

Journ  
Nov 1976

1

F. Duret

I

## Analyse d'images holographiques dentaires en vue de la commande des systèmes automatiques

---

Actuellement la seule méthode utilisée en dentisterie pour reproduire une dent ou le maxillaire avec précision ( 200 à 500 $\mu$ m ) est l'empreinte négative à l'aide de matériaux plus ou moins élastiques, le positif étant constitué par la dent du patient. Cette méthode utilisée depuis plus de 300 ans n'a subi aucune modification fondamentale, les seuls progrès techniques apportés l'ayant été au niveau des pâtes d'empreintes. (Fig 1) (2)

En fait le véritable problème, c'est à dire la cause physique de l'imprécision de la mesure n'a jamais été abordée. En effet pour résoudre ( ~~réduire~~ ) cette question d'imprécision il faut diminuer les échanges énergétiques entre le système négatif, le système positif et les autres systèmes environnants, tout en diminuant les modifications d'énergie interne du système négatif. (Fig 2) (2)

Ceci revient à essayer de conserver l'enthalpie de l'ensemble considéré à une valeur fixe, ce qui n'est pas réalisé actuellement dans cette méthode car l'énergie libre est modifiée lors de la mise en contact du produit de prise d'empreinte avec les autres systèmes et l'entropie du système négatif est modifiée lors de la fixation du moulage ( modification moléculaire ).

Il faut donc, pour éviter de modifier l'enthalpie, utiliser un système ayant peu d'échanges avec les systèmes environnants et ne subissant pas de modification de structure.

Plus un système est simple, moins il est sensible aux variations d'énergie libre et de l'entropie, c'est pourquoi le quantum énergétique nous semble convenir le mieux.

Nous avons choisi comme système négatif l'onde laser et son interférence afin de conserver son aspect tridimensionnel à notre image.

Ainsi pour mesurer notre objet et faire une étude de forme nous projettons un faisceau ( laser ) sur la dent. Celui-ci après avoir frappé la cible revient sur une plaque holographique en interférence avec une onde de référence. Cette dernière onde ayant pour but de reconstituer l'image virtuelle à la révélation. Elle permet également la mesure de la distance parcourue par le faisceau réfléchi par comparaison des intensités lumineuses. (7)

Un tel rayonnement doit être constitué de rayons rigoureusement parallèles, et les ondes le constituant doivent être en phase , d'autre part le faisceau doit être très fin pour faciliter le balayage de la cible. C'est pourquoi nous avons choisi le rayonnement d'un laser à gaz à émission continue .

L'utilisation en bouche, chez l'homme , et les risques de réactions entre le rayonnement et les tissus vivants notamment la gencive, les yeux et le cerveau nous ont conduit à utiliser un laser de faible puissance ( 2W ) émettant à 450 nm (2~~thèse~~) (1,5,3)

L'onde réfléchie ne porte que la face visible de la dent aussi pour appréhender la totalité du volume nous nous proposons d'associer une deuxième onde balayant l'objet sous un angle de  $\pm 180^\circ$  par rapport à la première. (fig 3 et 4)

L'hologramme comportera alors la totalité du volume. Un opérateur, ou un système optique d'analyse approprié, pour avoir la totalité de l'objet devra se déplacer latéralement. Il observera l'effet de parallaxe caractéristique de l'image tridimensionnelle. Les franges sombres arrêtent l'onde de reconstitution, c'est à dire l'onde de référence, les franges claires la laissant passer . Il y a diffraction et interférence ; l'hologramme apparaît comme une onde fixée en cours de route. (4, 7, 11)

A ce niveau deux modes d'analyse peuvent être pratiqués Le plus simple consiste à projeter sur un écran l'hologram-

me , qui ici n'aura que deux dimensions, afin de permettre une étude détaillée de la dent. Ce procédé est intéressant car il permet de contrôler à tout moment la qualité du travail du praticien. Le deuxième nécessite une analyse de notre hologramme par un système analogique numérique à l'aide du balayage de la plaque par un tube analyseur. (5)

Une plaque holographique moyenne mesure 9 cm sur 12 cm et contient jusqu'à  $10^{10}$  bits en mémoire (  $24 \cdot 10^4$  éléments horizontaux et  $18 \cdot 10^4$  verticaux ) soit une résolution de  $3\ 000\ \text{mm}^{-1}$  . Un balayage de 40 000 lignes peut nous donner une résolution de  $5 \cdot 10^{-3}$  mm soit environ 5  $\mu$  de précision. L'analyse de l'unité élémentaire ne dépasse pas  $1 \cdot 10^{-5}$  secondes donc quelques minutes suffisent pour obtenir une précision de 5  $\mu$  ( le balayage peut être lent ) ( 3, 12)

La qualité de cette analyse est fonction du niveau d'éclairement qu'il doit être adapté à la sensibilité du détecteur, de même que la longueur d'onde utilisée doit être adaptée à la sensibilité spécifique tout en restant biologiquement acceptable et que les parasites soient supprimés par l'adjonction de filtres. (6)

ces hautes précisions peuvent être apportées par des tubes d'analyse ayant des couches de 10  $\mu$  à 20  $\mu$  et des dessus d'aiguillettes de 0,1 à 1  $\mu$  (vidicon et plumbicon)

Nous transformons sans perdre trop de précision notre image analogique en tension mais le champ d'application du système serait trop faible aussi préfère-t-on travailler en numérique; d'autre part l'intérêt de passer en numérique est de permettre de stocker les données sans qu'aucun facteur ne puisse les modifier. (Fig 5) (13)

Ces données devraient nous permettre la commande d'une machine outil. Il s'agit d'un procédé d'automatisation permettant de conduire un organe mécanique mobile à une position déterminée par un ordre. Cette position peut être obtenue par déplacement linéaire ou angulaire selon le degré de liberté du mobile( l'ordre est délivré en coordonnées numériques, cartésiennes ou polaires ). ( 8 )

Une bande programme supporte la traduction en langage machine. Les côtes chiffrées de l'hologramme donnent ces ordres. Ils sont transmis à divers mécanismes de servo-commandes qui les distribueront jusqu'au dispositif de guidage (x,y,z) pour positionner la tête de l'instrument. (fig 6) (8)

Si nous effectuons une lecture de Icm sur Icm ( une dent ) nous devons avoir en coordonnée  $10^4$  bits d'information sur une précision de  $1 \mu$ . L'avance du chariot et son déplacement latéral étant des facteurs constants, les données de  $1 \mu$  sont parfaitement réalisables sur la plan technique. A ces données devront s'ajouter les données propres à l'appareil telles que ( à apparition sporadique )

- le numéro de l'outil
- la séquence de fraisage
- la vitesse de la broche
- la côte d'avance-retour rapide
- la côte d'arrosage
- la fin du programme
- le facteur de choix du métal pour la pièce à usiner

Les coordonnées seront traduites de manière relative ( $M_1 \curvearrowright M_2$  soit  $\Delta x = x_2 - x_1$ ) plutôt que de manière absolue. Il est utile à ce niveau de faire remarquer qu'une machine à commande numérique explore en rafale les informations recues contenues dans la bande programme (10 000 à 50 000 lignes/seconde) pour les stocker et les répartir correctement aux organes responsables de l'action finale. (8)(2)

Si nous tenons simplement à reproduire l'objet holographié il n'est pas nécessaire de faire de modification du programme d'analyse. Il nous suffira de sculpter une pièce brute à l'aide du programme établi précédemment. L'intérêt est évidemment discutable mais quelque soit l'analyse employée, la technique conduira au choix de machines différentes:

- l'électro-érosion: pour nous un générateur à impulsion et une électrode très fine ( $10 \mu$  possible de précision)
- l'électro-chimie: utilisable pour la rectification et le perçage.
- l'électro-formage: dépôt sur une forme maitresse. Cela peut être l'application secondaire de notre taille sans modifi-

cation de programme. L'exemple classique est la technique par dépôt électro galvanique.

- l'usinage chimique: intéressant pour la réalisation d'appareils amovibles par la technique du masque.

- l'ultra son, la haute énergie et le laser pour la finition, le nettoyage et les soudures.

- le fraisage qui est le procédé le plus logique et le plus au point: ce sera soit l'outil qui sera mobile soit ce sera l'instrument. (fig. 7)

Ces méthodes de travail de la pièce prothétique peuvent être utilisées après modification du programme d'analyse afin d'y trouver un plus grand champ d'application. Plutôt que de décrire les voies mathématiques suivies nous donnons un exemple: la réalisation d'une couronne sur la première molaire inférieure gauche (36) (10)

Une couronne a deux caractéristiques, elle s'ajuste parfaitement à la dent et à la gencive et s'adapte sur le plan anatomique à l'aspect général de la bouche. (usure et grosseur)

Si ce premier caractère peut être considéré comme théorique, le second nécessite une analyse de la dent mais aussi des autres dents afin de tenter de résoudre le problème de l'occlusion. (2)

Deux cas peuvent se présenter: la dent à couronner présente une forme correcte, ou bien elle est très abimée. Dans le premier cas il suffit de prendre deux hologrammes, l'un avant la taille de la dent et l'autre après. L'hologramme avant la taille permettra de commander la sculpture externe sur la pièce de métal, le deuxième hologramme après correction par un facteur plus et transformation du négatif en positif servant au façonnage de l'intérieur de la couronne. Le facteur plus nous permet de prévoir la place du ciment de scellement.

Dans le deuxième cas (dent abimée) le seul moyen de réaliser la taille extérieure est que l'on dispose en mémoire d'un codage de dent théorique correspondant à la dent que l'on doit couronner.

Le premier temps sera l'analyse de dents autres que la 36 existant dans la bouche ( et notamment la 46 ou molaire inf. droite pour des raisons de symétrie) afin d'établir un coefficient d'usure et de forme générale par rapport aux dents théoriques en mémoire. (Fig 5)

Avant d'effectuer la sculpture extérieure il faudra faire le deuxième hologramme lorsque la dent sera préparée à la prothèse puis en comparant les données choisies( forme du collet ou hauteur du moignon ... ) nous sortirons en programme une dent théorique adaptée aux valeurs de la 36. Ce programme avant d'être modifié pour passer la bande de commande de la machine outil passera à travers le rapport correctif établi grâce aux autres dents. Nous ferons une sculpture biologiquement logique avec la bouche du patient. Si la taille extérieure a nécessité toute <sup>cette</sup> étude <sup>supplémentaire</sup>, la taille intérieure est identique en tout point au premier cas. (2)

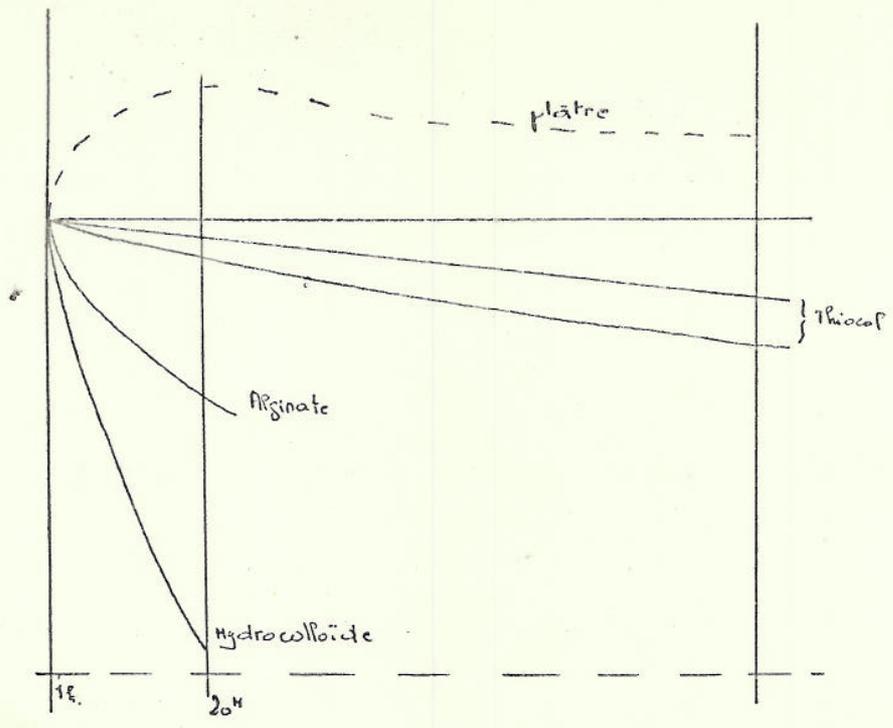
Des essais seront faits pour savoir si une onde qui ne rebondit pas sur la peau peut rebondir sur l'os: ceci aurait le gros avantage de nous permettre la réalisation par méthode non sanglante d'attelle ou d'implant. (Fig 8) (2)

le système envisagé est parfaitement réalisable . Nous utilisons des méthodes de mesures très fines et des supports d'information très stables et qui ne pounont que l'être de plus en plus. D'autre part les possibilités et les facilités de travail sont très importantes aussi avons nous grand espoir dans l'avenir de cette méthode.

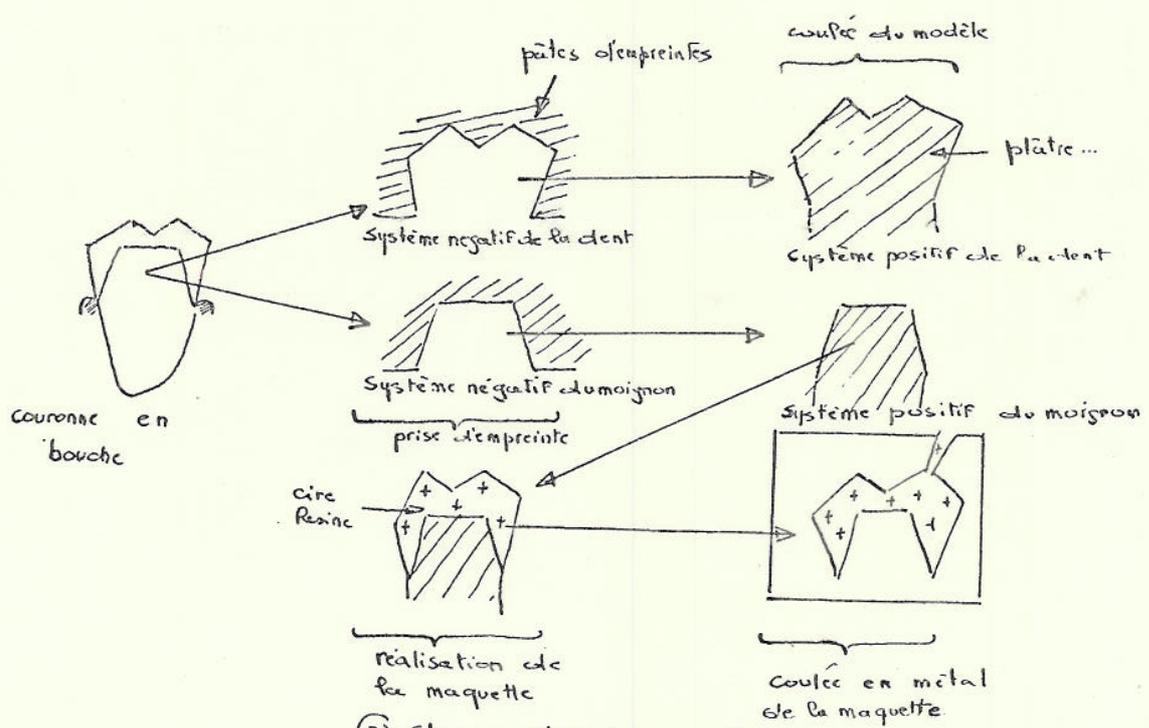
adresse de l'auteur:

rue Lamartine

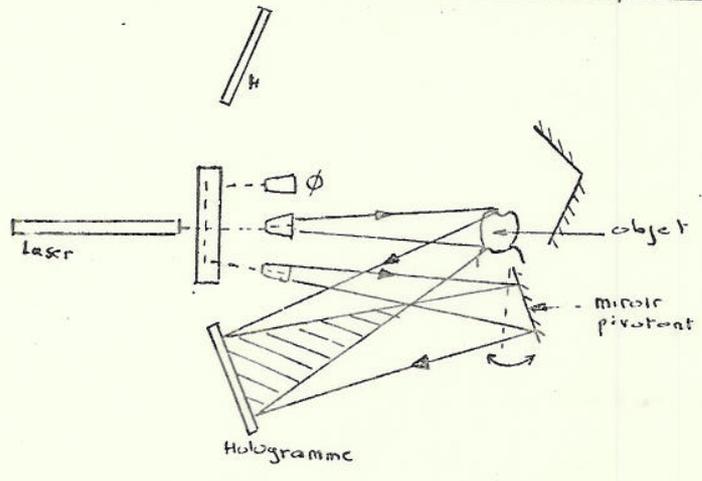
Le Grand Lemps 38 690



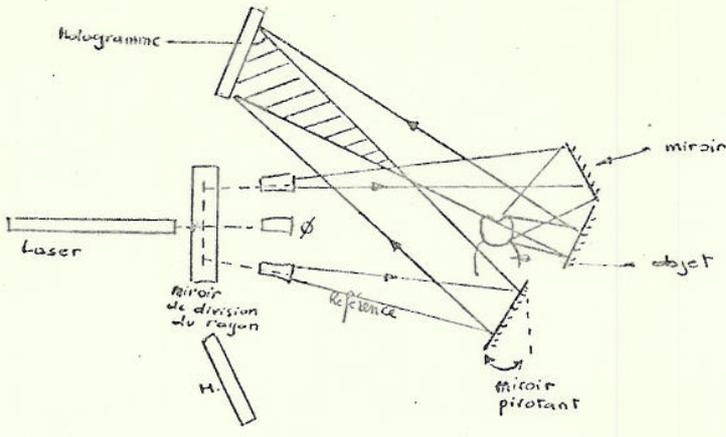
① Courbe comparative de variation dimensionnelle de 4 groupes de produits d'empreintes



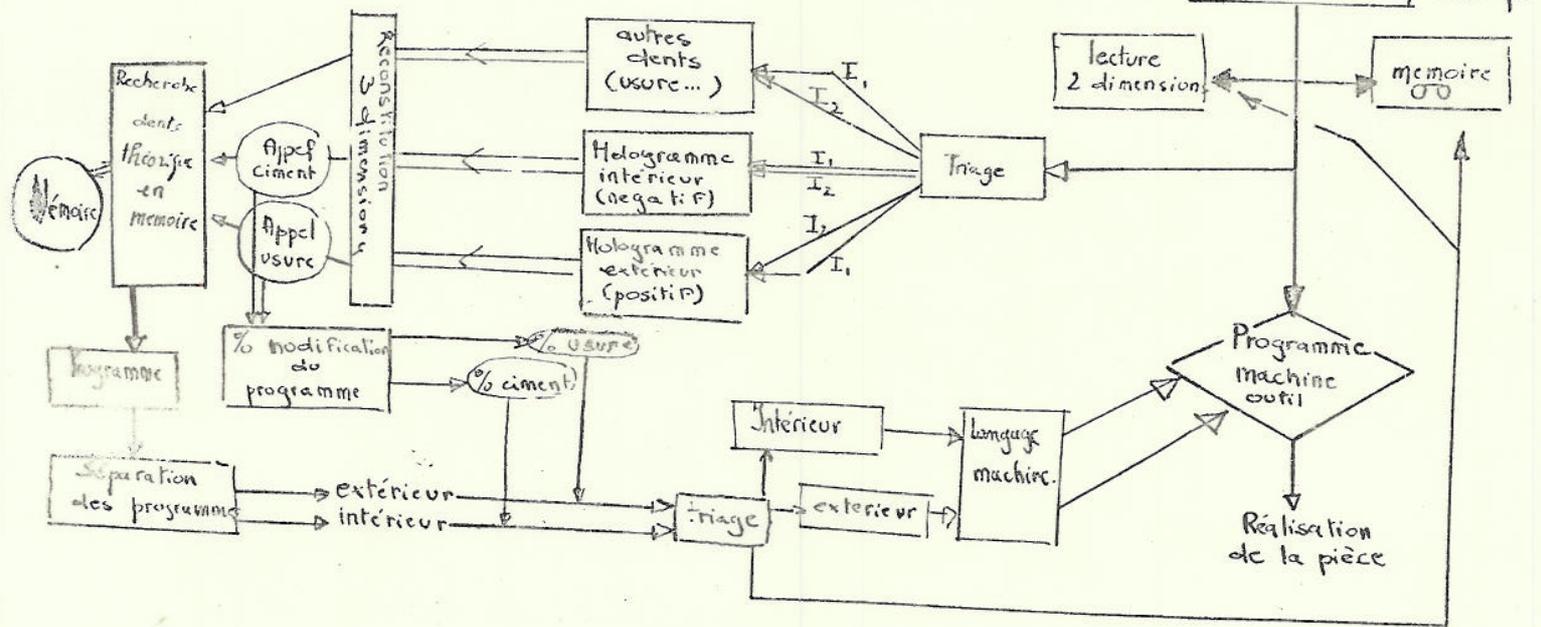
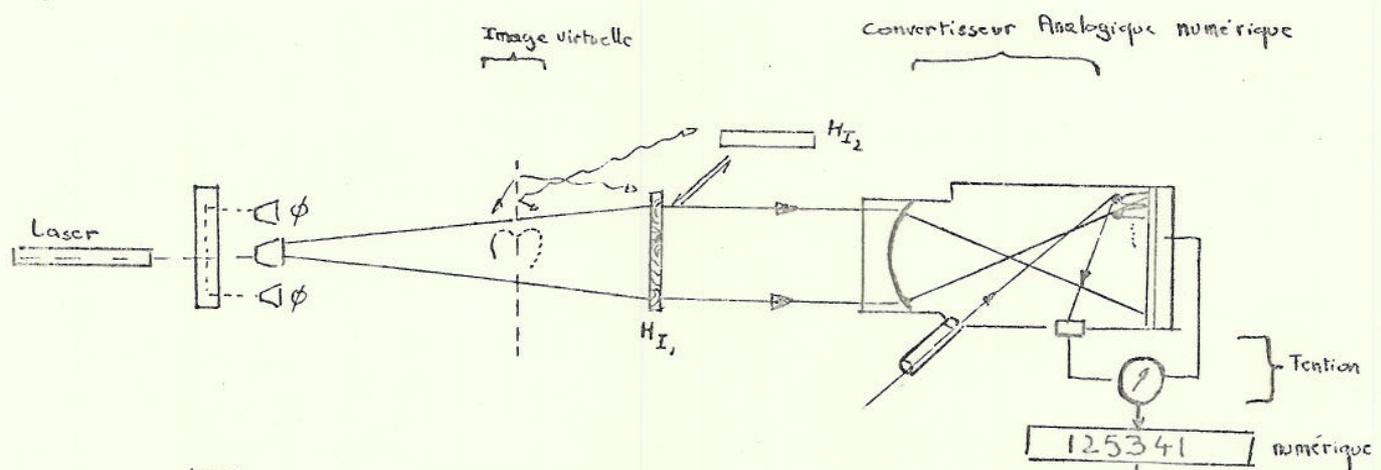
② Stapes classiques d'empreintes



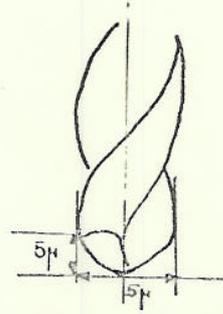
② Prise de l'Hologramme I<sub>1</sub>  
face visible



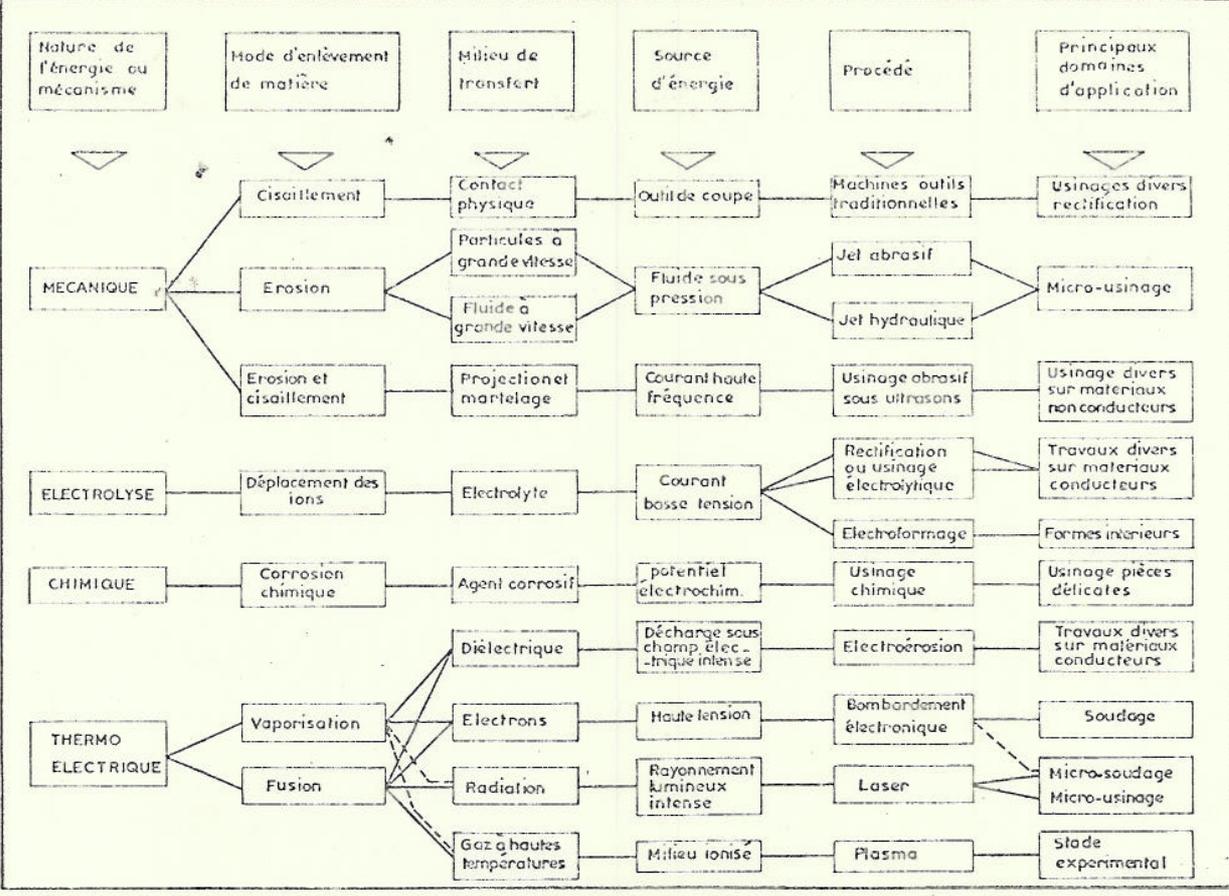
④ Prise de l'Hologramme I<sub>2</sub>  
face invisible.



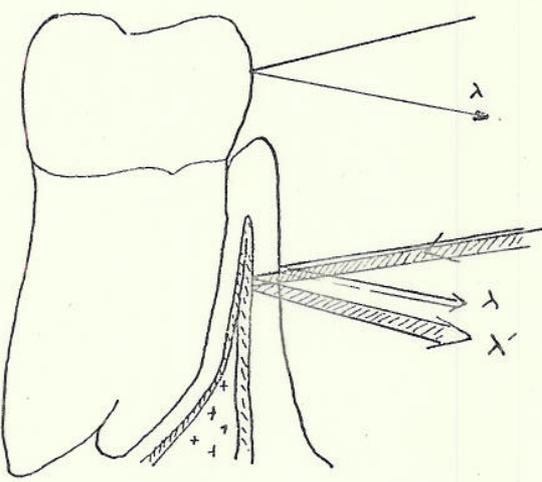
⑤ Programme de commande de machine outil



⑥ angle d'attaque de la fraise



⑦ Différents usinages possibles



⑧ Recherche du contour osseux avec λ

Bibliographie:

1. Dumas, Pérès. Effets biol. du R. laser, C.R.Biol Frs 158, (II) 2111-3 1965
2. Duret. Empreinte optique, thèse 2<sup>o</sup> cycle dentaire n<sup>o</sup> 231, 1974
3. Fournier, thèse 3<sup>o</sup> cycle Besançon, 1970

4. Georges and Storke , Lensless photography , Int. science and technologie, May 1965, p 52 à 60
  5. Goldman, Dermatologique manifestation, Feder. Proc U.S.A 24 , (I) part III , 592-3 , 1965
  6. Gordon and Henderson , Applications of Holography in industry, Electro optic, dec. 1971
  7. Leith, Reconstitution Waves and comm. théorie J. of Soc. Ann. 52 p1123 , 1962
  8. Marty , Usinage non conventionnel , Masson ed. 1972
  9. Ronds, Laser radiation on culture of tissues , Ann. N.Y. Ac. Sc. 122 , (2) 713-27 , 1965
  10. Stern, Laser en dentisterie, Gaz Med. Frs. 74, (10) 1873-80 , 1967
  11. Sum El , Uses For hologramme, Int. science and technologie Nov. 1967 p50 à59
  12. Symposium de Besançon de 1970 sur l'holographie
  13. Vienot, Transmission d'informations holographiques Annex Rapport DRME n°1 1970
-