n° III		X	0,513	0,267	0,083	0,165	0,065	-0,026	-0,280	-0,263	-0,252	-0,554	-0,457	-0,380
		Y	1,019	0,990	0,956	1,119	1,076	1,037	1,182	1,189	1,197	1,188	1,237	1,273
		Z	-0,974	-1,095	-1,153	-0,986	-1,043	-1,083	-0,880	-0,876	-0,869	-0,729	-0,715	-0,697
		V	0,070	0,070	0,066	0,037	0,053	0,053	0,051	0,049	0,048	0,067	0,061	0,058
Position n° VI		X	0,590	0,361	0,174	0,236	0,143	0,053	-0,193	-0,180	-0,172	-0,422	-0,347	-0,283
		Y	0,964	0,932	0,895	1,081	1,038	0,998	1,161	1,167	1,175	1,189	1,225	1,256
		Z	-0,987	-1,119	-1,191	-1,013	-1,073	-1,119	-0,930	-0,925	-0,916	-0,811	-0,793	-0,770
		V	0,026	0,042	0,049	0,034	0,038	0,041	0,051	0,049	0,046	0,087	0,073	0,064
Position n° VII		X	0,632	0,386	0,189	0,255	0,157	0,063	-0,190	-0,176	-0,167	-0,432	-0,350	-0,282
		Y	0,943	0,916	0,883	1,074	1,031	0,991	1,160	1,166	1,174	1,190	1,227	1,258
		Z	-0,980	-1,123	-1,198	-1,016	-1,078	-1,124	-0,932	-0,927	-0,919	-0,804	-0,788	-0,767
		V	0,070	0,072	0,069	0,053	0,055	0,054	0,055	0,053	0,052	0,075	0,068	0,063

DIFFERENCE SUR LA NORME DU VECTEUR INTERFERENCE (en mm)
AXE CHARNIERE

Angle de Bennett 15° - Tangente canine 35° - Pente condylienne 45° - Largeur
inter-condylienne 110° - Plan d'occlusion 10°
Variation de la pente condylienne de 20° / 40° / 60°

		DENT N° 1			DENT N° 2			DENT N° 3			DENT N° 4			
		20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	
Position n° 0		X	0,348	0,070	0,016	0,068	-0,002	-0,080	-0,306	-0,209	-0,282	-0,524	0,450	-0,391
		Y	1,147	1,085	1,038	1,156	1,110	1,074	1,195	1,199	1,206	1,241	1,269	1,295
		Z	-0,901	-1,022	-1,082	-0,954	-1,009	-1,044	-0,854	-0,854	-0,847	-0,660	-0,661	-0,649
		V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Position n° II		X	0,312	0,127	-0,027	0,033	-0,040	-0,118	-0,351	-0,331	-0,321	-0,591	-0,506	-0,438
		Y	1,172	1,107	1,061	1,172	1,125	1,088	1,203	1,207	1,214	1,237	1,271	1,299
		Z	-0,882	-1,004	-1,060	-0,935	-0,991	-1,026	-0,825	-0,826	-0,821	-0,608	-0,616	-0,609
		V	0,047	0,051	0,053	0,042	0,044	0,044	0,053	0,051	0,047	0,084	0,071	0,061
Position n° III		X	0,217	0,114	-0,032	0,026	-0,044	-0,120	-0,346	-0,327	-0,318	-0,573	-0,495	-0,432
		Y	1,173	1,109	1,063	1,172	1,127	1,090	1,201	1,206	1,213	1,235	1,267	1,295
		Z	-0,890	-1,003	-1,058	-0,936	-0,989	-1,023	-0,829	-0,829	-0,823	-0,630	-0,632	-0,621
		V	0,067	0,063	0,059	0,048	0,049	0,047	0,047	0,046	0,044	0,057	0,053	0,049
Position n° VI		X	0,381	0,212	0,058	0,102	0,034	-0,044	-0,262	-0,247	-0,243	-0,457	-0,394	-0,343
		Y	1,123	1,062	1,016	1,139	1,095	1,058	1,185	1,189	1,197	1,241	1,264	1,283
		Z	-0,919	-1,038	-1,102	-0,971	-1,025	-1,062	-0,882	-0,880	-0,871	-0,708	-0,704	-0,688
		V	0,044	0,050	0,051	0,041	0,038	0,043	0,053	0,050	0,046	0,082	0,070	0,062
Position n° VII		X	0,410	0,229	0,067	0,112	0,042	-0,039	-0,263	-0,248	-0,243	-0,469	-0,401	-0,346
		Y	1,119	1,057	1,011	1,137	1,092	1,055	1,186	+1,190	1,197	1,246	1,269	1,292
		Z	-0,911	-1,039	-1,106	-0,971	-1,027	-1,065	-0,880	-0,879	-0,871	-0,691	-0,692	-0,678
		V	0,068	0,067	0,062	0,050	0,052	0,049	0,051	0,048	0,046	0,054	0,057	0,053

Les déplacements dentaires sont calculés et comparés pour les différentes positions de l'axe charnière lorsque la pente condylienne et l'angle de Bennett varient.

Les valeurs étudiées sont 20°, 40°, 60° pour la pente condylienne, 5°, 15°, 20° pour l'angle de Bennett.

La norme du vecteur interférence :

Afin de limiter les calculs, seuls les points les plus sensibles ont été étudiés, c'est-à-dire les points II, III, VI et VII.

1. Variation de la pente condylienne pour un angle de Bennett de 15°

L'erreur maximale est de 0,084 mm pour 20°/15° sur la dent n° 4 dans la position n° II.

20°	40°	60°
0,084	0,071	0,061

L'amplitude de l'erreur entre 20° et 60° est de 0,023 mm.

2. Variation de la pente condylienne pour un angle de Bennett de 5°

La différence la plus importante se situe toujours sur la dent n° 4 dans la position n° II.

L'erreur maximale s'accroît légèrement en passant à 0,091 mm pour 20°/5°.

20°	40°	60°
0,091	0,074	0,065

L'amplitude de l'erreur passe à 0,026 mm.

3. Variation de la pente condylienne pour un angle de Bennett de 20°

Les résultats sont presque égaux à ceux obtenus pour un angle de Bennett à 15°.

Dent n° 4		
20°	40°	60°
0,083	0,070	0,060

4. Conclusion

Dent n° 4			
P.C.	20°	40°	60°
B.			
5°	0,091	0,074	0,065
15°	0,084	0,071	0,061
20°	0,083	0,070	0,060

Les variations de la pente condylienne et de l'angle de Bennett ont peu d'influence sur la position de l'axe charnière réel par rapport à l'axe arbitraire.

La différence de déplacement est de 0,026 mm au maximum entre une pente condylienne à 20° et une à 60°, pour un mouvement de 1,5 mm d'amplitude.

Il n'y a que 0,008 mm entre un angle de Bennett à 5° et un angle à 20°.

On peut donc déduire de ces résultats qu'une erreur de programmation des déterminants postérieurs de l'occlusion n'a pas d'incidence significative sur la trajectoire due à une erreur de localisation de l'axe charnière.

De plus, une programmation à 40°/15° apparaît comme un moyen terme acceptable à toutes les situations cliniques.

CHAPITRE 5

Etude et analyse de l'erreur de WEINBERG

5.1. INTRODUCTION

Connaissant les interférences issues d'une erreur de programmation de l'articulateur et afin d'en apprécier la valeur relative, il nous est apparu important de calculer l'erreur due à l'enregistrement des rapports inter-maxillaires lors du transfert patient-articulateur.

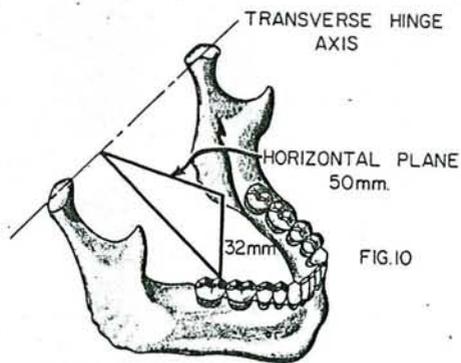


Schéma n° 41
Calcul de WEINBERG

En 1959, WEINBERG (33), dans une étude sur l'axe charnière, quantifie par une approche mathématique l'erreur résultant de l'enregistrement des rapports inter-maxillaires avec une cire de 3 mm d'épaisseur, et pour un axe charnière arbitraire distant de 5 mm de l'axe réel.

Il a trouvé une erreur de 0,1934 mm au niveau de la 2ème molaire inférieure.

WEINBERG effectue ce calcul pour une dent située à 52 mm en avant de l'axe charnière et 32 mm sous le plan horizontal issu de celui-ci.

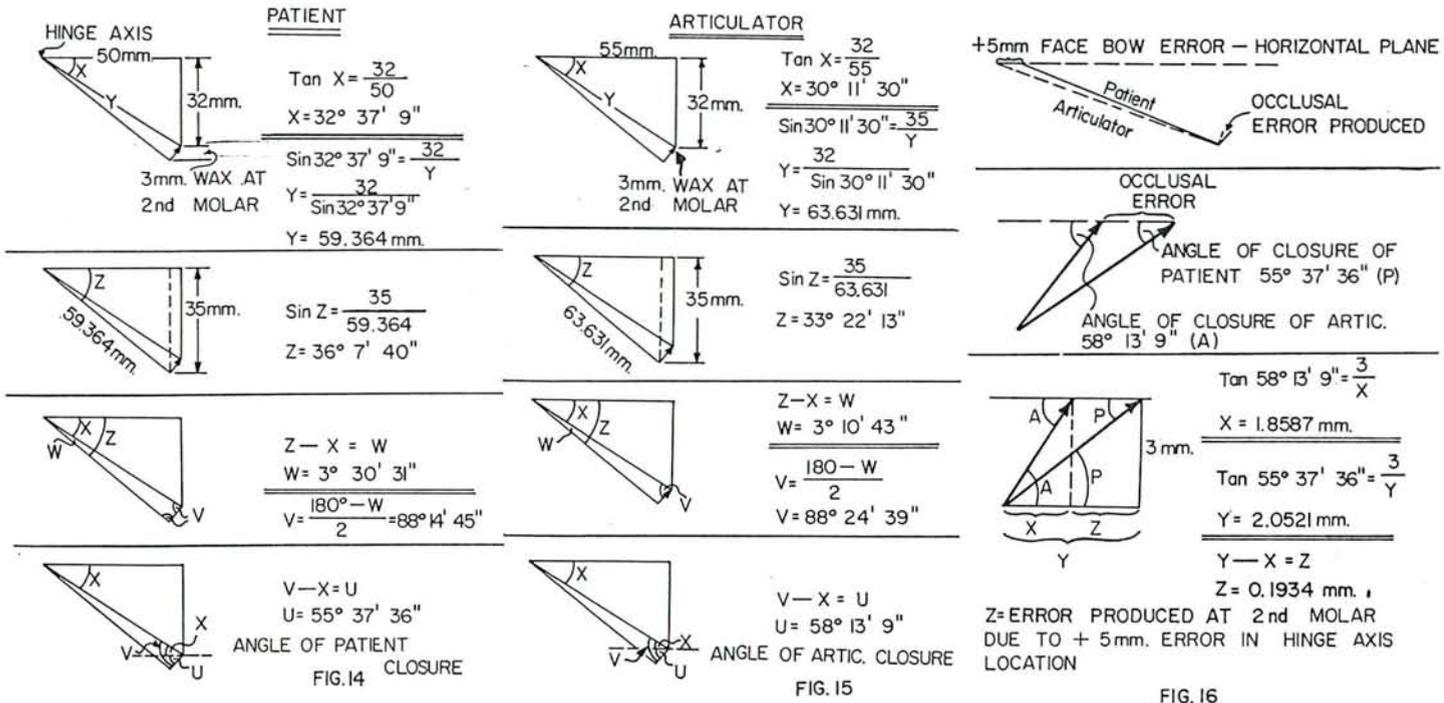


Fig. 14.—Computation of the angle of closure of the patient's mandible.
 Fig. 15.—Computation of the angle of closure on the articulator.
 Fig. 16.—Computation of the error produced by the error in mounting.

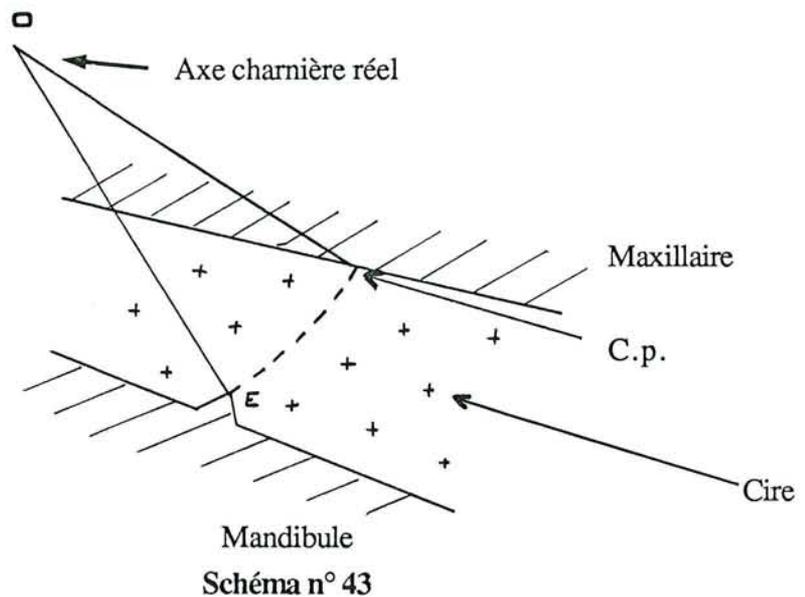
Schéma n° 42
 (D'après WEINBERG)

5.2. CALCUL DE L'INTERFERENCE DUE A LA LOCALISATION ARBITRAIRE DE L'AXE CHARNIERE

5.2.1. Le problème du transfert patient-articulateur

5.2.1.1. Prise des relations inter-maxillaires chez le patient

Elle est réalisée à l'aide d'une cire interposée entre le maxillaire et la mandibule.



En l'absence de cire, un point E situé sur l'arcade mandibulaire (sommet d'une cuspide par exemple) entre en contact avec une dent antagoniste en C.p. (Contact patient).

Lors de l'enregistrement, le point E laisse son empreinte dans la cire. Le déplacement de E en CP est circulaire de rayon $OE = OC_p$.

5.2.1.2. Le montage sur articulateur

- Le transfert du modèle maxillaire :

Il est réalisé à l'aide d'un arc de transfert et avec l'hypothèse que l'orientation du plan d'occlusion est correct. L'axe charnière de l'articulateur est arbitraire.

- Le montage du modèle mandibulaire :

Il est réalisé à l'aide d'une cire de 3 mm d'épaisseur.

Le point E est positionné dans le référentiel de l'articulateur par la situation du modèle maxillaire et par la mise en place de la cire.

L'axe de rotation réel O est différent de celui de l'articulateur O'.

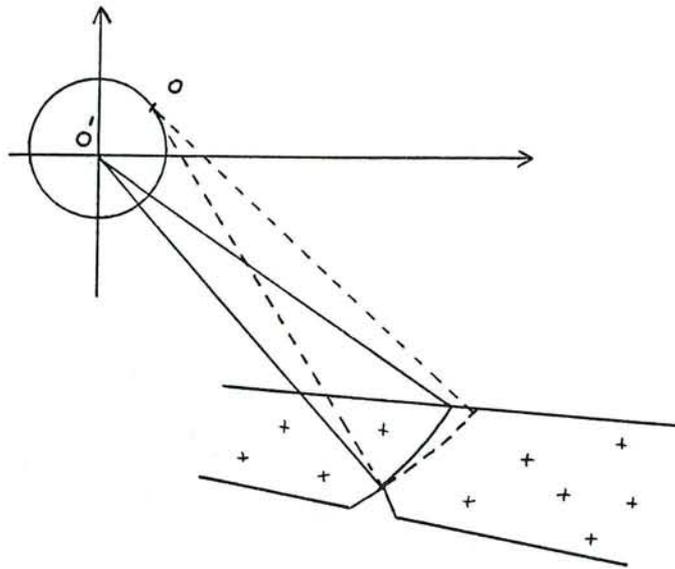


Schéma n° 44

Par hypothèse, O est situé sur un cercle concentrique à O' ayant 5 mm de rayon.

Lors de la fermeture de l'articulateur, la cire étant retirée, E décrit une trajectoire dont le rayon est différent de celle obtenue en bouche.

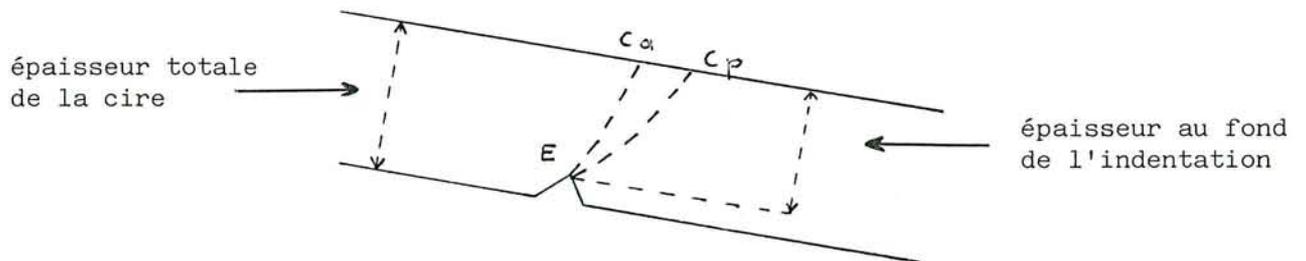


Schéma n° 45

5.2.1.3. L'interférence

Sur l'articulateur, la prothèse est ajustée pour obtenir une relation inter-cuspidienne correcte en Ca.

En bouche, la pointe cuspidienne mandibulaire entre en contact avec l'arcade antagoniste en Cp, d'où interférence.

Sur l'articulateur

O' rayon articulateur

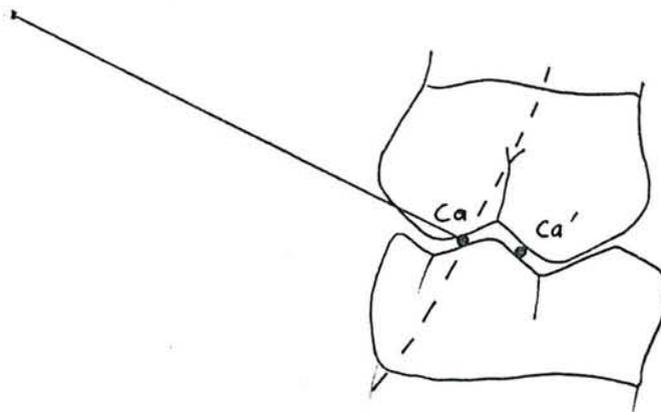
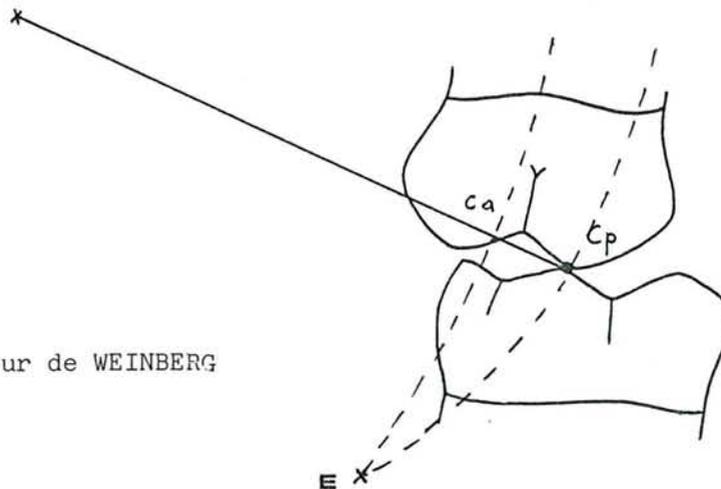


Schéma n° 46

En bouche

Rayon patient



Ca Cp = erreur de WEINBERG

Schéma n° 47

5.2. 2. Le modèle mathématique

5.2.2.1. La logique du transfert

En suivant le mode opératoire, on constate que :

- le contact dentaire C_p du patient est décalé en E par la cire.

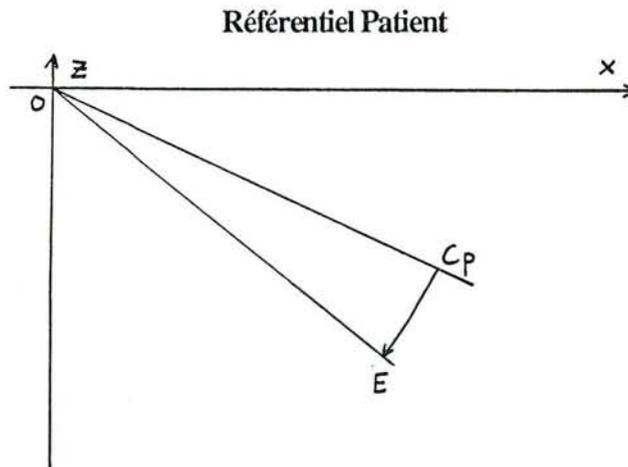


Schéma n° 48

- le transfert maxillaire + cire place E dans le référentiel de l'articulateur
- lors de l'ajustement E vient en C_a (Contact articulateur)

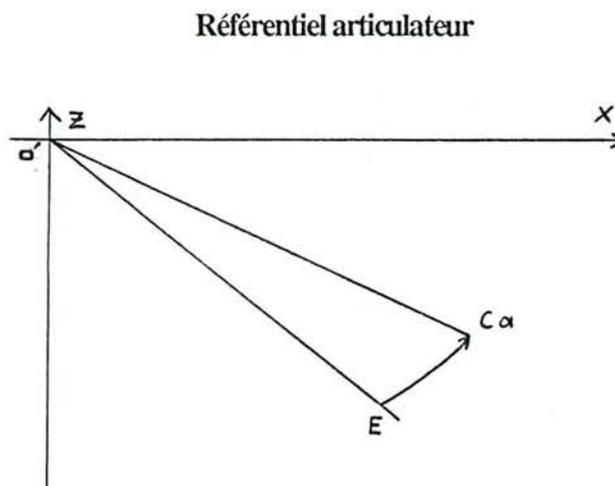


Schéma n° 49

Pour effectuer le calcul, on peut se donner C_p , puis calculer successivement E et C_a , ce qui correspond au mode opératoire.

Mais les coordonnées patients ne sont pas connues. C'est l'axe réel qui fait l'objet de la dispersion et l'axe arbitraire est référence lors de l'ajustement.

C'est pourquoi on se donne C_a , puis on calcule E , que l'on transfère dans le référentiel patient et on en déduit C_p . On peut alors comparer C_a C_p .

5.2.2.2. Modèle géométrique de la trajectoire de C_a vers E

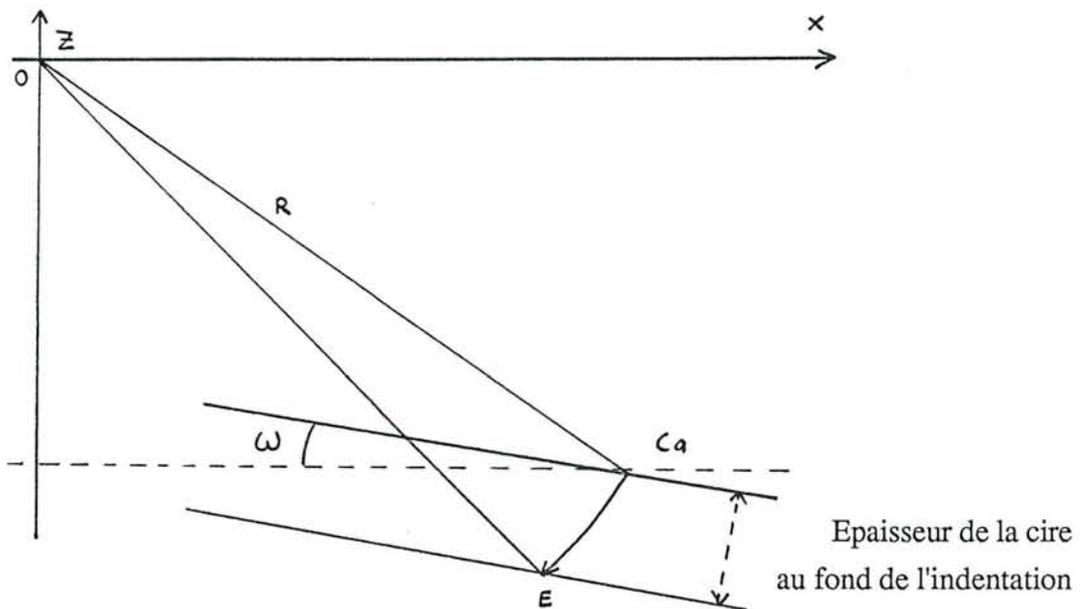


Schéma n° 50

On connaît :

- les coordonnées x z de C_a
- ω l'angle du plan occlusal par rapport à l'horizontale
- l'épaisseur de la cire au fond de l'indentation.

On recherche :

- les coordonnées de E .

Solution :

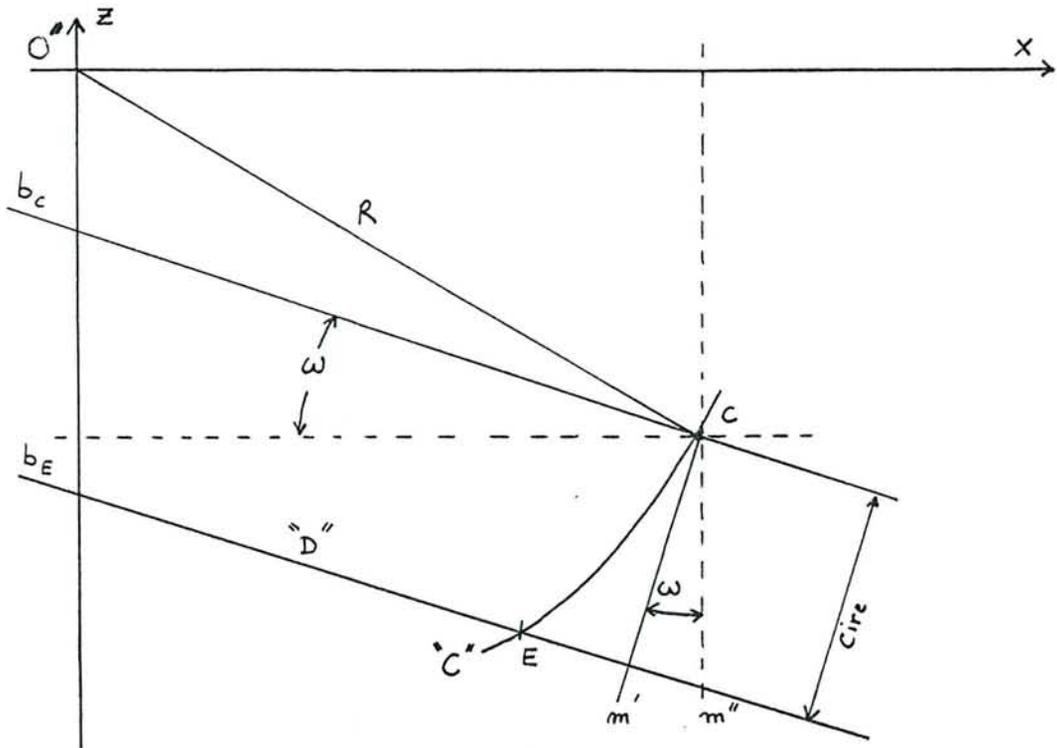


Schéma n° 51

E est l'intersection de la droite "D" et du cercle "C" avec $b_E // b_c$

a. Equation de la droite "D":

$$z = ax + b$$

$$a = -\operatorname{tg} \omega$$

$$b = -\overline{ob_E}$$

$$\overline{ob_E} = \overline{ob_C} + b_c \overline{b_E}$$

$$\overline{ob_C} = z_C + x_C * \operatorname{tg} \omega$$

$$\overline{b_c b_E} = \overline{Cm''} = \overline{Cm'} / \operatorname{Cos} \omega$$

b. Equation du cercle "C" :

$$z_c^2 = R_c^2 - x_c^2$$

On connaît :

- les coordonnées x, z de E
- ω angle du plan occlusal
- l'épaisseur de la cire au fond de l'indentation.

On cherche :

- les coordonnées de Cp

Solution :

Semblable à la précédente.

5.2.2.4. L'interférence

Ca et Cp sont sur la même droite bc/C , c'est-à-dire le plan occlusal. Il suffit donc de calculer $\overline{Ca \ Cp}$.

5.3. RESULTATS NUMERIQUES

5.3.1. Résultats

Les coordonnées du point de contact sont celles de WEINBERG. ($x_a = 50$ mm, $z_a = 32$ mm).

Huit positions de l'axe charnière réel ont été choisies autour de l'axe de l'articulateur.

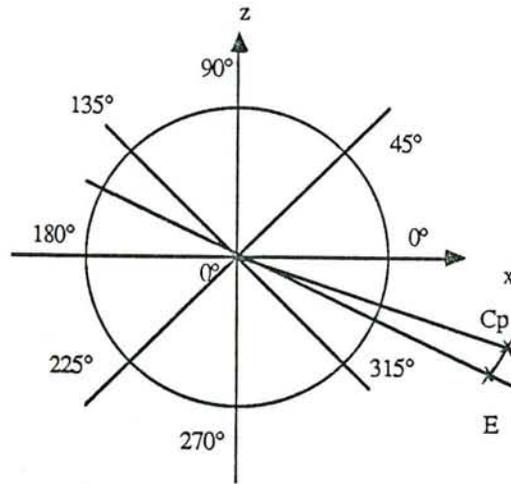


Schéma n° 53

Pour chacune de ces positions, le programme calcule l'erreur entre C_a et C_p . De plus, il donne l'erreur maximale ainsi que la position correspondante de l'axe réel.

Résultats :**e = 1 mm****P d'oc = 0, 10, 20, 30**

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. → empreinte → contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.
 Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 1
 Pente occlusale (deg) ? : 0

Ang =	0	XcPat. =	45.07	ZcPat. =	-32.00	Erreur =	0.0726
Ang =	45	XcPat. =	46.59	ZcPat. =	-35.54	Erreur =	0.1257
Ang =	90	XcPat. =	50.10	ZcPat. =	-37.00	Erreur =	0.0999
Ang =	135	XcPat. =	53.56	ZcPat. =	-35.54	Erreur =	0.0228
Ang =	180	XcPat. =	54.94	ZcPat. =	-32.00	Erreur =	0.0595
Ang =	225	XcPat. =	53.43	ZcPat. =	-28.46	Erreur =	0.1094
Ang =	270	XcPat. =	49.90	ZcPat. =	-27.00	Erreur =	0.1001
Ang =	315	XcPat. =	46.44	ZcPat. =	-28.46	Erreur =	0.0263
Ang =	360	XcPat. =	45.07	ZcPat. =	-32.00	Erreur =	0.0726

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.1267 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. → empreinte → contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.
 Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 1
 Pente occlusale (deg) ? : 10

Ang =	0	XcPat. =	45.06	ZcPat. =	-32.01	Erreur =	0.0596
Ang =	45	XcPat. =	46.57	ZcPat. =	-35.55	Erreur =	0.1024
Ang =	90	XcPat. =	50.08	ZcPat. =	-37.01	Erreur =	0.0817
Ang =	135	XcPat. =	53.55	ZcPat. =	-35.54	Erreur =	0.0190
Ang =	180	XcPat. =	54.95	ZcPat. =	-31.99	Erreur =	0.0498
Ang =	225	XcPat. =	53.44	ZcPat. =	-28.45	Erreur =	0.0924
Ang =	270	XcPat. =	49.92	ZcPat. =	-26.99	Erreur =	0.0845
Ang =	315	XcPat. =	46.44	ZcPat. =	-28.46	Erreur =	0.0220
Ang =	360	XcPat. =	45.06	ZcPat. =	-32.01	Erreur =	0.0596

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.1032 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

e = 1 mm
P d'oc= 0, 10, 20, 30

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent.-> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 1
 Pente occlusale (deg) ? : 20

Ang = 0	XcPat. = 45.05	ZcPat. = -32.02	Erreur = 0.0527
Ang = 45	XcPat. = 46.55	ZcPat. = -35.57	Erreur = 0.0899
Ang = 90	XcPat. = 50.07	ZcPat. = -37.02	Erreur = 0.0721
Ang = 135	XcPat. = 53.55	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0169
Ang = 180	XcPat. = 54.96	ZcPat. = -31.98	Erreur = 0.0448
Ang = 225	XcPat. = 53.46	ZcPat. = -28.44	Erreur = 0.0837
Ang = 270	XcPat. = 49.93	ZcPat. = -26.97	Erreur = 0.0765
Ang = 315	XcPat. = 46.45	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0198
Ang = 360	XcPat. = 45.05	ZcPat. = -32.02	Erreur = 0.0527

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.0906 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent.-> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 1
 Pente occlusale (deg) ? : 30

Ang = 0	XcPat. = 45.04	ZcPat. = -32.02	Erreur = 0.0497
Ang = 45	XcPat. = 46.54	ZcPat. = -35.58	Erreur = 0.0844
Ang = 90	XcPat. = 50.06	ZcPat. = -37.03	Erreur = 0.0678
Ang = 135	XcPat. = 53.55	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0161
Ang = 180	XcPat. = 54.96	ZcPat. = -31.98	Erreur = 0.0430
Ang = 225	XcPat. = 53.47	ZcPat. = -28.42	Erreur = 0.0809
Ang = 270	XcPat. = 49.94	ZcPat. = -26.96	Erreur = 0.0739
Ang = 315	XcPat. = 46.45	ZcPat. = -28.45	Erreur = 0.0190
Ang = 360	XcPat. = 45.04	ZcPat. = -32.02	Erreur = 0.0497

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.0851 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

e = 2 mm
P d'oc = 0, 10, 20, 30

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. -> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 2
 Pente occlusale (deg) ? : 0

Ang = 0	XcPat. = 45.15	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.1484
Ang = 45	XcPat. = 46.72	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.2533
Ang = 90	XcPat. = 50.20	ZcPat. = -37.00	Erreur = 0.1996
Ang = 135	XcPat. = 53.58	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0437
Ang = 180	XcPat. = 54.88	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.1218
Ang = 225	XcPat. = 53.31	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.2209
Ang = 270	XcPat. = 49.80	ZcPat. = -27.00	Erreur = 0.2004
Ang = 315	XcPat. = 46.41	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0504
Ang = 360	XcPat. = 45.15	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.1484

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.2550 mm
 pour un axe condylien placé à : 51.00 deg.

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. -> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 2
 Pente occlusale (deg) ? : 10

Ang = 0	XcPat. = 45.12	ZcPat. = -32.02	Erreur = 0.1212
Ang = 45	XcPat. = 46.67	ZcPat. = -35.57	Erreur = 0.2058
Ang = 90	XcPat. = 50.16	ZcPat. = -37.03	Erreur = 0.1630
Ang = 135	XcPat. = 53.57	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0364
Ang = 180	XcPat. = 54.90	ZcPat. = -31.98	Erreur = 0.1015
Ang = 225	XcPat. = 53.35	ZcPat. = -28.43	Erreur = 0.1860
Ang = 270	XcPat. = 49.83	ZcPat. = -26.97	Erreur = 0.1688
Ang = 315	XcPat. = 46.42	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0423
Ang = 360	XcPat. = 45.12	ZcPat. = -32.02	Erreur = 0.1212

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.2072 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

e = 2 mm
P d'oc = 0, 10, 20, 30

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent.-> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 2
 Pente occlusale (deg) ? : 20

Ang = 0	XcPat. = 45.10	ZcPat. = -32.04	Erreur = 0.1069
Ang = 45	XcPat. = 46.63	ZcPat. = -35.60	Erreur = 0.1804
Ang = 90	XcPat. = 50.13	ZcPat. = -37.05	Erreur = 0.1435
Ang = 135	XcPat. = 53.57	ZcPat. = -35.55	Erreur = 0.0325
Ang = 180	XcPat. = 54.91	ZcPat. = -31.97	Erreur = 0.0910
Ang = 225	XcPat. = 53.38	ZcPat. = -28.41	Erreur = 0.1682
Ang = 270	XcPat. = 49.86	ZcPat. = -26.95	Erreur = 0.1526
Ang = 315	XcPat. = 46.43	ZcPat. = -28.45	Erreur = 0.0381
Ang = 360	XcPat. = 45.10	ZcPat. = -32.04	Erreur = 0.1069

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.1217 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent.-> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 2
 Pente occlusale (deg) ? : 30

Ang = 0	XcPat. = 45.09	ZcPat. = -32.05	Erreur = 0.1007
Ang = 45	XcPat. = 46.61	ZcPat. = -35.62	Erreur = 0.1691
Ang = 90	XcPat. = 50.12	ZcPat. = -37.07	Erreur = 0.1349
Ang = 135	XcPat. = 53.56	ZcPat. = -35.55	Erreur = 0.0309
Ang = 180	XcPat. = 54.92	ZcPat. = -31.96	Erreur = 0.0872
Ang = 225	XcPat. = 53.39	ZcPat. = -28.38	Erreur = 0.1623
Ang = 270	XcPat. = 49.87	ZcPat. = -26.93	Erreur = 0.1471
Ang = 315	XcPat. = 46.43	ZcPat. = -28.45	Erreur = 0.0364
Ang = 360	XcPat. = 45.09	ZcPat. = -32.05	Erreur = 0.1007

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.1702 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

e = 3 mm
P d'oc = 0, 10, 20, 30

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. -> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 3
 Pente occlusale (deg) ? : 0

Ang = 0	XcPat. = 45.23	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.2274
Ang = 45	XcPat. = 46.85	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.3828
Ang = 90	XcPat. = 50.30	ZcPat. = -37.00	Erreur = 0.2991
Ang = 135	XcPat. = 53.60	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0626
Ang = 180	XcPat. = 54.81	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.1869
Ang = 225	XcPat. = 53.20	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.3347
Ang = 270	XcPat. = 49.70	ZcPat. = -27.00	Erreur = 0.3009
Ang = 315	XcPat. = 46.39	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0722
Ang = 360	XcPat. = 45.23	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.2274

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.3850 mm
 pour un axe condylien placé à : 51.00 deg.

>

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. -> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 3
 Pente occlusale (deg) ? : 10

Ang = 0	XcPat. = 45.18	ZcPat. = -32.03	Erreur = 0.1850
Ang = 45	XcPat. = 46.77	ZcPat. = -35.59	Erreur = 0.3102
Ang = 90	XcPat. = 50.24	ZcPat. = -37.04	Erreur = 0.2438
Ang = 135	XcPat. = 53.59	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0523
Ang = 180	XcPat. = 54.85	ZcPat. = -31.97	Erreur = 0.1550
Ang = 225	XcPat. = 53.26	ZcPat. = -28.42	Erreur = 0.2808
Ang = 270	XcPat. = 49.75	ZcPat. = -26.96	Erreur = 0.2528
Ang = 315	XcPat. = 46.40	ZcPat. = -28.45	Erreur = 0.0608
Ang = 360	XcPat. = 45.18	ZcPat. = -32.03	Erreur = 0.1850

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.3120 mm
 pour un axe condylien placé à : 51.00 deg.

>

e = 3 mm
P d'oc = 0, 10, 20, 30

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. → empreinte → contact-dent.
 - rayon Articulatueur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulatueur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulatueur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 3
 Pente occlusale (deg) ? : 20

Ang	XcPat.	ZcPat.	Erreur
0	45.15	-32.06	0.1627
45	46.72	-35.63	0.2715
90	50.20	-37.07	0.2143
135	53.58	-35.55	0.0468
180	54.87	-31.95	0.1387
225	53.30	-28.38	0.2535
270	49.79	-26.92	0.2282
315	46.41	-28.45	0.0547
360	45.15	-32.06	0.1627

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.2731 mm
 pour un axe condylien placé à : 51.00 deg.

>

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent. → empreinte → contact-dent.
 - rayon Articulatueur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.

Coord. X contact dent. Articulatueur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulatueur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : 3
 Pente occlusale (deg) ? : 30

Ang	XcPat.	ZcPat.	Erreur
0	45.13	-32.08	0.1530
45	46.68	-35.66	0.2540
90	50.17	-37.10	0.2012
135	53.57	-35.56	0.0444
180	54.89	-31.93	0.1325
225	53.32	-28.34	0.2442
270	49.81	-26.89	0.2197
315	46.42	-28.44	0.0524
360	45.13	-32.08	0.1530

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.2555 mm
 pour un axe condylien placé à : 51.00 deg.

>

e = 0,1 mm
P d'oc = 0,30

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent.-> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.
 Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : .1
 Pente occlusale (deg) ? : 0

Ang = 0	XcPat. = 45.01	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.0071
Ang = 45	XcPat. = 46.48	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0125
Ang = 90	XcPat. = 50.01	ZcPat. = -37.00	Erreur = 0.0100
Ang = 135	XcPat. = 53.54	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0024
Ang = 180	XcPat. = 54.99	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.0058
Ang = 225	XcPat. = 53.54	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0108
Ang = 270	XcPat. = 49.99	ZcPat. = -27.00	Erreur = 0.0100
Ang = 315	XcPat. = 46.46	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0027
Ang = 360	XcPat. = 45.01	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.0071

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.0125 mm
 pour un axe condylien placé à : 52.00 deg.

*** Programme de calcul de l'erreur de WEINBERG. V.4 ***
 - course limitée par deux plans parallèles.
 - orientation des plans selon l'angle occlusal.
 - transfert contact-dent.-> empreinte -> contact-dent.
 - rayon Articulateur défini par le contact inter-dent-Arti.
 - rayon Patient défini par l'empreinte.
 - données initiales du calcul = contact inter-dent-Arti.
 Coord. X contact dent. Articulateur (mm) ? : 50
 Coord. Z contact dent. Articulateur (mm) ? : -32
 Epaisseur de cire, fond d'empreinte (mm) ? : .1
 Pente occlusale (deg) ? : 30

Ang = 0	XcPat. = 45.00	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.0049
Ang = 45	XcPat. = 46.47	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0084
Ang = 90	XcPat. = 50.01	ZcPat. = -37.00	Erreur = 0.0068
Ang = 135	XcPat. = 53.54	ZcPat. = -35.54	Erreur = 0.0017
Ang = 180	XcPat. = 55.00	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.0042
Ang = 225	XcPat. = 53.53	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0031
Ang = 270	XcPat. = 49.99	ZcPat. = -27.00	Erreur = 0.0074
Ang = 315	XcPat. = 46.46	ZcPat. = -28.46	Erreur = 0.0020
Ang = 360	XcPat. = 45.00	ZcPat. = -32.00	Erreur = 0.0049

L'erreur de Weinberg maximum est de : 0.0085 mm
 pour un axe condylien placé à : 53.00 deg.

L'erreur maximale est de 0,3850 mm pour un axe 0 situé à 51° .

Les erreurs sont minimales en se rapprochant de l'axe 0'E (0,0626 mm pour un angle de 135° et 0,0722 pour 315°).

5.3.2. Analyse de l'influence de la variation de la pente occlusale

D'autres calculs sont réalisés pour des plans d'occlusion à 10° , 20° , 30° , et les interférences pour ces différents plans ont été comparées.

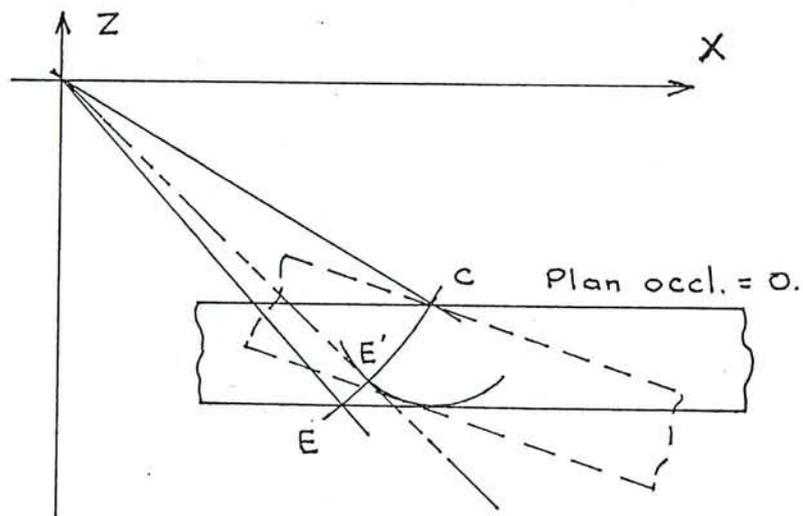


Schéma n° 54

Résultats :

L'ERREUR DE WEINBERG
Influence de l'angle du plan d'occlusion
Valeur étudiée 0°, 10°, 20°, 30°
Epaisseur de la cire : 3 mm

Position de θ Orientation plan d'occl.	0°	45°	51°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0°	0,2274	0,3828	0,3850	0,2991	0,0626	0,1869	0,3347	0,3009	0,0722
10°	0,1850	0,3102	0,3120	0,2438	0,0523	0,1550	0,2808	0,2528	0,0608
20°	0,1627	0,2715	0,2731	0,2143	0,0468	0,1387	0,2535	0,2282	0,0547
30°	0,1530	0,2540	0,2555	0,2012	0,0444	0,1325	0,2442	0,2197	0,0524

L'erreur diminue lorsque la pente du plan d'occlusion augmente.

Cela s'explique par le fait qu'à épaisseur de cire constante, plus le plan d'occlusion est orienté perpendiculairement au rayon contact patient-centre de rotation, plus le chemin de fermeture est grand et donc plus l'erreur est importante.

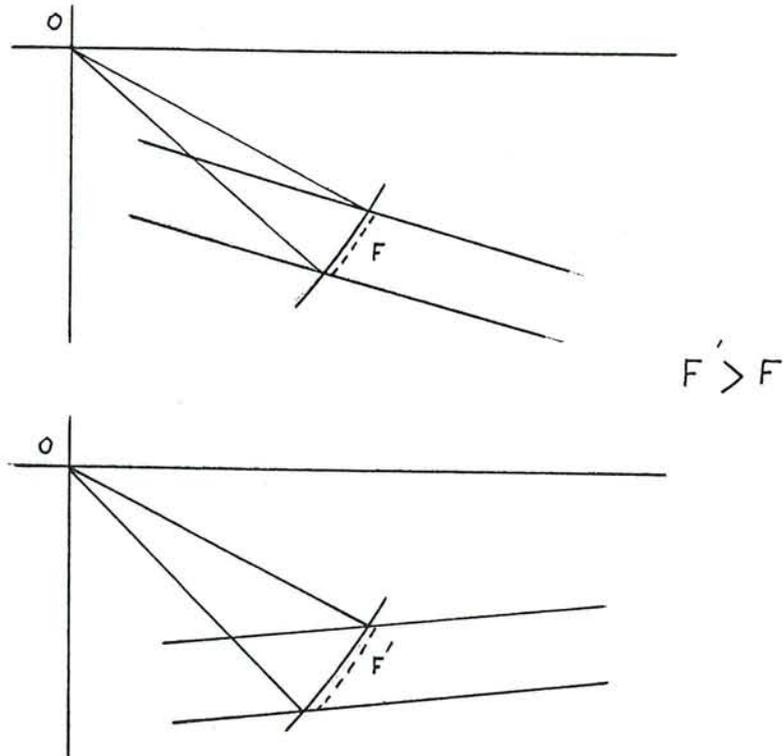


Schéma n° 55

Le plan d'occlusion est orienté en moyenne à 10° chez le patient denté. Dans cette situation, les valeurs obtenues sont légèrement inférieures à celles de WEINBERG pour une position de l'axe charnière réel situé à 0° .

L'erreur maximum reste cependant importante : 0,3120 mm

L'erreur moyenne est de 0,2058 mm.

5.3.3. Etude de l'erreur en fonction de l'épaisseur de la cire

Trois épaisseurs de cire sont testées : 3 mm, 2 mm, 1 mm. Le plan d'occlusion est orienté à 10°.

Résultats :

ERREUR DE WEINBERG
Influence de l'épaisseur de la cire d'enregistrement
Valeurs étudiées : 3 mm, 2 mm, 1 mm
Plan d'occlusion à 10°

Position de θ Orientation plan d'occl.	0°	45°	51°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
3 mm	0,1850	0,3102	0,3120	0,2438	0,0523	0,1550	0,2808	0,2528	0,0808
2 mm	0,1212	0,2058	0,2072	0,1630	0,0364	0,1015	0,1860	0,1688	0,0423
1 mm	0,0596	0,1024	0,1032	0,0817	0,0190	0,0498	0,0924	0,0845	0,0220

L'erreur est quasi-proportionnelle à l'épaisseur de cire. Elle diminue de un tiers lorsque la cire passe de 3 à 2 mm , et de moitié entre 2 et 1 mm.

Ainsi pour une épaisseur de 1 mm, l'erreur maximale est de 0,1032 mm, la minimale de 0,0190 mm, la moyenne étant de 0,0682 mm.

Cela s'explique également par le fait que plus la cire est fine, plus le chemin de fermeture est court et donc plus l'erreur est faible.

Remarque :

Une analyse a été réalisée pour une épaisseur de cire de 0,1 mm. Dans ces conditions, l'erreur maximale n'est plus que de 0,0126 mm avec une erreur moyenne de 0,0084 mm.

Cela représente un résultat proche de l'idéal au plan clinique, mais malheureusement difficilement accessible de par les qualités des cires et la finesse de manipulation.

C'est pourquoi, on peut considérer qu'une cire de 1 mm d'épaisseur est tout à fait acceptable.

5.4. CONCLUSIONS

- Historique :

Si on compare l'erreur obtenue par WEINBERG (0,1934 mm) pour :

- un angle du plan occlusal égal à zéro degré
- une position antérieure de l'axe réel

avec la valeur correspondante du calcul (0,2274 mm) la différence s'explique par le fait que WEINBERG :

- se donne la position du contact patient Cp dans un premier référentiel,
- se donne la position du contact articulateur Ca dans un deuxième référentiel,
- calcule la différence Ca Cp dans un troisième référentiel construit sur E (contact cire).

Alors que dans la méthode suivie :

- on calcule le point E dans le référentiel articulateur à partir de Ca
- on transfère le point E dans le référentiel patient dans lequel on calcule Cp.

Cela dit, WEINBERG a bien senti l'importance de l'enregistrement des rapports inter-maxillaires.

Plusieurs études (5) (16) montrent que les localisations réelles sont dispersées de manière assez régulière autour de l'axe arbitraire.

- a. C'est entre 0° et 90° , et 180° et 270° que l'erreur est la plus importante (maximale pour 51° - 52°).
- b. L'erreur est d'autant plus importante que le plan d'occlusion est proche de 0° .
- c. Plus la cire est épaisse, plus l'erreur est importante.

L'erreur moyenne pour une cire de 3 mm est de 0,2058 mm, et de 0,1369 mm pour 2 mm. Pour 1 mm, elle n'est plus que de 0,0682 mm.

Cela pose tout le problème de l'enregistrement des rapports inter-maxillaires, les cires devant être les plus fines possibles, sans perforations pour éviter les contacts parasites, et tout en restant rigides et fidèles.

Pour que les cires soient fines, il est impératif que les prématurités les plus importantes aient été supprimées avant tout enregistrement des rapports inter-maxillaires.

- d. Si l'on compare ces résultats à ceux dus aux erreurs de programmation (Bennett, pente condylienne) , il apparaît que l'enregistrement des rapports inter-maxillaires est une première source d'imprécision au moins aussi importante. Cette étape doit donc être considérée comme capitale lors de l'utilisation d'un articulateur semi-adaptable, et bénéficier des plus grands soins.

CHAPITRE 6

**Vérification expérimentale du modèle
mathématique.**

Simulation physique.

6.1.2. Matérialisation des éléments du mouvement

Les paramètres postérieurs sont traduits directement par le mécanisme de l'articulateur.

Les paramètres antérieurs ont été matérialisés ainsi :

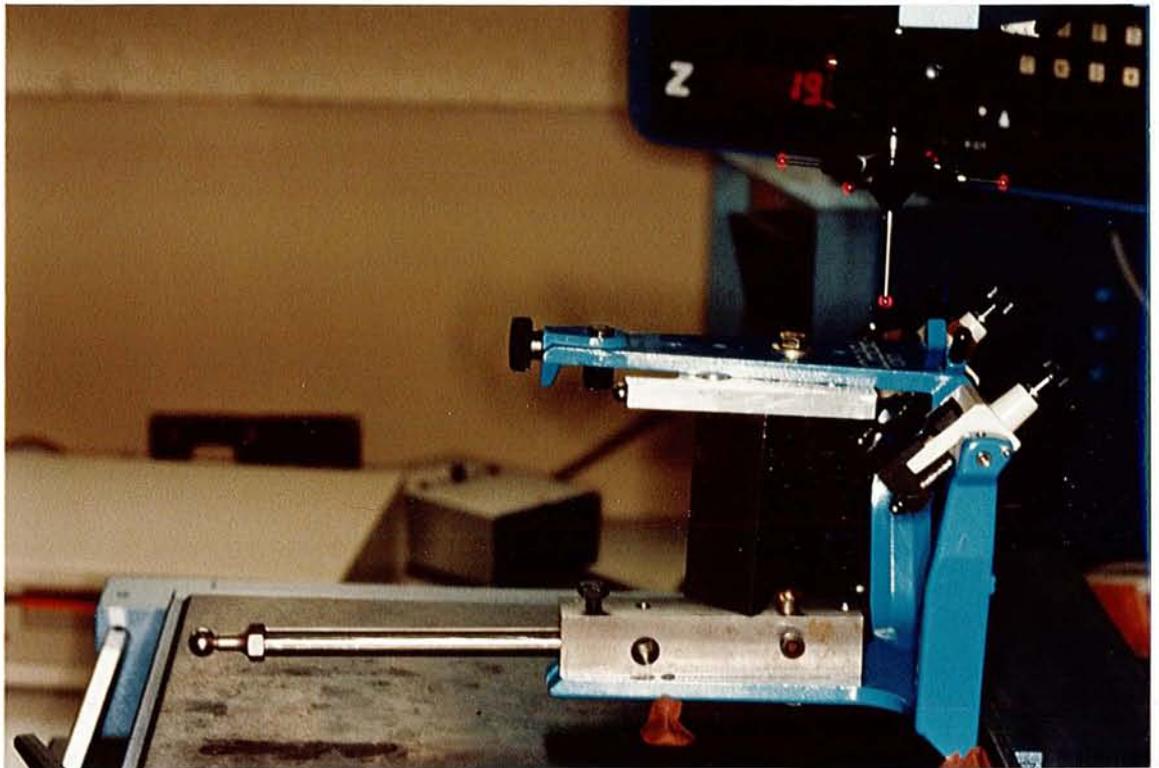
- la pente canine par une surface fraisée à 45° et orientée à 45° par rapport à l'axe de symétrie, fixée sur la partie supérieure de l'articulateur,
- le point canin par un pointeau, fixé sur la partie inférieure.



La trajectoire à contrôler (dent), se fait sur une tige terminée par une sphère M, fixée également sur la partie inférieure (mandibule).

Remarques :

Un point situé dans la zone dentaire ne peut être atteint par le palpeur. La sphère M (dent) a donc été placée dans la zone d'accès du palpeur, assez loin, pour accroître la précision du calcul.



La matérialisation d'un point par une sphère est due à la facilité offerte par le logiciel de la machine (calcul du centre d'une sphère).

Photos :

Matérialisation plan

Matérialisation canine

Matérialisation dent

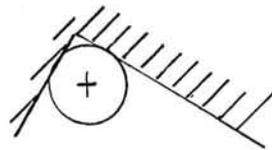
Vue d'ensemble de l'articulateur.

6.1.3. Simulation du mouvement

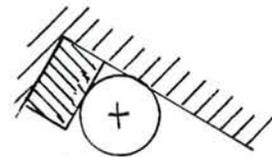
On vérifie 3 points de la trajectoire.

La position relative maxillaire/mandibule est donnée par une cale, glissée côté non travaillant entre sphère (condyle) et logement de sphère (ou boîtier condylien). La sphère reste en contact avec les faces de guidage traduisant les paramètres antérieurs.

Cette cale matérialise l'angle de rotation θ (angle d'incrémentation du programme de calcul).



Position initiale



Cale de "mouvement"

Schéma n° 56

6.1.4. Création d'un référentiel de mesure

- Le référentiel de calcul est défini sur les logements des deux sphères condyliennes.
- Ces logements ne peuvent être atteints lors de la prise de mesure.
- D'où création d'un référentiel de mesure.
- Et transposition des coordonnées mesurées en coordonnées liées au référentiel de calcul.

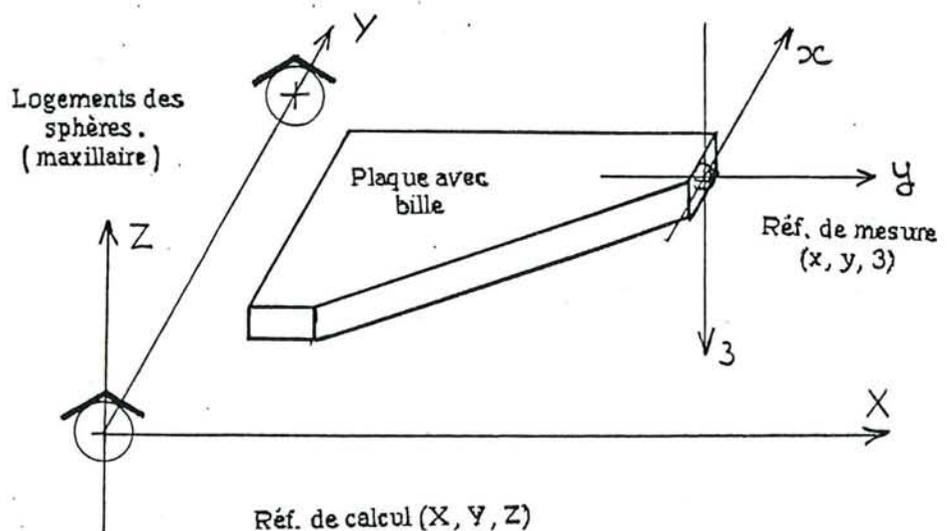


Schéma n° 57

6.1.5. Le référentiel de mesure est mobile

Dans le programme de calcul :

- la partie supérieure de l'articulateur = logement des sphères = maxillaire, est référence donc fixe,
- la partie inférieure de l'articulateur = sphère = mandibule, est mobile.

Ce qui correspond à la physiologie.

Sur l'articulateur :

- pour des raisons évidentes de manipulation, la partie inférieure de l'articulateur est fixe et sert de support à la partie supérieure,
- il y a donc inversion, maxillaire mobile et mandibule fixe,
- d'où la nécessité de "prendre référence" à chaque étape du contrôle sur la partie supérieure (référence) mobile, en vue de mesurer le "déplacement relatif" de la sphère.

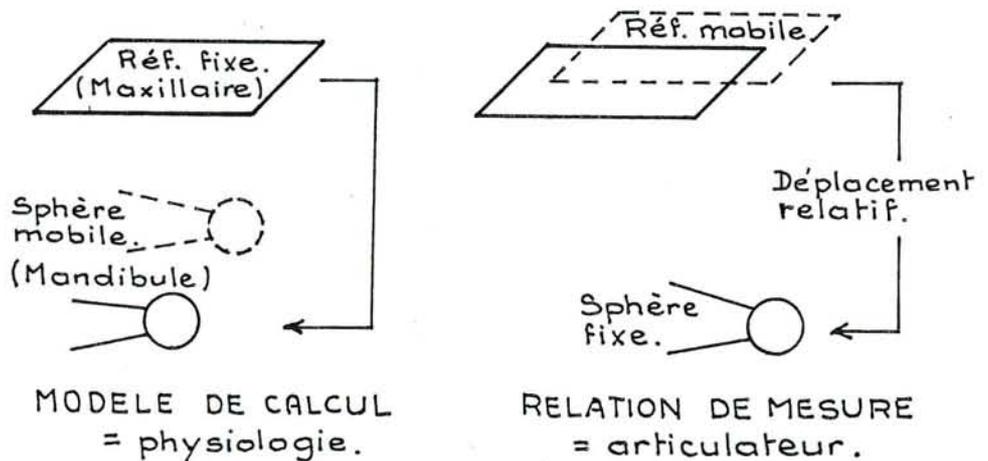
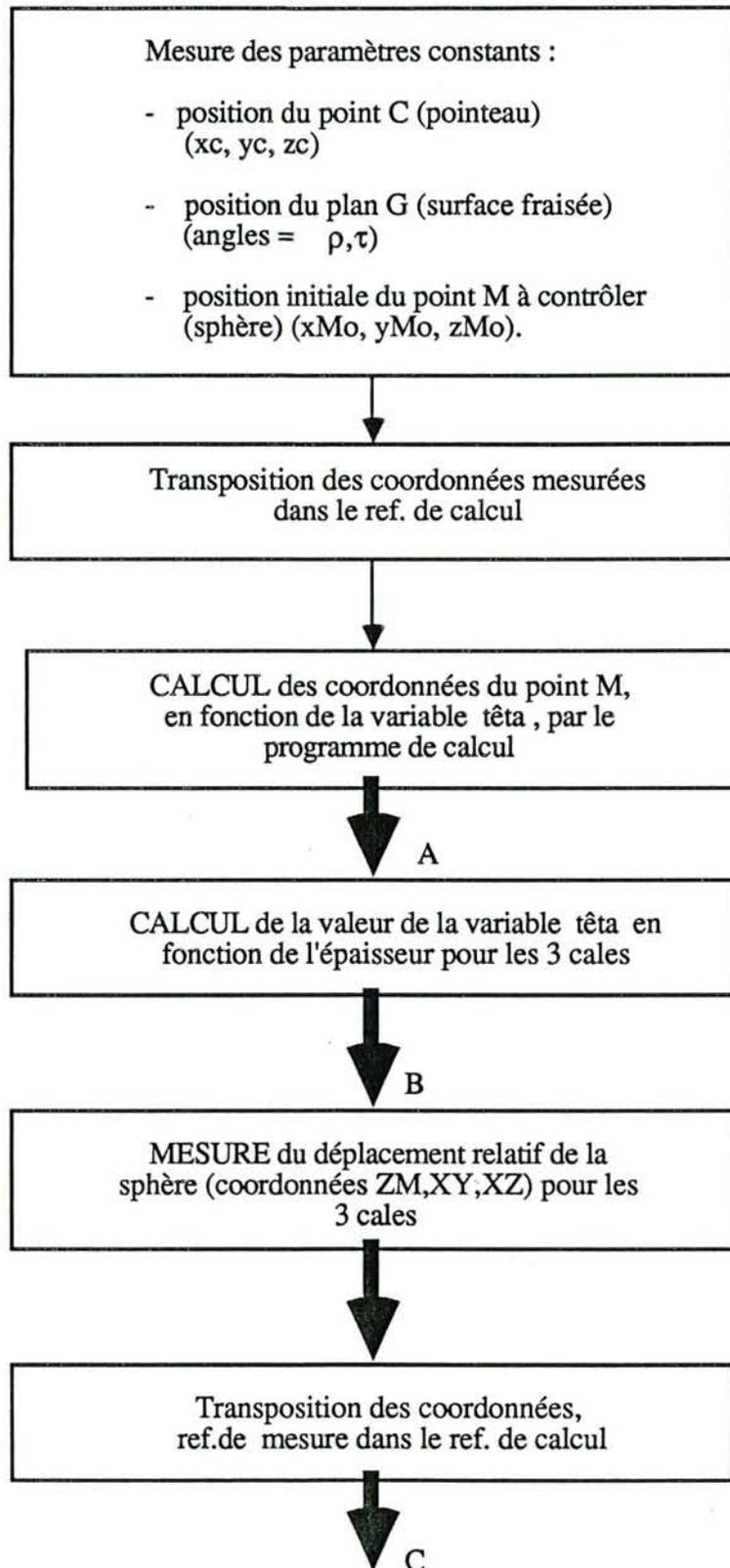


Schéma n° 58

Nota :

Un montage maintenant la partie supérieure fixe et permettant d'introduire les cales, le tout fixé sur la table de la machine à mesurer, n'était pas envisageable.

6.1.6. Procédure générale du contrôle



6.2. LE MATERIEL

6.2.1. L'articulateur

Marque : FAGMATIC

Modèle : PERFECT.

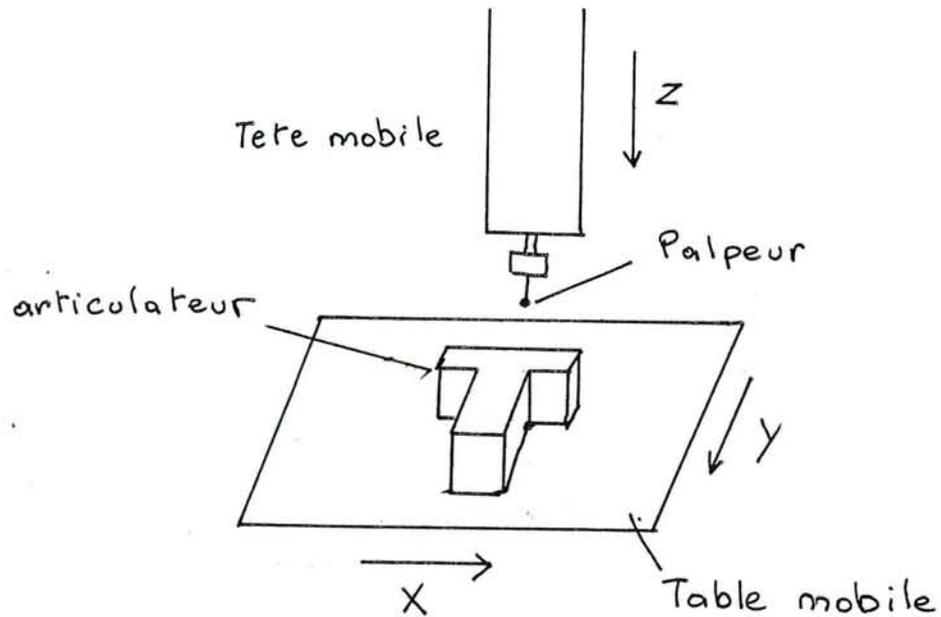


Schéma n° 60

Marque : Métrologie à Meylan, France

Capteur de position : Règle optique Heidenhain

Justesse de position : $\pm 2 + (4 L/1000) \mu\text{m}$ à $20 \pm 0,5^\circ$ (L : longueur mesurée en mm)

Répétitivité : $\pm 1 \mu\text{m}$

Capacité : X = 300 mm, Y = 300 mm, Z = 200 mm

Guidage sur coussin d'air.

6.2.3. Le palpeur

Marque : Renishaw
 Modèle : TP₁ (Omni-directionnel)
 Répétitivité : $\pm 0,5 \mu\text{m}$
 Principe : tout mouvement (contact)
 de la pointe du palpeur déclenche
 un top de mesure.

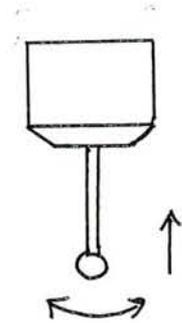


Schéma n° 61

6.2.4. Le Logiciel de mesure

Développeur : Métrologic
 Nom : Ariane
 Micro-ordinateur : HP 86 B
 Ce programme permet :

- des mesures de :
 - plan
 - cercle
 - sphère
 - cylindre, etc...
- des calculs :
 - de dégauchissage (changement de référentiel)
 - de distances entre : point origine, point enregistré, point entré au clavier, centre de sphère, sommet de cône, centre de cercle, etc...
 - d'angles entre : axe, droite enregistrée, axe de cylindre, axe de cône, plans, etc...
- des constructions géométriques.

6.3. LA TRANSPOSITION du référentiel mesure dans le référentiel de calcul

6.3.1. Le problème

Trouver la matrice de translation et la matrice de rotation permettant de passer du référentiel de mesure au référentiel de calcul.

6.3.2. Le référentiel de mesure

Ce référentiel est défini à partir de la plaque à bille, par le palpage :

- 1° du dessus de la plaque en 3 points a, b, c définissant un plan
- 2° du côté de la plaque en 2 points d, e définissant une droite.
- 3° de la bille en plusieurs points quelconques, puis calcul du centre, donnant un point f.

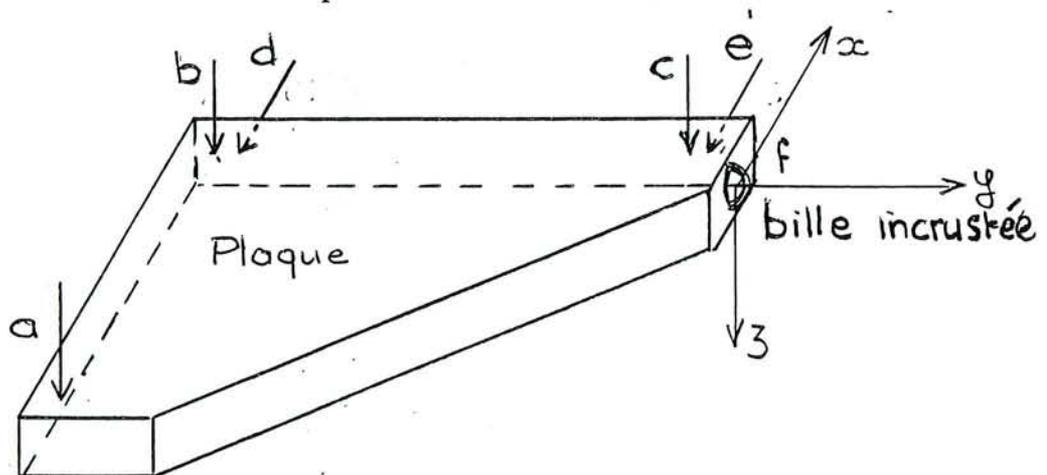


Schéma n° 62

Ces éléments : plan, droite, point, mémorisés servent dans le programme Ariane (fonction Dégau) à définir un référentiel, origine de toutes les cotes mesurées postérieurement à cette définition.

Le système est défini ainsi :

- le plan donne l'axe z Sens positif = sens d'accostage
- la droite donne l'axe y Sens positif = ordre de palpage ($d < e$)
- le 3^e axe x se déduit des précédents (trièdre direct).
- l'origine des axes est donnée par le point f.

6.3.3. Définition du référentiel de calcul

Ce référentiel est défini sur les logements, à partir des centres des sphères en position initiale.

Rappel :

(voir croquis chapitre 6.1.4).

Axes :

Y passe par les centres des deux sphères

Sens = sphère de gauche (N.T.) vers sphère de droite

X appartient au plan de cotation des éléments

Sens = antérieur vers postérieur

Z est orthogonal, direct

O Origine : centre sphère gauche (N.T.).

6.3.4. Position des sphères condyliennes de l'articulateur par rapport au référentiel de mesure (voir croquis ci-après)

Le basculement du logement des sphères et le retrait du poussoir permet le palpé des sphères.

- l Palpeur
- P Poussoir
- F Force appliquant le logement sur la sphère

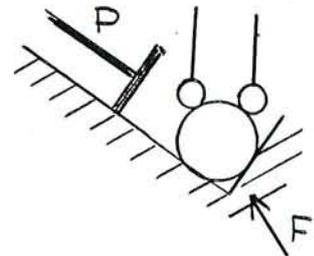


Schéma n° 63

Hypothèse : en position initiale, le centre de la sphère = centre du logement.

Remarque :

Les mesures ont été effectuées plusieurs fois pour en affiner la précision.

* Relevé de mesures :

Unité = mm

		Centre de la sphère		
		x	y	z
Sphère de gauche	4 mesures consécutives mêmes références	-86,958	-117,762	5,466
		-86,957	-117,770	5,471
		-86,959	-117,761	5,477
		-86,954	-117,784	5,474
	Moyenne	-86,957	-117,769	5,472
Ecart type	0,0001	0,011	0,004	

		Centre de la sphère		
		x	y	z
Sphère de droite	4 mesures consécutives mêmes références	22,263	-117,307	6,510
		22,269	-117,309	6,559
		22,271	-117,313	6,491
		22,267	-117,306	6,570
	Moyenne	22,267	-117,309	6,532
Ecart type	0,003	0,001	0,037	

* Valeurs retenues :

	Sphère gauche	Sphère droite
x	-86,957 ± 0,003	22,267 ± 0,008
y	-117,769 ± 0,027	-117,309 ± 0,003
z	5,472 ± 0,010	6,532 ± 0,093

* D'où la matrice de translation :

$$\begin{bmatrix} x_{o'} \\ y_{o'} \\ z_{o'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 86,957 \\ 117,769 \\ -5,472 \end{bmatrix}$$

avec : x, y, z Coord. d'un point mesuré dans le réf. de mesure

et : x', y', z' Coord. du point après changement d'origine du référentiel de mesure

Origine = sphère de gauche G.

* Croquis :

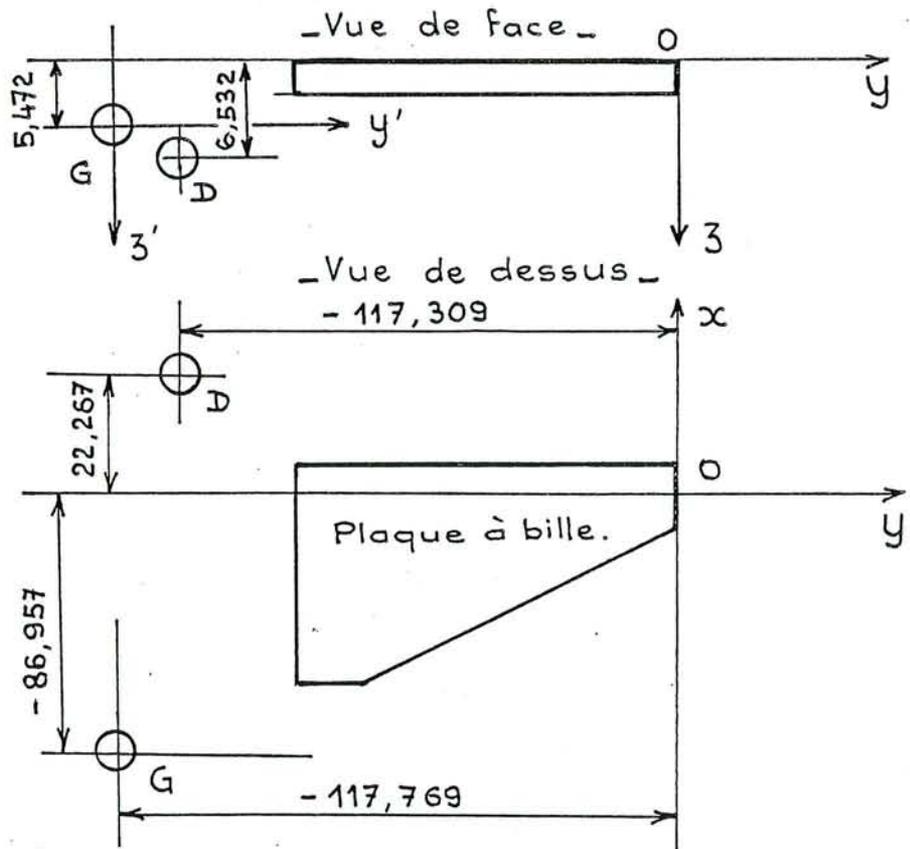


Schéma n° 64

6.3.5. Position relative des sphères et calcul de la largeur intercondylienne

On constate que la sphère D est décalée par rapport à la sphère G, de 0,46mm en x et 1,06 mm en z.

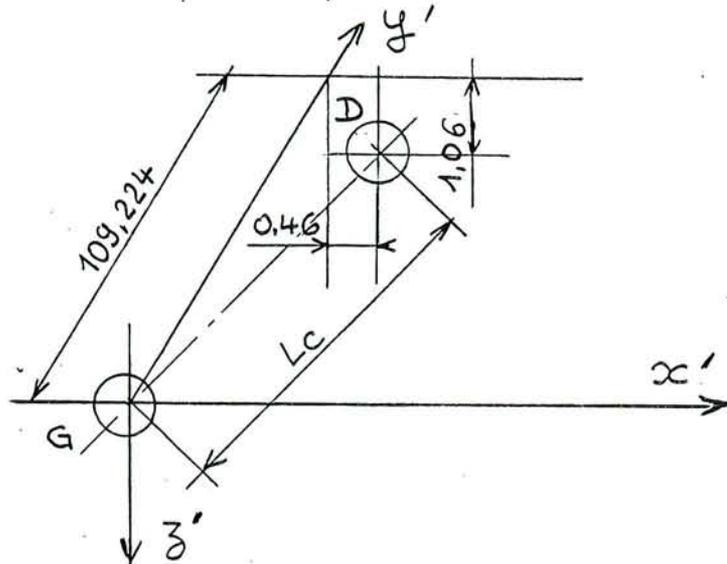


Schéma n° 65

L.c. étant la distance entre les deux sphères, on a :

$$LC = \sqrt{109,224^2 + 0,46^2 + 1,06^2} = 109,230 \text{ mm}$$

6.3.6. Détermination de la matrice de rotation et de permutation

On connaît :

- la définition du référentiel de calcul X Y Z (chapitre 6.3.3.)
- les écarts d'alignement entre sphères (chapitre 6.3.5.)

a. soit Y_1 la projection de Y sur le plan $x'o'y'$

avec :

$x'o'y'$ référentiel de mesure après changement d'origine
(translation) de o en o' (o' = G)

X_1 appartient au plan $x'o'y'$ par définition.

On obtient une première rotation autour de $Z = z'$.

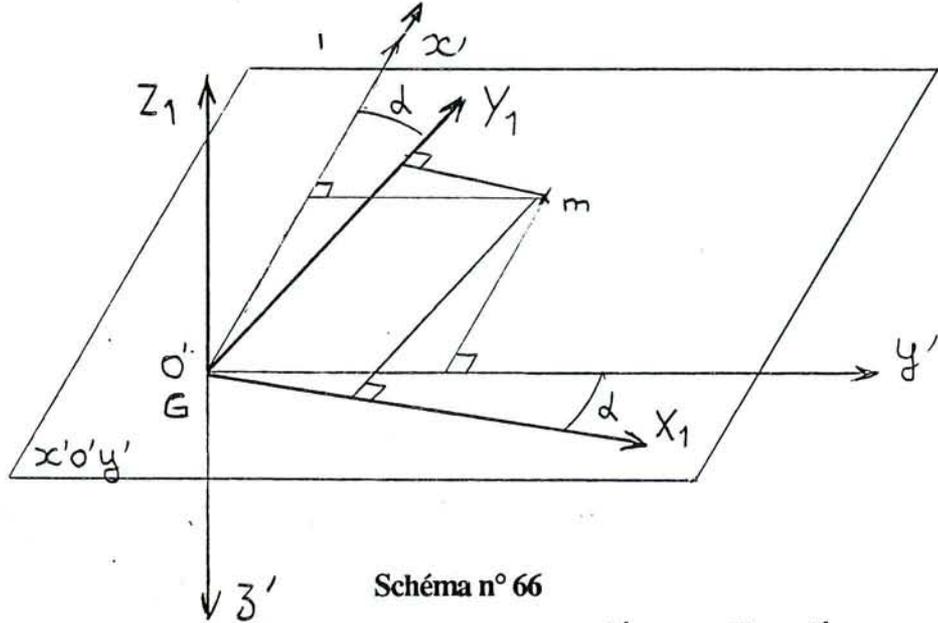


Schéma n° 66

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

et la matrice permettant de calculer les coordonnées X_1, Y_1, Z_1 d'un point m , connaissant les coordonnées x', y', z' .

b. Mais Y passe par le point D , d'où une deuxième rotation β autour de $X_1 = X$.

6.3.7. Les coordonnées du référentiel de calcul

Conclusion :

Les coordonnées liées au référentiel de mesures peuvent être transposées dans le référentiel de calcul par les formules ci-dessous.

$$X = -(x + 86,957) \sin \alpha + (y + 117,769) \cos \alpha$$

$$Y = (x + 86,957) \cos \alpha \cos \beta + (y + 117,769) \times \\ \sin \alpha \cos \beta + (z - 5,472) \sin \beta$$

$$Z = (x + 86,957) \cos \alpha \sin \beta + (y + 117,769) \times \\ \sin \alpha \sin \beta - (z - 5,472) \cos \beta$$

$$\text{avec } \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,46}{109,224} \quad \text{---> } \alpha = 0,2413^\circ$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1,06}{\sqrt{109,224^2 + 0,46^2}} \quad \text{---> } \beta = 0,5560^\circ$$

6.4. MESURE DES PARAMETRES DU PLAN DE GUIDAGE CANIN (G)

6.4.1. Généralités

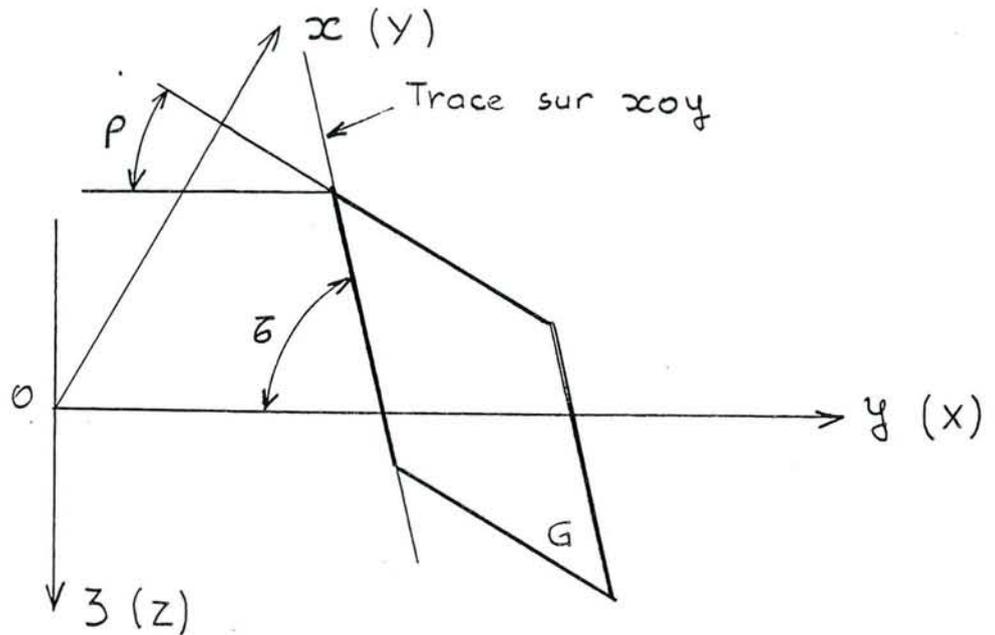


Schéma n° 68

Rappel :

Les angles à déterminer sont :

ρ pente canine, c'est-à-dire angle formé par G avec xoy

τ orientation de la trace sur xoy du plan G, avec l'axe y.

Nota :

Le logiciel de mesure donne :

les 3 angles formés par un plan, avec les plans du trièdre de référence.

Soit :

α' l'angle avec xoz

β' l'angle avec yoz

ρ' l'angle avec xoy

6.4.2. Relations angles mesurés / angles à calculer

Considérons G dans le trièdre $x+, y+, z-$. Il détermine sur ce trièdre les traces AB, BC, CA .

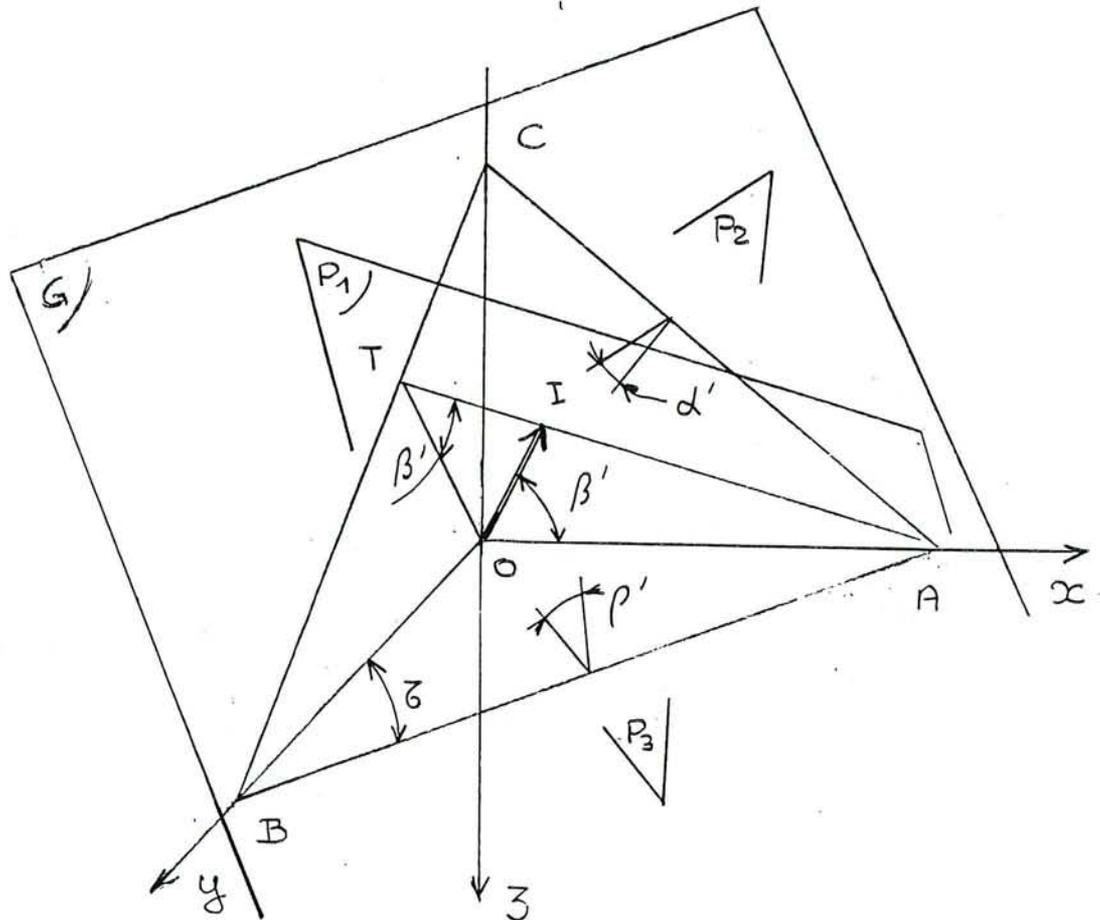


Schéma n° 69

Soit P_1 un plan perpendiculaire à G avec OA appartenant à P .

Ce plan détermine deux traces sur G :

OT et AT

P_1 est perpendiculaire à la trace BC , et l'angle $\widehat{OTA} = \beta'$ est l'un des trois angles déterminés par Ariane.

Il en est de même pour :

α' appartenant à P_2 avec P_2 tel que : $\perp G$ et OB appartenant à P_2

ρ' appartenant à P_3 avec P_3 tel que : $\perp G$ et OC appartenant à P_3 .

On remarquera que : $\rho' = \rho$ pente canine dans le système xyz .

Soit OI le vecteur directeur du plan G .

OI appartient à P et OI est \perp à TA .

Considérons le triangle TOA :

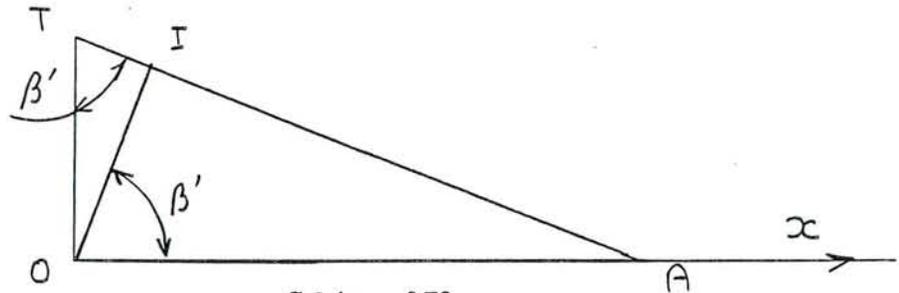


Schéma n° 70

L'angle \widehat{IOA} est l'angle directeur de G sur x

Or $\widehat{IOA} = \widehat{OTA} = \beta'$

Donc :

α' : angle mesuré avec xoz = angle dir avec y

β' : angle mesuré avec yoZ = angle dir avec x

ρ' : angle mesuré avec xoy = angle dir avec z .

Dans le triangle AOB

l'angle d'orientation du plan a pour valeur :

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{OA}{OB}$$

Par ailleurs :

$$OA = \frac{OI}{\cos \beta'} \quad \text{et} \quad OB = \frac{OI}{\cos \alpha'}$$

Finalement τ en fonction des angles mesurés

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\cos \alpha'}{\cos \beta'}$$

6.4.3. Mesures

Le palpateur s'est effectué articulateur ouvert.

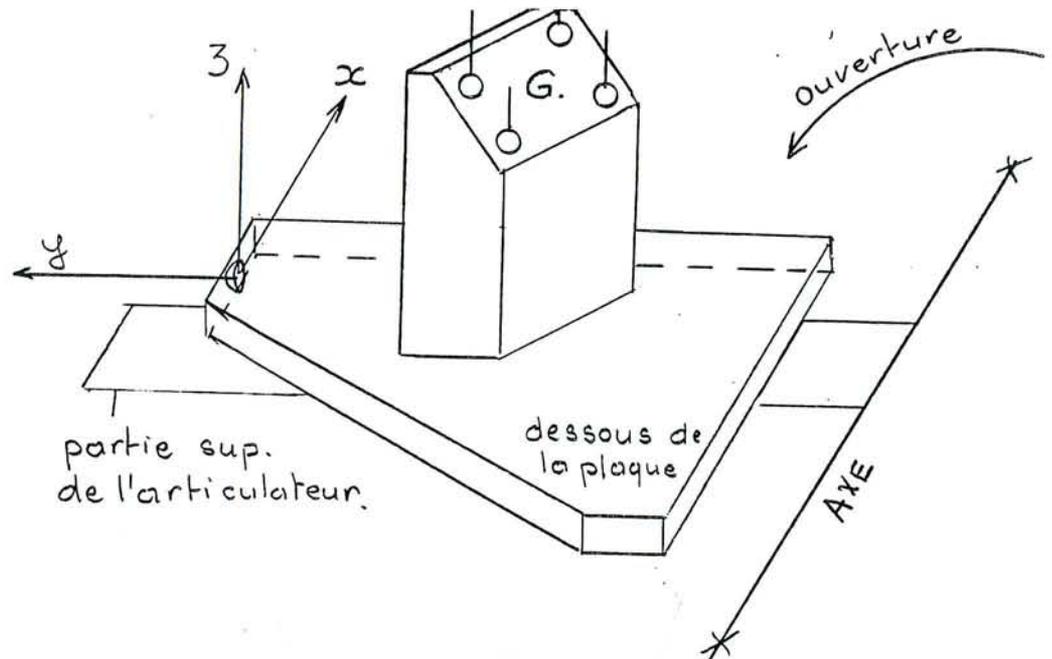


Schéma n° 71

*** Mode opératoire :**

1. "Dégauchissage" à partir de la plaque à bille par palpateur du dessous de la plaque (épaisseur de la plaque = constante à 3μ près).
2. Prise de mesures par palpateur de 3 points de la face G, pris dans 4 points, 3 fois de suite.

*** Résultats dans le référentiel de mesures :**

Plans	x o y	y o z	z o x
Mesures	45° 7' 17" 45° 6' 28" 45° 7' 34"	59° 35' 9" 59° 35' 40" 59° 35' 11"	60° 16' 33" 60° 16' 59" 60° 16' 17"

Moyenne retenue (en décimales degré) :

angle		β'	
Valeurs	45,12°	59,58°	60,27°

6.4.4. Changement de référentiel, valeurs de τ dans le référentiel de calcul

oxyz = mesure

OXYZ = calcul

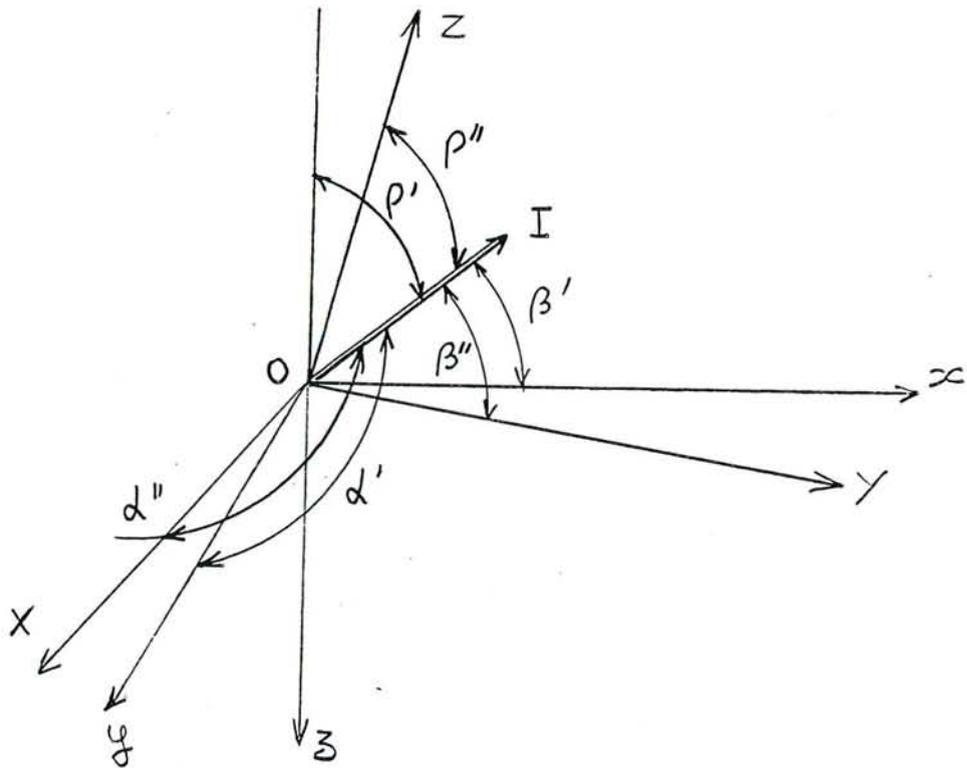


Schéma n° 72

Le vecteur directeur unitaire OI dans xyz a pour valeurs :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta' \\ \cos \alpha' \\ -\cos \rho' \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{avec } \alpha', \beta', \rho' \text{ angles} \\ \text{directeurs dans xyz} \end{array}$$

En appliquant la matrice de rotation (chapitre 6.3.6) au point I, on trouve le vecteur directeur OI dans XYZ. C'est-à-dire :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha'' \\ \cos \beta'' \\ \cos \rho'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Matrice} \\ \text{de} \\ \text{rotation} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta' \\ \cos \alpha' \\ \cos \rho' \end{bmatrix}$$

Ce qui donne

x y z			X Y Z		
	Angles	Cosinus	Cosinus	Angles	
x	$\beta' = 59,58^\circ$	0,506335	0,493928	$\beta'' = 60,40^\circ$	X
y	$\alpha' = 60,27^\circ$	0,495913	0,501601	$\alpha'' = 59,89^\circ$	Y
z	$\rho' = 45,12^\circ$	-0,705624	0,710487	$\rho'' = 44,73^\circ$	Z

Finalement :

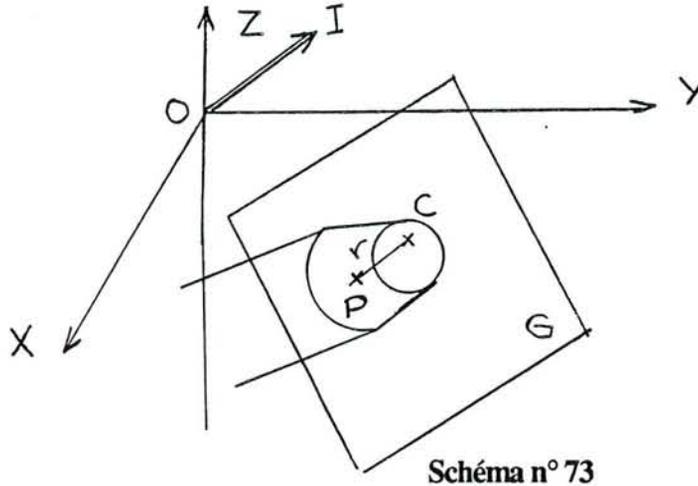
Pente canine	$\rho = 44,73^\circ$
Tangente canine	$\tau = 44,56^\circ$

$$\text{avec } \operatorname{tg} \tau = \frac{\cos \alpha''}{\cos \beta''}$$

6.5. MESURE DES COORDONNEES DU POINT CANIN C

6.5.1. Généralités

Les différents relevés de mesures ont montré que le pointeau présentait à son extrémité une forme assimilable à une calotte sphérique.



Il convient donc :

1. de calculer le centre P et le rayon r de la calotte
2. de trouver le point de contact C entre la calotte et le plan canin G.

PC est orthogonal à G (contact sphère/plan) donc parallèle au vecteur directeur OI du plan. D'où :

$$\begin{aligned} X_c &= X_p + r \times \cos \alpha'' \\ Y_c &= Y_p + r \times \cos \beta'' \\ Z_c &= Z_p + r \times \cos \rho'' \end{aligned}$$

6.5.2. Mesure du pointeau et calcul de X_c , Y_c , Z_c

* Relevé de mesures :

\emptyset	x	y	z
0,724	-20,078	-57,249	67,009
0,697	-20,070	-57,287	66,973
0,784	-19,976	-57,288	67,071
0,614	-19,944	-57,248	67,015
0,858	-20,017	-57,304	67,108
0,832	-19,987	-57,314	67,106

Moyenne	0,746	-20,012	-57,282	67,047
Ecart type	0,082	0,049	0,025	0,051

$$r = 0,373 \text{ mm}$$

* Calcul du point P :

Mesuré	Translaté	Après rotation et permutation
x = - 20,01 y = - 57,28 z = 67,05	x° = 66,947 y° = 60,489 z° = 61,578	XP = 60,206 YP = 66,604 ZP = - 60,928

* Calcul du point C :

\overline{XC}	$= 60,206 + 0,373 \times 0,493928$	$= 60,390$
\overline{YC}	$= 66,604 + 0,373 \times 0,501601$	$= 66,791$
\overline{ZC}	$= -60,928 + 0,373 \times 0,710484$	$= -60,663$

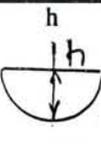
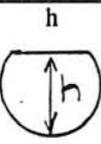
en mm

6.6. EVOLUTION DE LA SPHERE M (dent)

6.6.1. Détermination de θ

* Mesure de l'épaisseur des cales et du diamètre :

Plusieurs mesures au palmer ont donné :

	Cales	h = mm
1		$3,023 \pm 0,003$
2		$5,546 \pm 0,003$
3		$8,032 \pm 0,003$

Les trois cales ont été tirées du même rond rectifié $\varnothing = 10,926 \pm 0,002$.

* Calcul de l'angle d'incrémentation :

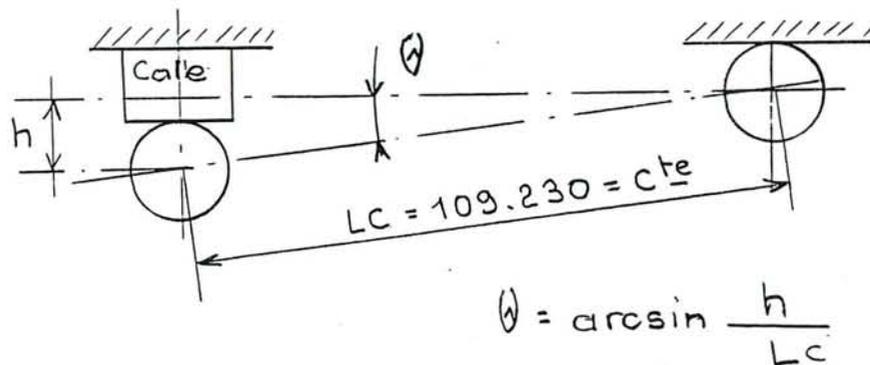


Schéma n° 74

Cales n°	h en mm	tête en degrés	tête en radians
1	3,023	1,585°	0,02767
2	5,546	2,910°	0,05079
3	8,032	4,217°	0,07360

6.6.2. Mesure des coordonnées de la sphère M (dent) pour différentes positions

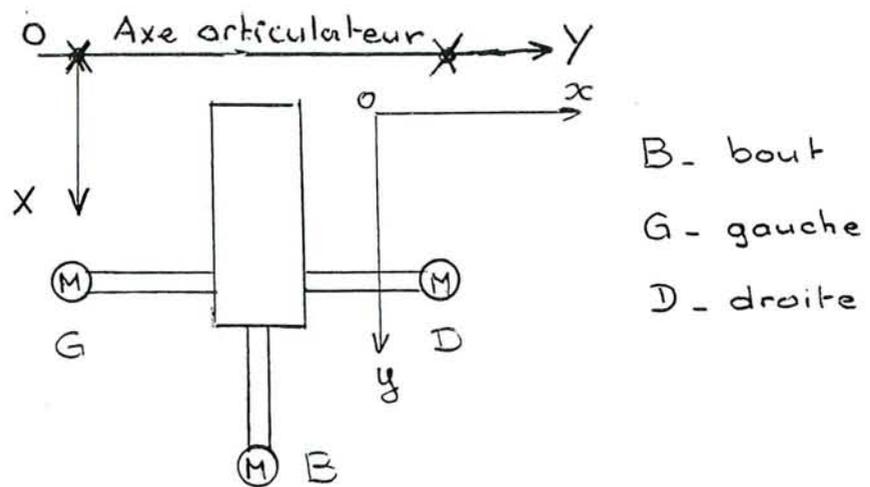


Schéma n° 75

En bout :

	Dans le Réf. de mesure			Dans le Réf. de calcul		
	x	y	z	X	Y	Z
Sans cale	-37,171	141,410	98,936	258,967	51,775	-92,969
Cale 1	-30,007	140,442	105,707	257,969	58,999	-99,671
Cale 2	-23,520	139,718	110,161	257,217	65,526	-104,063
Cale 3	-16,341	138,730	114,828	256,199	72,745	-108,660

A droite :

	Réf. de mesure			Réf. de calcul		
	x	y	z	X	Y	Z
Sans cale	94,616	-13,533	97,667	103,470	182,890	-90,438
Cale 2	102,906	-19,797	98,446	97,171	191,160	-91,137

A gauche :

	Réf. de mesure			Réf. de calcul		
	x	y	z	X	Y	Z
Sans cale	-158,651	-16,171	92,343	101,899	-70,426	-87,553
Cale 2	-150,337	-13,057	102,438	104,978	-62,002	-97,568

6.7. CALCUL DE LA TRAJECTOIRE DE M ET CONCLUSION PROVISOIRE

6.7.1. Résultats comparatifs

Comparaison entre les valeurs calculées par le programme et les valeurs mesurées

Tableau des différences calcul/mesure

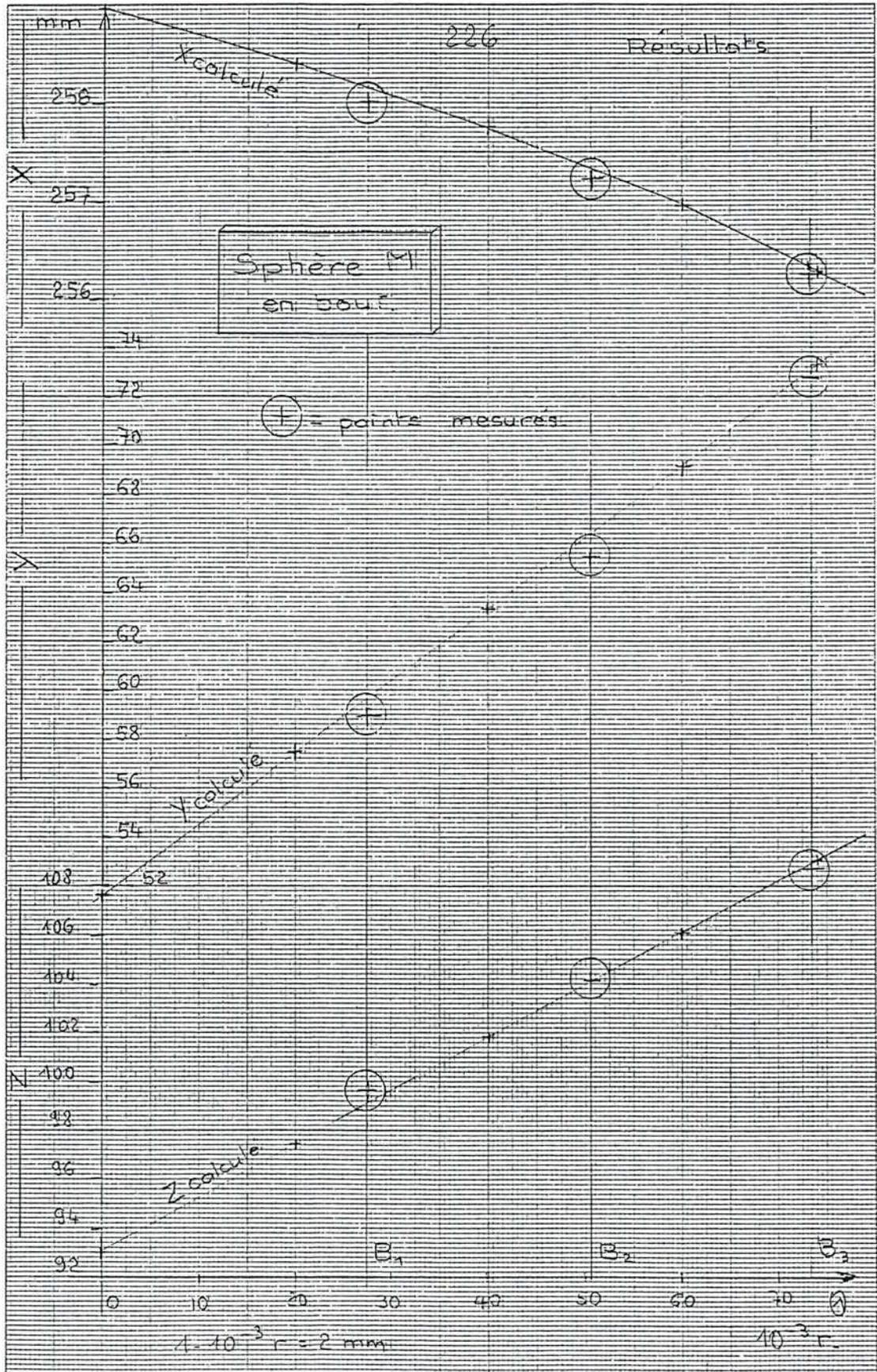
		Coordonnées du centre de la sphère (M)								
		X			Y			Z		
Pos.	têta	Cal.	mes.	D.	Cal	mes.	D.	Cal.	mes.	D
B1	0,02737	258,156	257,97	-0,19	59,768	58,99	-0,78	-99,199	-99,67	-0,47
B2	0,05048	257,302	257,22	-0,08	66,473	65,53	-0,90	-104,205	-104,06	0,15
B3	0,07330	256,303	256,20	-0,10	73,117	72,74	-0,38	-108,973	-108,66	0,31
D	0,05048	97,030	97,17	0,14	191,106	191,16	0,05	-91,710	-91,14	0,57
G	0,05048	105,424	104,98	-0,44	-62,035	-62,00	0,04	-97,039	-97,56	-0,52

Cal. = valeur interpolée du tableau de calcul pour θ donné
 Mes. = résultat de mesure
 D = différence = Mes - Cal.
 θ = angle du mouvement

|
 } en mm
 |
 } en radian

Tableau des différences reportées à la projection de la trajectoire

Pos.	X			Y			Z		
	Tj	D	%	Tj	D	%	Tj	D	%
B1	0,81	0,19	23	7,99	0,78	10	6,23	0,47	8
B2	1,67	0,08	5	14,70	0,90	6	11,24	0,15	1
B3	2,66	0,10	4	21,34	0,38	2	16,00	0,31	2
D	6,44	0,14	2	8,22	0,05	0,6	1,27	0,57	44
G	3,53	0,44	12	8,39	0,04	0,4	9,50	0,52	5



Trj = projection de la trajectoire calculée = coordonnée après déplacement - coordonnée initiale en mm

% = $\frac{D}{Trj} \times 100$

Schéma n° 76

6.7.2. Commentaires des résultats

* Sphère en bout :

Si l'on considère les écarts absolus, on voit qu'en X ils sont très faibles, en Y par contre, deux écarts B_1 , B_2 sont plus importants.

Il faut cependant considérer les valeurs relatives (reportées à la trajectoire). En effet, si le modèle mathématique était faux, l'erreur serait plus grande pour une trajectoire plus grande.

Or, on constate l'inverse, par exemple en Y, pour $T_{rj} = 7,9$ mm l'erreur est de 10%, alors que pour $T_{rj} = 21,3$ mm elle est de 2% seulement.

* Sphères à droite et à gauche :

Les résultats en absolus sont excellents, sauf en Z. Les signes + 0,57 et - 0,52, laissent penser à une erreur d'obliquité du référentiel de mesure.

En relatif, les 44 % s'expliquent par le faible déplacement en Z du côté non travaillant.

6.7.3. Conclusion provisoire

En considérant la bonne concordance des valeurs mesurées et des valeurs calculées pour des trajectoires importantes (voir graphique) rien ne permet de penser que le modèle est faux. Les différences constatées proviennent des aléas de mesure, ce que nous allons essayer de montrer.

6.8. ESTIMATION DES INCERTITUDES DE MESURES

6.8.1. Les sources d'erreurs

On trouve :

Les erreurs liées aux réglages des paramètres de l'articulateur :

- pente condylienne
- angle de Bennett.

Les erreurs liées à la mesure des autres paramètres du modèle :

- la largeur inter-condylienne
- la pente et l'orientation du plan canin
- les coordonnées du point canin
- les coordonnées initiales de la sphère M.

Les erreurs liées à la mesure de la sphère M après déplacement.

Les erreurs liées à la transposition, c'est-à-dire l'erreur sur la mesure du référentiel de calcul. Elles entachent tous les éléments mesurés.

L'erreur induite dans le calcul de θ par les dimensions des cales et leur mise en place.

6.8.2. La nature des erreurs

Certaines de ces erreurs sont "systématiques", c'est-à-dire identiques pour un ensemble de manipulation. A savoir :

- la pente condylienne et l'angle de Bennett (on a introduit les cales sans dérèglement),
- la largeur condylienne,
- le plan canin et le pointeau n'ont pas bougé,
- les erreurs sur la transposition réf.mesure/réf. calcul,
- la hauteur des cales.

D'autres sont "aléatoires", c'est-à-dire que leur valeur et leur sens peuvent changer à chaque manipulation. A savoir :

- la mesure de la position de la sphère M aussi bien initiale, qu'après déplacement,
- la mise en place des cales,
- les aléas de contact :
 - . entre sphères de l'articulateur et logement de sphères,
 - . entre pointeau et surface de guidage.

6.8.3. Le chiffrage des erreurs

6.8.3.1. Utilisation du modèle mathématique pour le calcul de l'erreur

Certaines de ces erreurs se traduisent directement en coordonnées. Exemple : mesure de la sphère M.

Mais les erreurs appartenant aux paramètres du modèle se traduisent par celui-ci.

Hypothèse : un modèle mathématique ne peut être faux qu'à la suite :

- d'une erreur de logique
- d'une erreur dans la formulation ou la résolution mathématique
- d'une erreur de programmation.

On peut penser que de telles erreurs ne peuvent conduire qu'à des différences importantes ou à des valeurs aberrantes.

Les faibles différences constatées permettraient donc de conclure à la validité du modèle.

Si l'on récuse l'hypothèse ci-dessus, on peut prétendre, que le modèle est "légèrement faux".

Si l'on se sert d'un modèle à $5 \cdot 10^{-2}$ (5%) d'erreur, pour le calcul d'une erreur de 5%, l'erreur sur l'erreur sera de $25 \cdot 10^{-4}$ (25 p.mille).

On peut donc se servir du modèle "légèrement faux" pour calculer les incidences des erreurs liées aux paramètres, lors des réglages de la manipulation.

6.8.3.2. Le cumul des erreurs

L'association des erreurs peut avoir un effet "multiplicateur" ou "compensateur" lié à leur expression mathématique dans le modèle, selon que le hasard associe des erreurs ayant des incidences de même sens ou de sens inverse.

Quelle incidence ont : une erreur de + 0,01 mm sur XC, associée à une erreur de - 0,01° sur ρ et α une erreur de + 0,01° sur τ .

Il conviendrait d'étudier toutes les combinaisons, de classer les résultats et d'en choisir les limites raisonnables.

Or, pour 11 paramètres, on a 22 valeurs (min, Max) qui donnent $2^{11} = 2048$ combinaisons, ce qui est matériellement impossible à traiter.

On a donc retenu l'addition arithmétique, mais cette méthode ne peut nous donner qu'un "ordre de grandeur" de l'incidence des divers aléas de manipulation.

6.8.4. Erreur sur la transposition réf. mesure / ref. calcul

* Translation (chapitre 6.3.4) :

Le relevé de mesures fait apparaître une dispersion de l'ordre de $\pm 0,01$ mm sur les 3 coordonnées de la position de la sphère. Cette dispersion représente l'erreur sur la translation.

* Rotation (chapitre 6.3.6) :

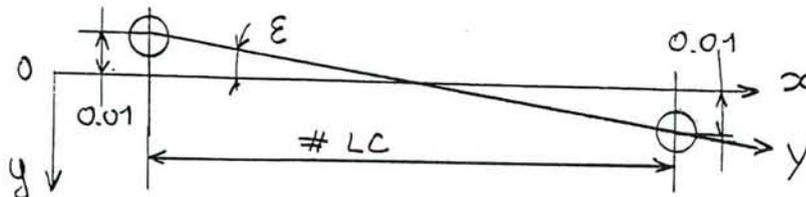


Schéma n° 77

La position des sphères étant connue à $\pm 0,01$ mm, l'erreur angulaire ε de Y dans xoy est :

$$\varepsilon = \text{arc tang. } \frac{0,02}{109} \text{ environ} = 0,01^\circ$$

Hypothèse simplificatrice : cette erreur de $\pm 0,01^\circ$ est applicable aux 3 axes et à toute direction dans le trièdre.

6.8.5. Incidence de l'erreur de réglage de la pente condylienne et de l'angle de Bennett

*** Données :**

Erreur de lecture et de réglage $\pm 2^\circ$

Erreur de position de la graduation $\pm 2^\circ$.

*** Hypothèse simplificatrice :**

L'écart est symétrique $E(X - 2^\circ) = E(X + 2^\circ)$

6.8.5.1. Résultats

* Pente condylienne, Valeur de référence = 40°,

Valeur testée = 42° :

Sphère en bout :

Têta en radian	PCON	X	Y	Z
0,028	40°	258,146	59,855	-99,265
	42°	258,154	59,761	-99,197
Ecart =		0,008	-0,094	-9,197
0,050	40°	257,334	66,241	-104,035
	42°	257,353	66,080	-103,921
Ecart =		0,019	-0,161	0,114
0,074	40°	256,284	73,234	-109,055
	42°	256,318	73,006	-108,897
Ecart =		0,034	-0,228	0,158

Sphère à droite :

0,050	40°	97,134	190,981	-91,694
	42°	97,290	190,991	-91,520
Ecart =		0,156	0,010	0,174

Sphère à gauche :

0,050	40°	105,371	-62,169	-96,893
	42°	105,235	-62,161	-97,054
Ecart =		-0,136	0,008	0,161

*** Angle de Bennett :**

* Angle de Bennett Valeur de réf. 15°
 Valeur testée 17°

Sphère en bout :

Têta en radian	BEN	Y	Y	Z
0,028	15°	258,146	59,855	-99,265
	17°	258,068	59,972	-99,470
Ecart =		-0,078	0,117	-0,205
0,050	15°	257,334	66,241	-104,035
	17°	257,188	66,453	-104,399
Ecart =		-0,146	0,212	-0,364
0,074	15°	256,284	73,234	-109,055
	17°	256,058	73,551	-109,590
Ecart =		-0,226	0,317	-0,535

Sphère à droite :

0,050	15°	97,134	190,981	-91,694
	17°	96,999	191,187	-91,836
Ecart =		-0,135	0,206	-0,142

Sphère à gauche :

0,050	15°	105,371	-62,169	-96,893
	17°	105,241	-61,963	-97,034
Ecart =		0,130	0,206	-0,141

6.8.5.2. Conclusion partielle

On voit pour ces deux paramètres qu'une erreur de 2° a une grande incidence sur le résultat de mesure et permet d'expliquer une partie importante des différences constatées.

6.8.6. Incidence de l'erreur de mesure de la largeur inter-condylienne (chapitre 6.3.5)

*** Données :**

Erreur sur LC = 2 fois l'erreur de 0,01 mm sur les sphères
= ± 0,02 mm.

*** Hypothèse simplificatrice :**

L'incidence est symétrique.

*** Résultats pour $(\theta) = 0,074$ r., sphère en bout :**

	LCON	X	Y	Z
V. de réf.	109,23	256,284	73,234	-109,055
V. testée	109,21	256,283	73,233	-109,054
Ecart =		0,001	0,001	0,001

L'incidence de l'erreur de mesure sur la largeur inter-condylienne est insignifiante.

6.8.7. Incidence de l'erreur sur la mesure de τ et ρ (chapitre 6.4)

6.8.7.1. Estimation de l'erreur angulaire sur τ et ρ

*** Données (hypothèses) :**

Le palpé s'est effectué sur un $\varnothing 18$ mm en a,b,c,d.

L'erreur est de $\pm 0,003$ mm.

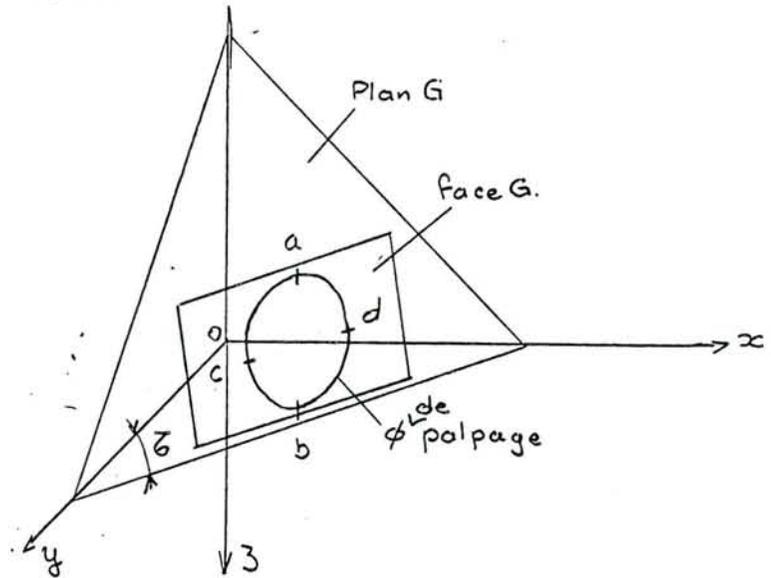


Schéma n° 78

Le palpé en a et b se traduit directement sur la pente ρ .

L'angle de l'erreur a pour valeur :

$$\varepsilon = \arctang \frac{0,006}{18} \text{ soit environ } : 0,02^\circ$$

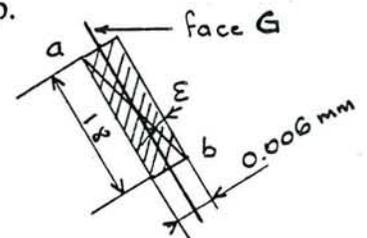


Schéma n° 79

Le palpé en c et d se traduit sur τ :

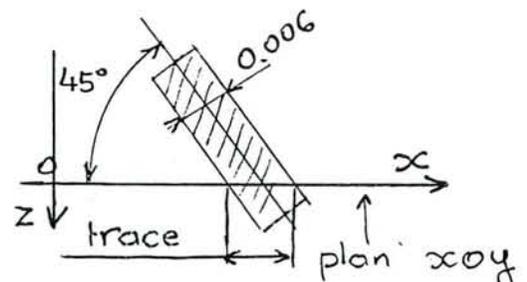
La trace de la zone d'erreur sur xoy

a pour largeur : $0,006\sqrt{2}$

et ε dans xoy :

$$\varepsilon = \arctang \frac{0,006\sqrt{2}}{18} \text{ soit environ } 0,03^\circ.$$

Schéma n° 80



A ces deux erreurs vient s'ajouter l'erreur de rotation lors de la transposition, soit $0,01^\circ$. Finalement :

$$\tau = \pm (0,03 + 0,01) = \pm 0,04^\circ$$

$$\rho = \pm (0,02 + 0,01) = \pm 0,03^\circ.$$

6.8.7.2. Incidence dans le calcul de l'erreur sur τ et ρ

* Hypothèse simplificatrice : L'incidence est symétrique.

* Résultats pour TCAN + $0,04^\circ$

Pos.	Têta en radian	TCAN en degré	X	Y	Z
B2	0,050	44,56	257,334	66,241	-104,035
		40,60	257,337	66,240	-104,028
	Ecart =		0,003	-0,001	0,007
B3	0,074	44,56	256,284	73,234	-109,055
		40,60	256,289	73,233	109,044
	Ecart =		0,005	-0,001	0,011
D	0,050	44,56	97,134	190,981	-91,694
		44,60	97,137	190,981	-91,691
	Ecart =		0,003	0	0,003
G	0,050	44,56	105,371	-62,169	-96,893
		44,60	105,374	-62,169	-96,890
	Ecart =		0,003	0	0,003

* Résultats pour PCAN + 0,03°

Pos.	Tête	PCAN	X	Y	Z
B2	0,050	44,73	257,334	66,241	-104,035
		44,76	257,331	66,241	-104,044
	Ecart =		-0,003	0	0,009
B3	0,074	44,73	256,284	73,234	-109,055
		44,76	256,279	73,234	-109,068
	Ecart =		-0,005	0	0,013
D	0,050	44,73	97,134	190,981	-91,694
		44,76	97,130	190,981	-91,697
	Ecart =		-0,004	0	-0,003
G	0,050	44,73	105,371	-62,169	-96,893
		44,76	105,368	-62,169	-96,897
	Ecart =		-0,003	0	-0,004

* **Total** (combinaison la plus défavorable, si elle existe) :

Position	X	Y	Z
B2	0,006	0,001	0,016
B3	0,010	0,001	0,024
D	0,007	0	0,006
G	0,006	0	0,007

Les erreurs sur la définition du plan canin ont une incidence très faible, voire nulle.

6.8.8. Incidence des erreurs sur la mesure du point canin - pointeau (chapitre 6.5)

6.8.8.1. Données

Le tableau, chapitre 6.5.2, nous donne l'écart type σ des erreurs de mesures.

Pour un écart = $2,5 \sigma$ (probabilité 99%), on obtient :

- sur la position du centre : $2,5 \times 0,05 = 0,250 \text{ mm}$
- sur le rayon : $2,5 \times \frac{0,08}{2} \times \sqrt{2} = 0,15 \text{ mm}$

soit un total = $0,4 \text{ mm}$.

L'erreur sur la transposition est négligeable devant l'importance de cette erreur, due à la difficulté de mesure du bout du pointeau dont la calotte sphérique est trop petite.

6.8.8.2. Résultats

* **Sphère en bout** - calcul de l'incidence d'une erreur de $0,4 \text{ mm}$ sur XCAN, YCAN, ZCAN dans la trajectoire de M.

Tête	Position de ref. de la canine	Ecart en M sur :		
		X	Y	Z
0,050 Cale 2	XC = 60,79	0,004	0,001	0,009
	YC = 67,19	-0,002	0	-0,005
	ZC = -61,06	0,001	-0,001	0,003
0,074 Cale 3	XC = 60,79	0,006	0,001	0,012
	YC = 67,19	-0,002	0	-0,007
	ZC = -61,06	0,002	0	0,004

Total (cas le plus défavorable) :

Tête	X	Y	Z
0,050	0,007	0,002	0,017
0,074	0,010	0,001	0,023

*** Sphères D et G**

Soit la combinaison en XYZ ci-dessous (sur 8 possibles)

$$XC + 0,4, YC + 0,4, ZC - 0,4 \quad (\theta) = 0,050 \text{ r.}$$

Pos. sphère	Position canine :			Incidence en M sur :		
	XC	YC	ZC	X	Y	Z
D	60,39	66,79	-60,66	97,134	190,981	-91,694
	60,79	67,19	-61,06	97,137	190,981	-91,691
	Ecart =			0,003	0	-0,003
G	60,69	66,79	-60,66	105,371	-62,169	-96,893
	60,79	67,19	-61,06	105,374	-62,169	-96,890
	Ecart =			0,003	0	-0,003

On note que les valeurs sont identiques pour D et G.

On retiendra pour tous les cas de figures les valeurs du total sphère en bout.

6.8.9. Incidence de l'erreur sur la mesure de la position initiale de la sphère M (chapitre 6.6.2)

6.8.9.1. Données

- erreur sur le centre d'une sphère $\pm 0,01$ mm
- erreur de transposition sur translation $\pm 0,01$ mm
- erreur de transposition sur rotation $\pm 0,01^\circ$

Cas le plus défavorable :

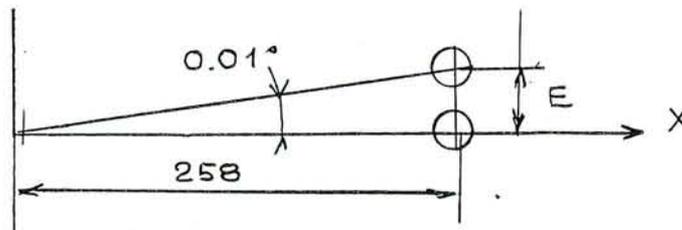


Schéma n° 81

$E = 0,01^\circ$ sur 258 mm ce qui donne environ 0,045 mm
 Total = $0,045 + 0,01 + 0,01 = 0,065$ mm

**6.8.9.2. Différence entre deux calculs montrant
l'évolution de la trajectoire du point M, en fonction de la
valeur initiale de M. pour différent θ**

Ref. pour $\theta = 0$ correspond à la position initiale retenue

Ref. pour $\theta = 0$ correspond à la position initiale entachée de l'erreur

Têta	X			Y			Z		
	Réf.	Test.	D.	Réf.	Test.	D.	Réf.	Test.	D.
0,000	258,967	259,032	0,065	51,775	51,840	0,065	-92,969	-93,034	-0,065
0,020	258,405	258,468	0,063	57,540	57,607	0,067	-97,491	-987,56	-0,066
0,040	257,722	257,783	0,061	63,334	63,403	0,069	-101,89	-101,95	-0,065
0,060	256,918	256,977	0,059	69,152	69,222	0,070	-106,15	-106,22	-0,065
0,074	256,284	256,342	0,058	73,234	73,305	0,071	-109,06	-109,12	-0,066

*** Conclusion :**

La modification de trajectoire est infime et les différences correspondent pratiquement à la différence sur l'origine.

Valeurs retenues pour tous les cas de figures :

X : 0,065 Y : 0,071 Z : 0,066

6.8.10. Incidence de l'erreur sur la détermination de θ à partir des cales (chapitre 6.6.1)

6.8.10.1. Erreur de mesure = E_m

La mesure au micromètre des cales donne une précision à $\pm 0,003$ mm.

6.8.10.2. Erreurs sur la position de la sphère = E_p lors de la mise en place des cales

La position correcte de la cale est appréciée à l'oeil. L'erreur angulaire est estimée à $\pm 2^\circ$.

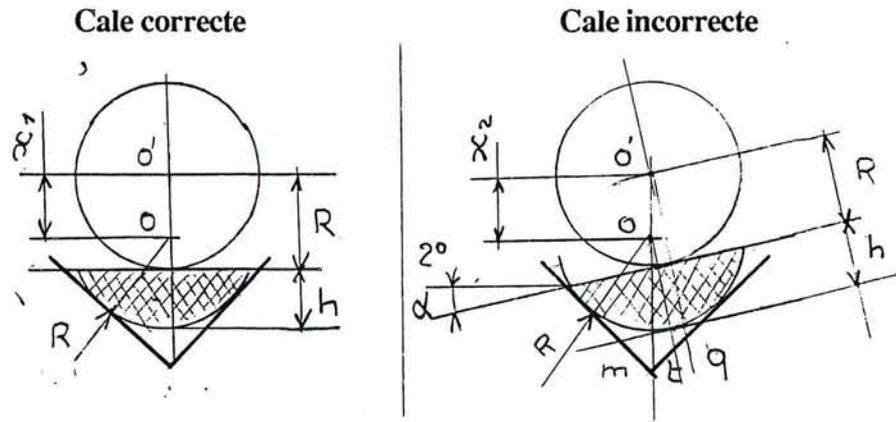


Schéma n° 82

- x_1 = $OO' = h$
 O = position initiale sphère
 O' = position après décalage
 h = hauteur de la cale.

Hypothèse : R logement = R cale = R sphère

$$\text{On a : } O_m = \frac{Oq}{\cos \alpha} = \frac{R}{\cos \alpha}$$

$$O'_m = \frac{O'q}{\cos \alpha} = \frac{R + h}{\cos \alpha}$$

$$\text{et : } x_2 = OO' = O'_m - O_m = \frac{h}{\cos \alpha}$$

et l'erreur due à la position incorrecte de la cale :

$$E_p = x_2 - x_1 = h \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$$

d'où pour $d = 2^\circ$

Cale	h	Ep	Em	Total
1	3,023	0,0018	0,003	0,005
2	5,546	0,0034		0,006
3	8,032	0,0048		0,008

écart retenu quelle que soit la cale : 0,01 mm.

6.8.10.3. Incidence sur X, Y, Z

On sait que :

$$\theta = \arcsin \frac{h}{L} = \frac{0,01}{109} \text{ soit environ } 1.10^{-4} \text{ r}$$

Si l'on considère le tableau de résultats des calculs pour l'incrément $\theta = 0,072 / 0,074 \text{r}$, on trouve pour 1.10^{-4} r :

		X	Y	Z
Sphère B3	Tête 1 = 0,072	256,378	72,650	-108,645
	Tête 2 = 0,074	256,284	73,234	-109,055
	Dif. Tête = 2.10-3	0,094	0,584	0,410
	Dif. Tête = 1.10-4	0,005	0,029	0,020

Sphère D	Tête 1 = 0,072	94,252	194,381	-92,107
	Tête 2 = 0,074	93,988	194,686	-92,140
	Dif. Tête = 2.10-3	0,264	0,305	0,033
	Dif. Tête = 1.10-4	0,013	0,015	0,002

Sphère G	Tête 1 = 0,072	106,800	-58,493	-100,862
	Tête 2 = 0,074	106,927	-58,158	-101,218
	Dif. Tête 1 2.10-3	0,127	0,335	0,356
	Dif. Tête = 1.10-4	0,006	0,017	0,018

*** Conclusion :**

L'incidence dans le calcul de trajectoire de l'erreur sur les cales varie selon le cas de figure de 0,002 à 0,029 mm.

6.8.11. Erreurs sur la mesure de la position de la sphère M après déplacement (chapitre 6. 7.1 et 891)

On a :

- erreur sur le centre d'une sphère $\pm 0,01$ mm
- erreur de transposition :
 - . translation $\pm 0,01$ mm
 - . rotation $\pm 0,01^\circ$

Sphère Tête	X			Y			Z		
	C.	Er.	Et.	C.	Er.	Et.	C.	Er.	Et.
B2	257	0,045	0,065	66	0,012	0,032	104	0,018	0,038
B3	257	0,045	0,065	73	0,013	0,033	108	0,019	0,039
D	97	0,017	0,037	191	0,033	0,053	91	0,016	0,036
G	105	0,018	0,038	62	0,011	0,031	97	0,017	0,037

D'où les calculs :

- C = coordonnées initiales de M
- Er. = écart dû à l'erreur sur la rotation (fonction des coordonnées)
- Et. = écart total.

* Conclusion :

On constate que la prise de mesure de la position de la sphère après rotation est entachée d'une erreur variant selon le cas de figure de 0,031 à 0,065 mm.

6.9. CONCLUSIONS GENERALES

6.9.1. Tableau récapitulatif des incidences des différents aléas sur les coordonnées X, Y, Z en fonction des cas de figures

Position de M	Coord.	PCON	BEN ($\pm 2^\circ$)	LIC	Plan canin	Point canin X _C , Y _C , Z _C	Position initiale de M.	Téta (Cales)	Position finale de M.	Total incertitudes	Différ. mesure calcul
B2	X	0,019	0,146	N é g l i g e a b l e	0,006	0,007	0,065	0,005	0,065	0,31	0,08
	Y	0,161	0,212		0,001	0,002	0,071	0,029	0,032	0,51	0,90
	Z	0,114	0,364		0,016	0,017	0,66	0,020	0,038	0,64	0,15
B3	X	0,034	0,226		0,10	0,010	0,065	0,005	0,065	0,42	0,10
	Y	0,228	0,317		0,001	0,001	0,071	0,029	0,029	0,68	0,38
	Z	0,158	0,535		0,024	0,023	0,066	0,020	0,039	0,87	0,31
D	X	0,156	0,0135		0,007	0,007	0,065	0,013	0,037	0,42	0,14
	Y	0,010	0,206		0	0,002	0,071	0,015	0,053	0,36	0,05
	Z	0,174	0,142		0,006	0,017	0,066	0,002	0,036	0,44	0,57
G	X	0,136	0,130		0,006	0,007	0,065	0,006	0,038	0,39	0,44
	Y	0,008	0,206		0	0,002	0,071	0,017	0,031	0,34	0,04
	Z	0,161	0,141		0,007	0,017	0,066	0,018	0,037	0,48	0,52
Transposition		N	N	N	0	0	0	N	0	N = non O = oui A = aléatoire S = systématique	
Modèle		0	0	0	0	0	0	0	N		
Nature		A ou	S	S	S	S	A	A + S	A		

Remarques :

Oui / Non dans la ligne Transposition, signifie que la mesure est liée au ref. de mesure et subit ou non la transposition Référentiel-mesure \neq Référentiel -calcul.

Oui / Non dans la ligne Modèle signifie que l'erreur affecte un paramètre du modèle mathématique et transite par ce dernier.

Dans la ligne Nature on a noté si l'erreur est Aléatoire ou Systématique (voir chapitre 6.8.2.).

6.9.2. Constatations

- Les erreurs sur le réglage de la pente condylienne et sur l'angle de Bennett ont une incidence majeure. Comparativement les éléments mesurés plan canin, point canin, cales... ont peu d'incidence.
- L'incidence globale sur les coordonnées des diverses incertitudes de manipulation se situe entre 0,3 mm et 0,9 mm.
- **La plupart des mesures de M (après déplacement) se trouvent bien dans la fourchette de l'estimation d'incertitude.**
- Trois valeurs ZD, GX, GZ sont à l'extérieur de la fourchette, mais d'une quantité peu significative.
- Enfin une valeur Y_{B2} est nettement en dehors des dispersions normales provenant d'une manipulation correcte. Il faut donc les attribuer à un "accident" de manipulation. On pense en particulier à une mauvaise mise en butée du logement de gauche.

6.9.3. Conclusions générales concernant la manipulation

Il apparaît que la confirmation par "simulation physique" d'un modèle mathématique de mouvement :

- permet de détecter des erreurs grossières dans la modélisation, et donc ici de déclarer que le modèle n'est pas faux.
- mais ne permet pas de conclure dans l'absolu à l'exactitude de ce dernier, à cause des incertitudes de mesure.

CONCLUSION

Pour atteindre les objectifs fixés, nous avons établi un ensemble d'équations mathématiques permettant de calculer les trajectoires des dents mandibulaires lors d'un mouvement de latéralité sur un articulateur semi-adaptable.

La complexité du problème nous a conduits à poser un certain nombre d'hypothèses simplificatrices.

La longueur du trajet curviligne de la pointe canine mandibulaire sur la face palatine maxillaire nous permet de l'assimiler à un segment de droite.

Dans le calcul de l'interférence, la cuspide mandibulaire, dont le sommet est considéré comme une sphère, se déplace le long du sillon d'échappement maxillaire constitué par deux plans sécants.

Cette modélisation géométrique, et le fait que toutes les valeurs ont été calculées dans le cas d'un patient standard, nécessitent de considérer les résultats, non pas dans leur exactitude absolue, mais seulement dans leur valeur relative.

L'expérimentation métrologique semble confirmer la logique du raisonnement par les résultats obtenus.

Elle a également permis de mettre en évidence certaines imperfections de fabrication des articulateurs et les imprécisions de manipulation lors de leur mise en oeuvre.

Toute manipulation est génératrice d'erreurs plus ou moins significatives.

Conclusions spécifiques à l'utilisation d'un articulateur semi-adaptable :

- Lors d'un mouvement de latéralité limité, les trajectoires des dents mandibulaires peuvent être considérées comme **rectilignes**.
- Chaque déterminant de l'occlusion a un rôle variable sur les déplacements. Ils sont classés par ordre d'importance :
 1. La pente de la canine maxillaire est prédominante.
 2. L'angle de Bennett, l'orientation du plan d'occlusion, la pente condylienne, la position de la canine sur l'arcade ont une incidence modérée sur les mouvements.
 3. Comme le pensent certains auteurs (SPIRGI, PASTANT, BRENDER, FERRAZZINI) (22), la position de l'axe charnière arbitraire situé dans un rayon de 5 mm par rapport à l'axe réel influence peu les mouvements.
 4. Enfin, la largeur inter-condylienne est un paramètre négligeable.

L'étude de l'interférence a permis de déduire la programmation arbitraire offrant le maximum de sécurité en denture naturelle et en prothèse fixée :

Pente condylienne : 20°

Angle de Bennett : 15°

Conclusion générale :

Tous les calculs ont été effectués pour un déplacement de 1,5 mm. Lorsque la protection canine est de bonne qualité, la désocclusion des secteurs cuspidés est souvent obtenue après seulement 0,5 mm.

Les trajectoires étant rectilignes, tous les résultats sont proportionnels au déplacement. Ainsi, dans les cas favorables, on peut considérer que les valeurs des erreurs enregistrées ne représentent que le tiers des valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

Il apparaît donc que les erreurs dues au montage du modèle mandibulaire sont prédominantes (jusqu'à 10 fois supérieures).

Tableau récapitulatif des erreurs maximales relevées par rapport à une programmation de référence :
Pente condylienne 40°, Angle de Bennett 15°, Largeur inter-condylienne 110 mm
Plan d'occlusion 10°, Tangente canine 35°, Pente canine 45°

	Erreur maximale en mm	Variation du déterminant étudié
Pente condylienne	0,10	10°
Angle de Bennett	0,10	5°
Largeur inter-condylienne	0,06	10 mm
Plan d'occlusion	0,09	10°
Tangente canine	0,05	5°
Pente canine	1,20	5°
Axe charnière	0,07	5 mm

La précision recherchée lors d'une programmation doit faire suite à une chaîne technologique menée avec une extrême rigueur.

Les empreintes, leur traitement au laboratoire, l'enregistrement des rapports inter-maxillaires et le montage des modèles doivent être réalisés avec une grande précision, sinon la programmation semble injustifiée.

Le montage du modèle mandibulaire à l'aide d'une cire d'épaisseur minima apparaît capital. Un enregistrement avec une cire trop épaisse peut alors justifier la recherche d'un axe réel pour éliminer l'erreur de WEINBERG.

Lorsque la protection canine est favorable et que le résultat de chaque étape clinique est de qualité, l'utilisation d'un articulateur programmé arbitrairement à 20°/15°, et avec un axe charnière arbitraire, permet de mener à bien le réglage de l'occlusion d'une grande majorité des cas de prothèses conjointes.

L'étude réalisée a permis de mieux comprendre le fonctionnement d'un articulateur semi-adaptable de première génération.

Il est possible de définir des trajectoires courbes, ainsi que d'intégrer le mouvement latéral immédiat dans la formulation mathématique.

Une étude plus approfondie des articulateurs semi-adaptables peut donc être envisagée. Celle-ci permettrait de connaître l'ensemble de leurs possibilités et de leurs indications.



BIBLIOGRAPHIE

1. BACIN (R.)

Contribution à l'étude de l'angle de l'inclinaison condylienne.
Thèse : 3è cycle Sciences Odontol. : Lyon; 1981

2. BENNETT (N.G.)

A contribution to the study of the movements of the mandible.
April 27, 1908. Proceedings of the Royal Society of Medicine,
Section of Odontology.
J. Prosth. Dent., 1958, 8 : 1

3. CAIZERGUES (P.), DIEVAL (D.), TOUBOL (J.P.)

Programmation des articulateurs semi-adaptables de deuxième
génération à l'aide de mordus et d'enregistrements graphiques.
Cah. Prothèse, 1980, 31 : pp. 105-117

4. CATHERINE (M.)

Contribution à l'étude de la pente condylienne et du mouvement
immédiat de Bennett chez l'adulte denté.
Thèse : Chir. Dent. : Aix Marseille II, 1980

5. CHARTREUX (G.), CHEMIN (T.)

L'axe charnière terminal : comparaison entre sa localisation
cinématique et sa localisation arbitraire. Vérification téléradiographique
de son exactitude.
Thèse : Chir. Dent. : Nancy, 1981

6. CHOU (T.M.), PAMEIJER (C.H.)

An investigation of the reproducibility of articulators.
J. Prosth. Dent., 1987, 58 ; pp. 442-448

7. DABADIE (M.), LE BOURBES (F.)

Axe charnière et enregistrements des mouvements condyliens en
prothèse adjointe.
Cah. Prothèse, 1989, 64 : pp. 25-33

8. DURANT (B.M.)

Pente condylienne et protrusion.

Thèse : 3^e cycle Sciences Odontol. : Lyon; 1975

9. GEOFFROY (J.L.)

Etude comparative de deux systèmes de montage du modèle supérieur sur articulateur : table de montage et arc facial de transfert.

Thèse : Chir. Dent. : Nancy; 1985

10. GIBBS (C.H.), MESSERMAN (T.), RESWICK (J.B.), DERDA (H.J.)

Fonctional movements of the mandible.

J. Prosth. Dent., 1971, 26 : pp. 601-610

11. LAVIGNE (J.), SPIRGI (M.)

Etude du mouvement d'ouverture mandibulaire en rétrusion.

Schweig. Mschr. Zahnheilk., 1972, 88 : pp. 671-705

12. LEE (R.L.)

Jaw movements engraved in solid plastic for articulators controls.

J. Prosth. Dent., 1969, 22 : pp. 209-513

13. LIGIER (F.)

A propos de l'angle de Bennett.

Cah. Prothèse, 1977, 20 : pp. 101-112

14. LUCCHINI (J.P.), LAVIGNE (J.), SPIRGI (M.), MEYER (J.M.)

La relation centrée. Contribution à l'étude de la fiabilité de trois matériaux d'enregistrement inter-occlusaux.

Schweiz. Mschr. Zahnheilk., 1975, 85 : pp. 229-238

15. LUNDEEN (H.C.), SHRYOCK (E.F.), GIBBS (C.H.)

An evaluation of mandibular border movements : their character and significance.

J. Prosth. Cent., 1978, 40 : pp. 442-452

16. MALOT (J.)

A propos de l'axe charnière.

Chir. Dent. Fr., 1973, 185 : pp. 57-59

17. MANI (G.)

Système simplifié d'enregistrement du trajet condylien et du mouvement latéral immédiat.

Schweiz. Mschr. Zahnheilk., 1984, 94 : pp. 1241-1248

18. MARGUELLES BONNET (R.), YUNG (J.P.)

Pratique de l'analyse occlusale et de l'équilibration.

Paris : C.d.p. Editeur , 1984, 271 p.

19. MARTIN (J.)

Cours de mathématiques.

Paris : Dunod, 1986, 717 p.

20. MOREAU (N.P.)

Essai sur la morphologie occlusale et les déterminants de l'occlusion.

Cah. Prothèse, 1975, 10 : 97-108

21. MOREAU (N.P.)

A propos de l'axe oblique de rotation du condyle travaillant. Etude pantographique et preuve géométrique.

Cah. Prothèse, 1974, 5 : pp. 79-89

22. PASTANT (A.), BRENDER (P.), SPIRGI (M.), FERRAZZINI (G.)

Axe charnière localisé ou axe charnière conventionnel ?

Tirage à part de Schweiz. Mschr. Zahnheilk., 1978, 18 p.

23. RIVIERE (J.)

Turbo Pascal et son environnement.

Paris : Dunod, 1989, 388 p.

24. SCORTECCI (G.)

La programmation d'un équivalent mécanique de l'appareil manducateur.

Thèse : 3^è cycle : Sciences Odontol. : Paris; 1983

25. SIMEONI (H.), SUSINI (G.), PANTOLINI (J.)

Analyse de la cinésiologie de l'A.T.M.

Cah. Prothèse, 1989, 63 : pp. 57-62

26. SLAVICEK (R.)

Rev. Orthop. dent. fac., 1983, Vol 17, n° 4

27. SLAVICEK (R.), LUGNER (P.)

Détermination de l'angle de Bennett à partir d'un tracé sagittal.

Cah. Prothèse, 1987, 31: pp. 87-102

28. SLAVICEK (R.), LUGNER (P.)

Rapport entre l'articulateur semi-adaptable et la relation anatomique crânienne. Analyse mathématique et mécanique.

Cah. Prothèse, n 1982, 37 : pp. 137-147

29. SLAVICEK (R.), LUGNER (P.)

Rapport entre l'articulateur semi-adaptable et la relation anatomique crânienne. Analyse mathématique et mécanique.

Cah. Prothèse, 1982, 38 : pp. 133-154

30. SLAVICEK (R.), LUGNER (P.)

Rapport entre l'articulateur semi-adaptable et la relation anatomique crânienne. Analyse mathématique et mécanique.

Cah. Prothèse, 1982, 39 : pp. 127-147

31. TURBO PASCAL

Manuel d'utilisation.

Paris : Borland, 1988, 372 p.

32. TURBO PASCAL

Manuel de référence.

Paris : Borland, 1988, 712 p.

33. WEINBERG (L.A.)

The Transverse hinge axis : real or imaginary.

J. Prosth. Dent., 1959, 9: pp. 755-787.



GLOSSAIRE

AJUSTEMENT

Opération de correction effectuée par le prothésiste sur une prothèse montée sur articulateur.

CONTRAINTE D'UN MOUVEMENT

Lois géométriques et mécaniques auxquelles ces mouvements sont astreints.

COSINUS DIRECTEUR D'UN VECTEUR

Valeur des projections, sur les 3 axes, d'un vecteur unitaire. Ils définissent l'orientation de ce vecteur.

DEGAUCHISSAGE

Prendre pour les mesures d'une pièce un référentiel de mesure défini sur la pièce elle-même.

INCREMENTATION

Ajouter à une valeur initiale M fois une valeur constante faible, appelée PAS de progression ou incrément.

INTERPOLATION

Dans une série de valeurs mesurées ou calculées suivant une loi donnée, déterminer une valeur intermédiaire, à deux valeurs consécutives de cette série, par approximation.

GUIDAGE

Élément qui conditionne la nature du mouvement d'un autre élément.

GUIDAGE MECANIQUE

Le guidage est qualifié de mécanique car il est obtenu par le mécanisme de l'articulateur.

GUIDAGE PHYSIOLOGIQUE

Par opposition au précédent, le guidage est réalisé par les modèles en plâtre du patient en contact (guidage canin).

VECTEUR

Il est défini par :

- un axe qui le porte
- une origine
- un sens sur cet axe
- une intensité ou longueur ou NORME.

VECTEUR DIRECTEUR D'UN PLAN

C'est le vecteur orthogonal, ou plan, passant par l'origine du système de coordonnées et définissant l'orientation du plan dans l'espace.

SIGNES MATHÉMATIQUES

- \wedge produit vectoriel
- $||$ bornes de la matrice
- \in appartient
- $*$ multiplication en informatique.



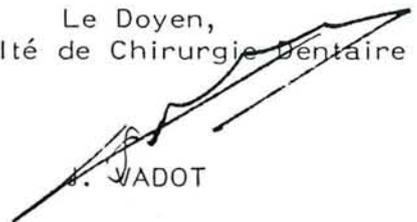
VU

NANCY, le 9 Mai 1990

Le Président du jury,


M. DIRAND

Le Doyen,
de la Faculté de Chirurgie Dentaire


J. VADOT

AUTORISE A SOUTENIR ET IMPRIMER LA THESE

NANCY, le 21 MAI 1990 n° 1005

Le Président de l'Université de NANCY I



Cette Thèse a été réalisée par : _____

MARC et FILS s.a.

21, Rue des Carmes

54000 NANCY

☎ 83.35.29.36

ADRIEN (Pascal)

SCHOUVER (Jacques).- Etude de la trajectoire des faces occlusales mandibulaires sur articulateur semi-adaptable par simulation mathématique en fonction de la programmation des déterminants de l'occlusion. Etude expérimentale métrologique/ par SCHOUVER (Jacques) et ADRIEN (Pascal).

Nancy, 1990 : 233 f. : ill. ; 30 cm.

Th. : 3è cycle : Sc.odontol. : Nancy : 1990

MOTS CLEFS :

1. Articulateurs semi-adaptables
2. Déterminants de l'occlusion
3. Mouvement latéral des dents mandibulaires
4. Calcul de Weinberg.

90 NAN 1
3403/4

ADRIEN (Pascal), SCHOUVER (Jacques).- Etude de la trajectoire des faces occlusales mandibulaires sur articulateur semi-adaptable par simulation mathématique en fonction de la programmation des déterminants de l'occlusion. Etude expérimentale métrologique.

Th. : 3è cycle : Sc. odontol. : Nancy : 1990

Cette étude a eu pour but de mesurer les déplacements des dents mandibulaires dans l'espace lors d'un mouvement de latéralité sur un articulateur semi-adaptable. Les trajectoires des dents sont fonction de la programmation des différents déterminants de l'occlusion.

Ces déterminants sont au niveau antérieur : l'orientation du plan d'occlusion, la pente canine, la position de la canine sur l'arcade.

Au niveau postérieur : la pente condylienne, l'angle de Bennett, la largeur inter-condylienne, la position de l'axe charnière arbitraire par rapport à l'axe réel.

Une analyse mathématique a permis de calculer la trajectoire dans les trois phases de l'espace de n'importe quelle dent mandibulaire, quelles que soient les valeurs des déterminants de l'occlusion.

Afin de comparer les résultats obtenus à d'autres erreurs commises lors de l'utilisation des articulateurs semi-adaptables, l'étude de l'enregistrement des rapports inter-maxillaires, couramment appelée Calcul de Weinberg, a été reprise.

Enfin, une étude expérimentale métrologique a été réalisée pour vérifier l'exactitude du calcul mathématique.

JURY : Président : Mr le Professeur M. DIRAND

Assesseurs : Mr le Professeur M. VIVIER
Mr le Professeur D. ROZENCWEIG
Mr le Docteur L. BABEL
Mr le Docteur J. COLIN

ADRESSE des AUTEURS :

Mr P. ADRIEN, 23 rue de la Salle - 54000 NANCY

Mr J. SCHOUVER, 11 avenue de Lattre de Tassigny - 57000 METZ