

Un procédé d'enregistrement tri-dimensionnel des mouvements de la mandibule chez l'homme

M.Th. VERKINDERE, X. ALZIEU, J.Ph. LODTER

Faculté de Chirurgie Dentaire, 3, chemin des Maraîchers, 31062 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

La cinématique mandibulaire est complexe. Un procédé, à vocation spatiale, permettant l'analyse des mouvements dans les 3 dimensions de l'espace, est adapté à l'étude des mouvements mandibulaires.

Les différentes technologies utilisées sont évoquées: caméras électroniques, rayonnement infra-rouge, réflecteurs permettent d'enregistrer les déplacements de points situés sur la mandibule et sur la face.

Le traitement informatique des données permet une analyse très précise et très fine de la trajectoire mandibulaire dans les 3 sens de l'espace.

Un essai est réalisé sur un patient sur lequel sont enregistrés des mouvements de mastication présentés à titre d'exemple.

Le système VICON, technologie d'avant-garde, devrait permettre d'approfondir nos connaissances fondamentales de la physiologie mandibulaire.

MOTS-CLÉS:

Mandibule - Cinématique - Mouvements - Espace - Mastication

SUMMARY

A 3 dimensional process of recording the human mandible movements.

Our system belongs a general process made by the C.N.E.S. (Centre National d'Etudes Spatiales) in Toulouse; it records and measures the movements of body and limbs of spacemen. A test of this process is adapted for movements of mandible.

The system uses a various instrumentation: two electronic cameras; infra-red rays; reflectors; a multiplexor case; a magnetoscope; a dimultiplexor; a computer; two screens of control.

Four reflectors are fixed on the face of subject; two others are fixed on a metallic system that is glued on the buccal face of inferior canines. These reflectors record the specific movements of mandible.

Usual mastication and mastication on one side inturn are recorded in a young man with his natural teeth.

Some graphs are showed for example. A data processing system measures the trajectory of mandible in the three dimensions of space, according to time and rapidity of movement.

This video data processing seems to be a good method to analyze movements of mandible and mastication.

KEY WORDS:

Mandibule - Movements - Space kinematic - Mastication

INTRODUCTION

La cinématique mandibulaire est complexe. Les techniques utilisées pour l'enregistrer et l'analyser la déforment souvent ou bien n'en montrent qu'un aspect. Les chercheurs font cependant preuve de beaucoup d'ingéniosité pour tenter d'appréhender cette cinématique. Citons quelques techniques.

Les enregistrements cinématographiques d'Ahlgren (1966) et de Duxbry et Rothwell (1973) mettent en évidence les erreurs entraînées par la mobilité des tissus mous.

La radiotéléométrie est utilisée par Thomson et Mac Donald et Bando et al. (1972) pour évaluer la distance interocclusale.

Salomon et al. (1979) fixent une source radioactive sur le menton et suivent son déplacement.

Hannam et al. (1977) associent l'étude des déplacements d'un aimant fixé sur la face vestibulaire des incisives inférieures à l'enregistrement électromyographique de l'activité électrique des muscles élévateurs de la mandibule.

Jemt et Karlson (1982) mettent au point un système qu'ils nomment « SELSPOT ». Ce procédé consiste à filmer au moyen de 2 caméras les déplacements de diodes lumineuses fixées l'une sur les incisives inférieures de l'individu, les autres sur ses lunettes.

Ces 2 derniers procédés font appel à l'informatique pour traiter les différentes données enregistrées.

Mais le procédé mis au point au C.N.E.S. à Toulouse paraît particulièrement intéressant pour les Odontologues. Il s'agit d'un système à vocation spatiale destiné aux astronautes, qui enregistre les mouvements généraux du corps et des membres dans l'espace. Une analyse des mouvements dans les 3 dimensions de l'espace est réalisée; un procédé informatique traite les paramètres enregistrés. Notre but est d'adapter cette méthode à l'analyse des mouvements mandibulaires.

MATÉRIEL

L'analyse des mouvements dans les 3 dimensions de l'espace fait appel à de multiples technologies et instruments:

Tableau n° 1:

- caméras électroniques	- magnétoscope
- rayonnement infra-rouge	- démultiplexeur
- réflecteurs	- calculateur
- boîtier multiplexeur	- écrans de contrôle

Les mouvements sont filmés par 2 caméras électroniques. Elles sont placées judicieusement pour que par triangulation l'étude soit possible dans les 3 dimensions de l'espace.

Les caméras captent un rayonnement infra-rouge produit par des diodes électro-luminescentes (LEDS) et réfléchi par les réflecteurs placés sur le sujet.

Le rayonnement infra-rouge a une longueur d'onde de 840 nm et une puissance de 1 watt par mètre carré à un mètre. Deux diodes électroluminescentes sont utilisées, chacune située au-dessus de l'optique de chaque caméra. L'utilisation de l'éclairage infrarouge nous place hors du spectre de la lumière ambiante et limite les risques d'interférence lumineuse et les parasites par rapport aux réflecteurs (De Beer, 1954).

Les réflecteurs sont constitués d'un papier réfléchissant grâce à une couche de microbilles de verre. Ils sont placés sur le visage du sujet et sur un montage métallique solidarisé à la mandibule par des « brackets » d'orthodontie collés sur la face vestibulaire des canines inférieures (Figure n° 1).

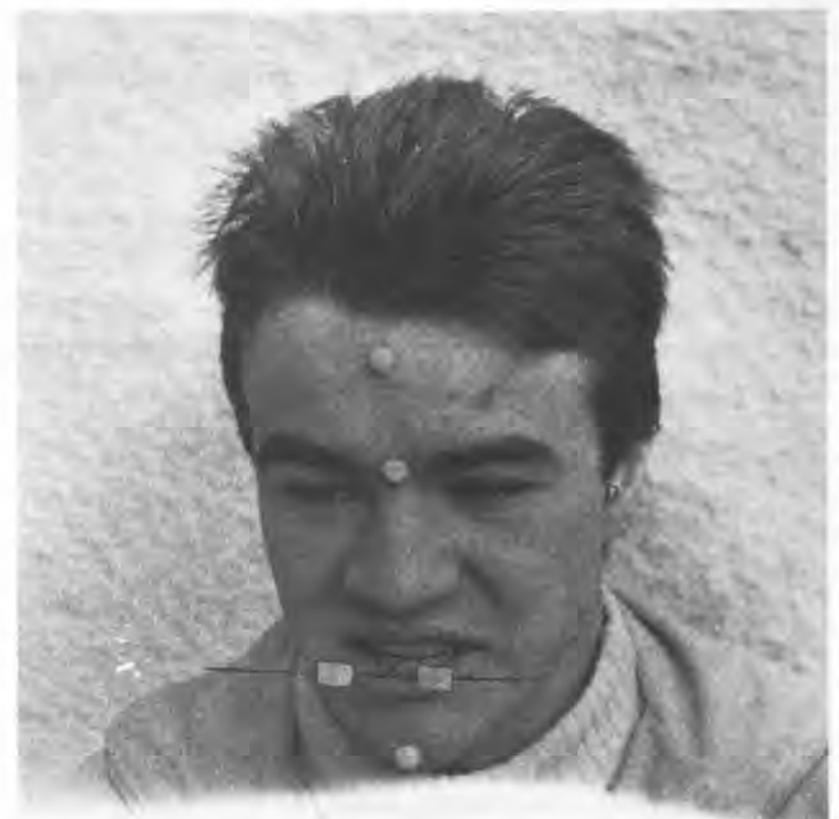


Fig. 1: Emplacement des réflecteurs sur le visage du sujet
Fig. 1: Position of reflectors on the face of subjects.

Les deux réflecteurs fixés sur ce montage métallique permettent l'amplification des mouvements mandibulaires rapportés aux réflecteurs fixes situés sur la face.

Un boîtier électronique multiplexeur capte et mélange les signaux vidéo des 2 caméras pour en tirer un signal unique enregistré sur magnéto-scope. L'utilisation du magnéto-scope permet de différer la lecture et l'analyse des signaux. Ce procédé est indispensable pour les vols spatiaux, les tracés étant analysés après le retour au sol.

Un boîtier électronique démultiplexeur sépare les données captées par la 1ère et la 2ème caméra afin de comparer les données obtenues par chacune d'elles. Les 2 messages enregistrés sur la même bande magnétique retrouvent leur identité propre et peuvent subir le traitement informatique.

Le calculateur traite les images numérisées. Les calculs sont enregistrés en mémoire, sur disque dur.

Les courbes représentant les mouvements des différents points réfléchissants sont observables sur un écran couleur et imprimées par l'intermédiaire d'une table traçante couleur également.

Deux écrans de contrôle reproduisent la prise de vue faite par les caméras et permettent de vérifier les enregistrements au moment où ils sont réalisés.

Un calibrage initial du système est indispensable si l'on veut réaliser une analyse quantitative des mouvements enregistrés. Ce calibrage est effectué au moyen d'un référentiel constitué par un montage métallique plan dont les données métriques et angulaires sont connues, sur lequel sont placés neuf réflecteurs.

RÉSULTATS

Un enregistrement d'essai est effectué sur un homme de 22 ans ayant sa denture complète et saine. Les réflecteurs sont disposés sur le visage (figure 1) et numérotés comme suite:

- * marqueur n° 1 = frontal, sur la ligne médiane, à la hauteur des sourcils.
- * marqueur n° 2 = nasal, au sommet de la pyramide nasale, à la hauteur des pupilles, sur la ligne médiane également.
- * marqueur n° 3 = fixé sur le montage métallique, à l'extrémité droite.
- * marqueur n° 4 = fixé sur le montage métallique, à l'extrémité gauche.

- * marqueur n° 5 = mentonnier, en regard du point mentonnier.
- * marqueur n° 6 = articulaire, situé sur l'axe charnière gauche.

Le patient est assis, légèrement de profil, dans le champ des caméras.

Les mouvements exécutés sont les suivants:

- mouvements d'ouverture moyenne et d'ouverture maxima.
- mouvements de latéralité maxima à droite et à gauche, en maintenant les contacts dentaires.
- mastication habituelle, puis de chacun des côtés, imposés à tour de rôle; deux aliments sont mastiqués successivement, une noisette enrobée de chocolat de type M and M'S, aliment dur, et un cube de fromage calibré, de 15 mm de côté, aliment mou.

Les séquences enregistrées sont contrôlées, et ne sont stockées dans la mémoire du disque dur que si elles sont correctes.

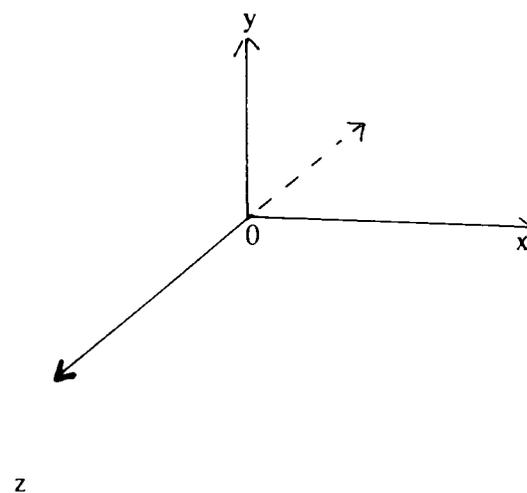
Le traitement des résultats dans les 3 dimensions de l'espace exige que celui-ci soit référencié avec un repère orthonormé:

(0, \vec{x}) est l'axe des « x ».

(0, \vec{y}) est l'axe de « y ».

et (0, 2) celui des profondeurs « z ».

Nous obtenons ceci:



Les axes correspondent à la façon dont est calibré le référentiel. Tout mouvement, et ses dérivés par rapport au temps, (vitesse et accélération) peut être étudié par rapport à un de ces axes.

Nous présentons pour l'exemple 3 tracés

- a- l'un de mastication habituelle d'un aliment dur dans les 3 dimensions de l'espace (figure n° 2)
- b - l'autre de mastication unilatérale à gauche du même aliment: (figure n° 3).

c- le troisième met en évidence la vitesse des déplacements des marqueurs, au cours de la mastication habituelle d'un aliment dur (figure n° 4).

a - Mastication habituelle d'un aliment dur, visualisation en trois dimensions (figure n° 2).

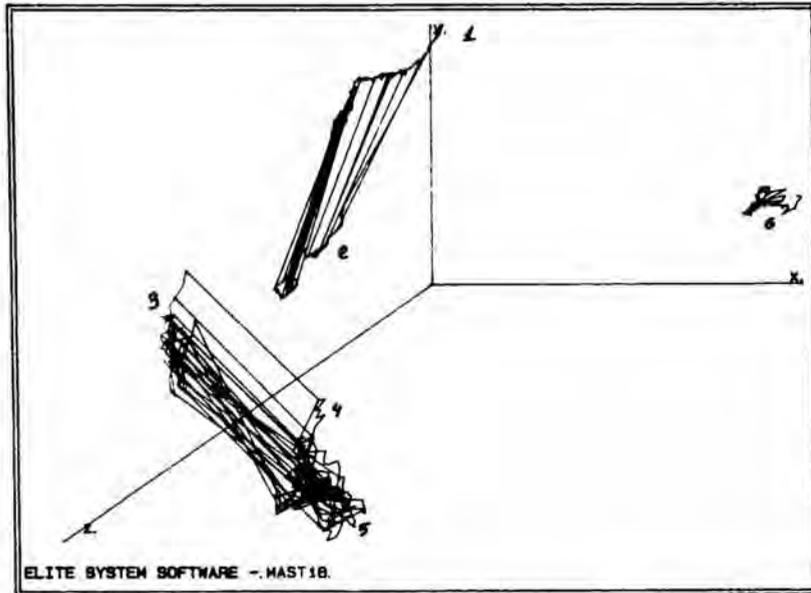


Fig. 2: Mastication habituelle d'un aliment dur dans les 3 sens de l'espace.
Fig. 2: Habitual mastication of a hard food in 3 dimensions of space

Dans ces courbes, la représentation des liaisons vectorielles est faite toutes les 8 images (8/25ème de seconde). Il est possible de comparer les positions que les marqueurs reliés occupent au même instant.

Il y a mise en évidence de la sinusoïde qu'effectue la mandibule dans l'espace, tracé voisin de celui de Posset, et éloigné d'un simple mouvement de haut en bas.

b. - Mastication unilatérale à gauche d'un aliment dur, selon $y=f(t)$

Cet enregistrement permet une analyse qualitative et quantitative de la mastication. Il met en évidence (figure n° 3):

- la stabilité des marqueurs fixés sur le massif facial (1-2-6) vis à vis de la mobilité des marqueurs mandibulaires (3-4-5) et la possibilité de quantifier le mouvement de chacun d'eux.
- la différence d'amplitude du mouvement du côté travaillant et du côté balançant, et la différence entre marqueur cutané et marqueurs dentaires mandibulaires.
- la durée du cycle masticateur, celle de la phase d'ouverture et de la phase de fermeture.

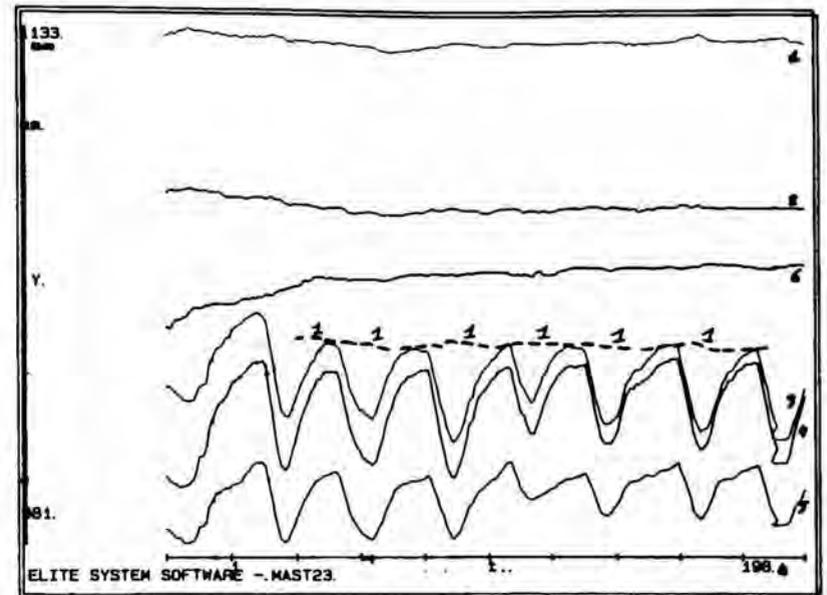


Fig. 3: Mastication unilatérale à gauche d'un aliment dur.
Fig. 3: Unilateral mastication on the left side of a hard food.

- l'amplitude du mouvement en fonction de l'aliment et de l'instant choisi de la séquence masticatrice.

c. - Mastication habituelle d'un aliment dur, selon $V_y(z) = \text{vitesse des marqueurs en fonction du temps, selon l'axe } y$ (figure n° 4).

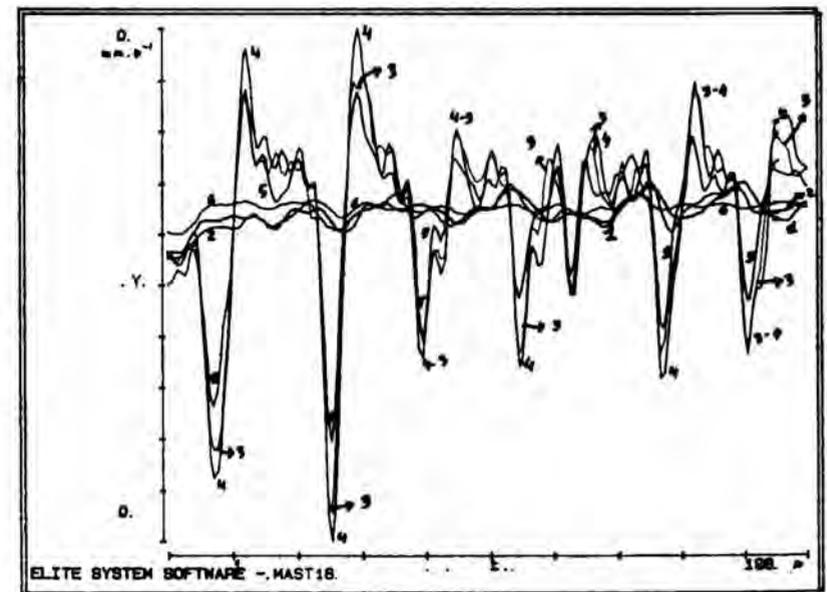


Fig. 4: Mastication habituelle d'un aliment dur: vitesse de déplacement des marqueurs.
Fig. 4: Habitual mastication of a hard food: speed of reflector's moving.

Cette courbe met en évidence la vitesse des mouvements d'ouverture et de fermeture, les vitesses sont maximales aux points d'inflexion, l'un lors de l'ouverture, l'autre lors de la fermeture.

La comparaison des vitesses d'ouverture et de fermeture en fonction de l'aliment ou du mouvement de la séquence masticatrice peut être réalisé.

CONCLUSIONS

La présentation de ces 3 tracés permet de juger de la multitude d'informations qui peuvent être recueillies grâce au procédé décrit. Le système VICON permet l'observation précise et rigoureuse de la trajectoire mandibulaire dans les 3 dimensions de l'espace en fonction du temps, et de la vitesse du déplacement.

Certaines améliorations peuvent être apportées au procédé, comme le placement d'un marqueur référentiel sur un point fixe étranger à l'individu, ou un enregistrement électromyographique de l'activité des muscles masticateurs simultanément de l'enregistrement des trajectoires mandibulaires.

Le système VICON offre des perspectives très nombreuses et très vastes, mais il reste un procédé lourd en matériel et réservé de ce fait à quelques études fondamentales ponctuelles.

Cependant, le CNES est par vocation un organisme de mise au point et de développement de technologies d'avant-garde. L'application de celles-ci à l'Odontologie peut permettre de parfaire nos connaissances.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ahlgren, J. — Mechanisms of mastication. *Acta Odontol. Scand.*, 24, suppl. 44: 1966.
- [2] Bando, E., Fukushima, S. et Kawabata, H. — «Continuous observation of mandibular positions by telemetry». *J. Prosth. Dent.* Vol. 28, pp. 485-490, 1972.
- [3] De Beer. — Comment corriger la mise au point lorsqu'on emploie un film I.R. *Photo Revue la Semeuse*. Etapes pp. 335-336, 1954.
- [4] Duxbury et Rothwell — «A digital optoelectronic method for reading mandibular movements in association with oral electromyograms and temporo-mandibular joint noises». *J. Dent. Res.*, 52: pp. 932, 1973.
- [5] Hannam, A.G., Scott, J.D. and Decou, R.E. — «A computer-based system for the simultaneous measurement of muscle activity and your movements during mastication in man». *Archs. Oral Biol.*, Vol. 22: pp. 17-23, 1977.
- [6] Jemt, T. et Karlson, S. — «Computer-analysed movements in three dimensions recorded by light emitting diodes». *J. Oral Rehabil.*, Vol. 9: pp. 317-326, 1982.
- [7] Salomon, J.A. et Waysenson, P.D. — «Computer-monitored radionuclide tracking of three dimensional mandibular movements». Part. I: Theoretical approach. *J. Prosth. Dent.*, Vol. 41, 3: pp. 340-343, 1979. Part. II: Experimental setup and preliminary results. Posselt diagram. *J. Prosth. Dent.* Vol. 41, 4: pp. 463-469, 1979.
- [8] Thomson, J.C. et Mac Donald, N.S. — «Monitoring mandibular posture» *J. Biomed.*, 2: pp. 319-323, 1969.