UNIVERSITE CLAUDE_BERNARD . LYON
année 1974 . numéro 231

EMPREINTE OPTIQUE



THESE PRESENTEE A L'UNIVERSITE CLAUDE_BERNARD _ LYON
et soutenue publiquement le 27 février 1974
pour obtenir le grade de docteur en chirurgie dentaire
par DURET FRANCOIS
né le 8.12.47 à chalon sur saône demeurant au GRAND LEMPS isère.

UNIVERSITE CLAUDE - BERNARD - LYON

Année 1973 -74 n° 231

TITRE DE LA THESE

E M P R E I N T E O P T I Q U E

THESE
présentée

à l'Université Claude - Bernard - LYON

et soutenue publiquement le 27 février

pour obtenir le grade de Docteur en Chirurgie Dentaire

par

DURET François
Licencié es sciences

né le 8/12/1947
à CHALON s/ SAONE

Demeurant au GRAND-LEMPS (Isère)

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD

- Président de l'Université : Professeur J. BOIDIN
- Premier Vice-Président : Professeur R. TOURAINE

Secrétaire Général : M. IZAUTE

Unités d'Enseignement et de Recherche de l'Université

Médecine : Grange Blanche - Directeur : Professeur GERMAIN D.
Alexis Carrel - Directeur : Professeur GIROD C.
Sud-Ouest - Directeur : Professeur TOLOT F.
Lyin-Nord - Directeur : Professeur BERTOYE A.

Biologie humaine - Directeur : Docteur CZYBA J.C. (Maître de Conférence Agrégé)

Techniques de Réadaptation - Directeur : Docteur MORGON A. (Maître de Conférences Agrégé)

Sciences pharmaceutiques - Directeur : CARRAZ M. (Maître de Conférences Agrégé)

Sciences Odontologiques - Directeur : Docteur VINCENT R.

Institut Régional d'Education Physique et Sportive - Président du Conseil d'U.E.R Professeur GUILLET R. - Directeur : M. MILLON

Mathématiques - Directeur : Professeur MAURY G.

Physique - Directeur : Professeur DUFAY M.

Chimie et Biochimie - Directeur : Professeur GAUTHERON D.

Sciences de la Nature - Directeur : Professeur DAVID L.

Biodynamique et psychopédagogie - Directeur : M. FONTANGES R. (Maître de Conférences

Institut Universitaire de technologie n° 1 - Directeur : Professeur OUYET

Institut Universitaire de technologie n° 2 - Directeur : M. GALLET Directeur ENSAM

Observatoire - Directeur : Professeur BIGAY J.H.

Physique nucléaire - Directeur : Professeur SARRAZIN A.

Mécanique - Directeur : Professeur MATHIEU J.

DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directeur : VINCENT Roger
Directeur-Adjoint : PARRET Jean
Directeur-Adjoint : DUMONT Jacques

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET MATIERES FONDAMENTALES

Professeur 1° Grade : PARRET Jean
Professeur 2° Grade : DUMONT Jacques - LIBOUREL Paul

DEPARTEMENT DE DENTISTERIE OPERATOIRE

Professeur 2° Grade : POULARD Jean - PEROL Jean - THOMAS Robert

DEPARTEMENT D. ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE ET PEDODONTIE

Professeur 1° Grade : HESKIA Jean-Ennemond - DEPLAGNE Henri
Professeur 2° Grade : BRUNNER François

DEPARTEMENT DE PATHOLOGIE ET THERAPEUTIQUE DENTAIRES

Professeur 1° Grade : VINCENT Roger - MATHIEU Louis
Professeur 2° Grade : BERTOIN Pierre

DEPARTEMENT DE PROTHESE

Professeur 1° Grade : BRUGIRARD Jacques
Professeur 2° Grade : LALLICH Bernard - MALQUARTI Charles - DUMONT André

A ma femme

A mon Père

A ma Mère

A mon Frère

A Jacqueline

A ma famille et ma belle famille

A mes amis

A nos juges

Docteur Jean PARRET

Directeur Adjoint de l'U.E.R des Sciences Odontologiques
Président de thèse

Ame de l'équipe fondamentaliste, ce sont ses conseils éclairés et son expérience de la vie qui nous ont fait découvrir la biologie et la philosophie de la recherche.

Ce travail n'est que le reflet modeste de ce que nous lui devons tous : nous ouvrir la voie de l'avenir.

Qu'il veuille trouver ici le témoignage de notre reconnaissance.

Monsieur J. DUMAS

Maître Assistant
Professeur à la faculté des Sciences de Lyon

Après avoir été notre professeur, il nous a ouvert les portes de son laboratoire et nous a permis d'y travailler dans une liberté totale.

Ce travail fût considérablement facilité par les conseils éclaircis qu'il nous a dispensé durant plus de 2 ans.

Enfin sa correction a su nous guider dans une voie de plus en plus précise.

Qu'il toruve ici le témoignage de notre amitié.

M.J DUMONT

Directeur Adjoint de l'U.E.R des Sciences Odontologiques

Son dévouement envers ses élèves, son souci d'augmenter la valeur culturelle de l'enseignement, sa rigueur expérimentale n'ont fait qu'affirmer la profonde estime que nous lui portons tous.

Le souci d'unir son équipe dans un élan d'amitié fait que chaque jour nous lui rendons hommage de nous avoir permis d'y rentrer.

Docteur R. VINCENT

Directeur de U.E.R des Sciences Odontologiques

Il a été notre maître, il nous a fait l'honneur de s'interesser à ce travail, enfin il a accepté de juger cette thèse.

Qu'il veuille trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

M.J EXBROYA T

Assistant à l'U.E.R des Sciences Odontologiques

Il a été le premier à l'école dentaire à nous encourager à continuer dans cette voie, puis chaque mois, il nous a donné des éclaircissements dans l'empreinte classique telle qu'on la pratique actuellement.

Qu'il trouve ici le témoignage de notre reconnaissance

et mes amis : BERTRAND, FRANCOISE, PAUL, DANIELLE JACQUESet BERNARD.

- A Monsieur Georges LABE

...

A tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et guidé.

- *Monsieur Joseph EXBRAYAT*
  Assistant à U.E.R. des sciences odontologiques

  Il nous a encouragé le premier dans cette voie et nous a guidé par sa bienveillance

- *Monsieur le Professeur MARTY*
  Professeur à l'INSA

  Par de longues entrevues, il nous a expliqué ce qu'était la commande numérique et la machine-outil

- *Monsieur Christian CELLIER*
  Elève de l'ECAM

  Il a donné un tournant décisif à ce travail

- *Monsieur le Professeur GAUTHIER*
  Monsieur le Professeur SICCARD
  (Professeurs à l'INSA)

  Ils n'ont pas craint de nous conseiller dans leur dommaine respectif

- *Monsieur le Professeur PERREZ*
  Monsieur le Professeur BERTAGNOLIO
  M Mrs. SIRODOT - GALMICHE - CHRETIEN - MARCHAND - MEGE

  enfin MMrs. BERNARD et ROBERT DURET

  Qu'ils veuillent trouver ici l'expression de notre profonde estime et de notre reconnaissance

- *A Madame PAIRON M-T*
  Elle a sans-doute eu la plus lourde tâche, celle de dactylographier cette thèse

- *A M Mrs THUSY A. et FOUGEROUSSE C.*
  Ils ont cherché à donner une note artistique à un travail austère.

Le délai réduit, dont nous avons disposé ne nous a pas permis de procèder comme nous l'aurions voulu, au contrôle et à la correction du texte.

Nous vous prions d'excuser les "fautes" ou "erreurs" que vous pourrez y relever

- A V E R T I S S E M E N T -

Cette thèse de 2ème cycle n'est pas une thèse à caractère expérimental, mais à caractère uniquement bibliographique. Son rôle est de poser les données connues à ce jour, d'un type particulier de problème.
De ce fait, il semble difficile, dans une thèse de bibliographie de se référer seulement à une cinquantaine d'ouvrages étant donné le vaste domaine représenté par l'empreinte et la réalisation d'une prothèse.

La partie bibliographique la plus importante se rapporte à l'Empreinte et à l'Action Biologique du laser car de nombreuses études jalonnent cette route. Les autres parties sont des ouvrages à caractères généraux ayant pour but d'orienter d'éventuelles recherches.

La variété de l'étude (Laser puis T.V., puis Ordinateur, enfin Machine-Outil) résulte de l'idée de recherche théorique découlant de l'EXAMEN du principe de Zonar.

Nous avons étudié les possibilités et conditions d'intervention des spécialistes de chacun des domaines intéressés, recherché les moyens de liaison de ces différentes techniques et assurer leur coordination pour les appliquer à notre domaine.

Il convenait, avant tout, par l'application des Sciences, Mathématiques et Physiques, de permettre la surveillance de la réalisation de "pièces" exigeant la précision du "micron"

D'autre part, le Laser permet de supprimer l'emploi irrationnel du micro-palpeur.

Au risque de paraître en dehors du sujet, nous avons tenu à développer la théorie de l'Atome et du Laser.

En effet, cèt exposé et les calculs correspondants ont pour but d'aboutir à la constatation que un point de l'hologramme représente par son intensité la distance qui le sépare de la source.

D'autre part, la réflexion a ses règles et, il est prouvé mathématiquement que l'énergie reflète la distance parcourue par le rayon électro-magnétique

Il est ensuite nécessaire de considérer que l'onde électromagnétique est porteuse de cette faiseuse d'énergie, et de rechercher pourquoi cette onde perd de l'énergie proportionnellement à la distance et d'où proviennent les différentes énergies.

Il convient, pour traduire exactement une distance de ne pas mélanger plusieurs énergies différentes, d'où les commentaires sur la source d'énergie, ce qu'elle est (atome) et ce qu'elle représente dans le Laser.

Nous avons, enfin, dégagé les possibilités d'utilisation et les limites d'emploi du laser , dans le cas "concret" faisant l'objet de notre étude, et les raisons rendant possible cette utilisation, basée sur des faits reconnus et dès lors, rendant l'emploi prévu réalisable sur le plan pratique

LYON, le 15 Octobre 1973

80 exemplaires ont été tirés de cette thèse

- I N T R O D U C T I O N -

Ce travail a pour but de mettre au point un ensemble d'outils permettant en quelques heures la réalisation d'une empreinte, d'une prothèse conjointe simple ou complexe, d'une prothèse adjointe squelettique quelconque et d'empreinte de type rapport anatomique sans nécessité d'ouvrir la peau.

L'empreinte se fait à l'aide d'un laser (He NEON par exemple) et son enregistrement en nano-seconde est fait sur plaque holographique.
Cet hologramme est étudié directement puis par un tube analyseur (type caméra T.V par exemple) pour produire la fonction intensité en fonction distance.
Les numéros successifs de l'analyse sont envoyés à un ordinateur qui par différents procèdés permet à une machine à commande numérique de sculpter dans la masse (Araldite, Acier...) une empreinte, puis de sculpter une couronne ou toute autre pièce métallique (Or, acier)

Le temps de travail serait de quelques heures même pour un bridge complet, la taille serait précise à quelques microns près et la production en "n" exemplaire possible sans aucune modification avec le temps.

Le chapitre premier est un chapitre critique des techniques traditionnelles le chapitre deux est l'étude de ce qu'est le laser pour nous permettre de choisir, le chapitre trois traite de l'effet du rayon sur l'organisme . . le chapitre 4 est l'explication de l'hologramme, dans le 5ème chapitre on explique l'analyse par caméra, dans le 6ème chapitre on explique ce que nous permet l'ordinateur en nous rappelant ce qu'il est, le 7ème chapitre traite de la commande numérique et le 8ème des différents procèdés d'usinage qui nous sont offerts, le 9ème chapitre enfin, explique ce que peut nous permettre cette idée dans une pratique générale et surtout dans notre domaine.

Le 10ème chapitre est la bibliographie classée par chapitre (voir personnel) et ensuite par nom d'auteurs alphabétiquement classés

- P L A N -

AVERTISSEMENT

INTRODUCTION

CHAPITRE - I - EMPREINTE CLASSIQUE - CRITIQUE p. 18

I-1 - Historique p. 18

I-2 - Variations dimensionnelles p. 19

I-2-1 - plan succint
I-2-2 - pâtes d'empreinte dures
I-2-3 - Pâtes d'empreinte "élastique"
I-2-4 - Gélatine
I-2-5 - Empreintes directes
I-2-6 - Produits pour positif
I-2-7 - Produits pour revêtement
I-2-8 - Alliages dentaires
I-2-9 - Amalgames
I-2-10 - Ciments
I-2-11 - Ciments de scellement

I-3 - Tendance à la précision p. 48

I-3-1 - Pourquoi variation d'énergie
I-3-2 - Probabilité et relativité dans la précision
I-3-3 - Energie interne du système
I-3-4 - Où trouver la précision
I-3-5 - Classification des imprécisions
I-3-6 - Vers une extinction des différentes variations
I-3-7 - Valeurs choisies pour ces extinctions
I-3-8 - Notre schéma vers la précision

I-4 - Notre méthode p. 63

I-4-1 - Grandeur analogique
I-4-2 - Convertisseur analogique numérique
I-4-3 - Cristallisation négative
I-4-4 - Laser et biologie
I-4-5 - Stockage
I-4-6 - Ordinateur pourquoi ?
I-4-7 - Convertisseur numérique analogique
I-4-8 - Conclusion et argument

I-5 - Conclusion - résumé p. 68

CHAPITRE - II - L'EMISSION LASER p. 73

II-1 - Historique du laser p. 74

II-2 - Onde électromagnétique p. 74

II-2-1 - Quatre grandeurs
II-2-2 - Onde électromagnétique

II-3 - Atome et onde lumineuse p. 75

II-3-1 - Niels BOHR
II-3-2 - Théorie de SOMMERFIELD
II-3-3 - Atome et mécanique ondulatoire
II-3-4 - Incertitude
II-3-5 - Spectre et rayonnement, son énergie
II-3-6 - Exemple de niveau d'énergie

II-4 - Onde lumineuse p. 88

II-4-1 - Largeur de bande
II-4-2 - Cohérence vibratoire
II-4-3 - Que dire des successions d'onde
II-4-4 - Photométrie

II-5 - Origine possible d'une onde p. 101

II-5-1 - Origine de l'émission
II-5-2 - Emission stimulée et spontanée
II-5-3 - Phénomène stimulé
II-5-4 - Répartition des systèmes en niveaux d'énergie
II-5-5 - Inversion de population
II-5-6 - Importance relative spontanée et stimulée

II-6 - Caractéristiques du laser p. 112

II-6-1 - Pourquoi l'avoir choisi
II-6-2 - Différentes races
II-6-3 - Tableau

II-7 - Notre choix p. 122

CHAPITRE - III - ACTION SUR L'ORGANISME p. 125

III-1 - Introduction p. 126

III-1-1 - Raison
III-1-2 - Mécanisme d'action

III-2 - Action systématique p. 129

III-2-1 - Plan succint
III-2-2 - Niveau moléculaire
III-2-3 - Niveau aléatoire
III-2-4 - Niveau bactérie et virus

III-3 - Conclusion et protection p. 146

III-4 - Laser en dentisterie p. 147

III-4-1 - Action sur os
III-4-2 - Action sur dent
III-4-3 - Laser Rx
III-4-4 - Tumeur et bistouri

III-5 - Conclusion p. 148 (prime)

CHAPITRE - IV - HOLOGRAMME p. 149

IV-1 - Denis GABOR et l'holographie p. 150

IV-2 - Principe de l'holographie p. 151

IV-2-1 - Onde électromagnétique
IV-2-2 - Energie du rayonnement
IV-2-3 - Onde sinusoïdale
IV-2-4 - Deux dipôles rayonnement
IV-2-5 - Mathématique de l'interférence
IV-2-6 - Diffraction
IV-2-7 - Laser et interférence

IV-3 - Holographie et relief p. 154

IV-3-1 - Théorie
IV-3-2 - Notre point de vue
IV-3-3 - Théorie de l'hologramme
IV-3-4 - Reconstitution

IV-4 - Différents hologrammes p. 162

IV-4-1 - Hologramme de transmission
IV-4-2 - Hologramme de réflexion
IV-4-3 - Hologramme à fréquence porteuse

IV-5 - Conclusion v/ p. 176

CHAPITRE - V - ANALYSEUR CONVERTISSEUR p. 164

V-1 - Transmission d'information de type d'hologrammes p. 165

V-1-1 - Etude optique directe de l'empreinte
V-1-2 - Image caractéristique
V-1-3 - Transmission d'hologramme d'objet diffusant tridimensionnel

V-2 - Transduction lumière courant p. 171

V-2-1 - Effet photoélectrique
V-2-2 - Type dissecteur de FARRWORTH
V-2-3 - Orthicon
V-2-4 - Effet photoconducteur Vidicon Plumbicon

V-3 - Résumé p. 174

V-4 - Convertisseur analogique numérique p. 175

V-4-1 - Convertisseur de signaux électriques
V-4-2 - Méthodes utilisées
V-4-3 - Conclusion p. 176

CHAPITRE - VI - ORDINATEUR p. 179

Introduction

VI-1 - Périphériques des ordinateurs p. 180

VI-1-1 - Canaux
VI-1-2 - Périphériques

VI-2 - Soltwaare p. 183

VI-3 - Ordinateur p. 183

VI-3-1 - Présentation des informations
VI-3-2 - Fonction mémoire
VI-3-3 - Unité centrale
VI-3-4 - Analyse et programme
VI-3-5 - Notre méthode
VI-3-6-4 Résumé p. 190

CHAPITRE - VII - COMMANDE NUMERIQUE p. 193

VII-1 - Organisation de C N p. 194

VII-2 - Différentes C N p. 195

VII-2-1 -Introduction
VII-2-2 - Systèmes de programmation absolue des ordres

VII-3 - Transmission des informations p. 196

VII-4 - Méthode de mesure numérique de déplacement p. 197

VII-4-1 - Relative incrémentale ou par comptage
VII-4-2 - Absolue ou par codage

VII-5 - Fonctionnement de machine O à C N p. 198

VII-6 - Etude de M O en mise en jonction continue p. 198

VII-6-1 - Système de commande
VII-6-2 - Caractéristiques
VII-6-3 - Prothésiste
VII-6-4 - Processus de commande

VII-7 - Conclusion p. 202

VII-7-1 - Problème actuel
VII-7-2 - Procèdé unisurf
VII-7-3 - Conclusion

VII-8 - Résumé p. 206

CHAPITRE - VIII - MACHINE OUTIL p. 208

Introduction

VIII-1 - Electro-erosion p. 208

VIII-1-1 - Propriétés
VIII-1-2 - Principes physiques
VIII-1-3 - Montage
VIII-1-4 - Description des machines
VIII-1-5 - Mise en oeuvre
VIII-1-6 - Application

VIII-2 - Electrochimie p. 212

VIII-2-1 - Etude générale
VIII-2-2 - Etude dynamique
VIII-2-3 - Considérations pratiques
VIII-2-4 - Mise en oeuvre

VIII-3 - Electroformage p 215

VIII-3-1 - Avantages, inconvénients
VIII-3-2 - Choix de mandrin
VIII-3-3 - Conception des mandrins
VIII-3-4 - Matériaux de mandrin
VIII-3-5 - Matériaux électroformé

VIII-4 - Usinage clinique p 219

VIII-4-1 - Mise en oeuvre
VIII-4-2 - Elaboration du masque
VIII-4-3 - Résultat technique

VIII-5 - Ultra-son p 220

VIII-5-1 - Générateur
VIII-5-2 - Visualisation des ultra-sons
VIII-5-3 - Usinage abrasif
VIII-5-4 - Soudure
VIII-5-5 - Assistance technique

VIII-6 - Procèdés à haute énergie spécifique p 2[illegible]

VIII-6-1 - Bombardement électronique
VIII-6-2 - Application
VIII-6-3 - Soudure

VIII-7 - Laser p 22[illegible]

VIII-7-1 - Usinage

VIII-8 - Fraisage p 22[illegible]

VIII-8-1 - Problème posé
VIII-8-2 - Outil
VIII-8-3 - Notre utilisation

VIII-9 - Conclusion

VIII-9-1 - Résumé p 234
VIII-9-2 - Conclusion p 235

CHAPITRE - IX - RESUME ET APPLICATIONS DE CETTE IDEE A NOTRE METIER p 236

IX-1 - Corrélation établie p 237

IX-2 - Notre travail en cabinet p 23[illegible]

IX-2-1 - Préparation
IX-2-2 - Vérification
IX-2-3 - Approfondissement
Empreinte optique classique rejètée
Empreinte optique secondaire
IX-2-4 - Analyse des données numériques
IX-2-5 - Usinage
empreinte unitaire ou totale
pièce métallique (courcnnes stellite...)

CONCLUSION p 270

BIBLIOGRAPHIE p 273

- par chapitre
- par ordre alphabétique

ADDITIF p 287

- Hologramme et précision limite
- Fibre optique
- Reconstitution d'un objet fictif (Voir Cal)

E M P R E I N T E C L A S S I Q U E

Sa critique

- *HISTORIQUE*
- *VARIATION DIMENSIONNELLE*
- *TENDANCE A LA PRECISION*
- *NOTRE METHODE*
- *RECHERCHE THEORIQUE ET NOTRE PROFESSION*

CHAPITRE - I -

I - 1 - HISTORIQUE -

[1 - 2 - 3 - 4]

Notre étude est étendue de l'empreinte jusqu'à l'inlay en passant par le bistouri électrique, mais le centre de l'investigation étant la précision, cela nous amène irrémédiablement au problème de l'empreinte et de sa qualité. Un petit historique nous a paru intéressant.

La première empreinte fut réalisée en cire par PURMAN dès 1711 [1], puis en 1728, FAUCHARD posa les bases de notre métier et des prises d'empreintes [2]

" Avant que de mettre le tenon dans la cavité de la dent, elle doit être remplie de mastic en poudre" p 227
" Gomme laque plate deux onses
Thérébentine de Venise une onse
Corail blanc en poudre deux onces "
(Chirurgie dentaire ou traité des dents tome II Servières PARIS 1786)

Un médecin de BRESLAN (1648 - 1721) parle d'empreinte en cire vierge avec moulage en ivoire de cheval, d'hippopotame ou os blanchi de patte de boeuf [2]

La cire fut améliorée par PFAFF en 1756 et il fallut attendre 1845 pour que le plâtre avec WESCOTT et DIWINELLE fasse son apparition . En 1848 ce fut le tour de Gutta-percha (de-la-BARRE 1852 chez Masson) puis STENS en 1856 mis au point la première composition thermoplastique.

GREEN, en 1907 l'améliora, suivi dès 1925 des premiers hydrocolloïdes. La cire d'abeille de nos anciens est loin [3] ainsi que les travaux de Nicolas DUBOIS de CLEMENT en 1791 [4]

En 1928 l'ADA donne la base de tous les produits actuels.
En 1939, les amalgames apparaissent et enfin dès 1945 élastomère de synthèse, pâte à oxyde de zinc et Eugenol débordent le commerce.

Nous pouvons dire aujourd'hui qu'il existe autant de produits que de méthodes. Nous allons succinctement les rappeler et surtout définir leur précision.

I - 2 - VARIATION DIMENSIONNELLE -

I-2-1 - Voir dessin n° 1

C'est le schéma général de la construction en dentisterie d'une obturation quelconque (totale ; partielle)

En regard de ces opérations nous voyons que :

- Pour une empreinte indirecte, nous avoisinons les huit imprécisions, ce qui veut dire plus exactement que huit fois la précision n'est fonction que des matériaux, et quelques-fois des techniques utilisées
- Pour une empreinte directe, le problème se pose quatre fois
- Pour une obturation directe, il se pose une fois.

Parmi les fonctions inhérentes à la précision, en admettant que les techniques d'utilisation soient parfaites, une valeur reste pour nous un obstacle, il s'agit de la stabilité dimensionnelle.

En effet, si nous utilisons les matériaux dans des conditions rigoureuses (t°, pH) leurs variations restent un problème constant et seule une "cuisine de protection" pallie à la difficulté.

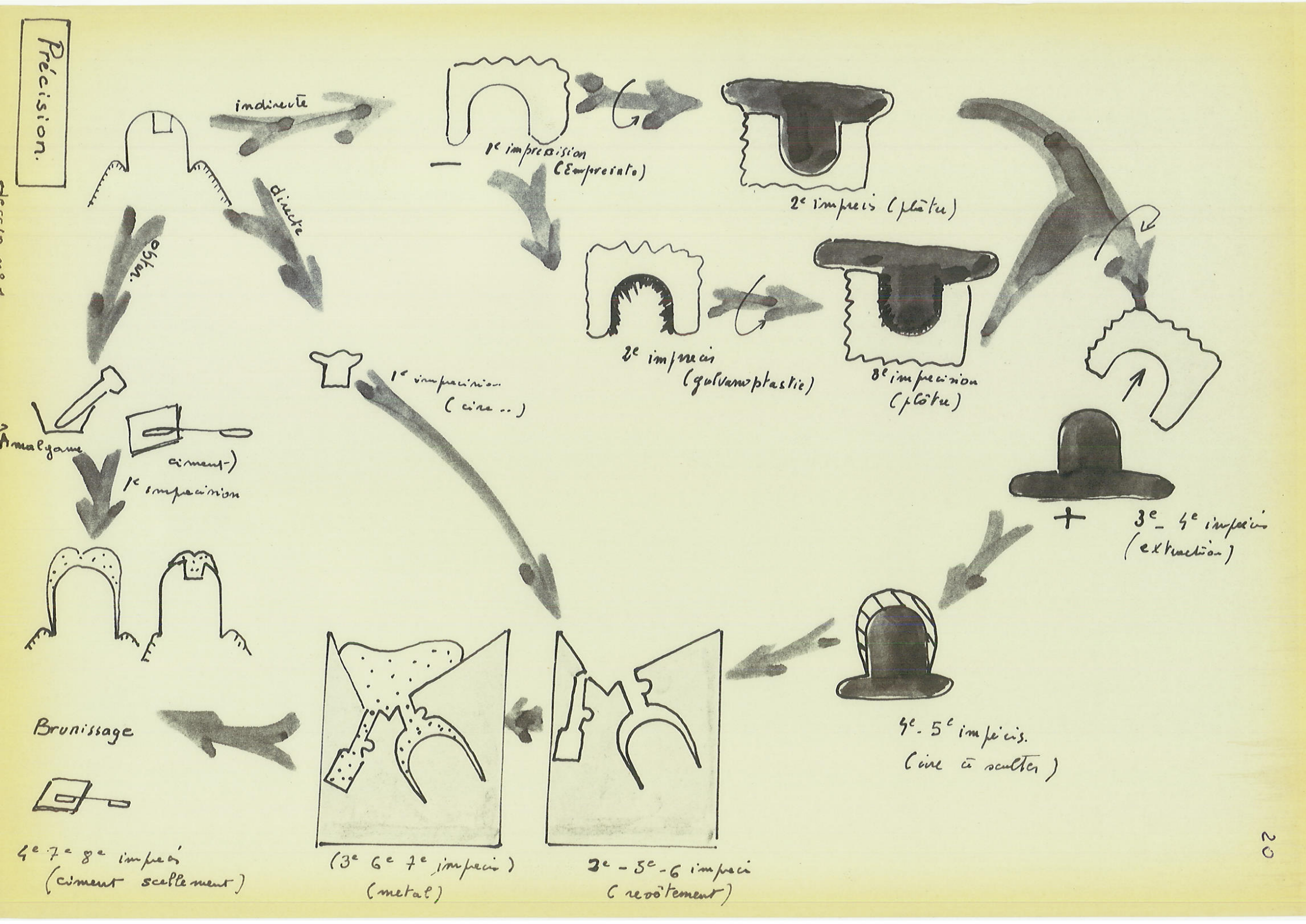
Tout d'abord, nous allons passer en revue toutes les variations dimensionnelles ensuite, tous les facteurs indépendants du produit lui-même (notre influence ou celle de nos techniques) et ainsi nous en arriverons à notre notion de la précision face à celle jusqu'ici utilisée

I-2-2 - Produits à empreinte durcissables / 1 - 3 - 5 - 9 - 10 - 12 - Variation linéaire dimensionnelle 16 - 31 - 35 - 41 - 42 /

I-2-2-1 - Le plâtre : / 17 - 18 - 19 - 20 - 21 - 22 - 23 - 24 - 26 - 27 /

C'est un semi-hydrate de calcium, de formule $SO_4\ Ca\ \frac{1}{2}\ H_2\ O$

Deux points seront abordés : - expansion de prise
- granulométrie


Précision.
indirecte
directe
obtu.
1e impression (Empreinte)
2e impreis (plâtre)
2e impreis (galvanoplastie)
3e impression (plâtre)
1e impression (cire ..)
Amalgame
ciment-)
1e impression
3e - 4e impreis (extraction)
4e - 5e impreis. (cire à sculter)
Brunissage
4e 7e 8e impreis (ciment scellement)
(3e 6e 7e impreis) (metal)
3e - 5e - 6 impreis (revêtement)

a) Granulométrie :

Le plâtre possède différentes cristallisations (plus ou moins fines suivant la méthode d'obtention) qui sont, pour l'art dentaire :

- Hémihydrate α (obtenu à 110° sous pression vapeur)
- Hémihydrate β (obtenu à 150° à 170° sous pression atmosphérique)

[cf : dessin n° 2 a et c] [16 - 19 - 20 - 23 - 24]

b) Plus la prise est rapide, plus la stabilité et la fidèlité sont grandes (dessin 26)

c) L'expansion de prise : [24 - 31 - 1 - 5 - 18 - 26 - 27]

° Pour SKINNER, une expansion selon le produit [31] est observée durant la transformation de l'hémihydrate en bihydrate, comprise entre 0,06 et à 0,5 % et ce, avec un volume inférieur de 7,1 % des deux volumes $\frac{\text{Eau}}{\text{poudre}}\left(\frac{E}{P}\right)$ utilisés. Cette contradiction est due au phénomène lié à la cristallisation (dessin 3a - b)

° Pour [1] nous avons deux phénomènes : - Deshydratation - changement de réseau cristallin en plus de la réaction (dessin 2d), il y a une expansion de 0,1 %

° L'expression [5] pour WALLES est de 0,4 à 0,5 %, expansion augmentée par l'immersion (application au revêtement hygroscopique) où peut être réduite à 0,06 % (K_2SO_4) et même à 0,04 % (DUROC 7 jours, dessin 3)

° Pour DURVILLE [18] les variations sont parties intégrantes du plâtre, elles se divisent en deux :

- origine chimique : augmentation de 43 % masquée de 7,3 % (hydratation) et fonction du rapport $\frac{E}{P}$ (fixe la porosité)
- origine physique : les cristaux de deshydrate (dessin 3a) se repoussent mutuellement provoquant une dilatation réelle augmentée par toute manoeuvre tendant à raccourcir le temps d'induction (dessin 2 d). Le retrait de stockage n'est que de 1/10°

° Pour [26], l'avis n'est pas net, les accélérateurs (p. 8) n'affectant pas l'expansion de prise et dans un deuxième, l'affecte ...

° Pour PEYTON, 0,05 à 0,09 %, ce qui donne pour 1 cm une expansion de 4 à 5 µ soit 30 à 40µ par empreinte petite.
Tout le monde dit :"le plâtre pousse, mais on ne dit pas quand et en quelle mesure " (COCAGNE 1946)
" Alors qu'il se trouve beaucoup de gens sur les chantiers pour dire qu'il se retire" (PIERCE 1965)
Donc, malgré l'équation de SCHILLER, qui me paraît bien complexe pour refléter un phénomène cristallographique [18] nous pouvons, en regard du dessin 3b), dire :
- il y a une variation dans l'espace absolument invérifiable
- il y a une variation dans le temps incontestablement
Nous tablons sur une précision de l'ordre de 0,4 % soit 60µ [27 - 16]. Variation sauvage.

I-2-2-2 - Pâtes thermoplastiques (KERR) [25 - 28]
Voir A. D. A.

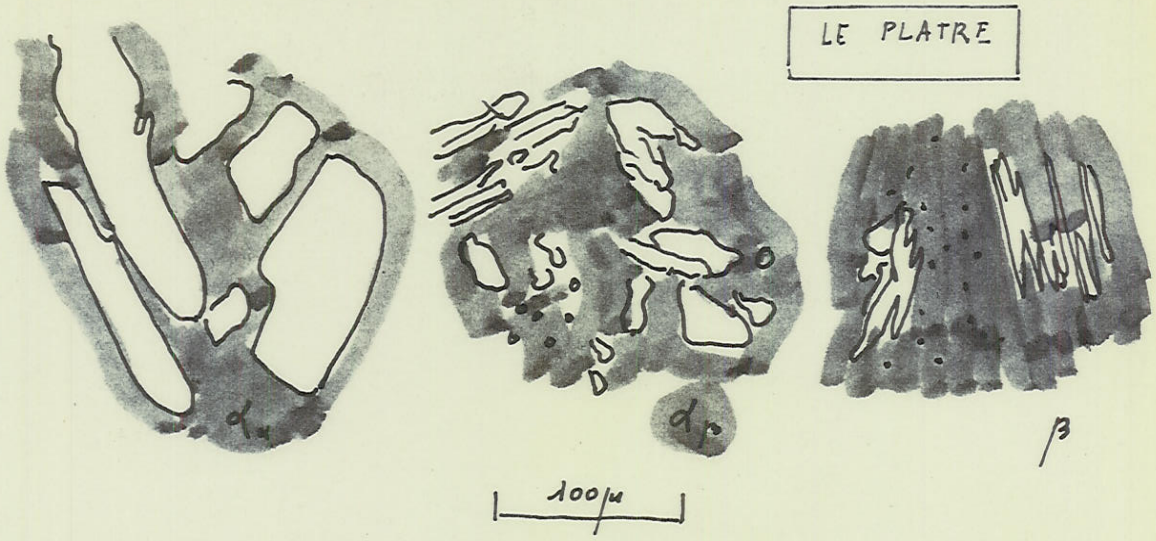
a) 37 % résine
18 % acide stéarique
45 % $MgSO_4$
plasticité entre 50 et 57°
un seul point, l'expansion de prise

b) ° Pour [16] en suivant la méthode grande précision, permet des empreintes de dépouille, et, compte tenu de la galvanoplastie, la précision est égale à 40 µ Pas de facteur temps

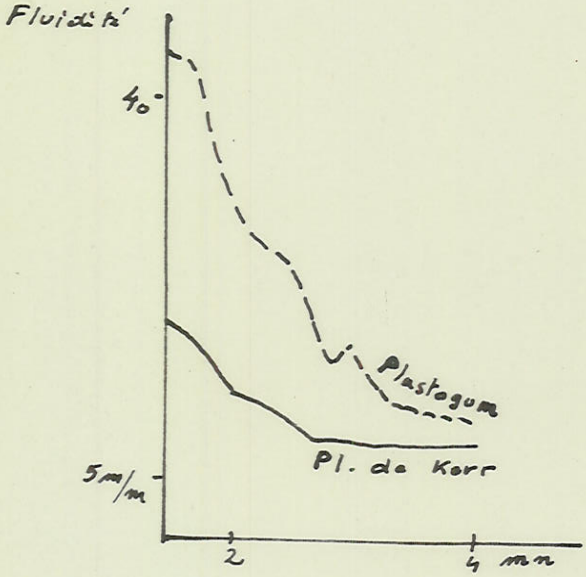
° Pour [1] cristallisation à 44° de certains cristaux, facteurs d'imprécision (dessin 4 a)

° Pour NALLY, on peut parler d'une rétraction linéaire [5] de l'ordre de 0,3 à 0,4 % (entre 37° à 25°), donc, empreinte coulée immédiatement, pas de stockage.
En plus, pour une empreinte unitaire, la pâte de KERR peut subir une formation rémanente de 0,04 [28]. Elle peut se déformer si le retrait n'est pas dans l'axe.
Donc instabilité certaine, de l'ordre de -0,4 % et, risque évident de déformation (dessin 5a).

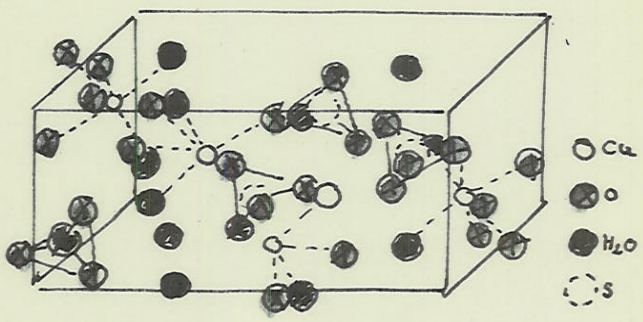
LE PLATRE



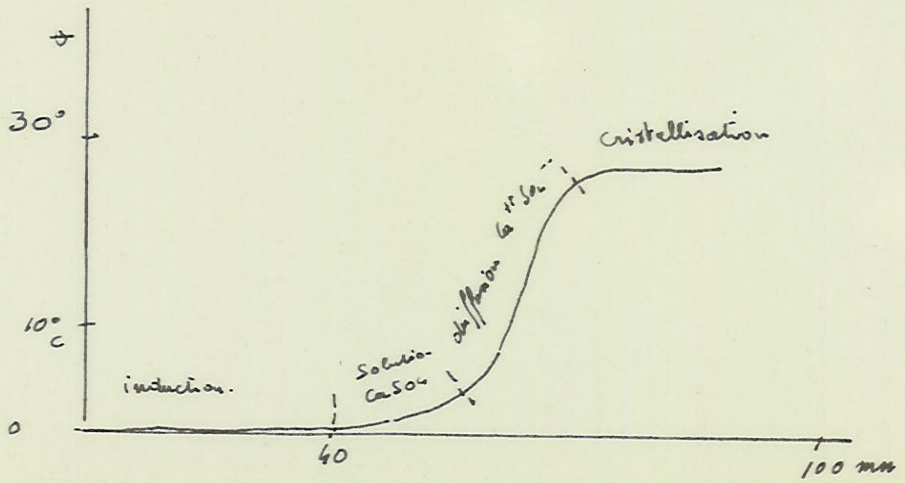
2 a cristaux du plâtre (granulométrie) [15 19 20]



2 b temps de prise [17]

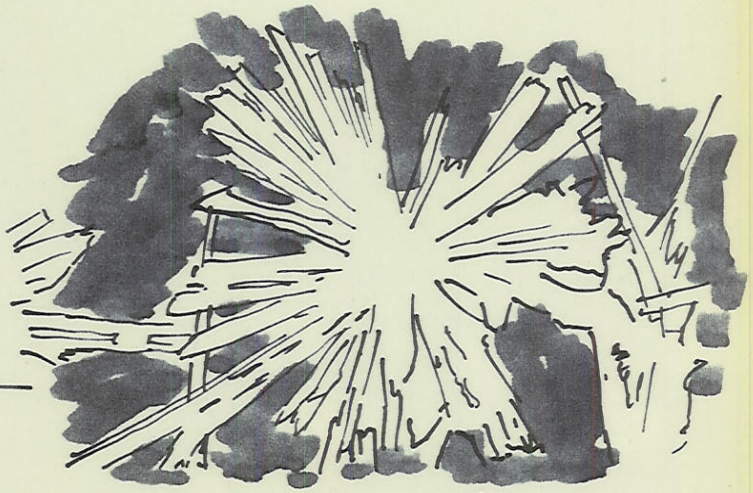


2 c Structure cristalline Gypse [23]



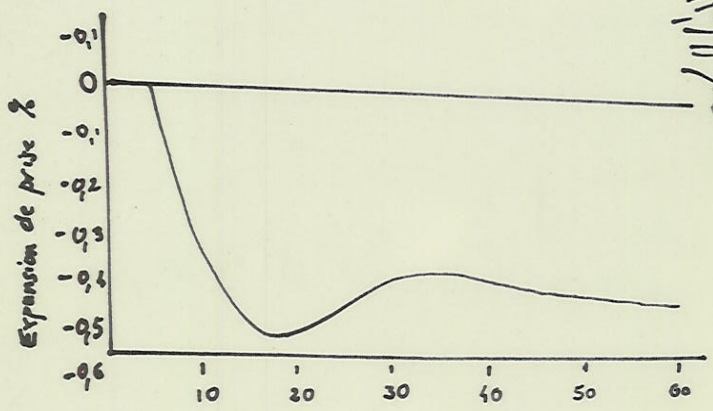
2 d Courbe de cristallisation (24)

Le Plâtre (Suite)



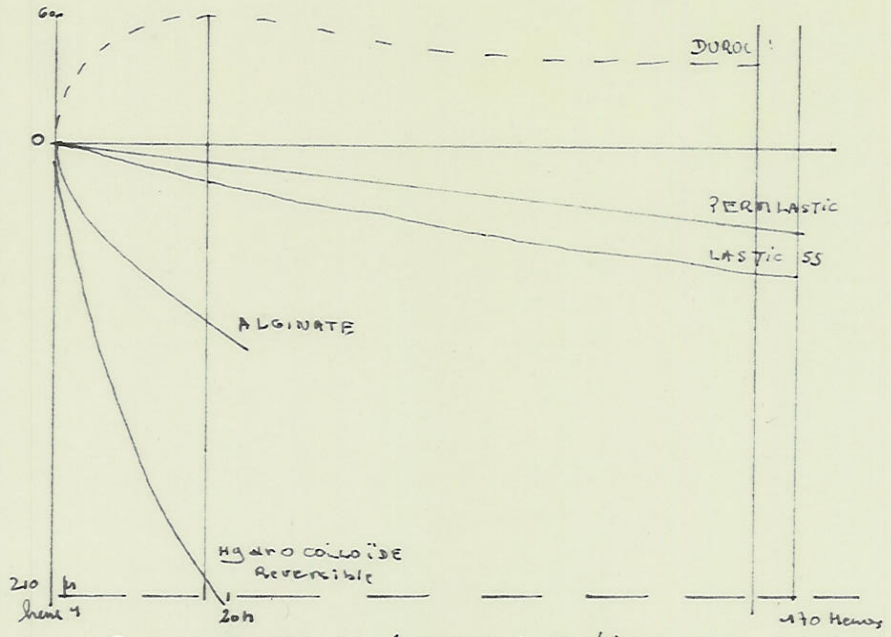
Agglomérat typique de cristaux apicaux Formes (Smith) [31]

dessin 3a.



Variations dimensionnelles pendant la prise d'un dérivé du gypse (Docking) [31]

dessin n° 3b



Courbes comparatives des 4 groupes de matériaux à empreinte et du plâtre Extra dur

dessin 3c

I-2-2-3 - Pâtes à l'oxyde de zinc [29 - 30]

Base de composition : a) - oxyde de zinc [5]
b) - un "liquide" essence de girofle 56 % des huiles 28 %

° Pour NALLY [5] la contraction de 0,1 % est négligeable, (peut être coulée tardivement) mais c'est une pâte trop collante

° ROUCOULE [16] parle d'une modification qui atteind [illegible] de 40 à 160 µ (dessin 5b)

° Pour LEJOYEUX [1] la stabilité dimensionnelle est mieux que suffisante en prothèse complète (contraction inférieure à 0,1 %)
Plus le matériau est fin, plus la stabilité déjà bonne est grande dans le temps [1]

° SKINNER [31] reste dans ces mêmes valeurs 0,1 % inférieur, et ceci, si le porte-empreinte a une stabilité dimensionnelle totale.

I-2-2-4 - Conclusion

- Une dilatation de plâtre de (0,5 à 0,05%)
- Deux contractions : les thermoplastiques (0,3 à 0,4%)
l'oxyde de zinc (0,1%)

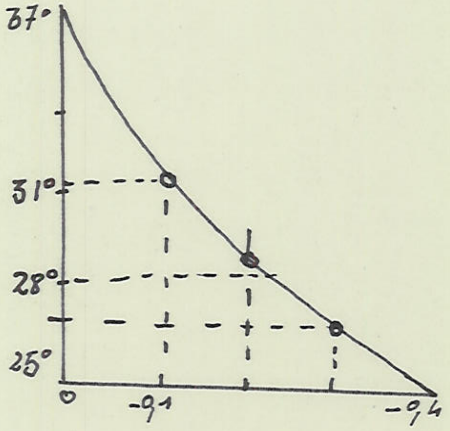
I-2-3 - Pâtes d'empreinte élastique
[Idem que 1-2-2]

I-2-3-1 - Hydrocolloïdes [28 - 32]

Composition : sol $\rightleftharpoons$ gel : réversible
sol $\longrightarrow$ gel : irréversible

a) - Hydrocolloïdes réversibles

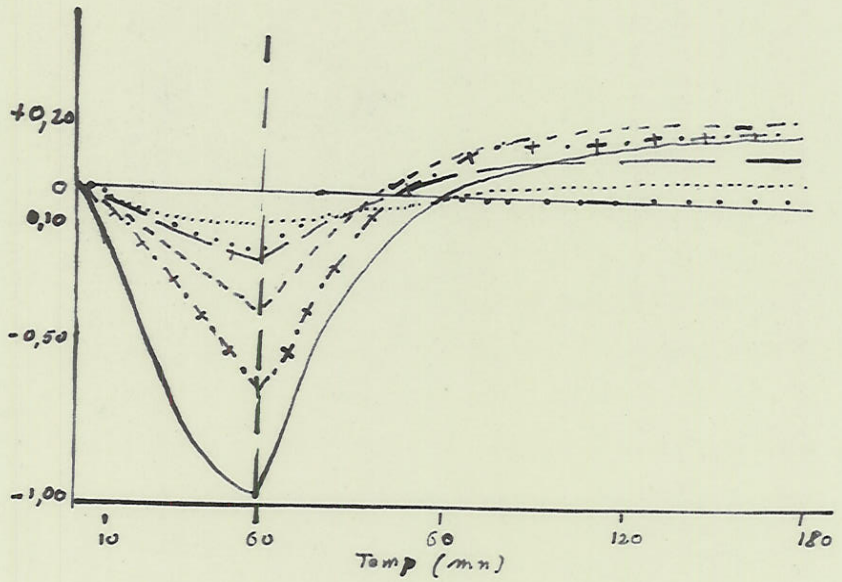
° Pour ROUCOULE [16] : contraction puis dilatation (voir dessin 5 c)
soit donc, une variation (± 10 µ)



Incrabilité dimensionelle
(thermoplastique)
(dessin 5a.) [16]

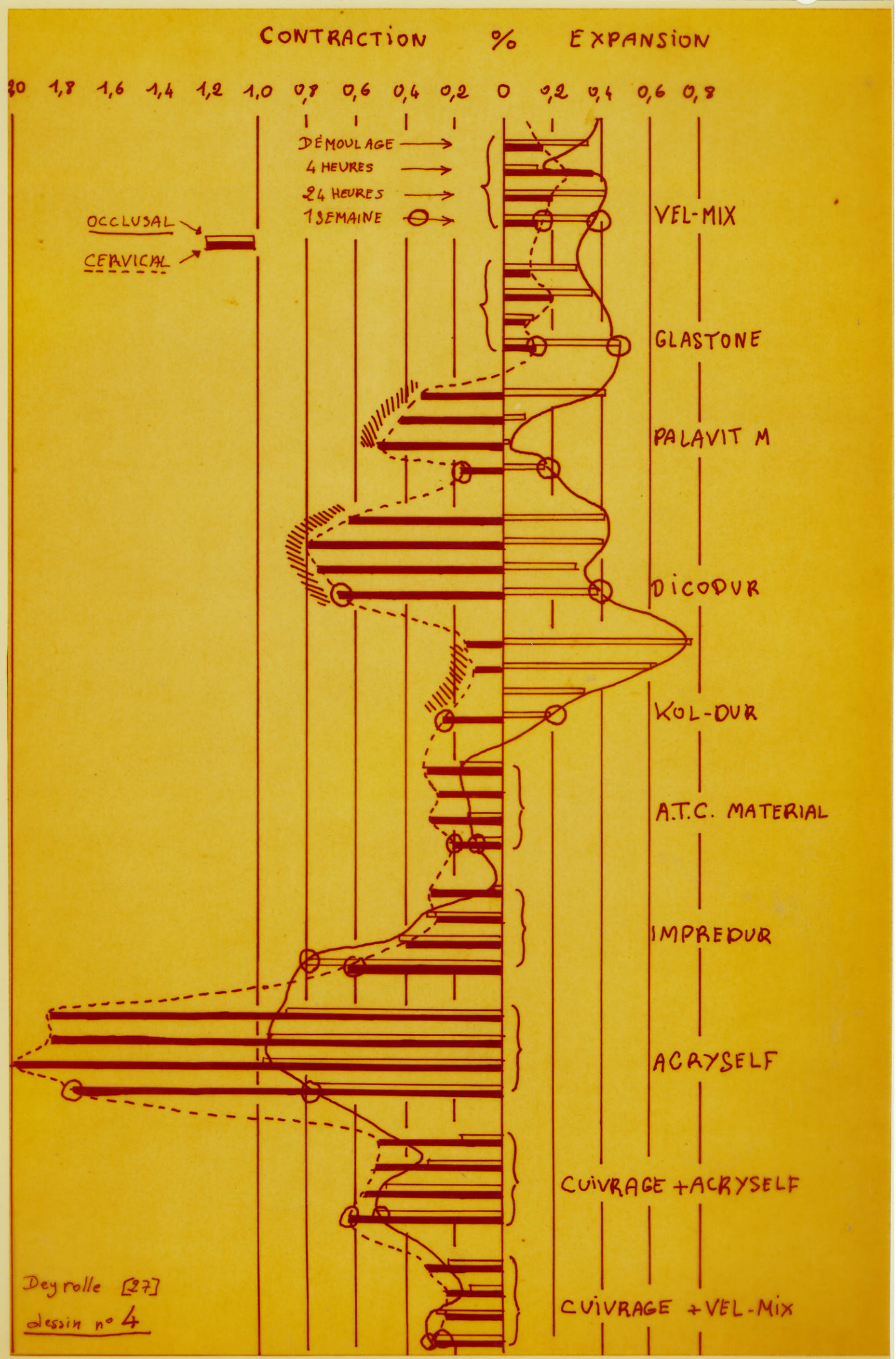
Luralile de Kerr	− 0,000
Ash	− 0,004
ss. White (hard)	− 0,004
SS White (soft)	+ 0,008
Alston	− 0,012
cero-plus	− 0,012
Nelly	− 0,016
Momax	− 0,016

Instabilité dimensionnelle
(ox de Zn + Eug.)
(dessin 5b) [16]



Contraction linéaire (hydrocolloïde réversible) [31]
(6 hydro différent) alegré hydrosopique cat.
(dessin 5c)

thermoplastic
oxyde de zn
hydrocolloïde



Deyrolle [27]
dessin n° 4

° NALLY [5] estime que ce matériau élastique est très précis et permet d'enregistrer de fins détails sans compression, il permet de prendre les surplombs

[5] ce n'est pas une empreinte à prendre en vitesse, on ne peut la métalliser, et il faut la couler immédiatement

° PHILLIPS et SKINNER [9] et [31] les facteurs de stockage sont très précis. Six autres facteurs influencent l'imprécision [9 p. 116] nous ne nous attarderons pas sur ces facteurs. Les raisons des variations de dimensions sont la synérèse et l'imbibition. Dès le retrait de la bouche la synérèse se produit ; et même une immersion ne redonne pas les bonnes dimensions. On obtient en général, une surexpansion de 0,1 % et peut-être même davantage, en plus il y a des zones de contraintes [32] (dessin 3c)

° STOKAGE [31] quelques soient les conditions de stockage (sulfate de potassium) il est impossible de pallier à cet échec, sinon, d'une façon encore plus inexacte (variation dans la masse de tassement est donc irréversible [31] (dessin n° 6a)

b) Hydrocolloïdes irréversibles (alginate) [33]

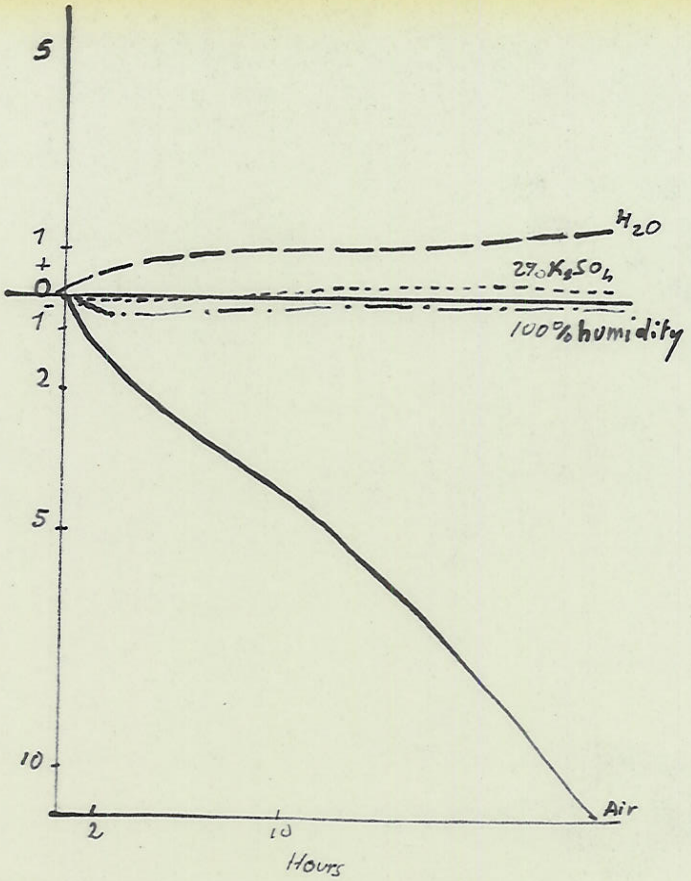
L'élément de base est constitué en général par un alginate alcalin de sodium ou de potassium soluble à l'eau [1]

Tout alginate présente une contraction ou une dilatation (dessin 7 c) plus ou moins importante, d'après BACHMANN [63], dans le temps.

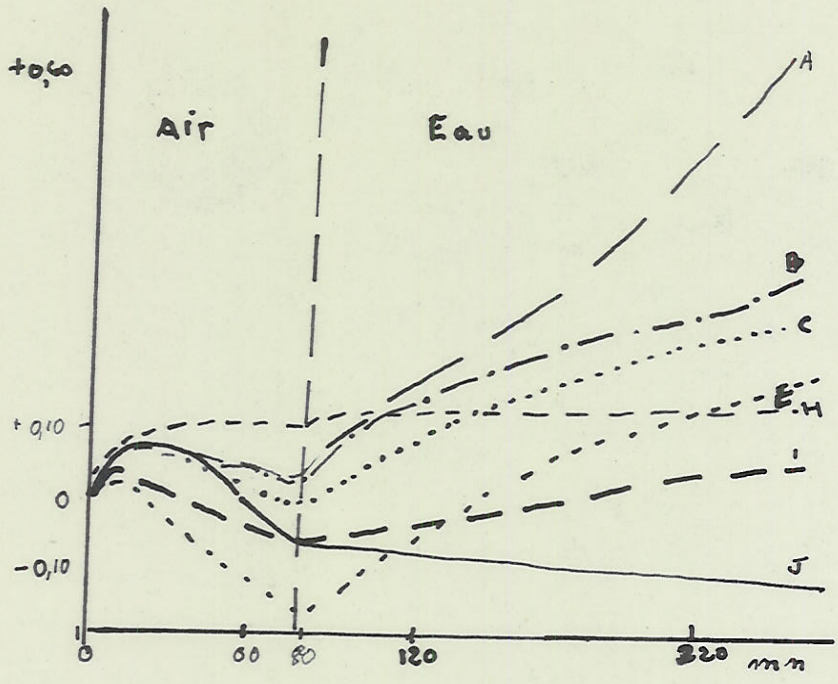
L'attente à air libre ou dans une vasque d'eau provoque toujours des déformations des matériaux et ceci, surtout dans les zones d'épaisseur maximale (mieux vaut une atmosphère humide que l'eau)

° Pour ROUCOULES [16] le degré de précision est le moins bon de tous les matériaux. La stabilité dimensionnelle est faible, le degré de précision médiocre (625 à 1750 µ) contre 10 µ pour les réversibles et 35 µ pour les silicones (voir [293 p40]) On peut parler d'une précision [6] suivant l'alginate de 0,1 à 0,3 MEYER atteint 0,7 % [33]

° PHILIPPS et SKINNER parlent dans de bons cas, d'une stabilité de 0,1 % (dessin 6 b) suivant les conditions.



Stokage (dessin n°6 a) [8]



alginate Stokage (dessin n° 6 b) [31]

Hydrocolloïde
Stokage

° NALLY se base sur les résultats de BACHMAN
Des variations autres que les variations linéaires seront à envisager

I-2-3-2 - Elastomères (élastiques polymères) [31]

Caoutchoucs synthétiques considérés comme gels colloïdaux hydrophobes [28]. La polycondensation du caoutchouc de base est faite par un réacteur chimique avec un liquide (ce n'est pas un catalyseur)

a) Thiocols ou caoutchoucs polusulfures (Permlastic [34])

La stabilité dimensionnelle peut être liée à plusieurs facteurs, signalons essentiellement [28]
- Le temps (plus l'empreinte reste en bouche, plus elle est précise)
- La fixibilité de la bouche
- La température
- La prise s'accompagne d'une légère stabilité (15 mn) puis rétractibilité
- Conservation : coulée sur le coup, il peut y avoir continuation de la polymérisation (dans l'heure) le porte-empreinte peut être sensible H_2O et des bulles d'air peuvent produire des bosses dans la die

° Pour ROUCOULES [16] on a une contraction première de 0,03 à 0,05 % soit 3 à 5 µ pour 1 mn. En trois jours elle dépasse 0,11 % à 0,13 %, ce qui ne représente que 11 à 13 µ
Recommandation [29] pour les empreintes juxta et supra gingivales.
La wash technique (double empreinte) est intéressante
4 % de moyenne 24 h allongement
19 % de moyenne 10 h [34]
Les résultats sont très bien montrés pages 33 à 36 de [4]
L'augmentation du catalyseur ne fait que rendre collante [1] donc imprécise l'empreinte. De toute façon, l'imprécision est due à une polymérisation secondaire (0,05 en 36 h et 0,13 % en 3 jours ; dessin 8a)
La wash technique (couche de plus fin) diminue la distorsion (dessin 8b)

° SKINNER et PHILIPPS parlent de 0,03 à 0,05 % à 30 mn et 0,11 à 0,13 % à 3 jours [32]
Nous pouvons donc, avec BACHMAN parler des diminutions de la longueur de l'échantillon (fonction linéaire du temps) [6]
Valeur plus faible que le silicone et conservation à l'air possible. Coulée immédiate.

b) Silicones

Offrent moins de précision au départ et dans le temps que les polysulfures (dessin 8c)

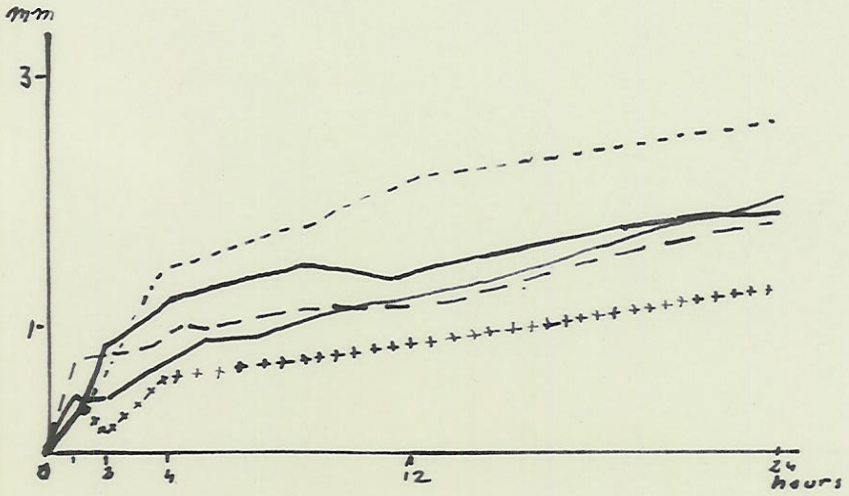
° ROUCOULES [16] place les valeurs des contractions à 0,05 % et 0,08 % en 30 mn, soit 5 à 8 µ au départ, 0,37 à 3 µ dans les trois jours, soit 37 à 30 µ ensuite.

° BACHMANN [6] enregistre peu de variations 170 heures donnent 0,086 %

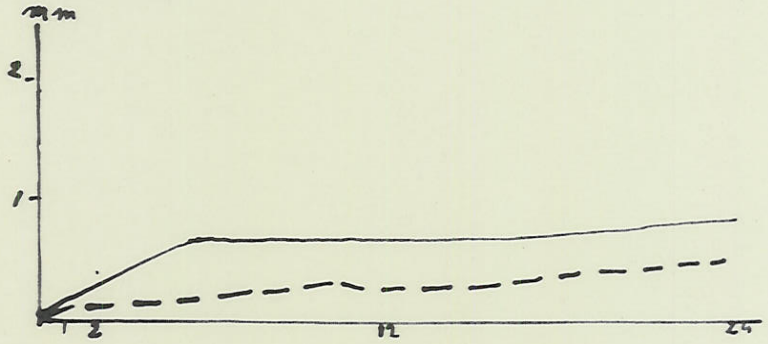
° SKINNER et PHILIPPS donnent 0,03 à 30 mn et 0,3 à 0,8 en 3 jours [9,31]
Les valeurs de distension sont très bien traduites dans [1] par A $\frac{10}{}$ 14 (dessin 9a)
Le schéma montre que la stabilité dimensionnelle est fonction de :
- épaisseur
- temps de polymérisation
- délai pour couler
- nombre de modèles tirés de l'empreinte (dessin 9 a-b-c et d)

Notons que les polysulfures comme le silicone [16] ont des variations importantes entre le moment de leur utilisation pour préparer les modèles et celui du repos après l'empreinte

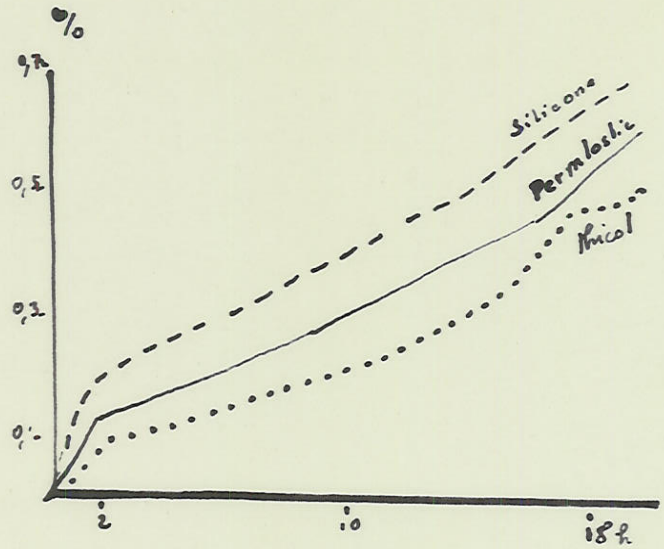
c) Elastomères mixtes [1 - 16]
Protection commerciale inadmissible pour des produits à usage médical.
LASTIC modifié de 0 à 2,6 %
XANTOPREN 7,5 % à 19 %
OPTOSIL par contre de 7,5 à 6 %
Pour les élastomères de synthèse, il est à noter (dessin 10 a) qu'il existe de grandes différences de comportement entre le [14] et [ ] le Right



Thiocol (stabilité temporelle) [1]
dessin 8a

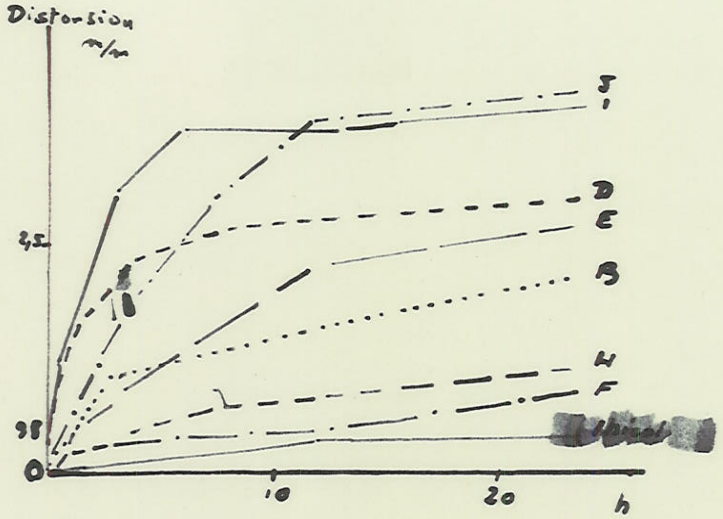


Thiocol (Werk. technique)
dessin 8b [1]

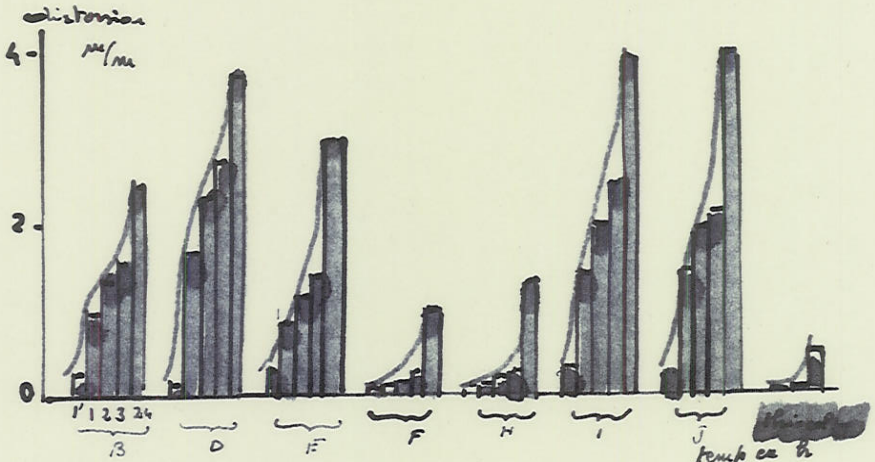


Comparaison Thiocol Silicone.
dessin 8c [1]

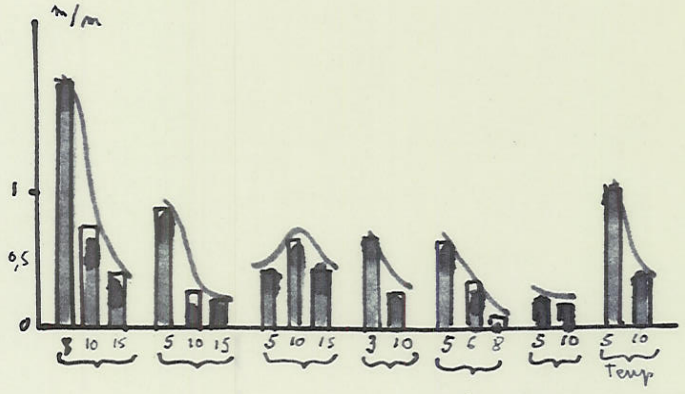
Thiocol
Silicone
mixte



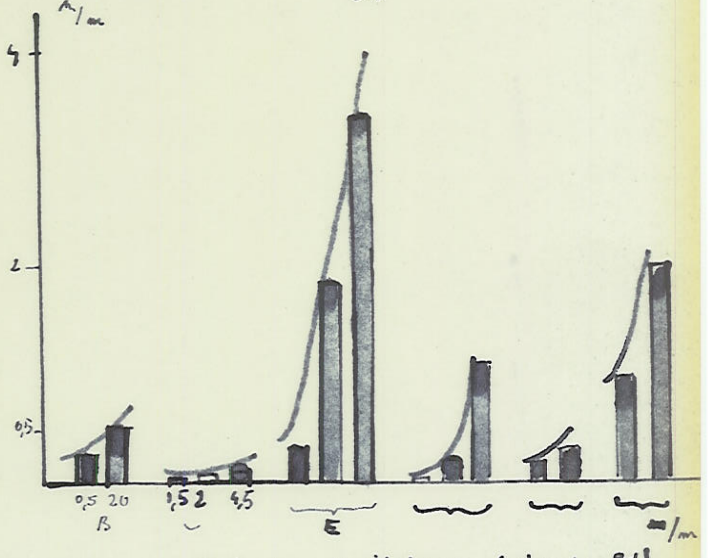
distorsion avec le stockage à l'air [1]



distorsion sur plusieurs modèle (dessin 3b) [1]



distorsion de polymérisation (dessin 3c) [1]



distorsion en épaisseur (dessin 3d) [1]

Thiocol
Silicone
(distorsion)

I-2-4 - Gélatine

Permet la coulée de plusieurs empreintes. Sa précision est de l'ordre de 20 à 60 µ [16] selon la marque

- Exemple [16]

C et J - l'erreur va de 0,2 à 0,5 % pour le 3ème modèle
Virilium " " " 0,4 à 0,6 % " " "
Multigel " " " 0,3 à 0,4 % " " "
Vidur " " " 0,2 à 0,4 % " " "
Croform " " " 0,3 à 0,4 % " " "

I-2-5 - Pâtes à empreinte directe

I-2-5-1

Seuls matériaux utilisés depuis le XVIIIe et XIXe siècle; ils connaissent un regain de popularité depuis 1956 [1]
Composition à base de parafine, cire d'abeille, cérésine et blanc de baleine
Ces compositions ont une modification négligeable de volume au cours des variations thermiques [1] et possèdent une grande stabilité dimensionnelle.

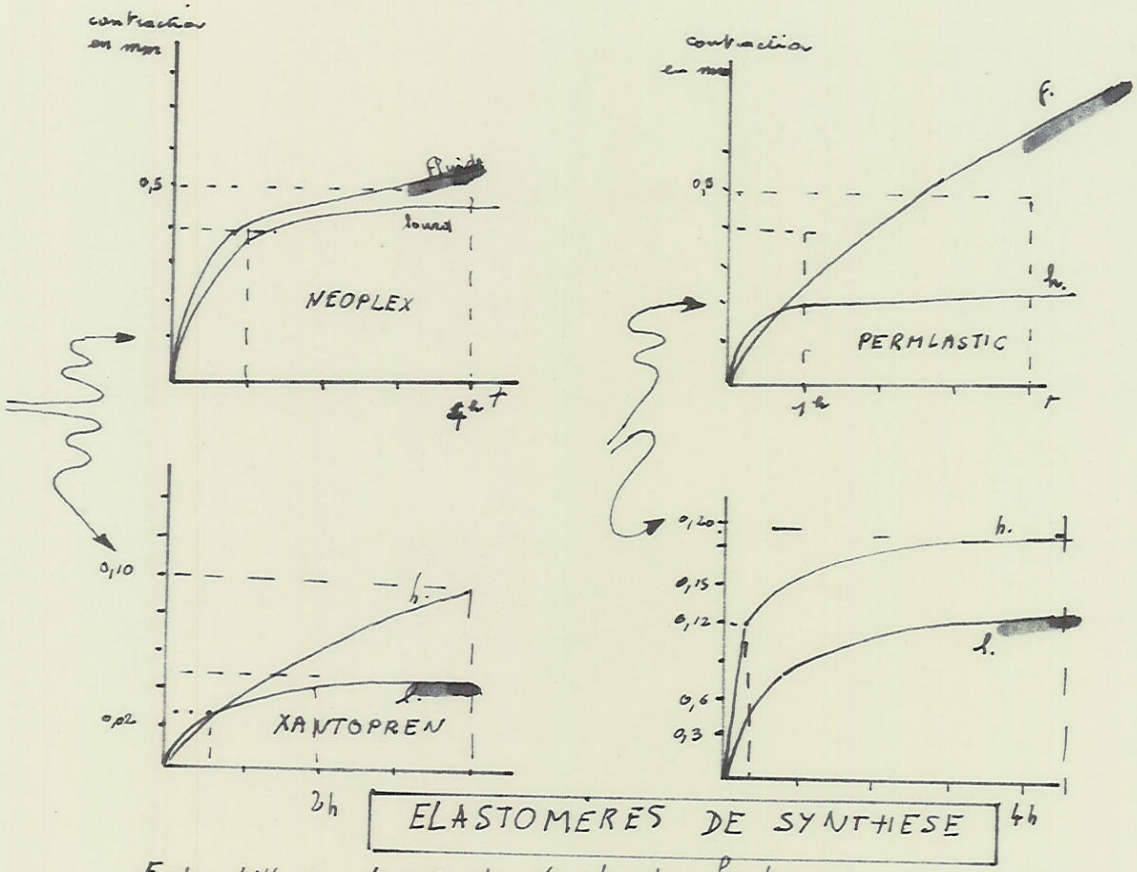
- La cire d'inlay peut être minérale, végétale, synthétique ou naturelle [28]. Une courbe d'expansion thermique a été établie par PEYTON [35] (dessin n° 11d)

° Pour ROUCOULES [16] perte de 1 à 6 % au cours du refroidissement, soit une différence de 30 à 40 µ .

° Pour PHILIPPS et SKINNER [31] la dilatation linéaire est très importante 0,7 % pour 20°C ou contraction de 0,35 % par passage de 37 à 25° (cf pâte de Kerr) voir dessin 11 c - d)

° Pour NALLY, une conservation est, avec réserve, admise à 4° [5]

° Pour DEMELON [28] la cire a une contraction de 0,45 % entre 37 et 20°. Cette expansion est fonction de la consistance de la cire
50°C Soft : 1 %
" Médium : 1,1 %
" Hard : 1,2 %
La cire est très facilement assujettie aux déformations



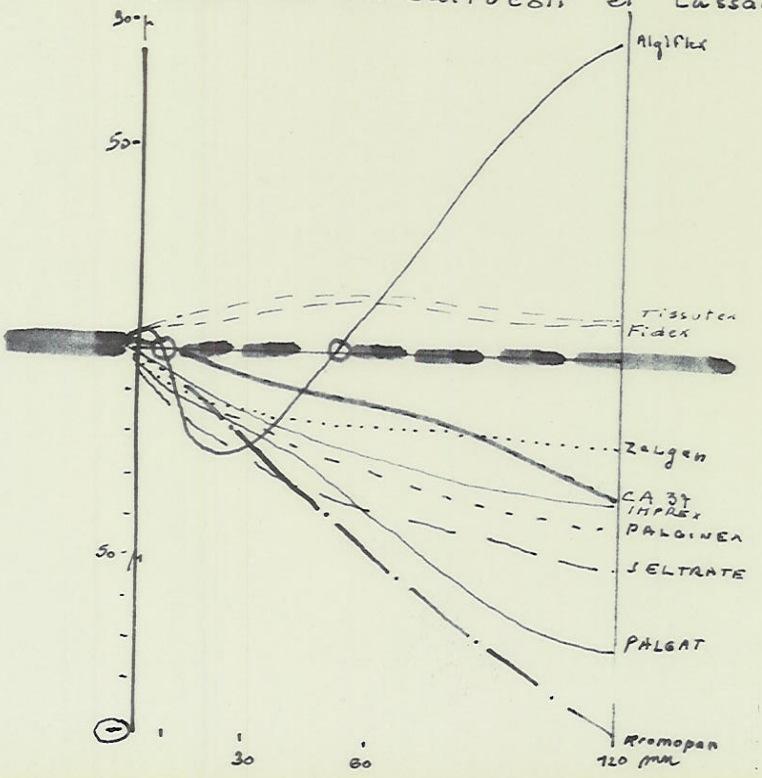
ELASTOMERES DE SYNTHESE

Echantillon 10 mm de ∅ et de hauteur

37°C 1 atm. Epaisseur sensible ± 1/4 h

(dessin 10 a)

(+) (travaux de MM Caiticoli et Lussac)

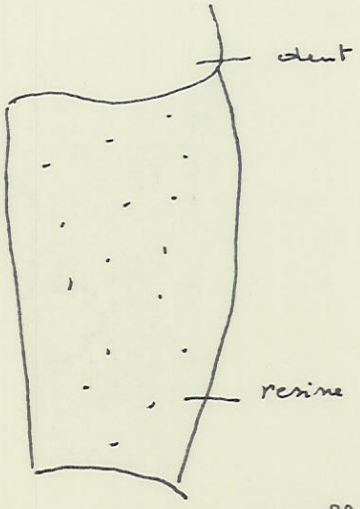


ALGINATE

Echantillon 10 mm ∅ et h.

(travaux de BACHMANN)

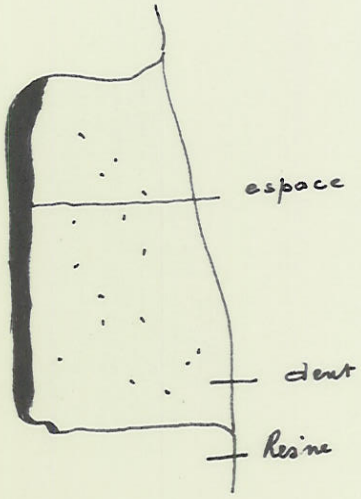
(dessin 10 b)



Resine autopolymérisable.

technique du pinceau.

(dessin II a) [28]

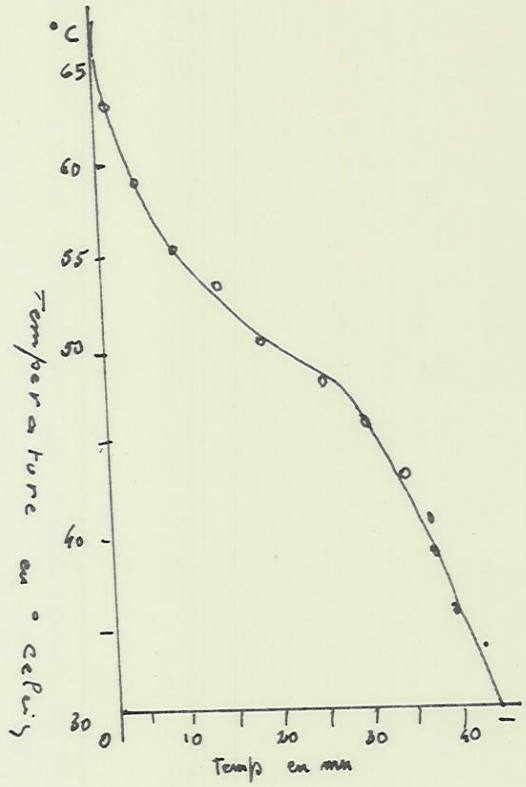


Résine autopolymérisable

technique comparative.

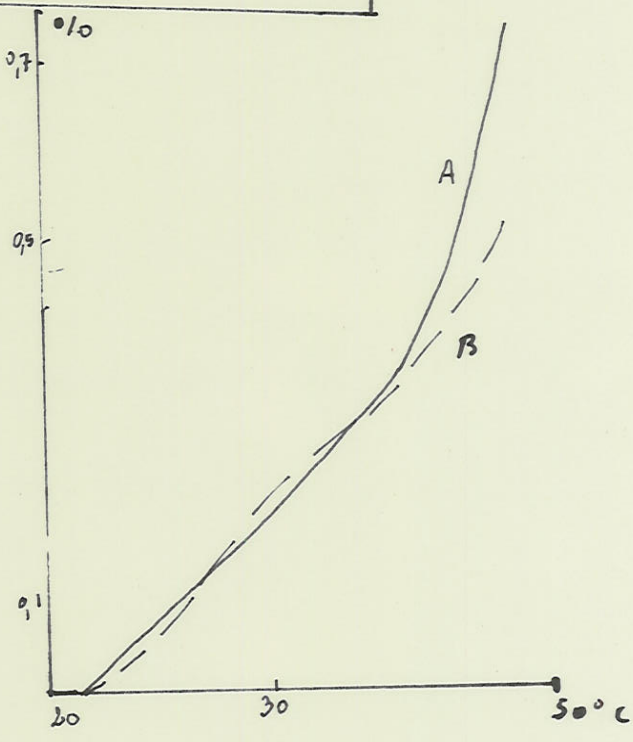
(dessin II b) [28]

Resines - Empreinte directe



Fluage de cire.

(dessin II c) [28]



dilatation d'une cire à Inlay (A sous pression constante et B sans pression)

(dessin II d) [28]

Cires à Inlay

I-2-5-2 - Résines pour empreinte

Elles font partie des matières plastiques, composées d'un polymètre et d'un monomère, il y a polymérisation.

Pour une empreinte, ce n'est évidemment pas la résine thermoplastique qui nous intéresse, mais la résine autopolymérisante. Le principe reste le même, mais la chaleur endothermique n'est pas nécessaire.

a) Résine autocatalytique à prise retardée

Sous forme de poudre et liquide (copolymère de métacrylate de méthyl et acylate d'éthyl, solution alcoolique de plastifiant de synthèse pour prothèse amovible)

La mise en place se fait au pinceau (dessin 11a - b et 12c) [38]

° ROUCOULES [16] parle d'une contraction de l'ordre de 5 à 22 µ SWECNEY dit 53 µ

° SKINNER et PHILIPPS parlent du double problème de la stabilité dimensionnelle et de la température [31] (dessin 12 a et b)

° NALLY quant à lui [5] soulève 3 problèmes de variabilité dimensionnelle :

- Le coefficient d'expansion thermique ; gros problème de précision ($81 m 10^{-6}$)
- Changement de volume du à la polymérisation (5 à 6 %, contraction linéaire 0,5 %)
- Dilatation en immersion (1 % après 30 Jours)

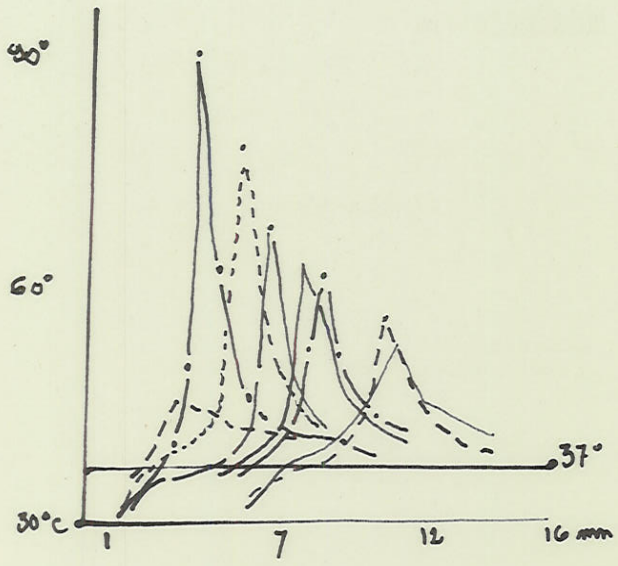
I-2-6 - Produits pour le positif

Lorsque l'empreinte est prise, deux voies sont possibles

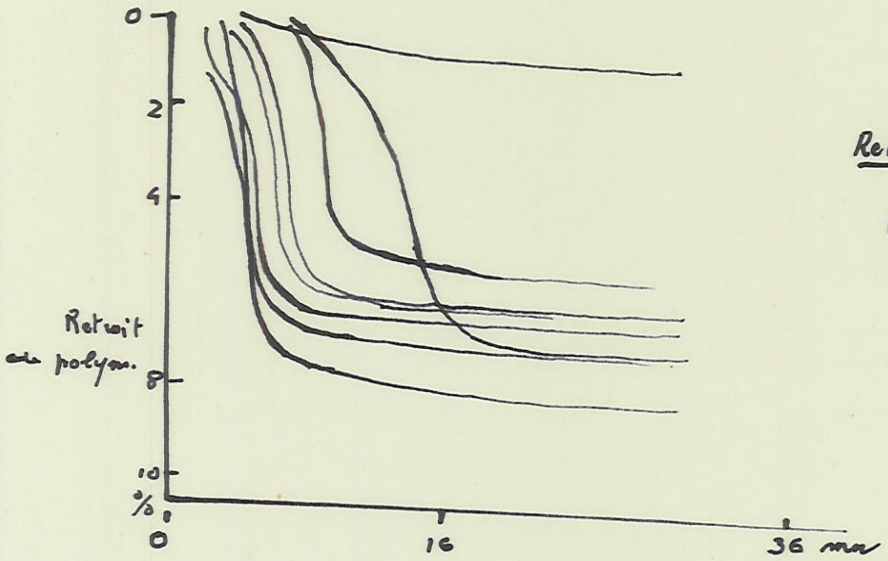
1 - la coule r directement

2 - la consolider avec une galvanoplastie ou une résine

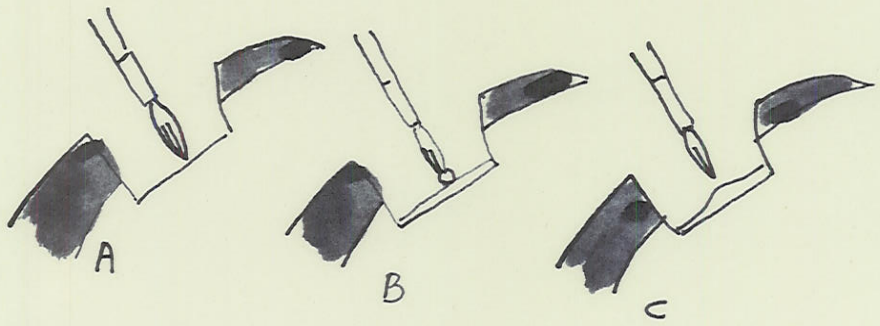
Ces différentes possibilités sont liées aux produits utilisés et à la précision souhaitée



Augmentation de température
Resine autop. d'optimation.
[31]
(dessin 12 a.)



Retrait de volume
[31]
(dessin 12 b)



Application au pinceau [31] (dessin 12 c)

Resine

I-2-6-1 - Le Plâtre

Les caractéristiques techniques et cristallographiques ont été développées au chapitre [1-2-2-1]

La cristallographie nous montre que la précision du grain est liée à bon nombres de facteurs (eau/p, adjonction de catalyseur, malaxage, température ...) [5]

a) Le plâtre subit une expansion

(Velmix Gestone) quelquefois, subit expansions et rétractions (PALVIT)

Le temps de prise [26] est en général de 6 à 8 mn (pour DEYROLLE les accélérateurs influencent l'expansion)

L'expansion de prise (POGGIOLI et NALLY) [5 et 34] est 0,04 pour le duroc et de même pour le velmix (voir plus loin)

PEYRON [35] l'estime de 0,05 à 0,07 % d'où expansion de 4 à 5 µ pour 1 cm.

Plus il y a d'eau, moins il y a de noyaux de cristallisation par unité de volume et moins il y a d'interférence de croissance dans les cristaux [31] (voir dessin 13 a)

L'espace de surdimension, c'est bien dire [26] est utilisé pour le passage du ciment de scellement (0,04 %)

b) Les plâtres à empreinte [5] sont en général des hémihydrates (plus durs, moins d'expansion). Le $K_2 SO_4$ diminue l'expansion et le Na Cl l'augmente.

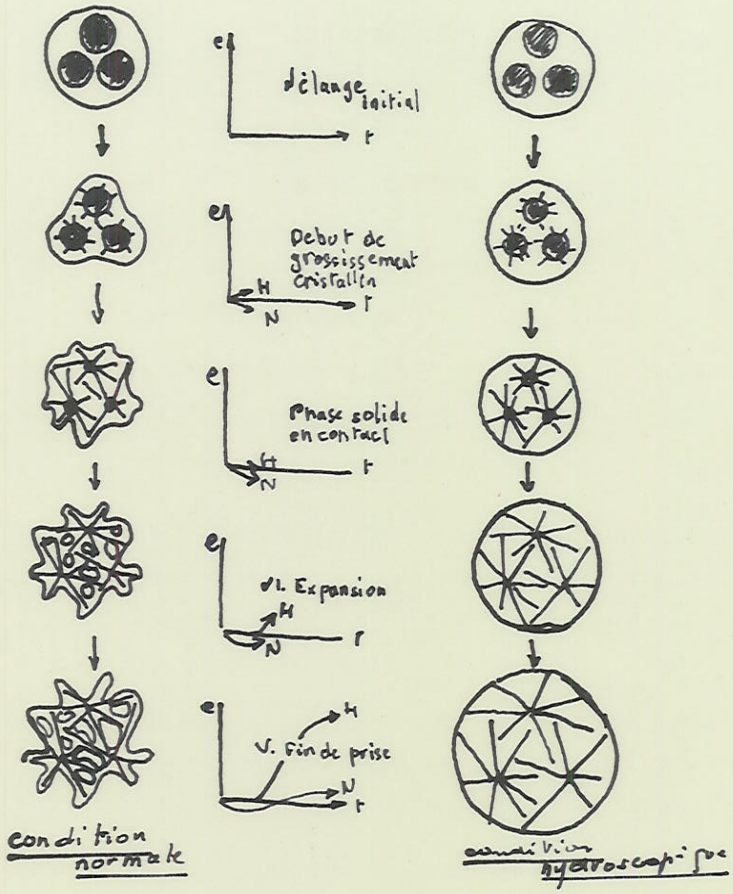
° Pour ROUCOULES [16] les plâtres pierres ont une faible expansion - 0,15 à l'air libre, 0,30 % en milieu hygroscopique (fin) et 0,8 à 1 % (gros grains)

- La quantité d'eau fait varier l'expansion en sens inverse 0,45 ⟶ 0,41 % exp.
  0,80 ⟶ 0,24 % exp.
- Malaxage : 1 mn 0,24 %
  2 mn 0,40 %
  8 mn 3,4 %

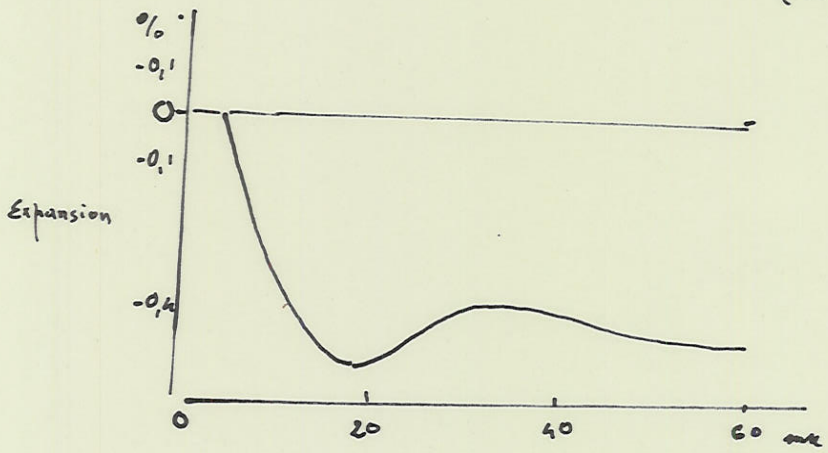
(dessin 13 b)

° SKINNER le fixe de 0,06 à 0,05 %

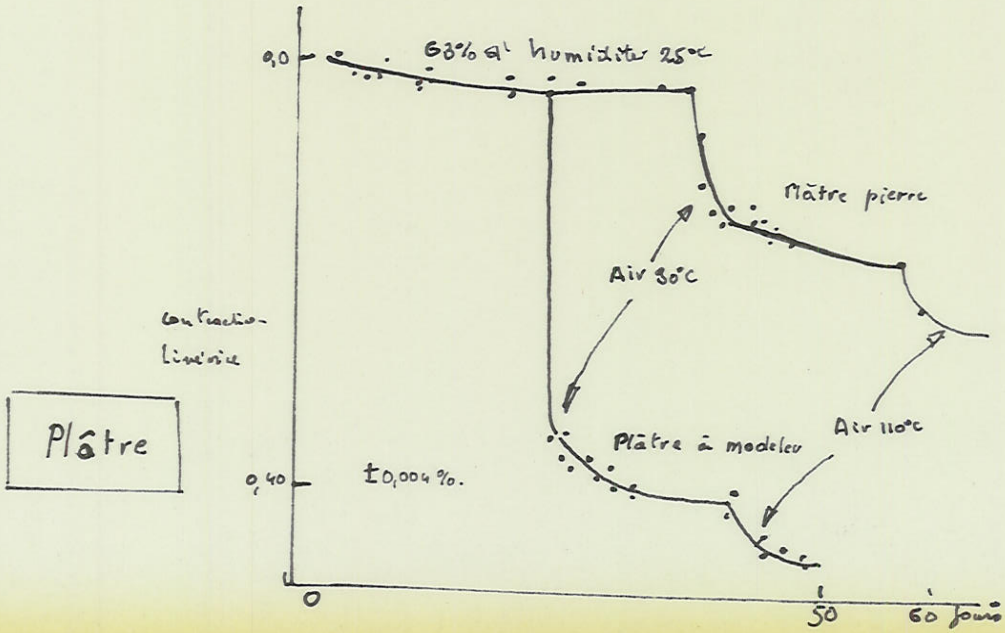
Ils font remarquer de toute façon, le rôle essentiel de l'âge d'échantillon. (dessin 13c)



(dessin 13a) [31]



Expansion du plâtre [31] (dessin 13b)



Plâtre

contraction avec l'âge [31]

(dessin 13c)

effet de la température

c) Les plâtres à empreintes offrent peu de résistance à la fracture [26]

d) Ils donnent une dureté de 35 (Knoop) après 24 h, et une résistance à l'abrasion de l'ordre de 0,248 (Velmix)

e) La cristallographie à l'oeil donne de bons résultats [18 et 26] dans la forme des détails

f) La réaction du modèle avec l'empreinte est nulle pour le plâtre

I-2-6-2 - Amalgame de cuivre

Employé sur empreinte cuivre, c'est un matériau moins précis [16] que le plâtre pierre. Il est pratiquement abandonné (voir plus loin)

I-2-6-3 - Galvanoplastie [36]

Argenture ou cuivrage

La galvanoplastie d'argent sur thioplaste est suffisamment connue. L'empreinte galvanisée est remplie de plâtre. La galvanoplastie sur métal est aussi possible [37]

La galvanie du nickel [36] est aussi possible. Le gros problème est la tension interne qu'elle provoque.

Après un dépot, (par exemple) d'argent en poudre, le revêtement intérieur galvanique est obtenu.

Il y a variation dimensionnelle dans les bains acides et alcalins que nous notons (avec les variations de poids pour rappel) (dessin 14 a)

Que dire finalement ?

La galvanoplastie offre un M P O moins surdimensionné que le plâtre [26] mais produit des tensions internes. Elle manque d'adhérence et provoque la contraction des résines déposées.

- la résistance est supérieure
- la dureté 102 au cuivre (Knoop)
- La résistance à l'abrasion est 0,025 (10 Fois celle du plâtre)
- les détails sont très poussés
- nécessité d'une surveillance constante

I-2-6-4 - Les résines auto-polymérisables

Elles sont plus stables que celles polymérisables à chaud (3 à 4% d'imprécision) [16] (voir dessin)

Les résines auto ont en général une contraction de polymérisation limitée à la compressibilité [illegible] la compressibilité. En méthode directe [36] contraction limitée par l'immersion (absorption d'eau)

Si nous nous reportons au dessin 4 [27] nous voyons nettement une dispersion des valeurs de dilatation et de contraction.

I-2-6-5 - Note

- Pour certains matériaux (PALAVIT, DICODUR et KOLDUR) nous avons une dilatation par prise, puis une contraction inégale (valeurs à 0,3 à 0,4 %)
- Les résines EPOXY (ATC ETIMPRIDUR) sont contractibles 0,2 à 0,4 % (voir 0,6 à 0,8 en 7 jours)
- L'acryself a une rétraction fonction de l'épaisseur 2 % !

I-2-7 - Le revêtement

L'expansion des revêtements varie en général [16] en fonction des méthodes de chauffage et de coulée utilisées (thermique ou hygroscopique) le pourcentage allant de 0,4 % à 1,8 %, soit 40 à 180 µ (dessin 14b)

Le problème est de compenser l'expansion du métal [5]

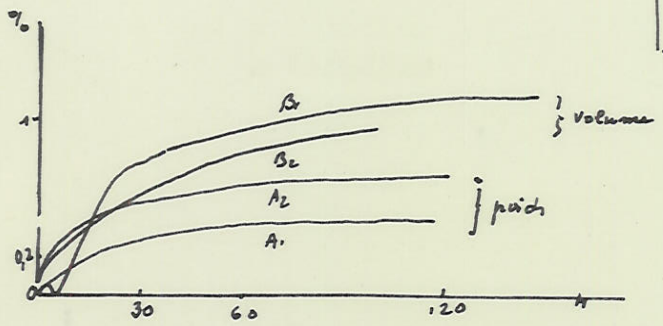
On compte en moyenne une expansion linéaire de 1,65 % correspondant à une contraction de la cire de 0,4 % et de l'alliage d'or par exemple (1,25 %). Cette expansion se fait en trois parties (de prise thermique puis hygroscopique si l'on veut et donnant jusqu'à 4 à 5 % sans contrainte où donc 2 % avec cylindre tapissé à l'amiante.

Nous représenterons simplement le schéma de prise normale et hygroscopique [31 à 40].

Tout revêtement doit être adapté au métal

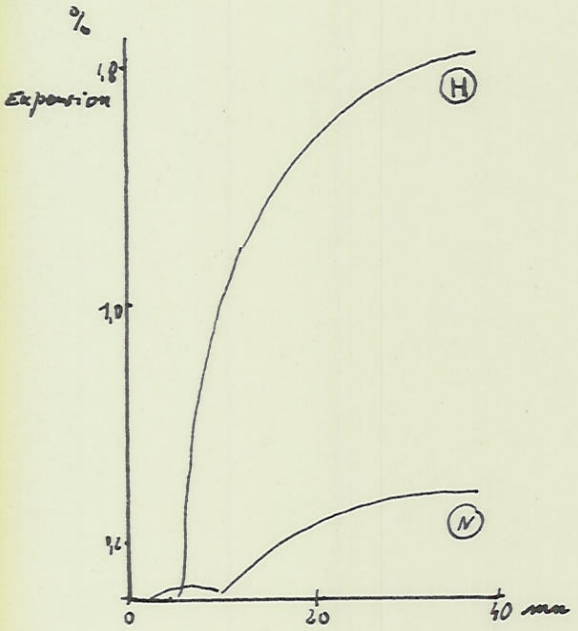
- courbe de précision normale inférieure à 800°C
- courbe de haute précision (pour porcelaine) supérieure à 960°C

Galvanoplastic revêtement



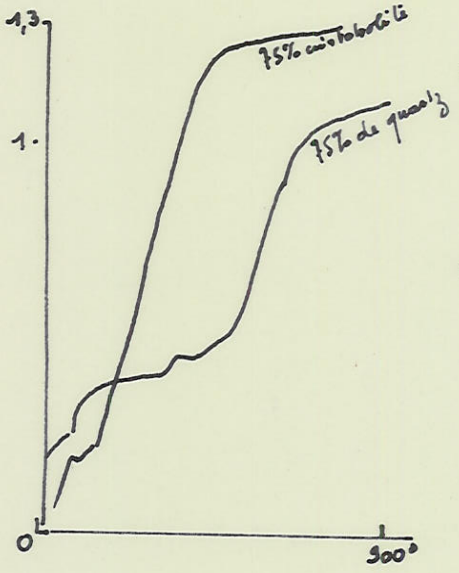
Changement de poids et de Volume d'un silicone dans un bain galvanique. De $NiSO_4$ et $AgCN_2$

(dessin n° 14 a) [37] [36]



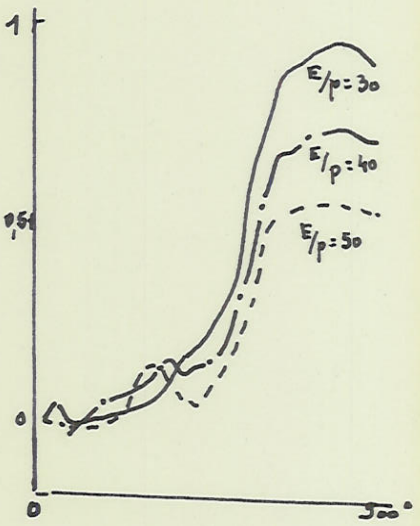
Expansion H et Normale. [43]

(dessin n° 14 b)



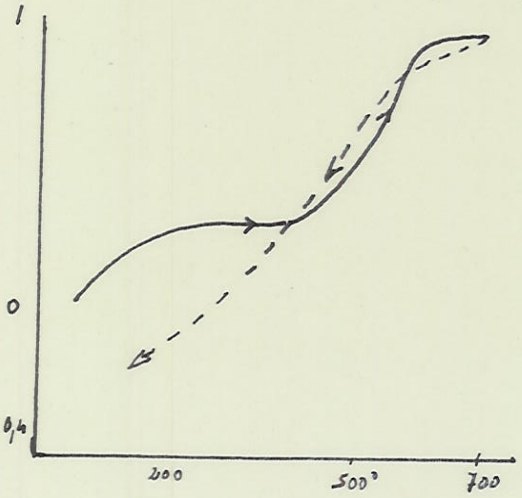
Influence des pourcentage des semiconducteurs et cristallinité [43]

(dessin 14 c)



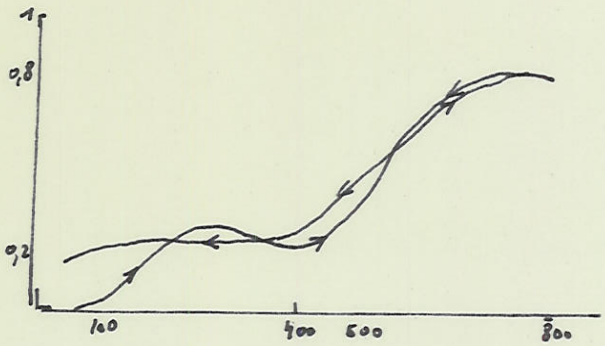
Influence du Rapport E/p

(dessin 14 d) [43]



contraction avec γ + q + Nach.

(dessin n° 14 e) [43]



revêtement phosphoré

(dessin 14 f) [48]

- Pour [43] expansion de prise : le plâtre se dilate à 95 %
- L'expansion hygroscopique 1,2 à 2,2 % (suivant silice employée)
- L'expansion thermique. Plus la silice est importante, plus l'expansion est grande. A une température entre 600 et 800° il peut se contracter de 2 % (dessin 14 c). La silice compense cette contraction d'où 1,3 % est obtenu avec 75 M de cristabilité et 25 % de pression.

  D'autres facteurs ont une influence :
  - quantité d'eau (dessin 14 d)
  - facteurs chimiques (Nacl) (dessin 14 e)

° Pour ROUCOULES les facteurs d'expansion sont [41]
Le rapport $\frac{E}{P}$ et la spatulation

° MARMASSE [42] exprime ces expansions par des graphiques

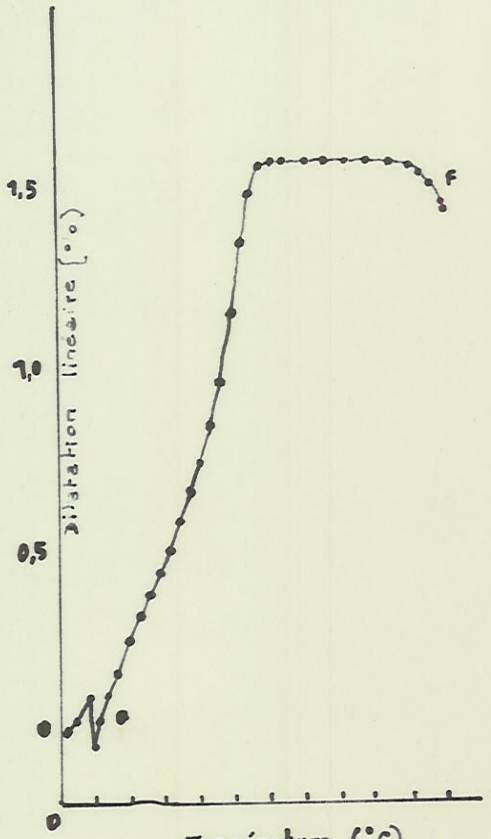
I-2-8 - Alliages dentaires

Au cours du refroidissement, un important retrait se produit, [16] qui est compensé par l'expansion normale du revêtement ; la valeur moyenne du retrait est 200 µ (hygroscopique : expansion de 180µ)
Sans plus approfondir, nous voyons donc qu'il y a une rétraction importante entre l'état chaud et froid.
Pour les stellites, la contraction serait de l'ordre de 2,3% [5].
On compense par l'expansion thermique ou hygroscopique [31]
Pour certains alliages, les revêtements ont leur secret, bien (trop!) gardé par les fabricants (dessin 15 A)
Le dessin (15 b) montre les différentes expansions

I-2-9 - Amalgames dentaires

Ils sont de deux sortes : sphériques ou traditionnels [42 à 45]
L'A D A fixe une dilatation de 0 à 20 µ par centimètre.

Mais ce phénomène n'est pas si simple ; une amalgamation représente un état variant avec le temps, une fragilité avec l'âge. Par une étude optique, nous pouvons traduire l'expression classique [47] de l'expansion de prise d'un amalgame.



Expansion thermique d'un revetement lié à la silice

(dessin n° 15 a) [31]

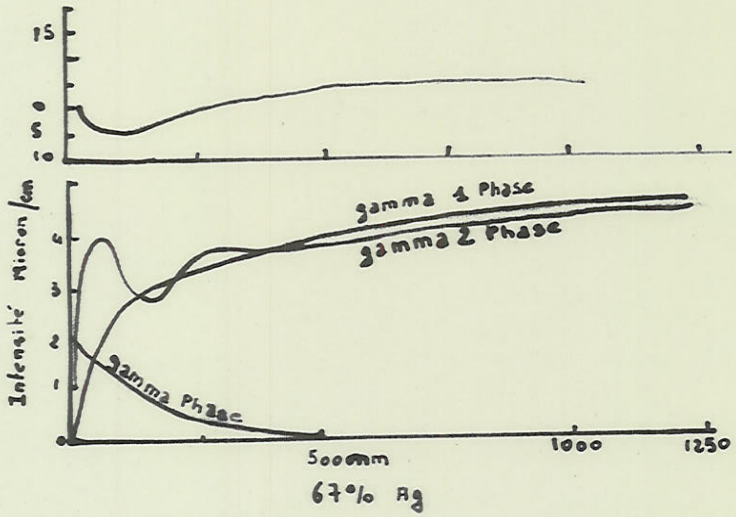
ALLIAGE	RETRAIT de COULEE (%)
I	2,24
II	2,23
III	2,14
IV	2,15
V	2,13

Retrait après coulée des alliages dentaires cobalt-chrome

DIAMETRE de la BARRE FONDUE (mm)	RETRAIT de COULEE (%)
3,18	2,25
6,36	2,53
9,54	2,39

Influence de la superficie sur le retrait après coulée

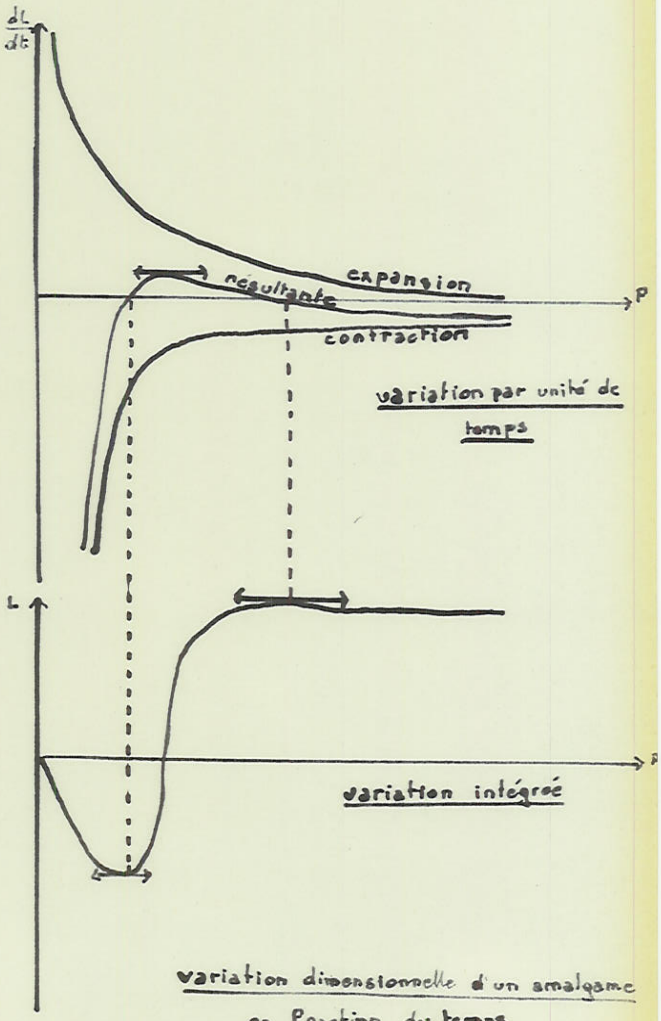
(dessin n° 15 b) [31]



Stabilité dimensionnelle, evolution des raies des differentes phases au cours du temps

alliage en poudre (67% Ag) + mercure

(dessin n° 15 c) [44]



Variation dimensionnelle d'un amalgame en fonction du temps

(dessin n°15 d) [44]

BLANC BENON nous offre plus de détails et différentie les phases (A. Sphérique) [44] (voir dessin 15 c - d - e)

Les remarques sont identiques pour l'amalgame de cuivre
Les croissances sont liées à deux phénomènes [44] : contraction expansion, que théoriquement, il ne faut jamais dissocier.

I-2-10 - Les ciments d'obturation

I-2-10-1 - Silicate

Ils permettent une restauration esthétique en pratique courante, mais ils présentent de gros inconvénients : acidité pH : 2,3 à 5,2 [31] et emploi dans l'humidité buccale, qui provoquent le phénomène de percolation [48], (digue pratiquement jamais utilisée).

Les variations de dimensions sont très importantes, en général dans le sens d'une rétraction [31].

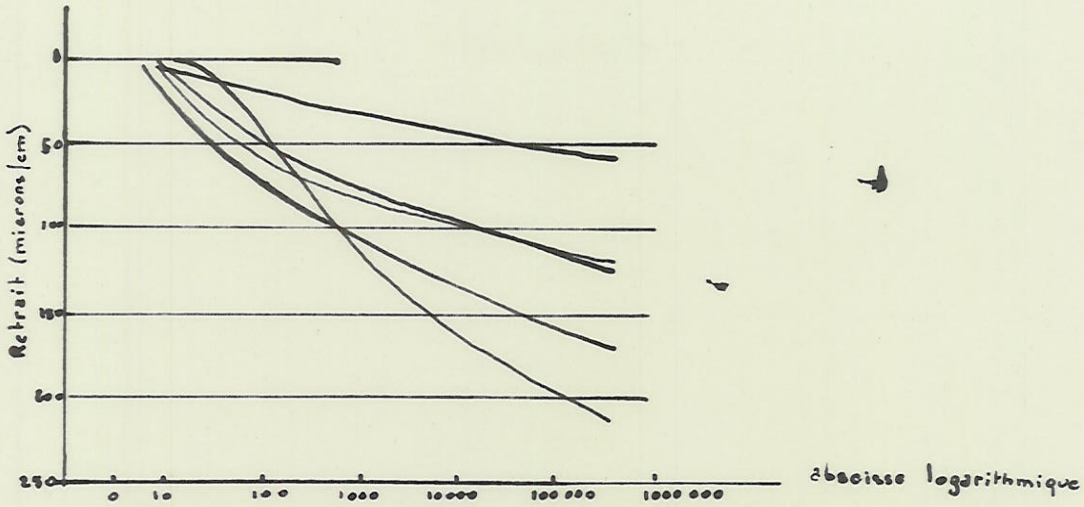
Pour NALLY, la polymérisation lente après la prise est responsable de cette contraction. L'absence de récidive (optimiste) vient peut-être [5] du fluorure et du milieu buccal, 1 % de contraction en R Buccal - 0,2 % de contraction en R Nasal
Ceci est dû au caractère irréversible du gel de silice

I-2-10-2 - Résine

Un grand pouvoir de contraction (voir résine à empreinte)

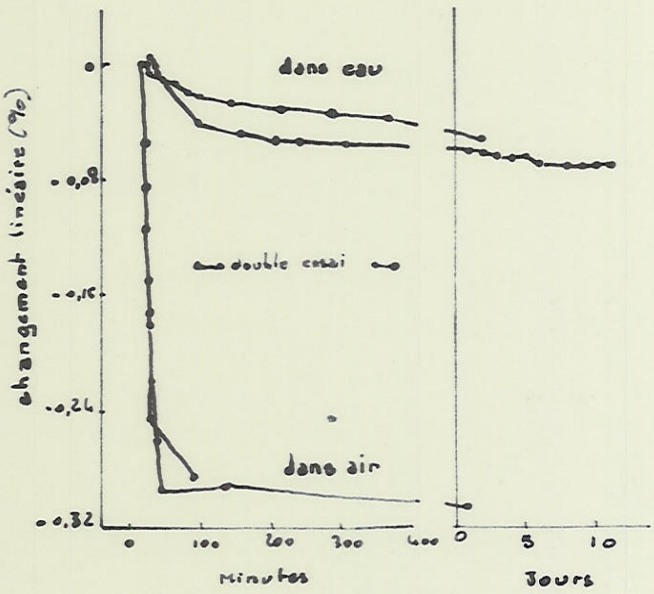
I-2-10-3 - Composites

Ce sont des résines à composants particuliers [46] ayant la propriété de moins se rétracter. La résultante « contraction sur dilatation » est moins importante, mais pour BLANC-BENON [45] la percolation n'est pas évitée.



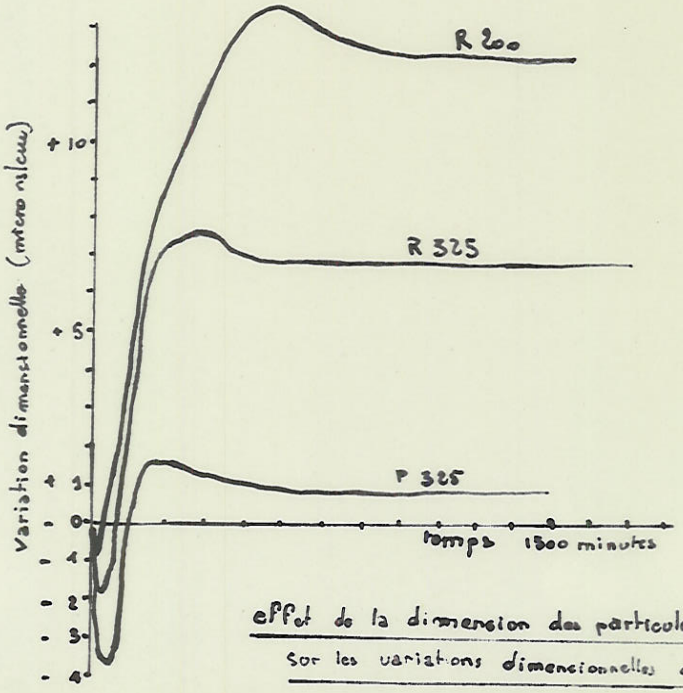
variations de dimension des ciments au silicate dans l'air, après la prise

(dessin 16a) [31]



variations dimensionnelles, pendant sa prise, d'un ciment au phosphate de zinc

(dessin 16 b) [31]



effet de la dimension des particules d'alliage sur les variations dimensionnelles d'un amalgame

(dessin n°16 c) [31]

I-2-11 - Ciments de scellement

I-2-11-1 - Ciments à phosphate de zinc [31]

Soit pour un film : stabilité de 0,08 % linéaire, c'est-à-dire 0,08 µ (très faible) (dessin 16 b)

Pour NALLY [5], il y a contraction après la pose de 0,3 % à l'air et 0,05 % à l'eau, donc valeurs négligeable

I-2-11-2 - Ciment au cuivre

Voir ciment à l'oxyde de zinc [31]

I-2-11-3 - Oxyde de zinc et eugénol

Remarque :

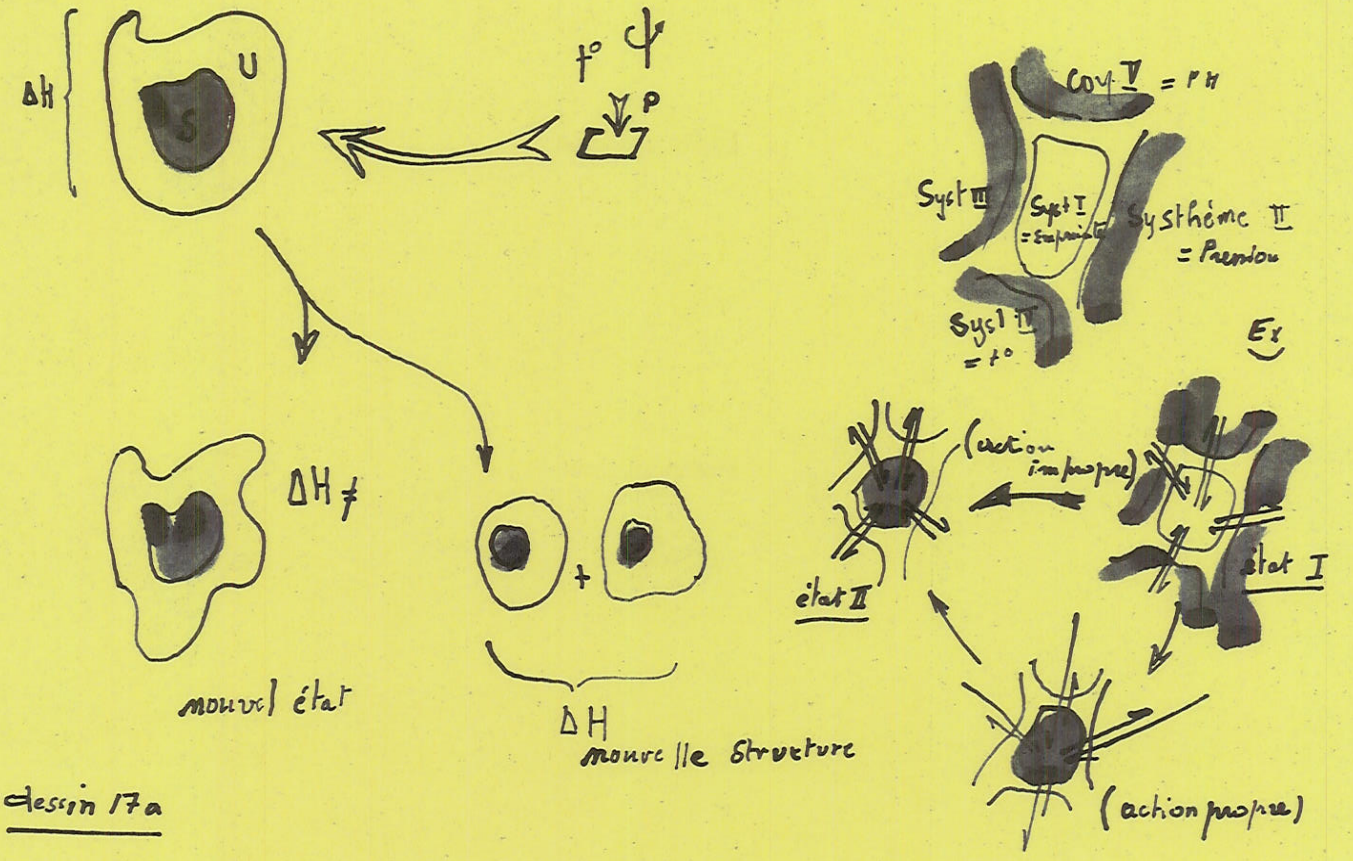
ROUCOULES [18] rappelle ses résultats pour les ciments de scellement. La contraction de prise est 0,004 % (en milieu humide) et 0,28 % (eau) heureusement l'espace est très fin.

- Nous n'aborderons pas, ici, la précision des matériaux de contrôle d'articulation (pour étude ultérieure) elle va de 150 µ à 5 µ [16]
- Les mesures : définitions
  - 1 m : 10^3 mm = 10^6 microns ou = 10^{10} Å
  - synérèse : séparation du liquide d'un gel
  - percolation : absorption, montée d'eau

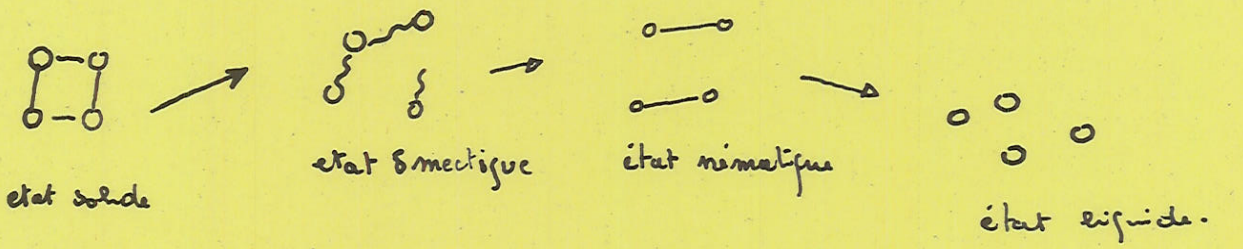
I - 3 - TENDANCE A LA PRECISION

Nous venons d'énumérer quel est le degré de variation dimensionnelle des corps utilisés en dentisterie

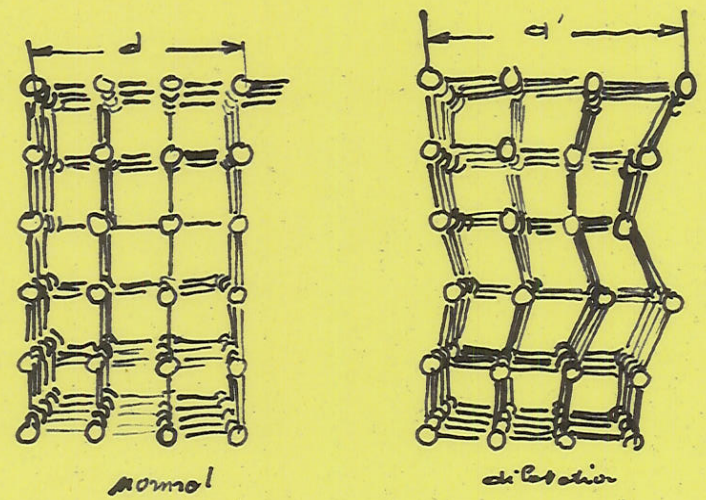
Ce facteur ne peut être traité en méthode courante, car il fait partie d'un tout donné "Le corps choisi" dans une étape donnée



dessin 17a



dessin 17b



dessin 17c

I-3-1 - Pourquoi variation dimensionnelle ?

Un système (pour nous l'ensemble des corps tels que : l'air, pâte d'empreinte, etc...) possède une énergie totale ou entalpie

$$H = U + PV$$

c'est l'énergie interne, une valeur définie
Les valeurs U et H ne sont pas non mesurables car trop de facteurs entrent en jeu. On ne mesure que des variations de ces valeurs.

$$\Delta H = \Delta U + P \Delta V$$

(variations : exergonique - ΔH et endergonique + ΔH)

Or, d'après KALOIRE, l'énergie utilisable d'un système n'est qu'une partie (ΔF) de ce système, elle est appelée énergie libre. La fraction non utilisable est nommée entropie (ΔS). "S" représente la quantité d'énergie liée aux électrons et, elle-même est liée à la probabilité du mouvement électronique. C'est une fonction universelle de la probabilité d'état d'un système.

D'après des données de BOLTZMANN :

$$S = K \log p + c$$

et selon CARNOT :

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad \text{(processus irréversible [51])}$$

C'est notre incapacité de coordonner les mouvements moléculaires qui rend inutilisable (pour nous) tant d'énergie.

Il est à noter que la position même de la probabilité des valeurs liées à l'entropie suit une valeur oscillatoire qui correspond aux oscillations moléculaires. Ceci est important car une grande oscillation peut atteindre un changement d'état [50]

Donc l'entropie d'un système apparaît comme un facteur de probabilité qui définit l'ordre interne du système.

Pour une molécule propre, elle est nulle à -273°C et correspond à l'énergie emmagasinée sous forme de rotation, translation, vibration, phénomènes électroniques.. Cette énergie est d'autant plus grande que le système est plus complexe, que les atomes et les molécules sont plus nombreux, plus déformables.

Donc, cette énergie " S " peut varier de façon considérable au cours de réaction chimique puisqu'elle dépend du nombre d'arrangements possibles des molécules, et de leurs différentes répartitions internes, sans que l'énergie totale change. Pour toute macromolécule, le rôle est considérable [49].

Elle joue un rôle dans toutes les formes possibles d'arrangement moléculaire, composition moléculaire, nombre d'atomes, groupement, structure ionique, atomique, température et influence de l'état physique.

Cette énergie ne fournit pas de travail, elle est très influençable dans une réaction.

Principe de MAYER et JOULE

"Lorsqu'un corps, en se dilatant, produit un travail positif sur les corps extérieurs, en contact avec lui il y a disparition d'une certaine quantité de chaleur.

Inversement, si un corps se contracte et subit un travail positif des corps extérieurs, il y a production d'une certaine quantité de chaleur.

Dans les deux cas, il existe un rapport constant entre les quantités de travail produit ou absorbé et les quantités de chaleur disparue ou apparue ; ce rapport est indépendant des corps mis en jeu".

I-3-2 - Partant de ces données

Il m'apparaît comme essentiel de poser le premier "principe de précision" qui peut être résumé comme suit :

La précision n'existe pas dans l'absolu, elle est relative à un état (EINSTEIN) et n'est que fonction de l'état d'un système, c'est à-dire de son entropie qui n'est qu'une probabilité d'existence fixe

A une échelle supérieure, en négligeant la relativité des choses et en prenant une valeur moyenne de S dans la probabilité, la précision sera, ainsi si l'énergie interne propre à un système ne varie pas, il faut un $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$ *de variation nulle entre deux temps* $-\infty$ *et* $+\infty$

Ceci supposerait que notre système (empreinte) est indépendant des autres systèmes (T et P différentes) ce qui est faux ; disons que c'est là le second "principe de précision" et qu'il représente les variations dimensionnelles
Par exemple : échange de température, pressions différentes

Donc, pour résumer, disons que : notre imprécision est liée à notre action propre, en ce sens que nous modifions la structure même d'un corps ΔS *quelque soit l'acte exécuté (du changement d'état ou réaction chimique)*

$$\Delta H = \Delta U + T\Delta S$$

Mais l'imprécision de notre acte est due également à ce qu'un système thermodynamique instable (c'est le cas de notre pâte dans le milieu ambiant) réagit avec les autres systèmes (dessin 17 a - c)

D'où nous nous trouvons avec une double imprécision. Imprécision propre (par notre action) et impropre, dite propre par relation (par l'interphase des systèmes en présence)

I-3-3 - *L'entropie entalpie atomique ?*

Qu'est ce qu'un solide en thermodynamique [51] ?
Un solide peut transmettre des forces (≠ gaz) et se présente cristallisé (vitreux : liquide de grande viscosité)

Il peut présenter plusieurs formes stables à pression P (allotropie)
Le passage à l'état liquide fournit une structure isotrope amorphe.
Ce passage se fait selon Pe *dessin 17 b.*

La formule de CLAPEYRON donne la quantité de chaleur pour fondre :

$$L_f = T(V_e - V_s)\frac{dP}{dT}$$

Lf = chaleur latente de fusion

I-3-3-1 -

Solide d'ENSTEIN à volume constant en théorie non quantique ; [51]

Soit un ensemble d'atomes moyennement fixes qui décrivent de petits mouvements autour d'une position d'équilibre

On peut les considérer comme indépendants et parler de forces de rappel et non d'interactions. L'énergie potentielle de chaque oscillateur est donc de l'énergie d'interaction (en vérité ils ne sont pas des oscillateurs indépendants)

L'énergie interne (chaleur interne) en passant :

$$U = c^2 N m + \frac{2N\theta}{K} = c^2 N m + 2R\theta$$

ne dépend que de la température (N oscillateur) seule variable d'état

I-3-3-2 - Idem en théorie quantique

Calcul avec un oscillateur spatial quantique d'énergie

$$E = h\nu\left(n + \frac{3}{2}\right)$$

Nous ne connaissons que l'énergie totale, il n'est pas possible de séparer la chaleur interne, nous ne pouvons donc déterminer θ

[51] donne la valeur de

$$U - U_T$$

I-3-3-3 - Schéma de DEBYE

Les atomes ne sont pas seuls et isolés, il y a des interactions entre eux. (Il y a propagation d'onde de vitesse dépendant de la direction et de la fréquence)

I-3-3-4 - La dilatation DEBYE

" Le déplacement de la position moyenne est sensiblement proportionnel à l'énergie des oscillateurs. En effet, en raison de la petitesse de "ge", cette énergie est peu différente de celle de l'oscillateur symétrique".

Les forces de rappel des solides ne sont pas exactement proportionnelles à l'élongation. Le déplacement des positions moyennes se traduit par une dilatation proportionnelle à l'énergie, donc, à la température [51 et 53]

I-3-3-5 - Conclusion

La dilatation [1.3.3.4.] comme tout changement d'état [1.3.3.] se traduit par une variation proportionnelle à l'énergie, donc à la température. Cette variation d'énergie est due au fait que les atomes oscillent (dessin 17 o) se quantifient et sont dépendants les uns des autres. Les forces même de rappel [1.3.3.4.] sont fonction de l'énergie donc mathématiquement l'état d'un système est lié à son énergie qui dépend de la température.

La précision est impossible théoriquement parlant si ce n'est à $T = -273°C$ où

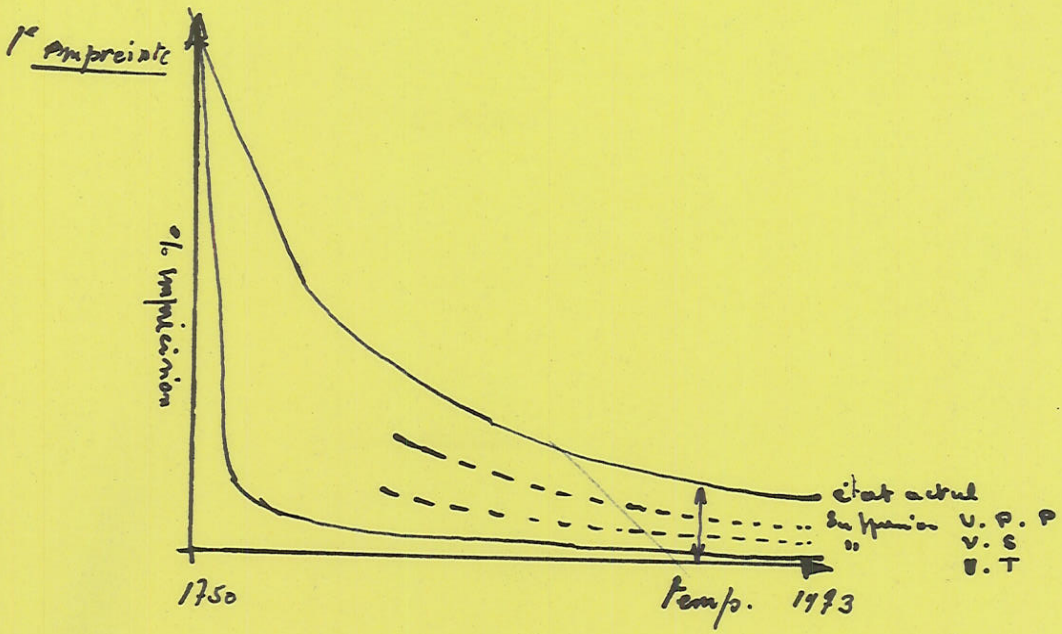
$$\Delta H = \Delta U$$

Les vibrations moléculaires ... nous font dire que, même dans un système stable à une température T_1 la précision n'est qu'une probabilité de précision (liée à la probabilité de présence atomique)

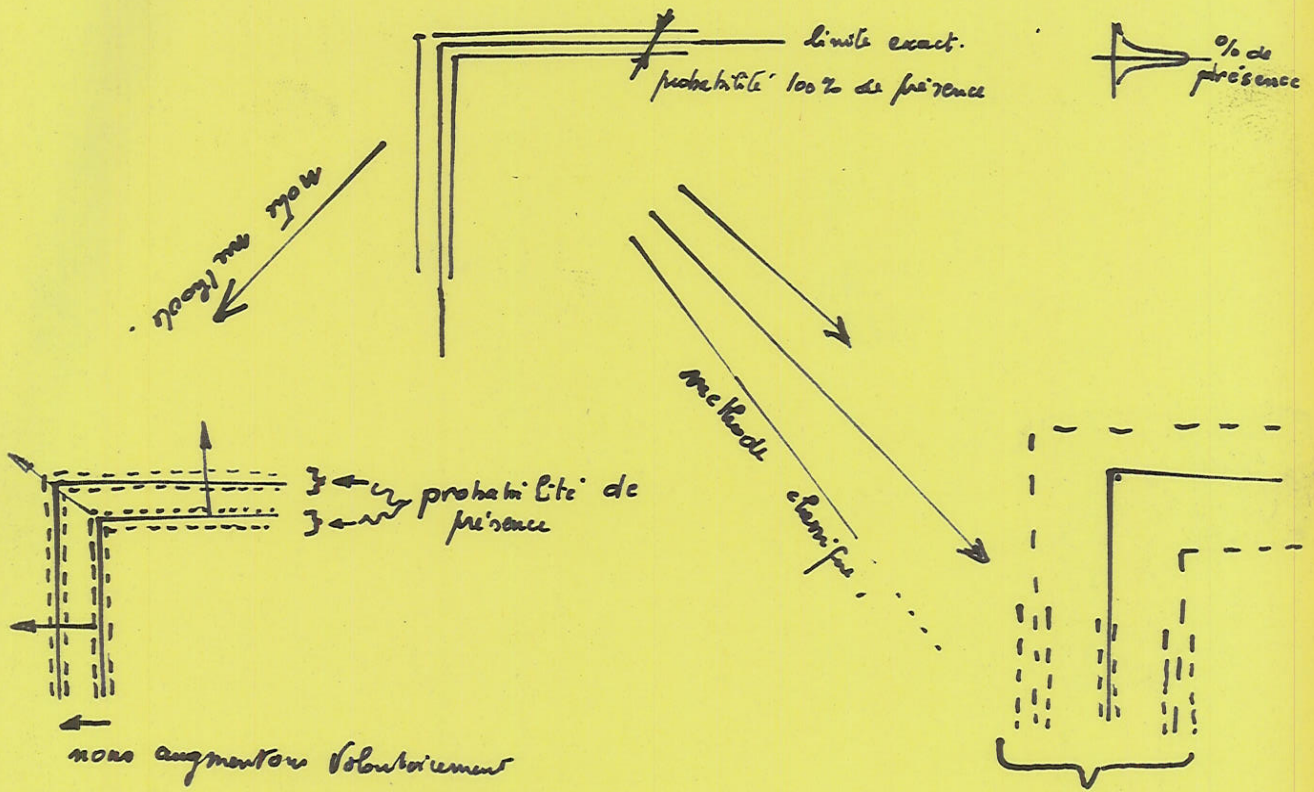
I-3-4 - Où trouver la précision ?

Nulle part. La précision est relative et probable. Pour s'en rapprocher il faut exclure toute modification énergétique de système, toute possibilité de perte de données, pour cela j'essaie de proposer, dans cette thèse une méthode.

Jusqu'à présent [27] la précision était liée à des constatations pratiques, et mesurée pratiquement [52] tout le début du premier chapître le prouve. On se bornait à considérer des variations spatiales (conclusion de [27]). On classait les matériaux en catégorie d'action [16 à 29], en zone d'action (conclusion de [29] en valeurs d'environnement physique [4], le tout aboutissant à des manipulations quelques fois fort brillantes et nous nous en félicitons tous les jours en pratique courante. Nous remercions là, Monsieur ROUCOULE en particulier [16]. Pourtant l'imprécision est plus qu'une simple "addition algébrique de variation dimensionnelle" [16]. Elle est l'acte lui-même de toute variation d'énergie. La précision à 100 % existe. C'est une probabilité de présence, la dent elle-même n'échappe pas à cet état. (Elle) la precision est souhaitable (désaccord avec ROUCOULES [16]) car elle peut être réduite voir déterminée



dessin 18a.



dessin 18b

Ici, ROUCOULE confond précision et imprécision. La précision c' est toujours probabilité à 100 %, mais une précision à 95 % peut être 100 % probabilité. Si, par exemple, mathématiquement, et volontairement je réduis à 95 % des mesures, la probabilité de présence est toujours 100 %. Par nos méthodes classiques, c'est sur la probabilité de 100 % que nous agissons, mais pas sur la réduction de mesure d'une manière mathématique avec une probabilité de 100 %. La précision, dans notre cas, est l'imprécision dans le cas de ROUCOULES. Donc la précision probable à 100 % est modifiable mathématiquement de 100 à 0 % et mon étude a pour but d'arriver à utiliser ce caractère propre à la science mathématique et à l'appliquer dans ce domaine.

I-3-5 - *Quelles sont les différentes imprécisions ?*

Je parle bien de l'imprécision, c'est-à-dire de la précision X % inconnue en probabilité de présence parlant [1.3.4.]

Je classe les imprécisions en trois classes ou variations : primaires, secondaires, tertiaires. Chaque classe étant subdivisée en deux phases : phase majeure et phase mineure.

I-3-5-1 - Variation primaire

Elle peut être propre ou impropre, suivant qu'elle est la conséquence de notre action ou celle du système en contact

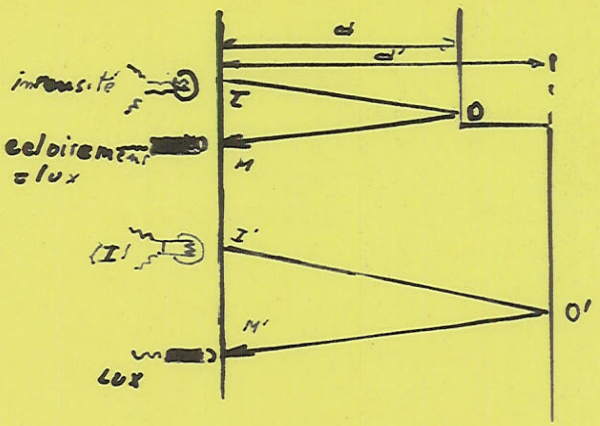
a) - *Variation primaire majeure propre*

- *changement d'état (liquide - solide)*
- *changement : composition moléculaire, nombres d'atomes*
  groupe complexité (R chimique)
- *changement allotropique dans un état (dans Ag)*

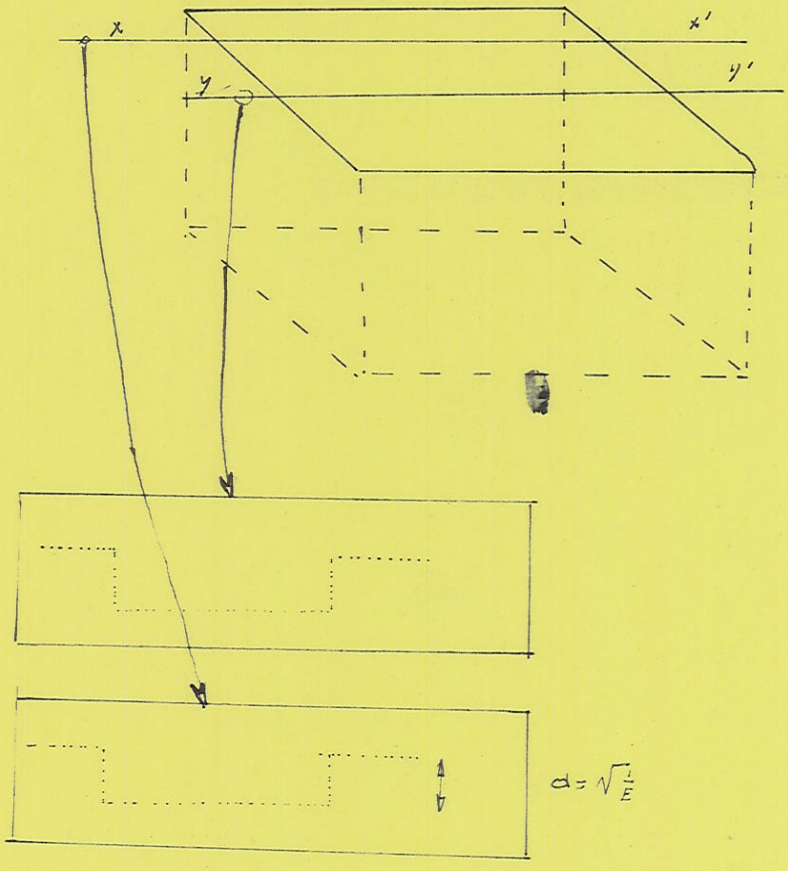
Nous n'y pouvons rien, car, nous sommes, par notre action, responsable de la variation ΔH

b) - *Variation primaire impropre*

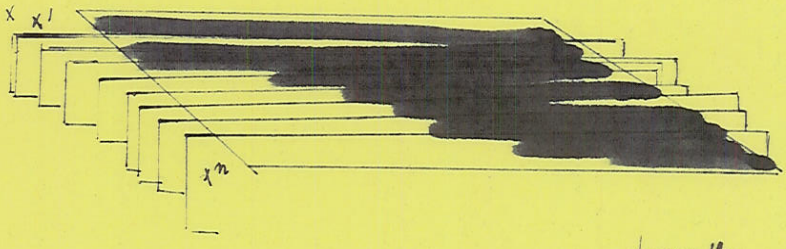
Echange thermique, d'où variation d'énergie avec les autres systèmes.



dessin 14 a



dessin 14 b



dessin 14 c

Nous n'y pouvons rien car ce sont les conséquences du déséquilibre thermodynamique que nous créons

c) - *Variation primaire mineure propre*
d) - *Variation primaire mineure impropre*

} *Idem, mais localisées à une zone dans l'espace*

Le résultat est la distorsion [5.6]
Peuvent être classés [52] : *(ces V.Pm)*

- *destruction de forme : (BARILLET, DIABOLO, BANNANE, VIRGULE, VRILLE*
- *Conservation de forme :*
  erreur de dilatation : contraction linéaire
  contraction diamètrale
  erreur de rotation

I-3-5-2 - *Variation secondaire*

a) - *Variation secondaire majeure impropre*

Nous n'y pouvons rien car le matériel est responsable
- *nous agissons pendant la prise (Retrait de l'empreinte)*
- *les produits réagissent avec l'objet (dessin)*
- *la perte d'eau est immédiate*
- *température, pH, pression atmosphérique de la souche*

b) - *Variation secondaire majeure propre*

- *Notre méthode n'est pas rigoureuse (spatulation, temps, pourcentage, ébullition, porte empreinte, film liquide qui reste, coulée trop tardive, insertion, fixation et retrait trop aléatoires, sculpture de cire acrobatique)*
- *La méthode proposée est mauvaise*
- *produits périmés*

c) - *Variation secondaire mineure impropre*

- *au niveau local, perte d'eau superficielle*
- *contact*
- *pH du milieu buccal*
- *pH de galvanoplastie...*

d) - Variation secondaire mineure propre

Défaut d'homogénéité de toute sorte

I-3-5-3 -

a) - Variation tertiaire majeure impropre

- dilatation respective (revêtement par rapport aux métaux)
- porte-empreinte individuel par rapport à la pâte
- dilatation du cuivre (bague)
- différences fabrications sur un même produit
- patient qui bouge . . .

b) - Variation tertiaire majeure propre

- nombre de modèles tirés
- notre infuence psychologique sur le patient

. . .

Donc, dans nos manipulations, l'imprécision est incontrôlable (on ne connaît que des variations d'énergie) et est énormément importante. Ceci nous amène a penser qu'il faut supprimer les facteurs mis en plus, et contrôler la précision le plus possible.

I-3-6 - Extinction des différentes variations

Par des méthodes classiques, il me paraît difficile de réduire des variations de type tertiaire, voir même secondaire impropre. Par contre, dans les conditions actuelles de nos connaissances théoriques, les plus avancées, en aucun cas, les variations primaires majeures et primaires propres et impropres ne sont supprimables.

Donc, nous pouvons parler d'une sorte "d'asymptote de la précision" (dessin 18 a)
Le seul moyen est donc de réduire les données non pas en les modifiant comme le font les laboratoires (et non les chercheurs) mais en les supprimant, cela peut paraître absurbe mais je m'expliquerai plus en détail dans les pages avenir.

Si je prends la définition du mot précis : " qui ne laisse place à aucune incertitude, la précision étant le caractère de ce qui est net et précis. "

La précision d'un instrument de mesure est d'autant plus exacte qu'il est plus sensible, qu'il est plus mobile, qu'il est plus sûr en lecture, qu'il est plus fidèle, et enfin, plus juste [54]

I-3-7 - *Valeurs choisies pour ces extinctions*

I-3-7-1 - Mesure biologique

L'homme dispose du langage pour s'exprimer [55 - 56] par la parole ou par l'écriture. Pour exprimer une valeur qualitative, par exemple, la longueur d'une pièce à couler, nous attachons la réalité concrète (pièce). à une notion abstraite (sa grandeur) nous nous baserons dans ces notices abstraites sur le S I (système international d'unité)

I-3-7-2 - Unité de base

Quelle est l'unité de base d'une longueur ?
C'est le mètre. Mais celle là ne nous intéresse pas. Nous connaissons en chirurgie dentaire, le 10^{-5} m, or, le sous-multiple le plus bas de S I mètre est de l'ordre de 10^{-10}. Comme maintenant nous savons que l'important est de connaître la plus grande précision, quitte, mathématiquement à la réduire de notre propre gré. Nous pouvons affirmer que l'on peut côtoyer ces ordres de grandeur.

I-3-7-3 - Phénomène en biologie

L'extension à la biologie des méthodes de mesure exacte constitue l'un des problèmes importants de la science moderne

En effet, cette extinction permettrait l'application systématique de principe mathématique à l'étude des phénomènes biologiques. Elle permet donc de traiter les phénomènes avec une rigueur comparable à celle des sciences physiques.

Pour pouvoir enregistrer un phénomène biologique (des positions biologiques pour nous) on utilise des instruments qui le transforment en une réponse facilement mesurable, cette réponse peut être lue directement ou enregistrée [55]

I-3-7-4 - Schéma théorique d'un instrument de mesure

Le système se compose d'une partie sensible, d'un amplificateur, d'un enregistreur et d'un système de liaison

La partie sensible est mise en contact avec le phénomène à mesurer. Souvent, l'énergie mesurée est transformée en une autre forme d'énergie généralement électrique, qui peut être transmise, amplifiée et enregistrée plus facilement que l'énergie initiale [55]. Cette transduction est le fait d'un transducteur, généralement la partie sensible elle même.

Le système amplificateur ou enregistreur consiste en une échelle et par exemple une aiguille qui se déplace.
Un système de transmission relie enregistreur à transducteur

I-3-7-5 - Pour les erreurs

Pour éviter les erreurs sur les mesures en biologie, afin que les valeurs soient exactes et non pas incontestables (relativité) il faut que l'appareil soit fonctionnellement isolé du système biologique, autrement dit, il doit mesurer sans modifier. Il faut d'autre part utiliser une mesure aussi précise que possible.

L'étalon de mesure peut être défini comme un objet qui représente l'unité de grandeur, par exemple [55]. L'unité mathématique de l'étalon, actuellement est la longueur correspondant à la transition $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de KRYPTON 86 (gaz rare de l'air) = 165,763,73 dans le vide (tendance vers 0 mathématiquement pour supprimer les interactions)

Les autres radiations servant d'étalon sont surtout les radiations du laser à gaz et principalement la raie 6328.10^{-10}m du laser hélium néon, il faut un laser monomode stabilisé, dont il existe des types commerciaux, pour une mesure de l'air, il faut diviser par l'indice 1.00028 (seul problème de précision).

I-3-8 - Notre schéma vers la précision

Le signal d'information peut emprunter quatre supports énergétiques (électrique, pneumatique, hydraulique et mécanique) et s'exprimer sous deux formes (analogique et numérique).
Les convertisseurs de mesure vont adopter ces signaux entre eux.

I-3-8-1 - Convertisseur analogique, numérique

Les grandeurs sont continues ou analogiques et , sont transmises en numérique. Ce sont divers systèmes de numération (décimal, binaire, côté décimal D.B.D.C.B.)
La méthode se fait soit par balayage successif ou par intégration.

I-3-8-2 - Convertisseur numérique analogique

C'est l'inverse, ou décodeur

I-3-8-3 - Suppression des variations primaires majeures et mineures, propres et impropres

Reprenons la définition des la variations primaires majeure et mineure changement de ΔH . Entalpie de système
Pour les éviter dans notre système, nous nous refusons de fixer toute variation chimique ou d'état. Si nous sommes obligés de le faire, ~~étant donné que l'on peut connaître une~~ (simple variation) il nous suffira de la connaître (je suis personnellement contre ce procèdé.)

Pour le remplacer, nous utiliserons le support énergétique le moins sensible et le plus précis ; λ = longueur d'ondes

I-3-8-4 - Variation secondaire majeure et mineure impropre

Il s'agit d'éviter les facteurs d'influence. Pour celà, nous provoquons une conversion immédiate de notre phénomène (holographie)

Pour éviter les facteurs temps, nous utilisons un support énergétique d'information immodifiable (théorie relative au temps que nous envoyons) C'est le rayon optique (laser)

- Variation secondaire majeure et mineure propre

Nous utilisons un support de données, rigoureux, qui est indépendant du temps et de nous. Ce sont les supports numériques (Les mathématiques). Nous supprimons les manipulations humaines (presse boutons) : Sciences physiques.

I-3-8-5 - Variation tertiaire majeure, mineure, impropre

Les interactions relatives (pâte par rapport au porte-empreinte) sont supprimées. Evidemment le stockage se fera en valeur mathématique (magnétoscope, hologramme...) Le facteur patient est limité au temps de propagation du rayon (facteur physique)

- Variation tertiaire majeure, mineure propre

La duplication se fait sur des valeurs mathématiques, donc fixes en un nombre illimité.

I - 4 - NOTRE METHODE

Le premier problème pour nous est la transformation de la grandeur analogique en numérique par un convertisseur

I-4-1 - Notre grandeur analogique est essentiellement le volume.
Nous mesurons une différence de distance.
Regardons le théorème [57]
Si deux sources lumineuses d'intensité I et I' produisent le même éclairement sur un écran placé à la distance D de la première source et D' de la seconde, les intensités sont proprotionnelles au carré des distances à l'écran. (dessin)

En effet, soit un éclairement produit par les deux sources sur l'écran I et I' étant par définition les éclairements produits à l'unité de distance on a par définition

première Source : $\frac{E}{I} = \frac{1}{D^2}$

deuxième Source : $\frac{E}{I'} = \frac{1}{D'^2}$

d'où : $\frac{I}{I'} = \frac{D^2}{D'^2}$

Cela donne en théorie :
Chaque unité de surface reçoit une intensité lumineuse qui est inversement proportionnelle au carré de la distance séparant la surface éclairée et la source lumineuse [58].
Comme l'éclairage de la surface est proportionnelle à I (dessin 19 a)

$$E = \frac{1 \text{ (bougie)}}{d2 \text{ (mètre)}} \quad \text{lux} \qquad (3)$$

r = rayon de surface

j = I de unité

I = intensité

d = distance

En se basant sur la formule (3)

$$d = \frac{I}{E} \qquad (4)$$

Ce qui veut dire qu'un faisceau lumineux quelconque porte son information distance en fonction de l'intensité au point de contact de l'écran.

Intéressons-nous à présent à la réception de cette valeur analogique qui est, certes, la distance, mais plus exactement l'intensité résultant de la distance (dessin 19 b)

Il est évident que l'intensité réceptionnée en M est supérieure à celle réceptionnée en M'. Au niveau des cellules photoélectriques schématisées (formule 3) et mathématiquement, il est possible d'en extraire les valeurs de d et d' (correction angulaire faite)

I-4-2 - Convertisseur analogique

Nous comprenons d'entrée que notre convertisseur analogique numérique sera un convertisseur à signaux électriques et formulé suivant les besoins en décimal binaire de D C B

En bouche, me direz-vous ! Nous envisageons un balayage de la "Région à mesurer" en quelque sorte nous obtenons un ensemble de coupes successives (dessin 19 b) qui, rapprochées (dessin 19 c), forment le volume total. C'est ce que j'appelle le "volume optique" qui est en fait un "volume mathématique" obtenu de données électriques,

mais c'est la fonction mathématique de l'optique (formule 3) qui me permet de formuler cette idée. (Voir chapître 6 et 7)
(dessin 20 a)

I-4-3 - Cristallisation négative

Pour pouvoir cristalliser mon négatif dans le temps le plus court de façon à ce que le facteur temps ne joue pas (conditions précise d'empreinte), je fais appel à l'holographie qui justifie là encore l'emploie du laser. Cette holographie est basée sur le principe de l'interférence et permet non pas de raisonner en microns, mais en longueur d'onde. La précision est donc absolue (dessin 20 b)

Pourquoi l'hologramme ?
Parceque en un instant, par flash, il me sera donné (suppression du facteur temps) et il est la seule chose me permettant le balayage tridimensionnel en deux dimmensions (voir chapître 5). Le convertisseur analogique numérique pourra, tout à son aise et en mouvement nul objet par rapport au convertisseur, analyser les intensités, donc, la distance dans toutes les incidences possibles (chapître 7 - dessin 20 c)

I-4-4 - Laser et biologie

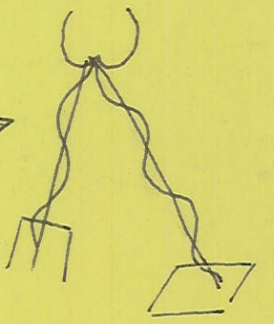
Je choisis le rayon laser, certes, parce qu'il me permet de cristalliser l'empreinte (cristallisation négative) mais parce que par sa précision et ses qualités (cohérences...), il me permet de rester presque dans les bases mathématiques pures (refus d'approximation) (chapître II)

Vous pourrez objecter son action sur les tissus, c'est au contraire un avantage que j'étudierai (chapître III) en détail.

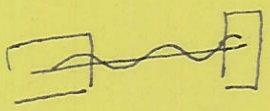
I-4-5 - Stockage (dessin 21 a)

Le stockage des empreintes peut se faire selon trois processus : holographie et terminal ordinateur, voir même plus simple magnétoscope. Ces procèdés sont presque inaltérables et là encore, la

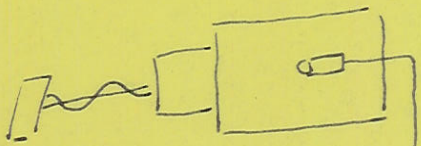
partie utilisant rayon.



① prise d'empreinte



② lecture.



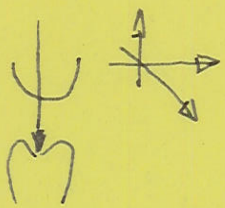
caméra télévision
(cellule photoélectrique)

passeur des conditions du milieu pour correction

partie utilisant mathématique

mathématique Ordinateur

partie utilisant { - rayon
- mécanisme



dessin 20 21

précision en n exemplaires est exempt de toute variation et imperfection (chapitre IX)

I-4-6 - Ordinateur pourquoi ? (dessin 21 b)

Il n'est pas obligatoire mais selon ma méthode, dans la mesure où une réalisation pratique du chapître IX sera satisfaisante, tout échafaudage sera pratiquement réalisé.

L'ordinateur permet le stockage, la sculpture directe par référence ou par besoin: Sculpture directe ou inversée. C'est l'aboutissement logique de tout ; son principe est la simple soustraction

I-4-7 - Convertisseur analogue numérique

C'est le décodage ; une grandeur numérique matérialisée dans un mémoire correspondra à un signal électrique analogique (courant ou tension) qui lui est proportionnel [55]

Dans ce signal électrique analogique correspondra une sculpture de pièce selon différents procèdés, dont le procèdé mécanique (microsculpture) et optique (rayon)

Au lieu de prendre une distance, c'est la distance emmagasinée dans le signal que perce la tête de sculpture à une dimension d.

Nous évitons donc tout changement dimensionnel du matériel, supprimant ainsi toute l'imprécision de la cire, de la mise en revêtement et de la sculpture.

Le Δd est fixe quelque soit l'action, d'où la rigueur (probabilité de précision) de la méthode.

La granulomètrie est choisie librement et non pas en fonction des possibilités des coulées, la sculpture est théoriquement choisie.

I-4-8 - Conclusion

Nous utiliserons pour l'empreinte, l'unité étalon (optique) la longueur d'onde nous la fixons en unité (hologramme) de mesure. Là encore, nous l'analysons en toute rigueur en cette même valeur (balayage). Puis nous la stockons en valeur numérique (magnétoscope). De ce stockage, avec une référence choisie (ordinateur) nous construisons ou plutôt nous sculptons le positif.

Conclusion, nous supprimons la prise d'empreinte, toutes les formes de positif de prise d'empreinte, toutes les formes de sculpture, parfaitement fonction de l'expérience du prothèsiste.

Nous Rendons inutile la mise en revêtement, la coulée et le nettoyage de la coulée

En appliquant ~~rigueur sur~~ le principe (Marmasse) "un amalgame bien fait vaut mieux qu'un mauvais Inlay mais un bon Inlay vaut mieux qu'un bon amalgame", les inlay étant réalisés d'une manière précise et rigoureuse par cette méthode....

I-4-9. Résumé

Peut-être pourra-t-on un jour supprimer le plombage de notre métier.

1°/ - Dans ce chapître nous expliquons que les méthodes classiques en prothèse comme en dentisterie (amalgame) sont imprécises et leur étude montre un desaccord entre les différents auteurs [1.2]

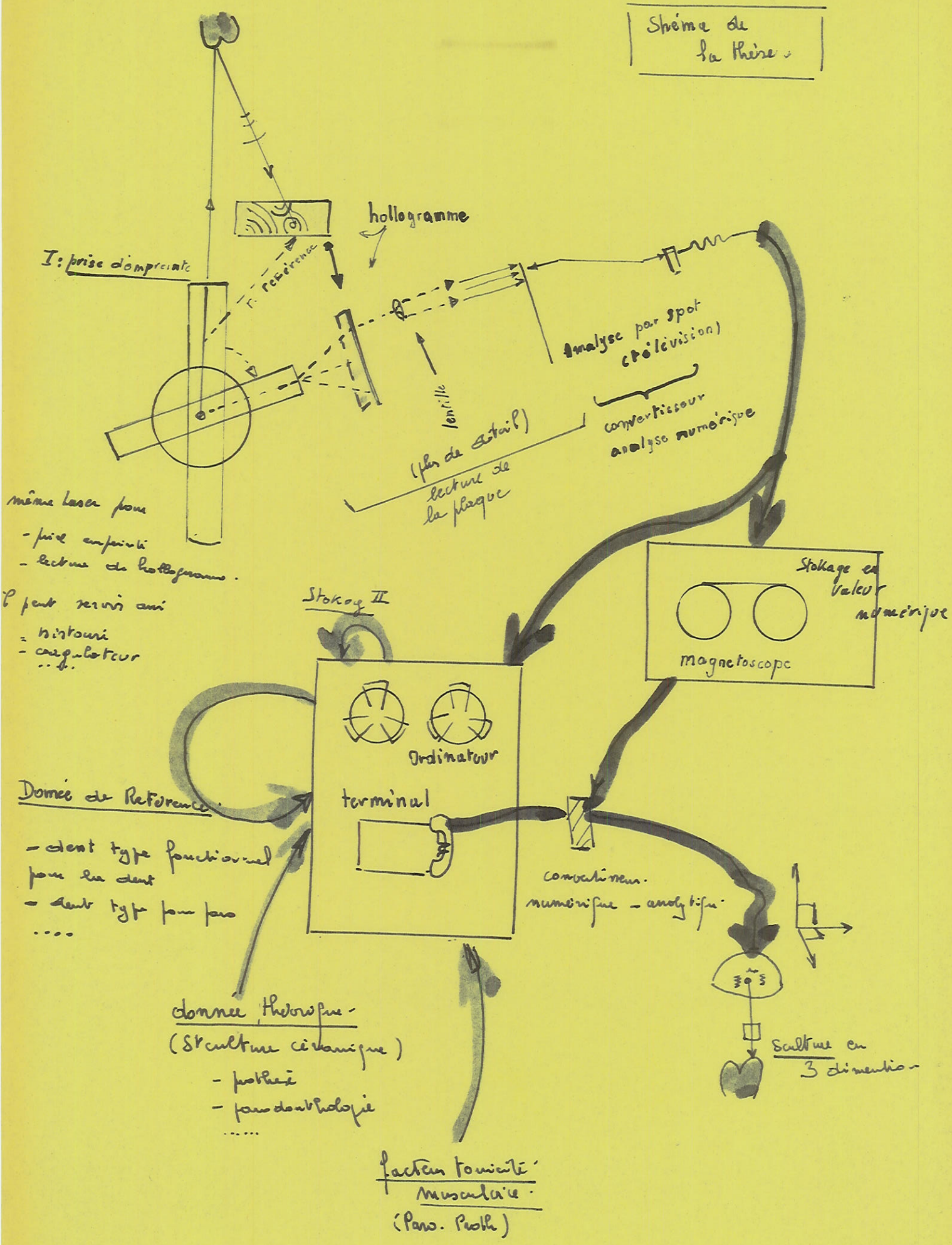
Nous expliquons que la cause pour nous en est la variation énergétique des systèmes (utilisés) et l'importance du nombre des facteurs qui influence cette variation. Nous définissons pour nous quelles sont les variations en fonction de données physiques [1.3.]

Nous expliquons ensuite que l'utilisation d'un système simple (laser + hologramme + balayage + ordinateur + sculpteur) permet des résultats intéressants en précision et rapidité, car il est utilisé des valeurs quantitatives et non qualitatives.

2°/ - Nous sommes donc maintenant dans le devoir de vous expliquer ce qu'est l'empreinte optique et pourquoi utiliser le laser. Ce sont ses propriétés qui expliquent notre choix, donc nous devons les préciser et surtout les justifier.

L'atome nous donnera une réponse, l'hypothèse double du quanta et de l'électromagnétique est ensuite expliquéepour pouvoir ensuite justifier des qualités exceptionnelles de l'émission stimulée.

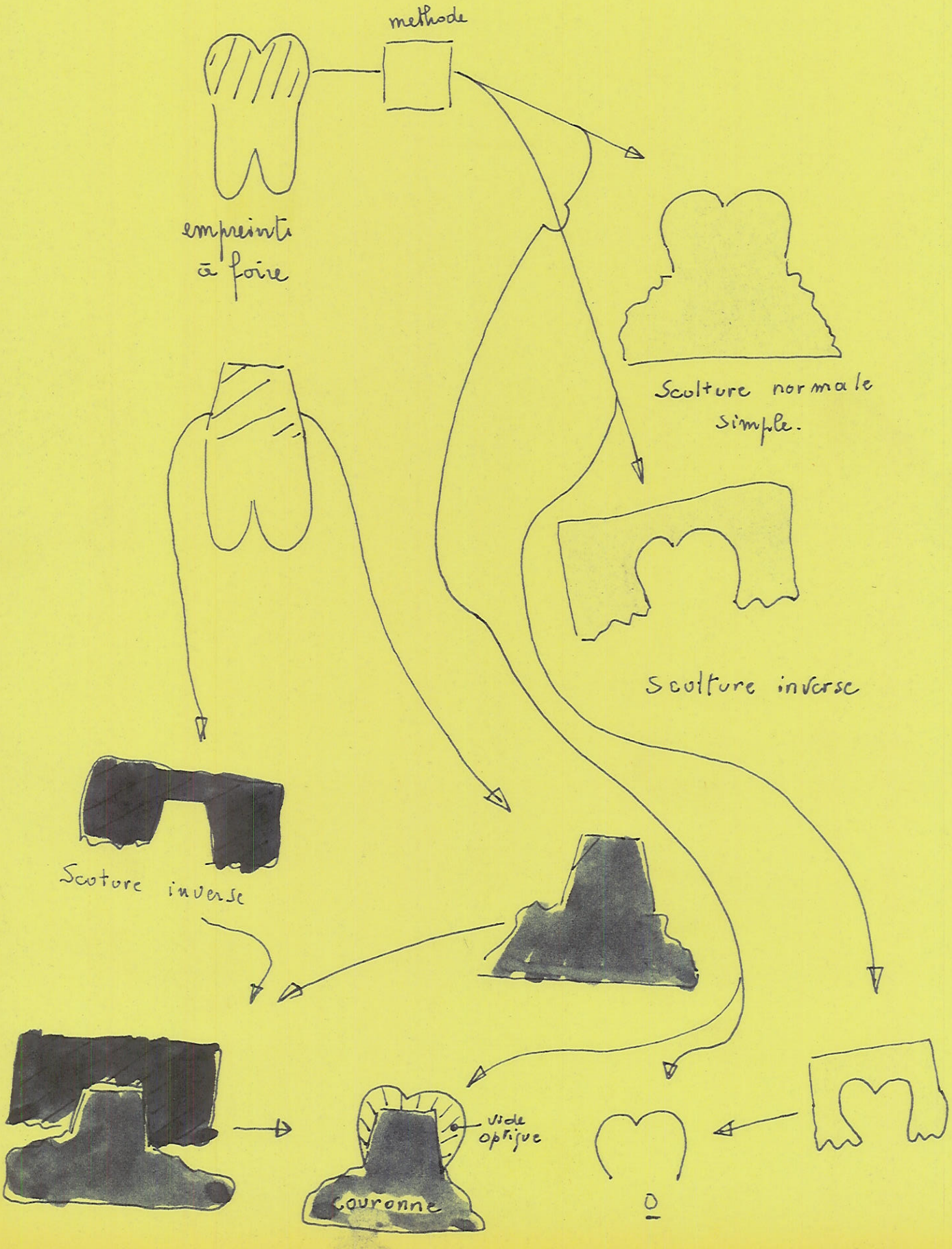
Schéma de la thèse.

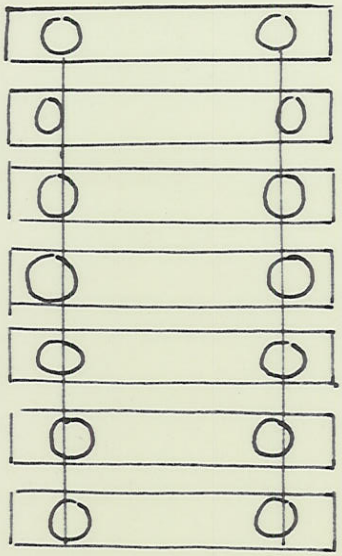


dessin 20-21

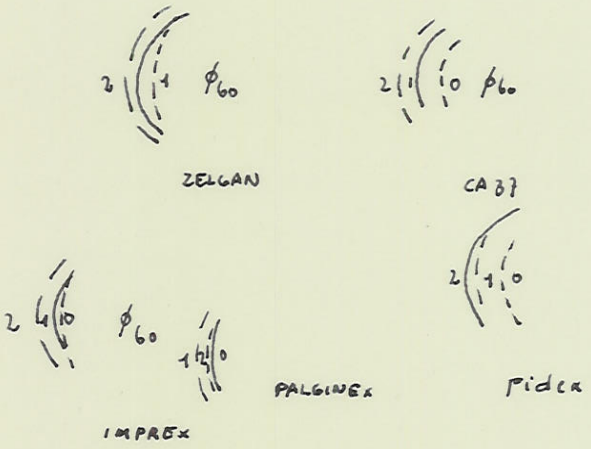
types de Soulture

dessin 22



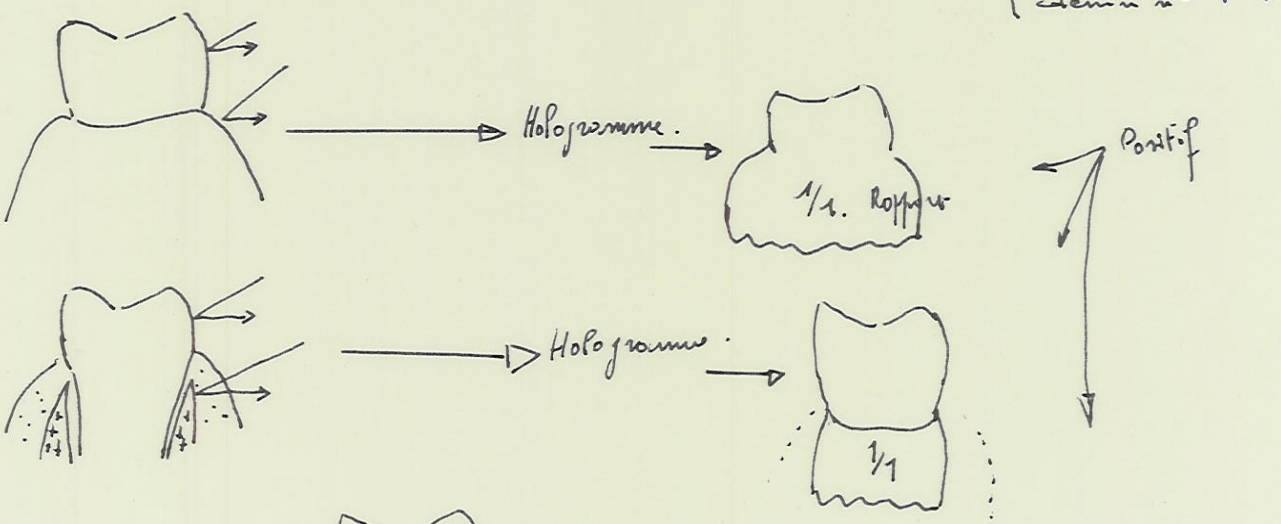


comportement des matériaux

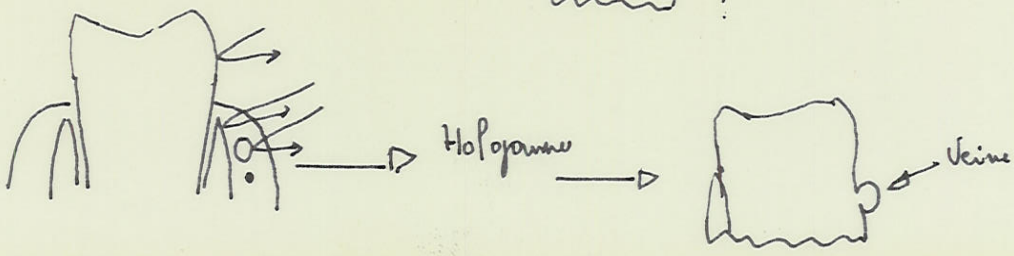


Variation des diamètres transverses

(dessin n° 7)



(dessin 22)



L' EMISSION LASER

de la théorie à la pratique

- HISTORIQUE
- ONDE ELECTROMAGNETIQUE
- ATOME ET ONDE
- ONDE LUMINEUSE
- ORIGINE DE L'ONDE
- CARACTERISTIQUE DU LASER
- NOTRE CHOIX
- CONCLUSION

CHAPITRE - II -

II - 1 - INTRODUCTION ET HISTORIQUE DU RAYON LASER

Pour que jaillisse le célèbre rayon, il a fallu un demi-siècle de recherche. Une décennie a suffi pour que ses applications surgissent, mais il faudra encore de longues années pour qu'il tienne toutes ses promesses.

Quels sont les principes, qui firent qu'un jour le professeur Théodore MAIMANN et ses assistants du laboratoire de la HUGHES AIRCRAFT CO à PASADERME en CALIFORNIE virent jaillir du rubis, un faisceau parfaitement parallèle, impeccablement monochromatique ? "
(La lumière cohérente qu'avait prédit EINSTEIN) [62]

" L'émission de rayonnement, par les atomes, peut être réalisée par deux mécanismes différents : l'émission spontanée incohérente et l'émission induite cohérente ". [63]
C'est ce que nous allons rappeler.

Avant de partir dans les conceptions propres du laser, il nous a semblé essentiel, dans une thèse de 2ème cycle de chirurgie Dentaire, d' expliquer les rayons électromagnétiques, la structure de l'atome et ses fonctions, la mécanique quantique et, de ces données, d'en tirer le pourquoi du rayon laser, ses propriétés qui nous intéressent, et ce pourquoi nous l'avons intégré dans notre système.

Dégager le rayon laser de ses données théoriques, mathématiques et physiques, le rendrait incompréhensible.

II - 2 - ONDES ELECTROMAGNETIQUES

II-2-1 - Une onde lumineuse, tout comme l'ondulation d'une corde, est une sorte de perturbation périodique s'éloignant d'une source. Les grandeurs qui y varient sont des champs électriques et magnétiques. Comme ils varient en même temps, une présentation simple sera utilisée par la suite [64] *(dessin 23 a)*

II-2-2 - *Une onde est caractérisée par quatre grandeurs importantes*

Longueur - Fréquence - Vitesse - Amplitude

- *La longueur d'onde est la distance entre deux points analogues quelconques :* λ
- *La fréquence est le nombre des ondes qui passent en un point donné en 1 seconde :* N
- *La vitesse est la célérité de propagation :* C
- *L'amplitude est l'ampleur de l'oscillation*

II-2-3 - *Une onde électrique et magnétique, soit donc électromagnètique, est :*

- *en longueur d'onde, très étendue*
- *en vitesse, la même, 300.000 Km/s*

comme

$$\lambda = \frac{c}{N} \quad \text{ou} \quad v = \frac{c}{n} \qquad (n = \text{indice du milieu}) \quad (1)$$

- *aux grandes longueurs d'onde correspondent les basses fréquences et inversement.*

II - 3 - ATOMES ET ONDES LUMINEUSES [53 - 65 - 66]

Toute la lumière est émise par des atomes
Voici quels sont les principes qui régissent l'absorption et la réémission d'énergie par les atomes.
Configuration électronique de l'atome
L'atome est formé d'un nuage électronique entourant le noyau

$e = 4,77 \ 10^{-10}$ UES
$m = 0,91 \ 10^{-27}$ g
$Z =$ numéro atomique

II-3-1 - *Modèle de NIELS-BOHR*

Cette interprétation est basée sur la mécanique quantique

- *Théorie du quanta :*
  Une enceinte fermée à une certaine température est noire pour éviter tout échange ; le rayonnement ne se fait pas comme dans le cas d'une onde radio, de façon continue (alimenté par un

circuit oscillant à la source) mais par petits paquets d'énergie (image des balles de mitrailleuse). C'est le quantum d'énergie :

$$W = h\nu \quad (2) \qquad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Le porteur de ce quantum est une particule sans masse appelée photon

II-3-2 - *Postulats de BOHR* [53]

Ce modèle utilise la théorie des quanta (PLANCK) [72 - 73]

POSTULAT 1 - L'atome est stable, c'est-à-dire ne rayonne pas lorsque l'électron se meut sur des orbites bien déterminées ou "orbites stationnaires"
moment ~~critique~~ cinétique *de cette orbite* $mvr = n\frac{h}{2\pi}$ (4)

POSTULAT 2 - Lorsque l'électron passe d'une trajectoire stationnaire à une autre, l'énergie de l'atome subit une variation brusque (transmission électronique) $W_n - W_{n'}$ *et il se produit une émission ou une absorption d'un rayonnement monochromatique de fréquence* ν *donné par la relation :*

$$W_n - W_{n'} \ (\text{ou } E - E') = h\nu \quad (5)$$

où : h = est de PLANCK ν *la fréquence* v *la vitesse et* m *la masse.*

1) $W_p = \int_{\infty}^{r} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} Ze \frac{e^2}{r^2} dr$ (6) (potentiel)

2) $W_c = \frac{1}{2}mv^2$ ou $m\frac{v^2}{r} = m\gamma = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} Ze\frac{e^2}{r^2}$ (7) (cinétique)

Comme $W = W_p + W_c$: $\boxed{W = \frac{-1}{8\pi\varepsilon_0} Ze\frac{e^2}{r}}$

Calcul de r (de Broglie)

$$mvr = n\frac{h}{2\pi} \quad (9)$$

De (4) donne $v^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} Ze\frac{e^2}{rm}$ (10)

d'où $r = \boxed{\frac{n^2h^2\varepsilon_0}{Ze^2m\pi}}$ (11)

Calcul de $\sigma = \frac{1}{\lambda}$

(8) et (11) nous donne $W = \frac{Z^2e^4m}{8n^2\varepsilon_0^2h^2}$ avec $\begin{cases} W = Fh \\ \frac{W}{h} = F = \frac{c}{\lambda} \end{cases}$

d'où $\frac{1}{\lambda} = \frac{W}{ch} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2h^3c} Z^2\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = \sigma$ (12)

où $R^H = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2h^3c}$ (Cst de Rydberg)

II-3-3 - Théorie de SOMMERFIELD

C'est la représentation exacte de l'atome (caractéristique des nombres quantiques) selon nos connaissances actuelles (dessin 23b)

II-3-3-1 - Nombre quantique principal

donne la taille (r) c'est le nombre d'orbites
valeur entière positive

II-3-3-2 - Nombre quantique secondaire ou azimutal

donne la forme de l'orbite
L'orbite peut devenir elliptique
Ce nombre quantique est caractérisé par une valeur (l) qui est égale à : n - l

II-3-3-3 - Nombre quantique magnétique : m l

Du à l'effet ZEEMANN

$$p \cos \varphi = m_l \left(\frac{h}{2\pi}\right)$$

où m_l est $-l \leq m_l \leq +l$

donc $n = 2 \longrightarrow l = 0 \longrightarrow 0$

$l = 1 \longrightarrow \begin{matrix} -1 \\ 0 \\ +1 \end{matrix}$

II-3-3-4 - Nombre quantique de SPIN : m_s

L'électron tourne sur lui-même tout en tournant autour du noyau
Pour chaque valeur de m l, m_s prend les valeurs $-\frac{1}{2}$, $+\frac{1}{2}$
(dessin 24)

II-3-4 - Mécanique ondulatoire

II-3-4-1 - Louis de BROGLIE [69 - 70]

La théorie BOHR - SOMMERFIELD renferme certainement une part de vérité, puisqu'elle permet de prévoir, avec précision, le niveau d'énergie de l' atome H_2

Mais outre qu'elle apparaisse artificielle et surajoutée aux concepts de la mécanique classique, son efficacité reste extrêmement limitée (elle n'explique pas le comportement de système à n électrons ou l'interférence DAVINSON et GEMM)

Une théorie cohérente et plus générale se doit de concilier le double aspect de l'électron, qui, suivant le type d'expérience, se présente : soit comme un corpuscule matérialisé, soit comme une onde à fréquence définie [67]

Un raisonnement par analogie, entre le comportement des ondes électromagnétiques qui se présentent elles aussi tantôt sous la forme d'ondes au sens propre et sous la forme de graines de lumière ou photons à permis à de BROGLIE d'obtenir une relation fondamentale entre l'électron considéré comme particule et sa quantité de mouvement, et ce même électron considéré comme onde et caractérisé comme une onde.

$$2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{mv}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (14)$$

Voir : représentation théorique en terme physique [51] *p. 51*

et plus

- *équation de Schrödinger non relativiste*

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\Delta\psi + V\psi = \frac{h}{2i\pi}\frac{d\psi}{dt} \quad (15)$$

confrontés avec (8) le rapport des termes

- *équation déterminant les valeurs possibles de E*

(x_α est la variable d'espace)

$$\psi(x_\alpha t) = \phi(x_\alpha)\, e^{-\frac{2i\pi E t}{h}} \quad (16)$$

après réduction

$$\mathcal{H}\phi = E\phi \quad (17)$$

fonction E = *fonction* $\mathcal{H}$

(énergie) (opérateur) [51]

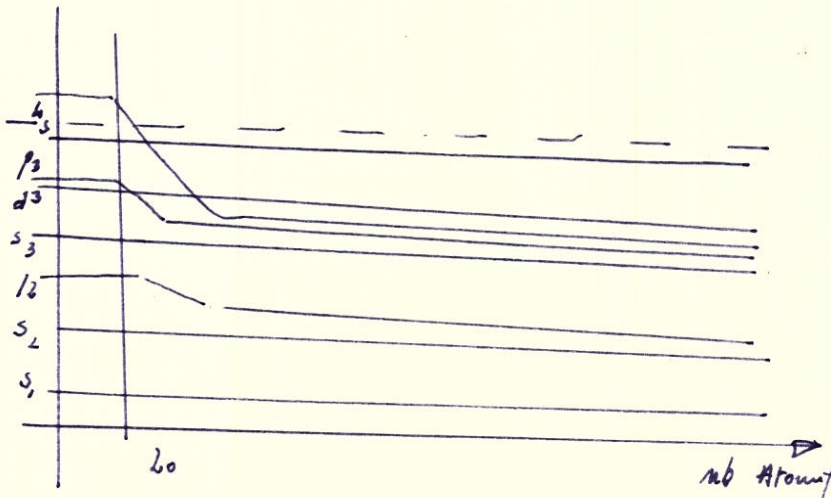
Exploité en optique (SHRODINGER) et en mathématique (HEISENBERG et JORDAN) ceci a conduit à formuler un certain nombre de postulats, dont l'exploitation constitue la mécanique ondulatoire :

POSTULAT 1 - Il existe une relation $\lambda = \frac{h}{mv}$ (14)

POSTULAT 2 - On ne peut déterminer simultanément avec précision, la position d'une particule et sa quantité de mouvements

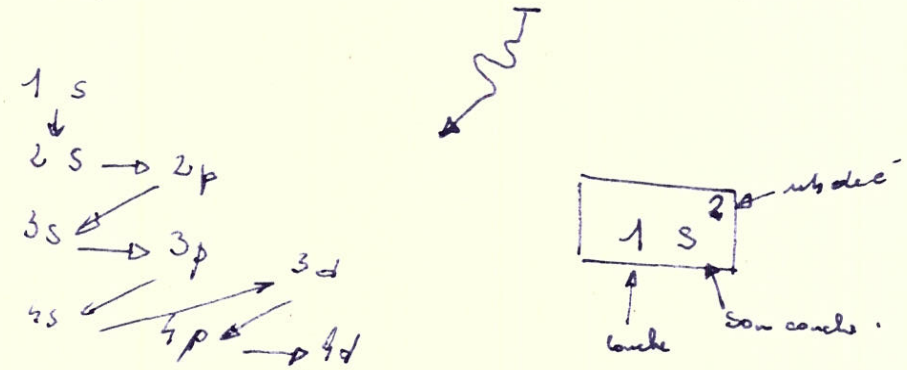
La probabilité de présence est :

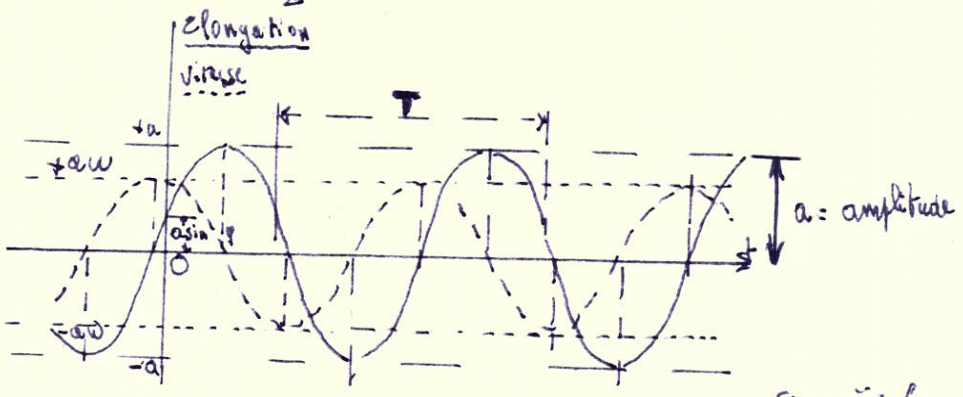
$$\psi\psi^* d\tau = |\psi|^2 d\tau \quad (15)$$



graphique montrant le changement orbitaux en fonction de la charge du noyau

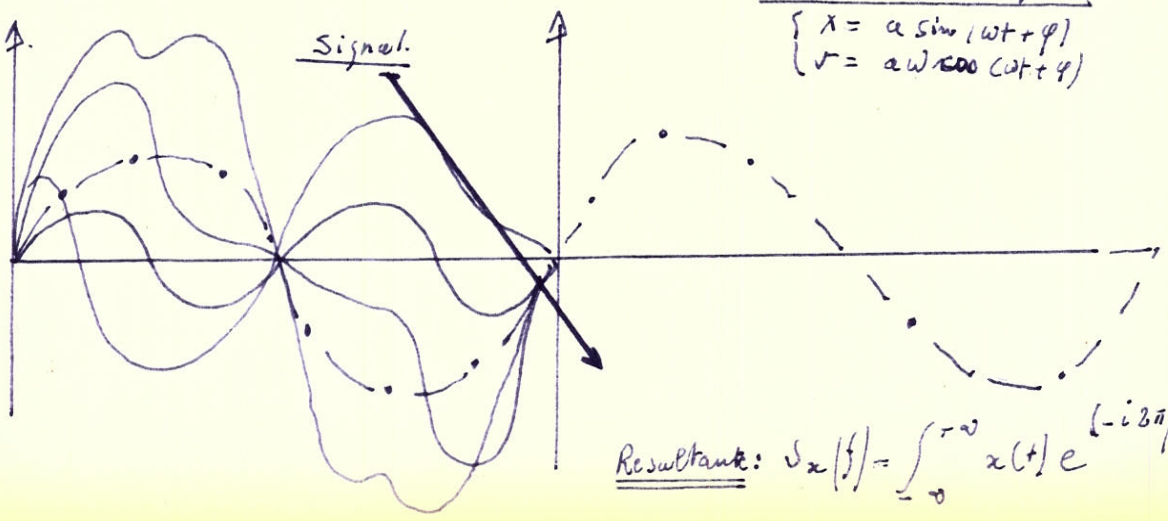
(dessin 43)





mouvement sinusoïdal

$\begin{cases} x = a \sin(\omega t + \varphi) \\ v = a\omega \cos(\omega t + \varphi) \end{cases}$



Resultante: $S_x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\, e^{(-i 2\pi f t)}\, dt$

POSTULAT 3 - Dans le cas d'un mouvement à une dimension, le produit de l'imprécision sur la mesure d'abscisse Δx par l'imprécision sur la mesure de la quantité de mouvement, est constante et de l'ordre de grandeur $\hbar$

soit : $\frac{h}{2\pi}$ $\Delta x \; \Delta p_x \simeq \hbar$ (16)

C'est le principe d'incertitude d'HEISENBERG applicable à tout mouvement de forme $M\, l^2\, T^{-1}$

D'où possibilité de connaître l'énergie et le temps

$$W = F\, \Delta x$$

$$m\gamma \rightarrow \frac{v}{t} \rightarrow \frac{\Delta x}{t} \rightarrow \gamma = \frac{\Delta x}{t^2}$$

$$W = \frac{m \Delta x^2}{t^2} \quad (= ML^2T^{-1}) \qquad (17)$$

L'énergie d'un système (isolé peut-être plaqué sur la notion d'énergie d'incertitude) [53]

II-3-4-2 - Principe de l'incertitude [53 - 51]

(dessin 25 b et 26)

L'énergie mécanique totale d'un système quantique isolé n'est pas strictement constante ; c'est ainsi que si le système n'existe que pendant un intervalle de temps Δt son énergie ne peut être définie au mieux que par (18)

$$\Delta E \cdot \Delta t \simeq \hbar$$

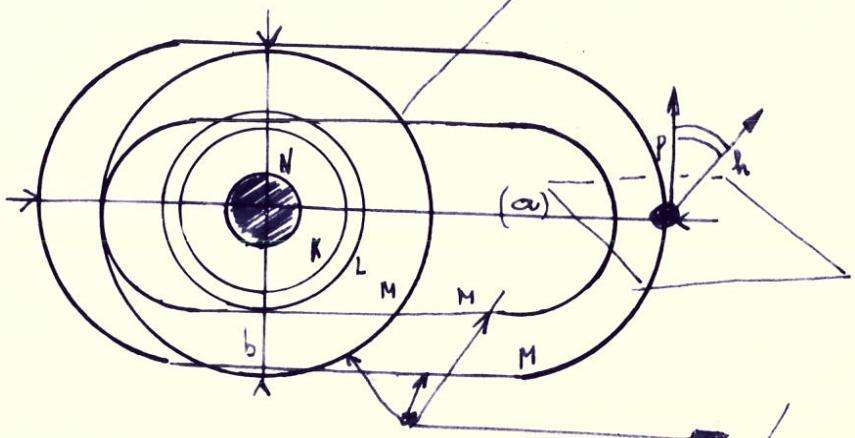
Il s'agit donc encore d'une relation d'incertitude, mais liée à la définition de l'énergie. Dans le temps usuel, le temps de système est suffisamment négligeable pour négliger.

La certitude de rencontrer un atome sur une orbite précise est totale, mais en mécanique ondulatoire on a seulement une probabilité élémentaire dP.

La précision de la probabilité sera au mieux définie par la connaissance de la fonction d'onde $\psi(x\,y\,z)$ (19)

Cette fonction joue, par rapport à la probabilité, le même rôle que joue le champ électrique $\vec{e}$ par rapport à l'intensité d'une onde lumineuse, donc (20)

$$\psi_2 = P$$



L
(par exemple)

$n = 1$ → S

Symbole Case

$l = 0$ → 0 → S

$n = 2$

$l = 1$ → P

Ex de atome : $A = 8$

Formule électronique (Pauli) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$

cf. dans 2Sa

Dessin 24

S S P S P d S

(où P est toujours la probabilité de présence)
On utilisera (19) constamment par la suite
Dans un système monoatomique isolé, cette fonction correspond à des états pour lesquels la valeur de l'énergie totale T est définie, et cette fonction est solution de l'équation de SCHRODINGER que l'on peut écrire maintenant

$$\frac{\hbar}{2m}\Delta\psi + \left[W - V\psi(x,y,z)\right] = 0 \qquad (21)$$

ψ = énergie des fonctions propres du système
m = laplacienne
$\Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}$
V = vitesse de particule

Les fonctions ψ solution sont appelées fonctions propres de système et les fonctions T valeurs propres de l'énergie

Conclusion :
A un moment quelconque la position (x, y, z) et la vitesse d'un ē ne peut être définie de façon précise. Donc on ne peut définir que dans l'ensemble.

II-3-5 - Spectre et rayonnement, son énergie [68 - 74]

II-3-5-1 -
Si nous étudions les interactions entre le rayonnement et la matière, (donc les spectres de Raie par exemple) nous voyons que le rayonnement se fait par saut quantifié

Les concepts onde et photon sont indissociables, quoique opposés, comme le recto et le verso d'une feuille

Il n'est pas question d'approfondir cet exposé en physique atomique. Nous allons simplement donner quelques exemples des interactions qui conduisent au niveau d'énergie que nous allons bientôt mettre en oeuvre.

Considérons tout d'abord le noyau d'un atome de charge Ze et un électron de charge e et de masse m ; la quantification du mouvement montre que l'énergie de ce système ne peut prendre que les valeurs :

$$W_n = \frac{-Z^2 e^4 m}{8 \varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} \qquad (22)$$

Où n = nombre entier (d'orbites)

ε_0 = coefficient de base électromagnétique

Lorsqu'il y a variation d'une unité, l'émission est de l'ordre d'un électronvolt

L'énergie des électrons se trouve sous cette forme, certes (énergie cinétique et énergie potentielle dues au mouvement et à la masse de l'électron) mais il y a aussi d'autres formes d'énergie potentielle due aux : [68]

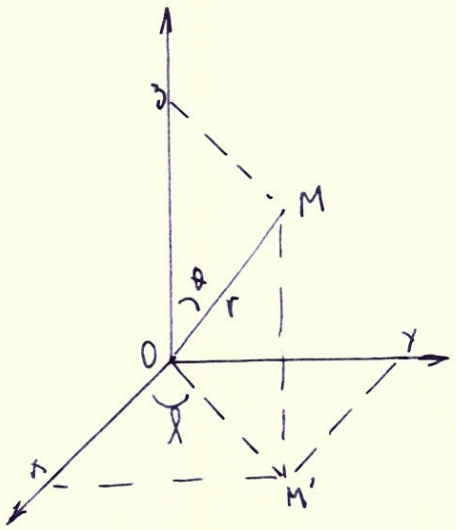
- Forces électriques :
  les signes différents s'attirent et les mêmes signes se repoussent, c'est le cas du noyau et de l'électron

- Forces magnétiques :
  dues à des pôles magnétiques qui entraînent là aussi des forces d'attraction et de répulsion

Ces mêmes électrons possèdent : <u>de l'énergie de rotation</u>
(en tournant sur eux-mêmes, les forces électriques et magnétiques produisent des interactions énergétiques)
<u>de l'énergie de vibration</u>
(les électrons sont en vibration)

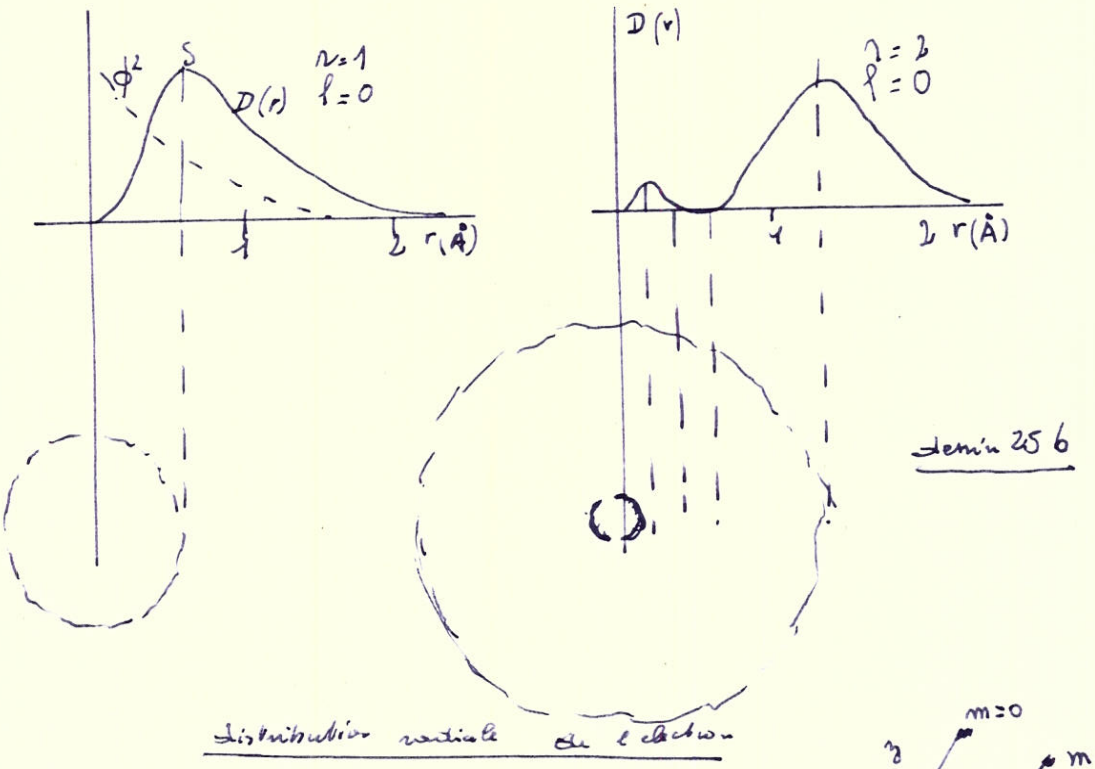
On comprend évidemment maintenant l'intérêt de connaître la structure exacte de l'atome et l'on voit l'importance énergétique que représentent les deux derniers nombres quantiques m_l et m_s et W vibratoire

Sachant que l'édification de l'atome obéit à deux principes dus à PAULI [71]



(dessin 25 a)

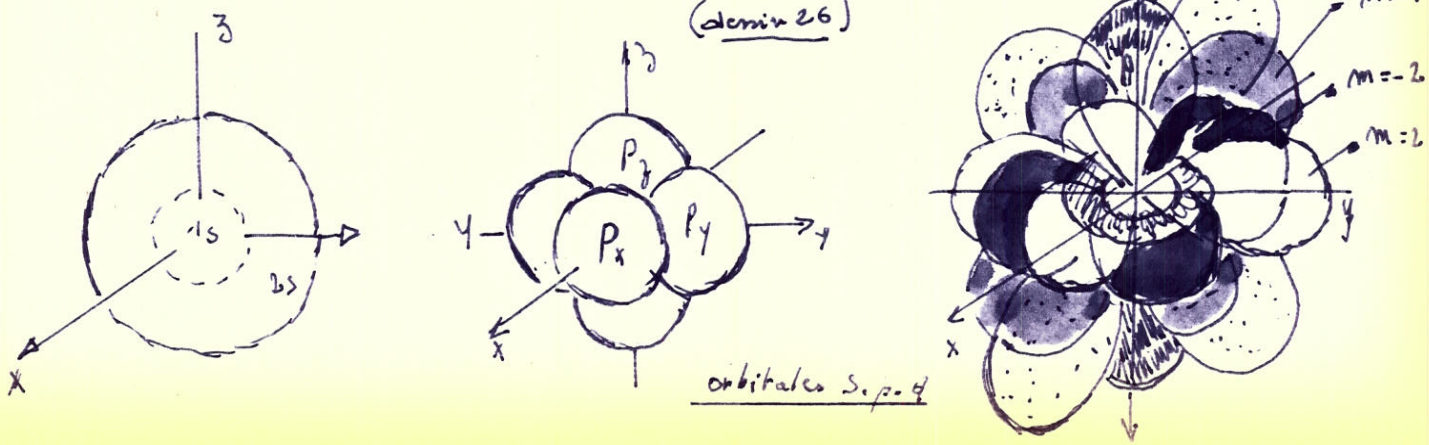
coordonnées polaire et cartésiennes



dessin 25 b

Distribution radiale de l'électron

(dessin 26)



orbitales s, p, d

Principe d'exclusion :

Dans un même atome, il ne peut y avoir deux électrons possèdant les 4 mêmes nombres quantiques

Principe de stabilité

Dans l'édification des atomes comportant un nombre croissant d'électrons, ces électrons se disposent, en occupant les niveaux d'énergie successifs en commençant par les niveaux inférieurs (dessin 24)

Par ces 2 principes d'exclusion et de stabilité, nous pouvons arriver à déterminer la configuration électronique de l'atome d'une façon très précise et, de la même façon, nous pouvons en déduire les variations d'énergie relatives à des changements structuraux importants ou fins, énergétiquement parlant.

II-3-6 -- *Exemples de niveaux d'énergie*

Si l'on étudie, en effet, les raies d'une manière très fine on se rend compte qu'elles sont de structure multiplexe (se divisent en plusieurs zones). Si le passage d'une couche à une autre représente quelques électronvolts, parfaitement visibles dans la lumière jaune du sodium, on trouve aussi des écarts énergétiques beaucoup plus faibles : spectroscopie hertzienne (voir dessin 27 a et b)

$$\Delta W = \frac{h c}{\lambda^2} \Delta\lambda \simeq 2{,}5\ 10^{-3}\ eV$$

Il faut chercher ces variations dans ce que représente l'orientation quantifée d'un moment dans un champ magnétique. Chaque électron étant, en effet, comme un petit aimant ayant un moment magnétique, il donne naissance à des niveaux très variés et très rapprochés d'énergie.

$$\text{Si } \hbar \simeq \frac{h}{2\pi}$$

La projection du moment magnétique M appelée M_z (qui est collinéaire du moment cinétique M) sur la direction du champ B fixe l'énergie que possède l'aimant (dessin 28 a)

$$W = -\mu B \cos\theta = -\mu_z B$$

Ceci nous amène à expliquer que :

1°/ - Le moment cinétique proposé de l'électron vaut $\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$ (confronté avant) donc en projection, prend les valeurs $+\frac{1}{2}\hbar$ et $-\frac{1}{2}\hbar$ et le moment magnétique proportionnel au moment cinétique vaut :

$$\mu_e = 2{,}00232 \frac{e}{2m} M$$

Le petit aimant est placé dans le champ magnétique que crée le courant circulaire équivalent à l'électron tournant autour du noyau. Ce champ, facile à calculer, vaut, lorsque l'atome est dans son état fondamental :

$$B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 c^2} \frac{e\hbar}{2m} \frac{1}{r_0^3}$$

r_0 = rayon de BOHR ; Or, deux orientations de SPIN dans le champs magnétique sont possibles (voir dessin), l'écart d'énergie est de :

$$\Delta E = \mu_e B_0 - (-\mu_e B_0)$$
$$= 2\mu_e B_0$$

soit quelques milliélectrons volts.

2°/ - De même un spin de l'électron s'oriente dans le champ créé par le noyau et :

$$\Delta E \simeq 10^{-6}\ eV$$

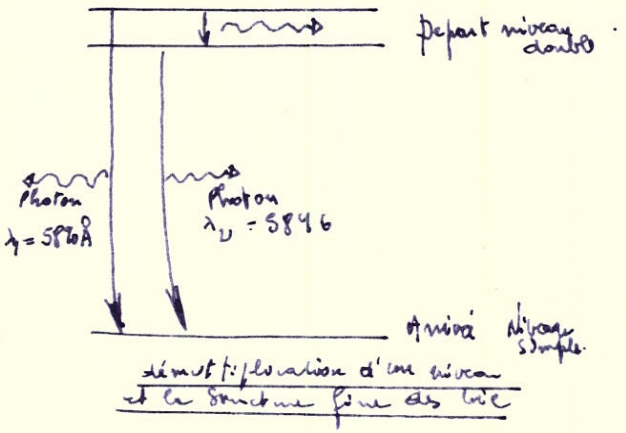
Soit 1430 MHz pour H_2 (dessin 28 b)

Tout ceci veut dire que nous avons, certes, des niveaux d'énergie variés, mais aussi dans la formule :

$$W = -\mu B \omega \theta$$

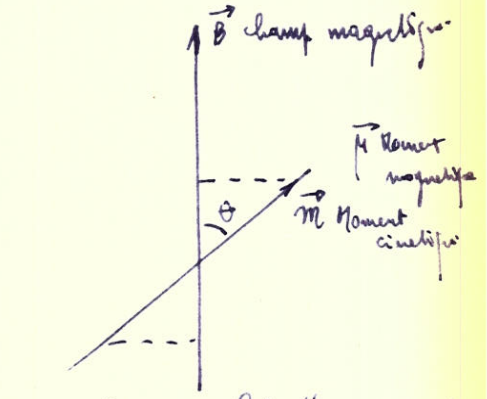
en orientant le moment magnétique de certains atomes dans un champ magnétique extérieur et même de l'extérieur, nous pouvons faire apparaître des niveaux d'énergie variés (dessin 28 c)

Il est à noter que ceci n'a lieu que dans le spectre hertzien car l'ordre de grandeur des champs magnétiques réalisables et celui des moments atomiques, conduisent à des niveaux, dont l'espacement est de l'ordre du milliélectron volt (valable pour le maser, pas pour le laser)



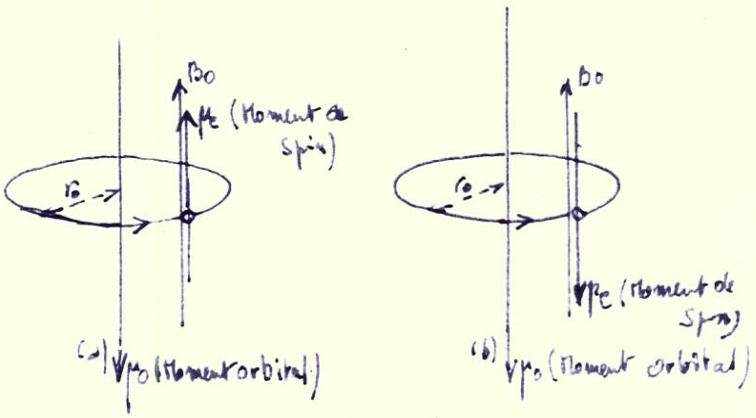
démultiplication d'un niveau et la structure fine des raies

(dessin 27)

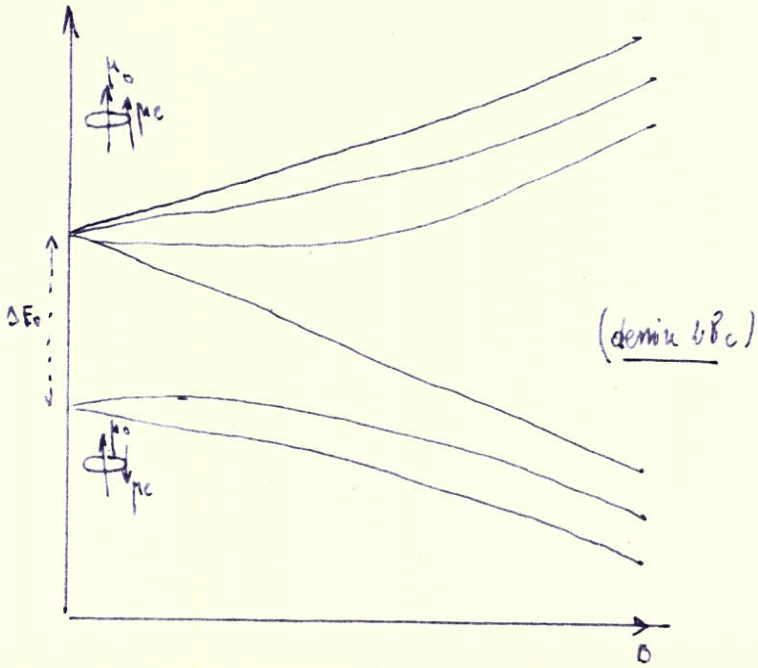


orientation quantifié d'un moment dans un champ magnétique

(dessin 28a)



(dessin 28b)



(dessin 28c)

Niveaux démultiplication obtenus par l'action d'un champ magnétique extérieur sur le moment résultant d'un atome

II - 4 - ONDE LUMINEUSE [68]

II-4-1 - Relation entre la durée et la largeur de bande

Dans un spectrographe, tous les photons émis lors de la transition, n'ont pas la même énergie, la raie spectrale n'est pas un point mais une tache d'une certaine largeur. Pour décrire complètement le phénomène, il faut introduire "une distribution" (le photon émis a une énergie comprise entre $h\nu$ et $h(\nu+d\nu)$ la probabilité est :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(\nu)\, d\nu = 1$$

où la valeur $p(\nu)$ est très faible, sauf très près de la fréquence ν_0 c'est-à-dire un voisinage de la "fréquence propre" de la transition.

Souvent, la forme de la raie est bien décrite par une relation de la forme :

$$p(\nu) = \frac{2}{\pi \Delta\nu} \cdot \frac{1}{1+4\left(\frac{\nu-\nu_0}{\Delta\nu}\right)^2}$$

où $\Delta\nu$ est la largeur de raie

Tant que la fréquence est comprise dans un intervalle $\Delta\nu$ autour de ν_0, la probabilité est supérieure à la moitié du maximum. Si l'on considère le cas de photons émis par les molécules d'un gaz chaud, (vitesse d'agitation thermique grande) les résultats sont donnés par :

$$p(\nu) = \frac{2\sqrt{\log 2}}{\sqrt{\pi}\,\Delta\nu}$$ (distribution gaussienne)

où $\Delta\nu$ est toujours la "largeur de raie"

Cet élargissement des raies spectrales a une très grande conséquence. En effet, si nous considérons le faisceau lumineux émis par une source, nous l'avons, jusqu'à présent représenté par une vibration sinusoïdale de la forme :

$$\rho_0 \sin 2\pi \nu_0 t$$ (Schrödinger)

La durée de vie étant infinie : $t : -\infty \qquad t = +\infty$ et, de plus la fréquence ν_0 était parfaitement déterminée. Mais, il n'en est rien. La description mathématique (intégrale de FOURIER) du faisceau lumineux résulte de la superposition d'ondes de fréquences voisines, toutes réparties dans une bande de largeur $\Delta\nu$ et qui est centrée sur ν_0

L'onde émise est, environ, décrite par une sinusoïdale, dont la fréquence la plus probable est égale à ν_0 et la durée limitée ; la durée de vie $\Delta\tau$ est liée à la largeur de bande, ce qui donne la relation suivante :

$$\Delta\nu \cdot \Delta\tau \simeq 1$$

Donc, plus la raie est large, plus la durée de trains d'ondes émis par la source lumineuse est brève. Si l'on mesure la phase de la vibration lumineuse à deux instants différents t_1 et t_2 (t_1 antérieur à t_2) deux cas sont à considérer :

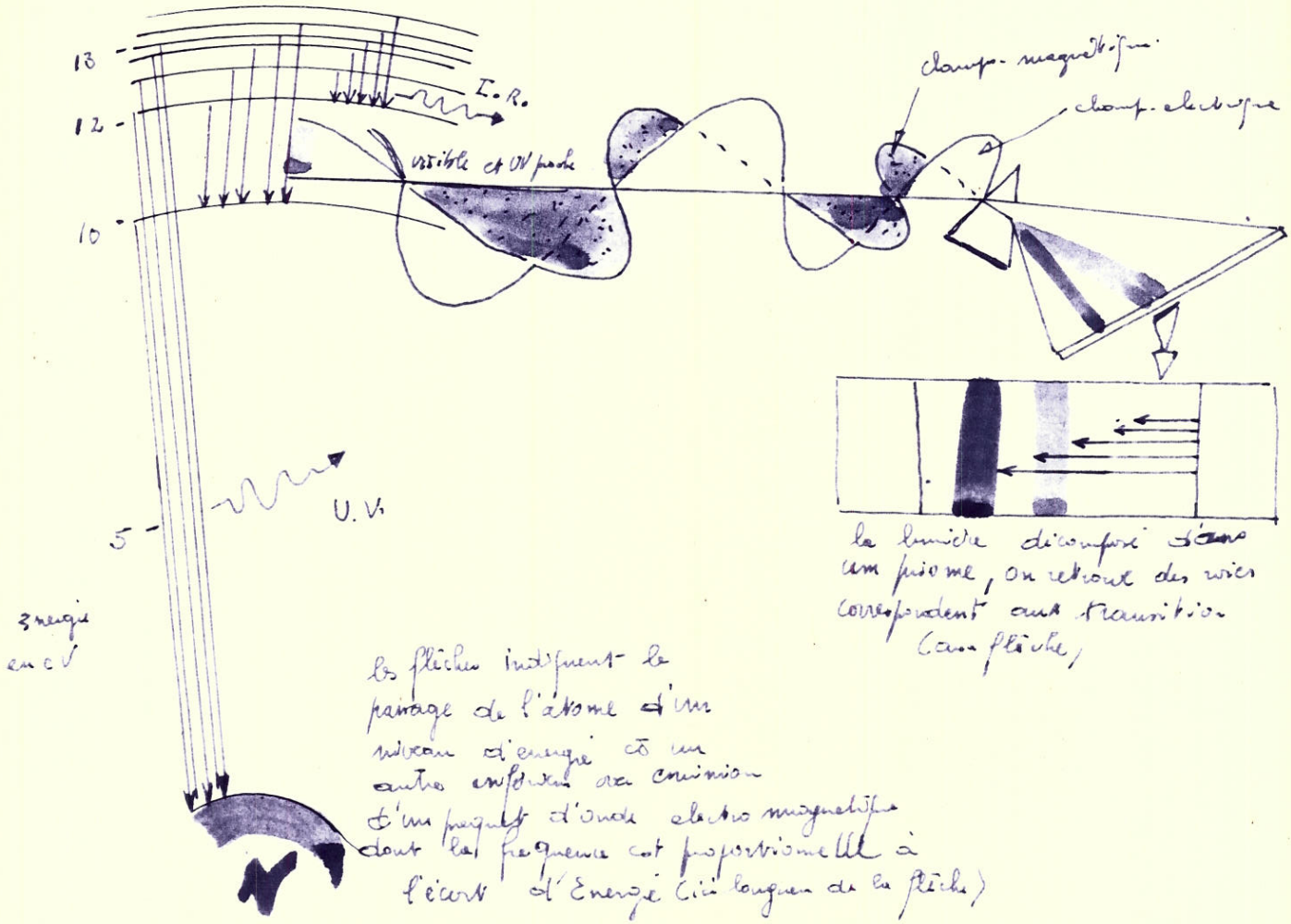
- L'écart entre les deux instants est inférieur à la durée de vie, on aura :

  $$\varphi(t_2) - \varphi(t_1) = 2\pi\nu_0(t_2 - t_1)$$

  et l'on restera dans le même train d'ondes. La différence de phase entre t_1 et t_2 est très nettement définie :
  le faisceau possède la cohérence temporelle

- Par contre, si l'intervalle t_1 t_2 augmente et devient supérieur à la durée de vie $\Delta\tau$, les trains d'ondes seront différents, et la différence de phases entre les deux instants n'est plus définie.
  On peut recommencer de nombreuses mesures à des instants différents et faire la moyenne des différences de phases obtenues, le résultat sera : $\overline{[\varphi(t_2) - \varphi(t_1)]} = 0$
  on dit que le faisceau est temporellement incohérent.

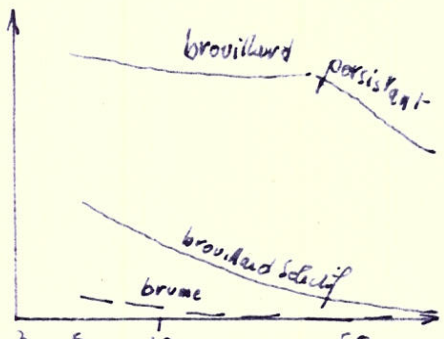
On peut comparer ce phénomène à la cohérence spatiale bien que l'origine soit différente. Pour qu'une source soit : "spatialement cohérente, il faut que tous les éléments vibrent en phase, réalisation impossible dans les sources usuelles mais possible dans les lasers.



la lumière décomposée dans un prisme, on retrouve des raies correspondant aux transitions (sans flèche)

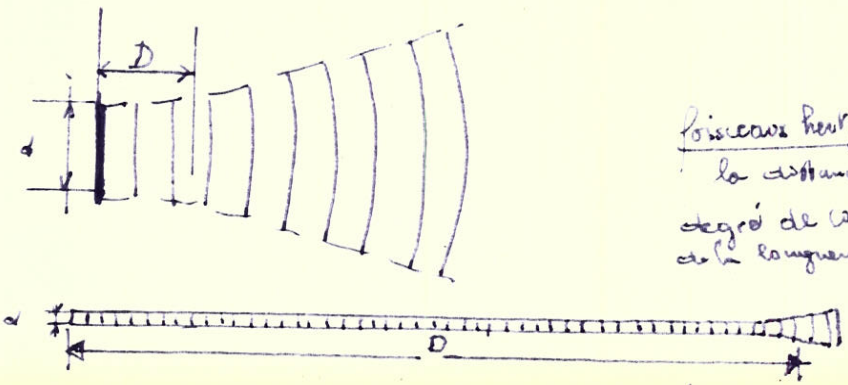
les flèches indiquent le passage de l'atome d'un niveau d'énergie à un autre entraînant la émission d'une fréquence d'onde électromagnétique dont la fréquence est proportionnelle à l'écart d'énergie (la longueur de la flèche)

(dessin 69a)



Atténuation des ondes

(dessin 69b)



(b)

Poissons herbivores et lance (b)

la distance D et la

degré de variété ultérieur dépendant de la longueur d'onde et du % de la Source

Les vibrations émises peuvent alors interférer au même instant, par des points différents de la source. Pour réaliser une source temporellement cohérente, elle doit être aussi "monochromatique" que possible. Deux vibrations, émises par le même élément de la source, à deux instants différents, n'interféreront que si l'intervalle de temps est inférieur à $\Delta t \sim 1/\Delta\nu$ Les lasers fournissent la solution, ils permettent de diminuer la largeur de raies.

II-4-1-1- Principe de la mesure de la cohérnece temporelle
(voir dessin 30)

Faisons interférer une vibration transmise directement avec une vibration qui s'est réfléchie deux fois Examinons l'aspect des interférences quand l'on fait augmenter la distance des miroirs. Si les anneaux d'interférences disparaissent, c'est que la distance est trop importante, et, ainsi, les vibrations qui devraient interférer, appartiennent à deux trains d'ondes différents.

II-4-1-2 - Causes de l'élargissement d'une raie spectrale

La plus importante parmi celles-ci est celle due à l'effet DOPPLER ; La source lumineuse est animée d'une vitesse (v) par rapport au récepteur, la fréquence aperçue par l'observateur est légèrement différente de la fréquence émise, l'écart de fréquence est :

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{v}{c}$$

Or dans un gaz où une décharge électrique existe, l'émission lumineuse (gaz à 100°K), la vitesse d'agitation thermique est d'environ 700 m/s (si le gaz à la même masse spécifique que l'air), donc, dans le spectre visible, l'élargissement sera de l'ordre de 2.10^{-6}, soit, en longueur d'onde pour λ = 6000 $\mathring{A}$ $\Delta\lambda = 12.10^{-3}$ $\mathring{A}$. Ceci est important mais pas gênant pour le fonctionnement d'un laser vu ses propriétés.

Si l'on enferme l'atome émetteur dans un réseau cristallin, ce n'est plus l'effet DOPPLER qui joue le principal rôle. Dans ce cas, l'élargissement est le fait de l'interaction des électrons de l'atome avec l'ensemble des charges qui sont dans le corps.

Les niveaux d'énergie infiniment minces sont le résultat de l'interaction d'un électron, avec un noyau. En fait, c'est plus compliqué, il s'agit d'une interaction de tous les électrons et de tous les noyaux, les niveaux se démultiplient mais étant tellement serrés et nombreux, c'est comme si le niveau infiniment étroit se trouvait remplacé par une bande d'énergie. C'est également ce qui se produit dans les interactions magnétiques, où ce sont les SPIN qui jouent les uns sur les autres.

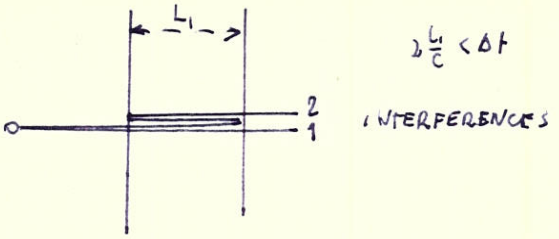
Donc, pour réaliser une source temporellement cohérente, il ne faut employer ni corps solides, ni liquides, ni même les gaz, puisque pour les premiers cités, les émetteurs sont perturbés par l'environnement et pour les derniers, nous venons de le voir, l'effet DOPPLER n'a rien de favorable (voir variation de l'amplitude durant la trajectoire de l'onde)

Il ne nous reste plus que la solution de l'atome isolé ; l'émission de lumière est faible, mais par contre, la cohérence temporelle est parfaite. En fait, considérer l'atome isolé comme source temporellement cohérente n'est pas pleinement satisfaisant : en effet, il n'émet de la lumière qu'après avoir été excité, lorsqu'il passe de son niveau d'excitation à son niveau fondamental où il cesse d'émettre.
Donc la durée du train d'ondes émis est déterminée, et la raie spectrale, par suite, élargie. Evidemment, par rapport aux phénomènes décrits précédemment, celui-ci est très faible puisque la largeur "naturelle" des raies de l'atome isolé est de 6.10^{-5} Å

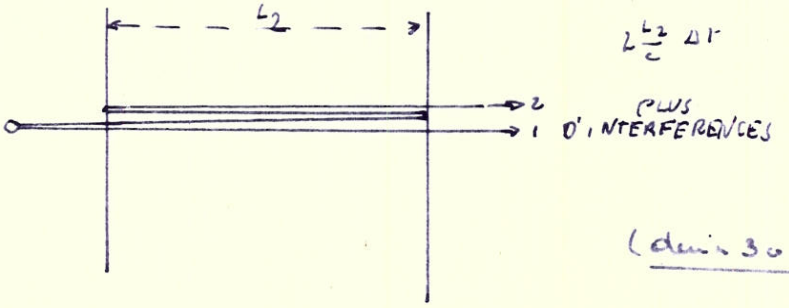
En conclusion, il y a proportionnalité inverse entre durée de vie et largeur de bande. Tout environnement augmente la largeur de bande et, par conséquent, diminue la durée de vie, donc la cohérence temporelle.

II-4-2 - Que faut-il tirer des observations faites sur succession d'ondes

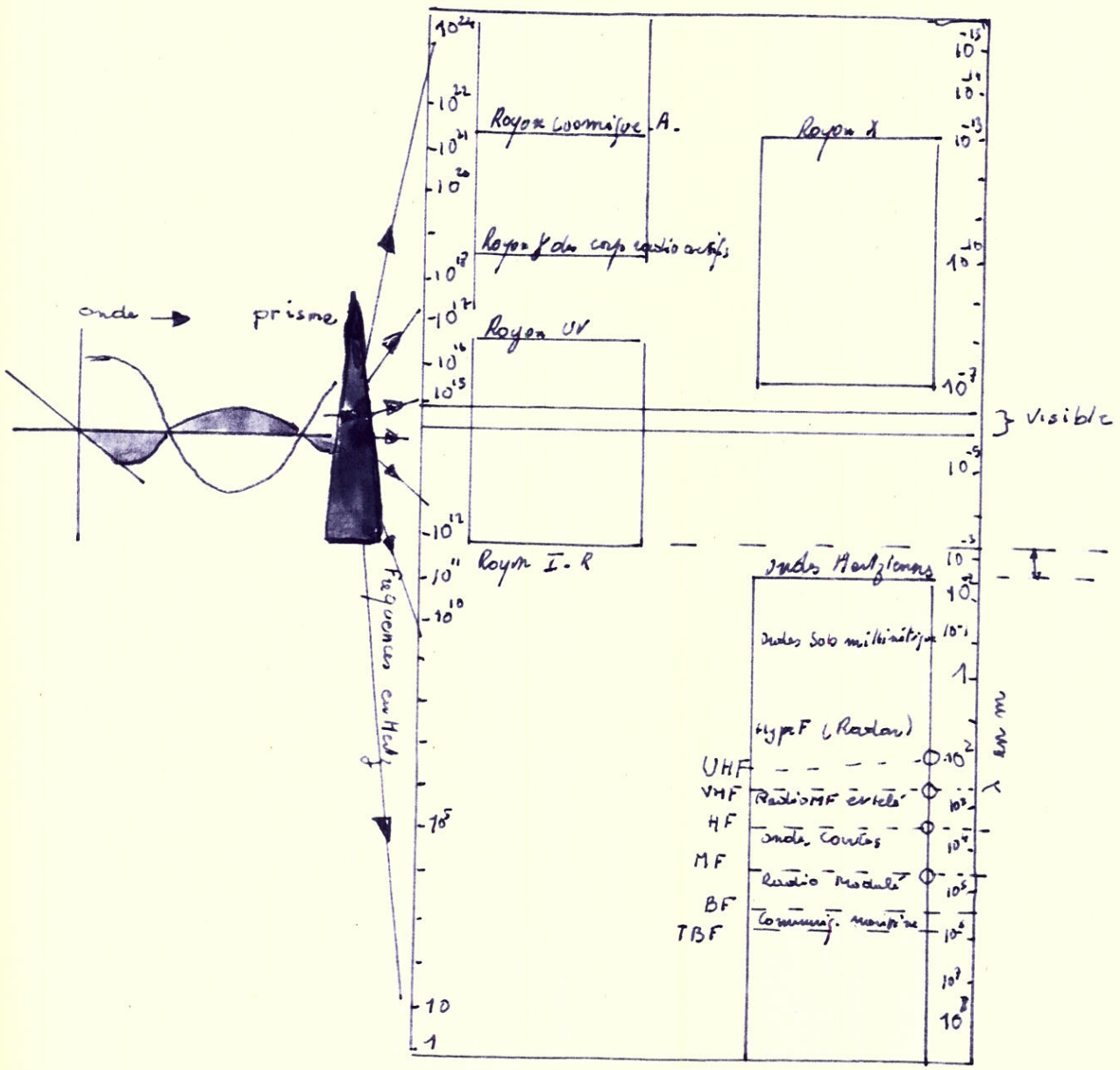
D'une façon générale, un détecteur reçoit seulement une moyenne des effets produits par la source des valeurs de a (t), (on



Longueur de cohérence
(interféromètre Perot Fabry)



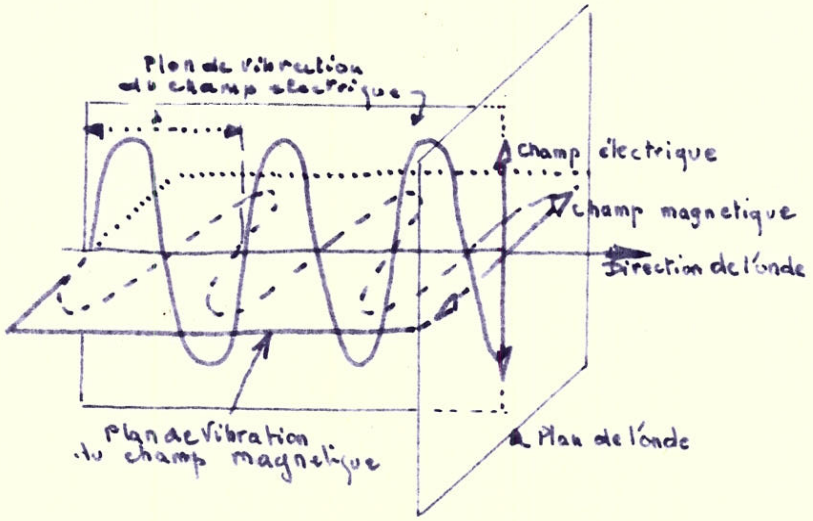
(demi 30)

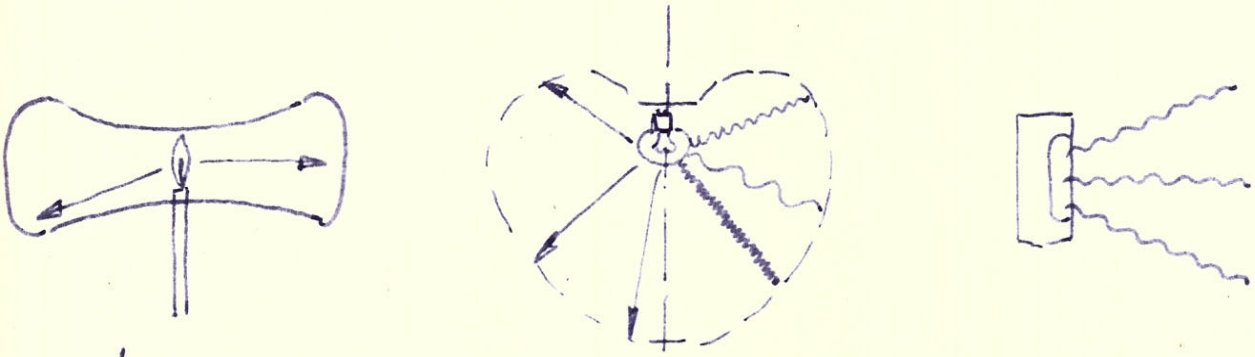


Spectre électromagnétique.

(demi 32)

Onde.

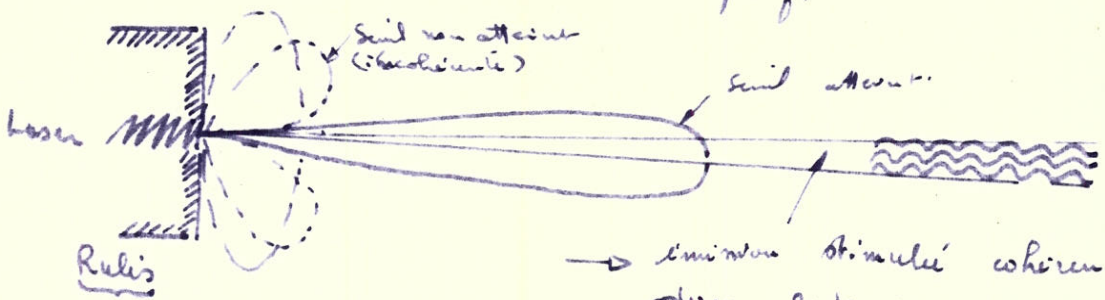




bougie — lampe — laser Hg

bougie, lampe :
- longueur d'onde (λ) différente → polychromatisme
- émission de brusard → incohérence.
- très dispersif.

laser Hg :
- une seule longueur d'onde → monochromatique.
- pas de coïncidence de phase → incohérence.
- dispersif.



→ émission stimulée cohérente dans le temps.
→ monochromatique

dessin 81

considère le détecteur de précision énorme devant T). Certes, un atome émet une vibration complexe $v_1 t$, $v_2 t$.... au temps t_1, t_2..... distribué autour.

L'expression $v_1 t$, $v_2 t$ est un signal analytique associé à la vibration réelle : la vibration émise au temps t_1 est représentée par : $v_1 (t - t_1)$ au temps t. Donc, cette voie, pour d'autres atomes et vibrations complexes nous amène à dire qu'au temps t les vibrations qui quittent l'atome sont :

$$v(t) = v_1 (t - t_1) + v_2 (t - t_2)$$

La phase de chaque onde est variable, et, il n'y a aucune relation entre chacune des ondes.

Pour chaque onde, nous avons :

$$v(\nu) = v_1(\nu) e^{-J 2\pi \nu t_1} + v_2(\nu) e^{-J 2\pi \nu t_2}$$

d'où :

$$v(t) = 2 \int_0^\infty \left[v_1(\nu) e^{-J 2\pi \nu t_1} + \dots + \dots \right] e^{J 2\pi \nu t} d\nu$$

donc :

$$V_1(t - t_1) = 2 \int_0^\infty v_1(\nu) e^{J 2\pi \nu (t - t_1)} d\nu$$

d'où 3.1 et 2.2. sont identiques. La vibration complexe traduite par l'une ou l'autre de ces expressions représente la succession d'ondes émises par un atome

Parce que toutes les ondes sont incohérentes, il existe une petite différence entre un atome et un autre en train d'émettre. Le complexe vibratoire $v(t)$ donnée par 2.2. ou 3.1 peut représenter l'émission à un temps t d'une source incohérente étendue. D'ailleurs, $v(t)$ correspond à une vibration monochromatique. En conséquence, on peut caractériser l'émission d'une source étendue incohérente par le complexe vibratoire $v(t)$. Si la lumière est casi-monochromatique, on utilise l'expression :

$$a(t) = A(t) e^{-J \phi t}$$

et

$$V(t) = a(t) e^{J 2\pi \nu_0 t}$$

Un détecteur (oeil ou cellule photoélectrique par exemple) est sensible seulement à la valeur $v^2(t)$. L'intensité du phénomène est naturellement caractérisée par la forme :

où T est le temps nécessaire pour obtenir l'observation. Maintenant T est très large par rapport à la cohérence temporelle aussi, on peut écrire :

$$V^{(r)2}(t) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} V^{(r)2}(t)\, dt \quad (1)$$

mais si l'intégrale (1) est limitée : T à l'infinie, l'intégrale (2) est divergente.

$$\overline{V^{(r)2}(t)} \propto \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{+\infty} V^{(r)2}(t)\, dt$$

La difficulté est enlevée, si l'on considère la fonction dans ses grandes lignes $V\frac{f}{1}(t)$ équivalente à la fonction $V^{(r)}(t)$ dans l'intervalle -T, T est identique au zéro en dehors de cet intervalle. Dans cette suite d'idée, nous garderons la notation $V^{(r)}(t)$

On peut écrire : $\overline{V^{(r)2}(t)} = \frac{1}{2}\overline{V(t)V^{*}(r)}$

$$= \overline{V^{(i)2}(t)}$$

A l'état actuel, les opération sur sont linéaires. On peut faire les calculs avec v (t) et prendre la part réelle du calcul final. La relation est importante car : elle nous montre que l'on peut trouver la valeur du carré de la vibration réelle (de l'intensité lumineuse) en utilisant l'onde qui lui est associée

II-4-3 - Cohérence de la vibration

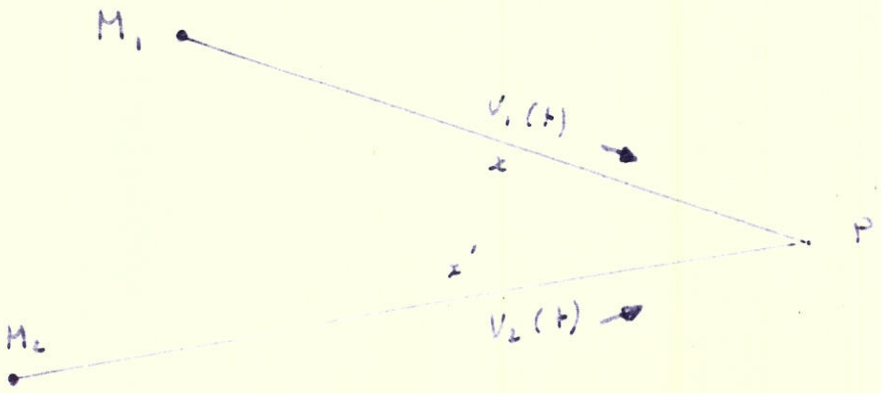
Dans les études antérieures nous avons expliqué ce qu'est la cohérence. Maintenant, en fonction de cette cohérence, nous allons déterminer l'intensité que reçoit un point quelconque P émanant de deux sources distinctes. Si nous considérons les complexes vibratoires $v_1 t$ et $v_2 t$ émis par deux sources m_1 et m_2 (voir dessin 33), les vibrations sont superposées au point P.

Pour le moment, nous ne spécifions pas la nature de ces deux sources, il est possible que la vibration émise de ces deux sources soit l'image d'une même source, en opposition, ces 2 sources peuvent être complètement indépendantes, ce que nous avons vu précédemment. Nous les considérerons comme deux sources différentes.

calcul de I

"mutual coherence"

dessin 33



$$\theta_1 = \frac{M_1 P}{v}$$

Temps

$$\theta_2 = \frac{M_2 P}{v}$$

(I)

en M_1 $\quad V_1(t) = 2\int_0^\infty v(M_1,\nu)\, e^{j 2\pi \nu t}\, d\nu$

en P $\quad V_P(t) = 2\int_0^\infty v(M_1,\nu)\, g(\nu)\, e^{j 2\pi \nu (t-\theta_1)}\, d\nu$

(II)

Complexe vibratoire au temps t au point P

$$V_t = V_1(t-\theta_1) + V_2(t-\theta_2)$$

l'intensité observable en P est

$$I = \overline{V(t)V^*(t)} = 2\overline{V^{(t)2}(t)}$$

donc

$$I = \overline{[V_1(t-\theta_1) + V_2(t-\theta_2)][V_1^*(t-\theta_1) + V_2^*(t-\theta_2)]}$$

l'intensité de l'onde est considérée stable

$$\overline{V_1(t-\theta_2)\, V_1^*(t-\theta_1)} = \overline{V_1(t)\, V_1^*(t)} \quad \text{idem pour } \overline{V_2}$$

$$\overline{V_1(t-\theta_2)\, V_2^*(t-\theta_2)} = \overline{V_1(t+\theta)\, V_2^*(t)}$$

donc :

$$V_1(t+\theta)\, V_2^*(t) + V_1^*(t+\theta)\, V_2(t) = 2\,\mathcal{R}[V_1(t+\theta)\, V_2^*(t)]$$

$$I = \overline{V_1 V_1^*} + \overline{V_2 V_2^*} + 2\,\mathcal{R}[\overline{V_1(t+\theta)\, V_2^*(t)}]$$

donc $\quad I = I_1 + I_2 + \underbrace{2\,\mathcal{R}[\overline{V_1(t+\theta)\, V_2^*(t)}]}$

$\Gamma_{12}\theta$ (cohérence mutuelle)

Variation de l'Amplitude durant la trajectoire de l'onde.

(dem'n 3#)

① La fonction du temps pour une Vibration Sinusoïdale peut être écrite

$$E = a \cos\left[2\pi\nu\left(t - \frac{x}{v}\right) + \phi\right] \qquad (1.1)$$

pour une onde Sphérique dont le centre est x

$$E = \frac{a}{x} \cos\left[2\pi\nu\left(t - \frac{x}{v}\right) + \phi\right] \qquad (1.2)$$

où : a = amplitude.
ϕ = phase
ν = fréquence. $= \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$
x = point considéré courant
ω = fréquence angulaire.
T = période
λ = longueur d'onde. (Wavelength of vibration)

② En vérité un rayonnement n'est pas infini Energétiquement parlant, il y a une décharge progressive de l'onde

Si une Représentation réelle de l'onde monochromatique est

$$V(t) = \int_0^{+\infty} b(\nu) \cos\left[2\pi\nu t - \Phi(\nu)\right] d\nu \qquad (2.1)$$

où : $b(\nu)$ amplitude Réelle
$\Phi(\nu)$ phase Réel

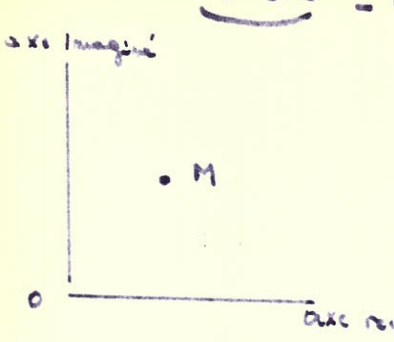
nous utiliserons désormais

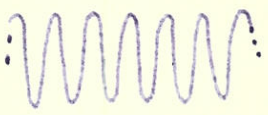
$$V(t) = 2\int_0^{+\infty} v(\nu)\, e^{-2\pi\nu t}\, d\nu \qquad (2.2)$$

③ Si ν_0 est la fréquence du départ (1.1) nous donne

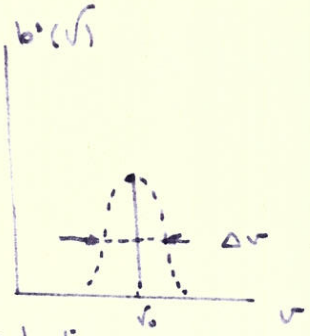
$$V(t) = \exp j\left[2\pi\nu_0\left(t - \frac{x}{v}\right) + \phi\right]$$

1° cas - nous considérons l'amplitude constante dans le temps



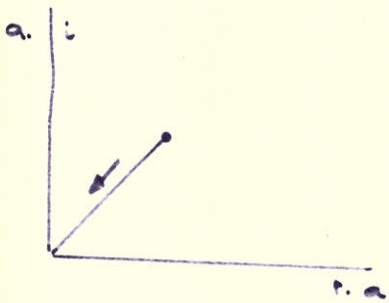


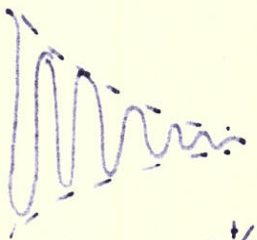
représentation réel de $V(t)$



- optique —
- spectre atomique réel ....)

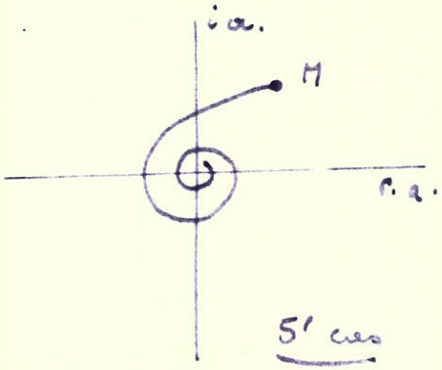
2° cas - l'émission d'un atome n'est pas éternelle (voir avant) elle dépend de τ (temps de cohérence.



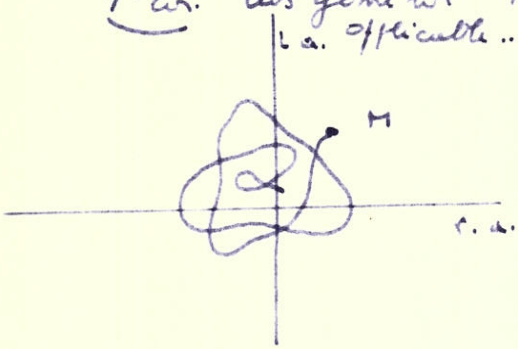


$$V(t) = e^{-t/\tau} e^{j(2\pi\nu_0 t + \theta)} \qquad (3.2)$$

3° cas. - effet Doppler



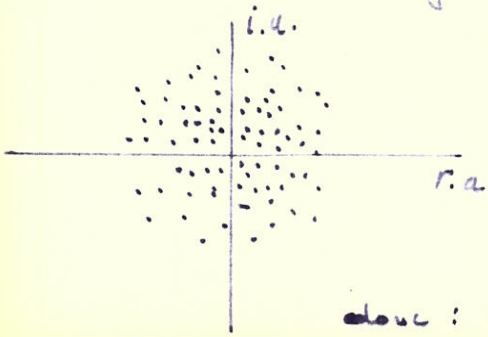
4° cas. cas général toujours i.a. applicable ....

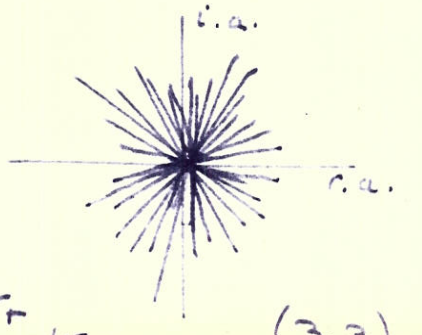


5° cas Somation d'onde par un atome.

- pour le temps séparant à l'observation τ est très petit ; $a(t)$ représente un grand nombre de valeurs réparties autour (un grand nombre de sinusoïdales)

On écrit en général seulement la résultante des $a(t)$





donc : $$V(t) = 2\int_0^\infty v(\nu) e^{j2\pi\nu t} d\nu \qquad (3.3)$$

Les calculs expliqués sur la feuille ci-jointe nous donnent la vibration au point P, au temps t. Dans ces calculs nous avons considéré que, lorsque la vibration (v_1) émise par m_1 arrive en P, elle a traversé une distance m_1P

Nous considérons l'indice de réfraction égal à 1. Si i_1 et i_2 sont les intensités respectives de m_1 et m_2, les intensités en P_1 des deux sources sont indépendantes.

Dans cette étude, nous considérons ces deux valeurs comme constantes. Par contre, x et x' ont un rôle fondamental, toute variation aurait des conséquences importantes. Pour simplifier les calculs, nous prendrons la vibration en P au temps T, la même que celle en m_1.

Dans ces conditions, nous pouvons écrire l'intensité au point P en fonction de celle issue de m_1 et m_2 (voir schéma). Nous en déduisons la valeur de la cohérence mutuelle. Nous comprenons évidemment qu'avec ces données nous pouvons calculer l'intensité i au point P superposée de deux vibrations v_1 et v_2.

II-4-4 - Photométrie [58 - 83 - 84 - 85]

Elle est la base de nos mesures et est, elle même, la mesure des intensités lumineuses.

Deux sources produisant un même éclairement à distance égale ont des intensités lumineuses égales.

II-4-4-1 - Mesures

Intensité lumineuse

Soit une source lumineuse S et considérons le cône d'angle solide très petit $\Delta\omega$ et d'axe Sx. Le flux lumineux $\Delta\phi$ sera défini par :

$$\Delta\phi = I \, \Delta\omega$$

où : I est l'intensité lumineuse dans la direction Sx

Autrement dit : I n'est autre que le flux lumineux émis par unité d'angle solide $\Delta\omega = 1$ dans la direction Sx;

Eclairement

L'éclairement est le flux lumineux reçu par unité de surface d'un écran

$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta S} = 1\,\frac{\Delta W}{\Delta S}$$

L'éclairement moyen E est le quotien du flux $\Delta\phi$ par surface ΔS d'un petit écran éclairé. L'éclairement en un point est la limite vers laquelle tend le quotient $\Delta\phi/\Delta S$ quand ΔS tend vers zéro.

Unité d'intensité

Bougie internationale (soleil : $3\,10^{27}$ b)
en watt 1 erg/seconde (avec un colorimètre : $I = \frac{w_o}{t_v}$)

Unité d'éclairement :

Est le lux ou bougie mètre (éclairement d'une bougie à 1 m)
Il n'est pas le même partout (voir schéma)

L'unité de flux

C'est le lumen
Le flux sur 1 m2 dans une sphère de rayon 1 m et de source 1 bougie

Etat intrinsèque ou brillance

Est l'intensité émise par une source par cm2 (de cette source) (bougie/cm2)

II - 5 - ORIGINE DIFFERENTE POSSIBLE D'UNE ONDE

Nous avons expliqué jusqu'à présent quels étaient les principes qui régissaient une onde électro-magnétique quelconque ;

Dans notre système, nous aurions pu imaginer un procèdé plus simple de balayage et de réflexion avec enregistrement à l'aide d'une cellule photoélectrique. Ceci paraît abérrant lorsqu'on découvre les merveilleuses possibilités que nous offre le rayon laser.

Nous allons, pour approcher ce laser, expliquer d'abord, comment une onde est émise (ses processus d'émission) et de là, en déduire ce qu'est le maser.

II-5-1 - Origine de l'émission [74]

Si un gaz est dans une boite, une agitation thermique fait que les atomes rebondissent sur les parois comme des balles de golf ; ceci conduit, lors de rencontres, à l'évolution d'atomes à des niveaux d'énergie supérieurs. Lors du retour à l'énergie initiale E_1, il y a émission d'un photon qui forme l'onde. Ce photon peut lui-même faire ce même phénomène

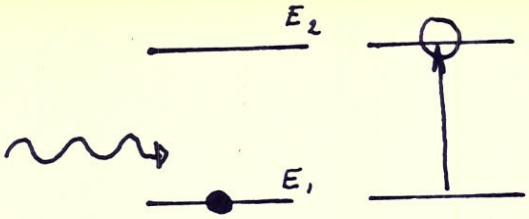
En se fondant sur les connaissances du moment et en y ajoutant ses propres réflexions, EINSTEIN postula qu'il existait trois façons pour un atome de réagir avec un photon

- Si un atome non excité est frappé avec un photon ayant une énergie égale à un intervalle dans l'échelle d'énergie de l'atome, le photon est probablement absorbé par le système orbital de l'atome (desin 37 a)
- Si rien d'autre n'arrive à l'atome, tôt ou tard il emettra cette énergie emmagasinée (dessin 37 b)
- Si un photon frappe un atome (électron) excité (photon en magasin) il stimulera cet atome qui emettra le photon emmagasiné et les énergies sont égales (dessin 37 c)

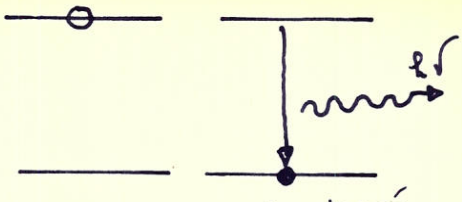
Voyons avec plus de précision

II-5-2 - Emission stimulée et spontanée [68 - 74 - 77 - 78]

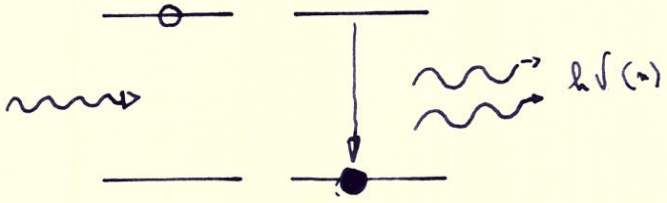
Nous nous basons essentiellement sur "l'anatomie" étudiée précédemment. L'émission stimulée, base du laser, (cf : ZEITSCHRIFT fur Physik EINSTEIN 1918 tome 18)
Considérons les variations d'énergie E_1 et E_2 :



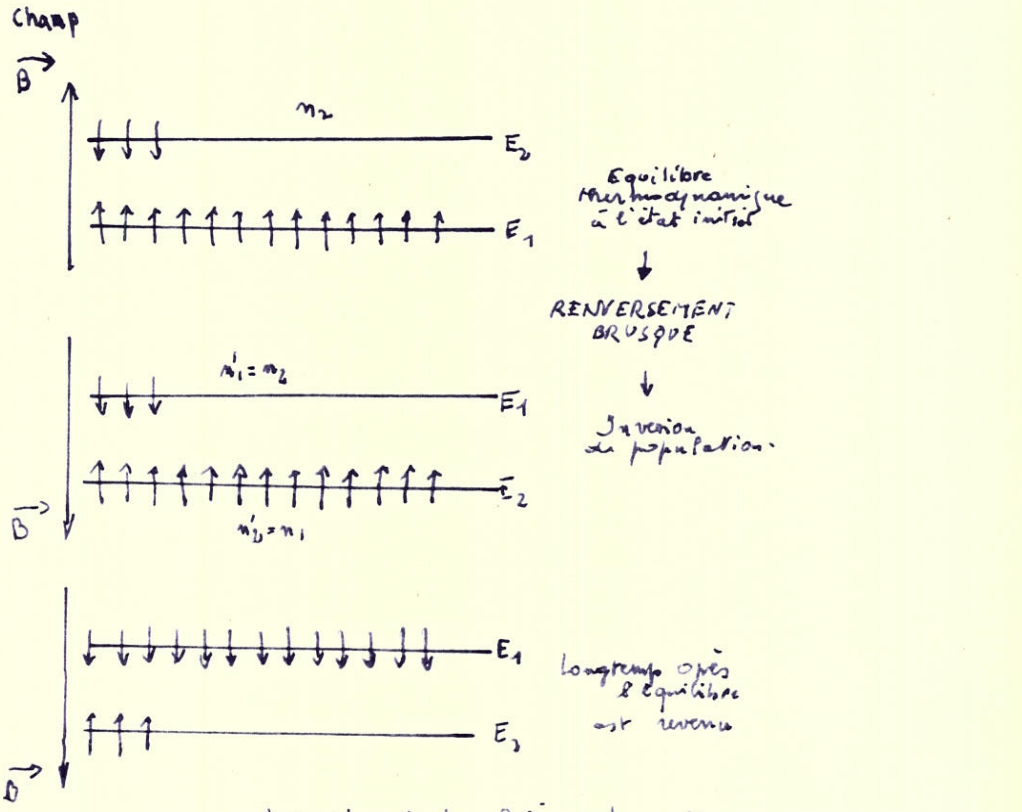
le rayonnement est absorbé si le e^- est sur couche inférieure. (dessin 37a)



émission spontanée (dessin 37b)

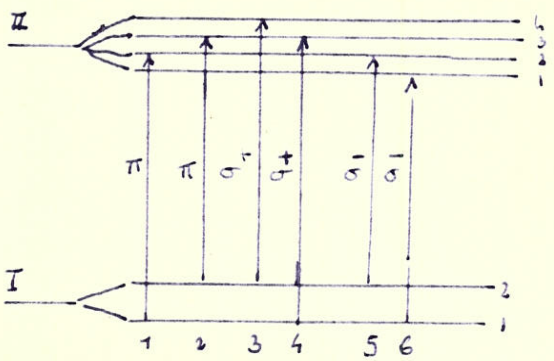


émission stimulée (dessin 37c) [6



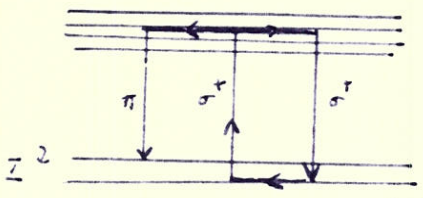
Inversion de population par retournement brusque de direction de champ Magnétique

(dessin 37 d) [68]



Principe du pompage optique

(dessin 37e) [68]



(dessin 37 f) [68]

Ceci provient d'émission de photons diminuée par l'absorption de certains de ces photons

—

Où U est la variation de la densité d'énergie électromagnétique V, l'émission n'est pas satisfaisante par cette seule équation ; en vérité, l'émission présente deux aspects

- Emission spontanée

Il y a passage du niveau E_2 à E_1 par sa propre initiative, sans aucune action extérieure

- Emission stimulée (Einstein)

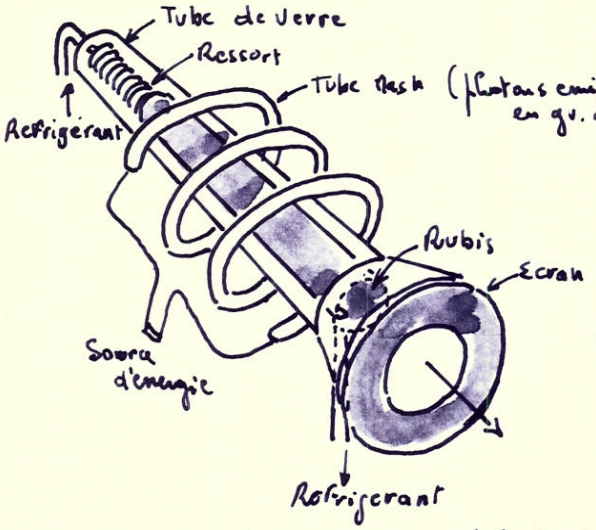
L'émission augmente avec le nombre de photons que contient une cavité. En effet, un système E_2, frappé par un photon peut descendre à E_1, donc deux photons, il y a multiplication progressive de photons, et de ce fait, amplification par émission stimulée de radiation

Ce phénomène est proportionnel : au nombre de photons
à la population du niveau E_2
Donc à U n_2 il n'y a pas d'absorption.

Absorption et émission stimulée sont égales (travail d'EINSTEIN). Ceci est le côté photon, voyons ce qui se passe au niveau de l'onde :

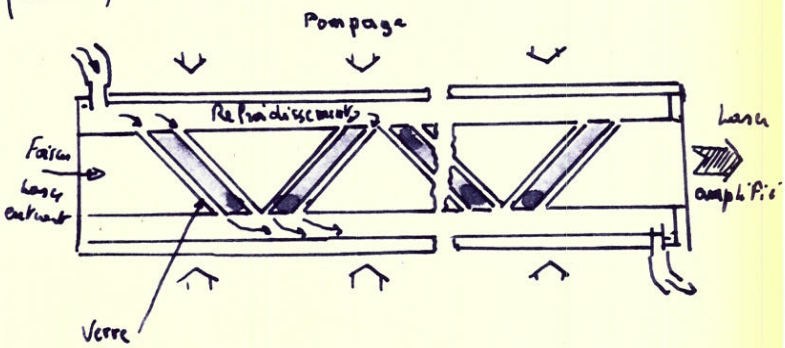
- l'onde associée à une répartition aléatoire de 0 à 2 π (liée au bon vouloir d'un des systèmes qui tombe au niveau inférieur)
- l'onde stimulée est fondamentalement différente

L'onde associée auxpremières, commande l'onde du secondaire. Les deux ondes sont en phases d'où elles ont la même fréquence, mais une amplitude supérieure donc, amplification des ondes associées.



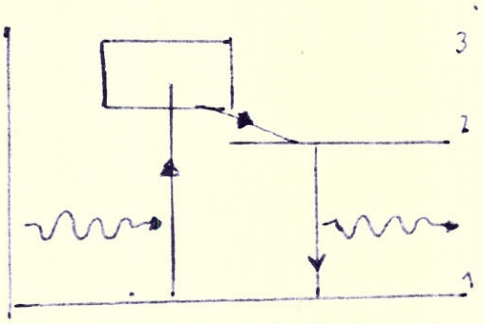
Laser à rubis pulsé [74]

(dessin 40 a.)



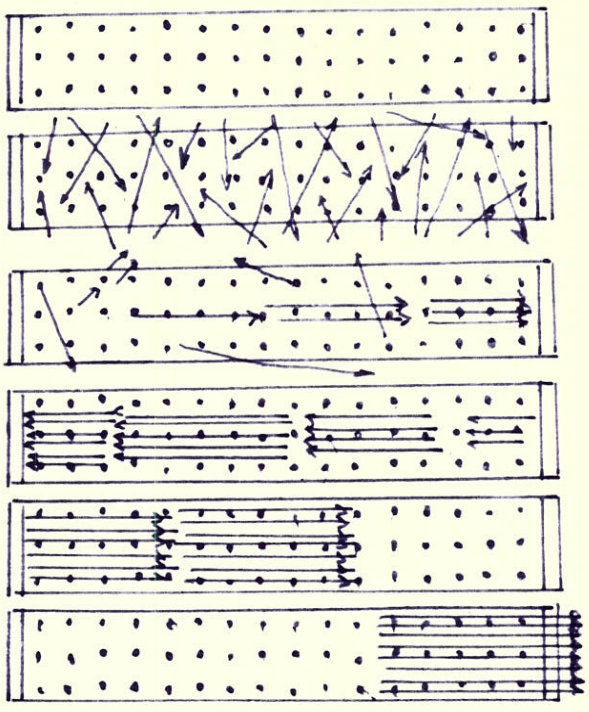
Laser zigzag

(dessin 40 b)



Laser à Rubis [77]

dessin 38 h



Etapes de l'effet Laser [74]

dessin 38 c [68]

La variation d'énergie de U par unité de temps est $\frac{dU}{dt}$
Si l'on amène de l'énergie (W) (rayonnement : en chauffant les parois par agitation)
Donc E_2 augmente au détriment de E_1
Le refroidissement donne l'inverse

Un système auquel nous fournissons des photons varie, sa population aussi.
Si U augmente, $n_2 - n_1$ se réduira (asymptote donc jamais nulle)
Note : (cf : bibliographie 74 et 71)

$$m_1 = \frac{K_{21} + A + BV}{K_{21} + K_{12} + A + 2BV} N$$

$$m_2 = \frac{K_{12} + BV}{K_{21} + B_{12} + A + 2BV} N$$

on peut donc calculer $n_1 - n_2$

Dans le naturel, un atome se trouve plus à l'état fondamental qu'à l'état excité, ~~évidemment, certes,~~ il y a des passages d'un état à l'autre pour certaines parties de l'atome : les uns absorbent de l'énergie et les autres en restituent mais l'énergie relative reste en gros, la même

II-5-5 - <u>Inversion de population</u> :

L'émission stimulée est très réduite par rapport à l'émission spontanée. L'inversion de population a pour but de renverser en quelque sorte cet état normal et stable de la matière
soit n_1 = population sur E_1
n_2 = population sur E_2
<u>C'est donc</u> :

Un état provoqué artificiellement où il y a un plus grand nombre d'atomes à l'état excité que fondamental. Pour produire une telle inversion, il faut procéder à une sorte de "pompage" de l'énergie (dans le cristal par exemple) afin que de nombreux atomes passent à l'état supérieur

Il est évident que ces "coups de "pompe (photons émis par une lumière de flash par exemple) doivent être extrèmement rapides et rapprochés car l'atome porté à une énergie supérieure n'y restera qu'un temps très court et, en quelques millièmes de secondes reviendra à son état fondamental. N'étant pas à un état d'équilibre, il reviendra, asymptotiquement et à une constante de temps près à cet état d'équilibre.

Le petit τ ou : "temps de relaxation" du système, joue un rôle important dans la théorie dynamique. Il dépend du système quantique considéré et de son environnement. Il est évident que l'on cherchera à trouver un temps de retournement très faible par rapport au temps de relaxation

Un bon exemple de ce retournement est le pompage optique imaginé par le physicien KASTLER (ENS) :

Considérons un système quantique à deux niveaux (I) et (II) et plaçons le dans un champs magnétique qui va démultiplier les niveaux. Supposons que (I) se dédouble et (II) se subdivise en quatre. Nous avons dit que toutes les transitions n'étaient pas permises ; Illuminons alors le récipient contenant les systèmes quantiques avec une variation dont la fréquence correspond à la transition n° 4. Par absorption des systèmes du niveau I_1 vont monter sur le niveau II_3 d'où ils redescendront, les uns par transition n° 4 sur le niveau de départ, les autres par transition n° 2 sur le niveau I_2

Il est clair que cette méthode qui "pompe N" systèmes par seconde sur le niveau I_1 alors que l'émission n'y renvoie que $\frac{N}{2}$ système, va vider le niveau I_1 au profit du niveau I_2. Nous allons réaliser ainsi une inversion de population entre les niveaux I_1 et I_2 (dessin 37 e, f)

Il est souvent commode d'introduire un paramètre pour caractériser la population de 2 niveaux. C'est "la température généralisée" (appelée aussi température de SPIN) définie par :

$$T = \frac{h\nu}{k} \frac{I}{\log \frac{n_1}{n_2}}$$

Si le système est en équilibre thermodynamique, ce paramètre coincide avec la température thermodynamique mesurable avec un thermomètre à gaz. En l'absence d'équilibre, ce paramètre n'a pas de signification thermodynamique ; il constitue simplement un procèdé pour noter la différence de population. Il peut, bien entendu, être positif ou négatif, mais jamais nul ; le passage des "températures" positives aux températures négatives s'effectue vers l'infini... Il convient de se rappeler que l'introduction de la température généralisée est une convention, et que l'apparition de "température négative" n'est nullement en opposition avec le troisième principe de la thermodynamique, qui veut que le zéro absolu constitue une température limite.

II-5-6 - Importance de l'émission stimulée et spontanée

Nous pouvons dire, en utilisant les relations de BOLTZMANN et de PLANCK qu'ils nous donnent ces importances relatives,
Nous pouvons dire que dans lesspectres hertzien et visible nous pouvons négliger l'émission spontanée et écrire l'équation sous la forme

-

Celle-ci est intéressante car elle traduit le phénomène cohérent comme nous l'avons vu, bien entendu, l'émission spontanée incohérente se superposera à la cohérence et ceci sera négligeable.

En ultra-violet et X on se heurte à ce phénomène spontané qui cache le stimulé (problème des rayons X laser)

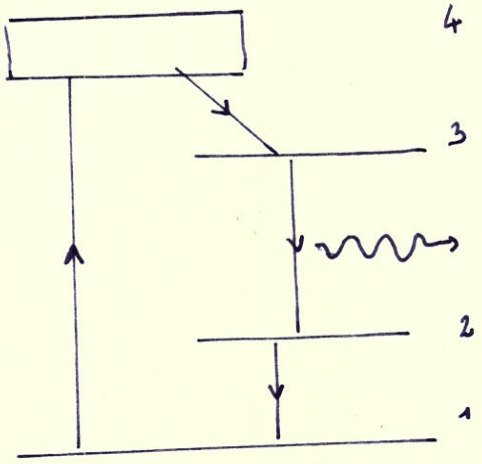
II-5-7 - Le fonctionnement du laser

On utilise directement les données vues avant.
Le rubis est un atome d'aluminium rendu impure par le chrôme qui lui donne sa couleur rouge. (dessin 38 A, b)
En haut le rectange gris symbolise une région où des centaines de niveaux d'énergie se trouvent si rapprochés les uns des

autres qu'ils forment une bande d'énergie pour laquelle le spectre de l'atome de chrôme est pratiquement continu et non pas constitué de raies distinctes (on a vu le problème de ces énergies rapprochées dans un chapitre précédent). C'est l'union compacte des nombreux atomes d'un solide qui donne cette zone. Au dessus de cette bande d'énergie, le rubis a un état excité (niveau 2). La transition entre le niveau 2 et le niveau fondamental donne l'émission du laser à rubis ; dans un atome de rubis n'ayant qu'un atome de chrôme, il n'aurait aucune action car le photon émis serait capté immédiatement par les atomes arrivant non excités. Pour avoir le phénomène stimulé il faut qu'il rencontre d'autres atomes et il est indispensable de provoquer une inversion de population (un grand nombre d'atomes excités) Une fois la population inversée, le laser peut fonctionner.

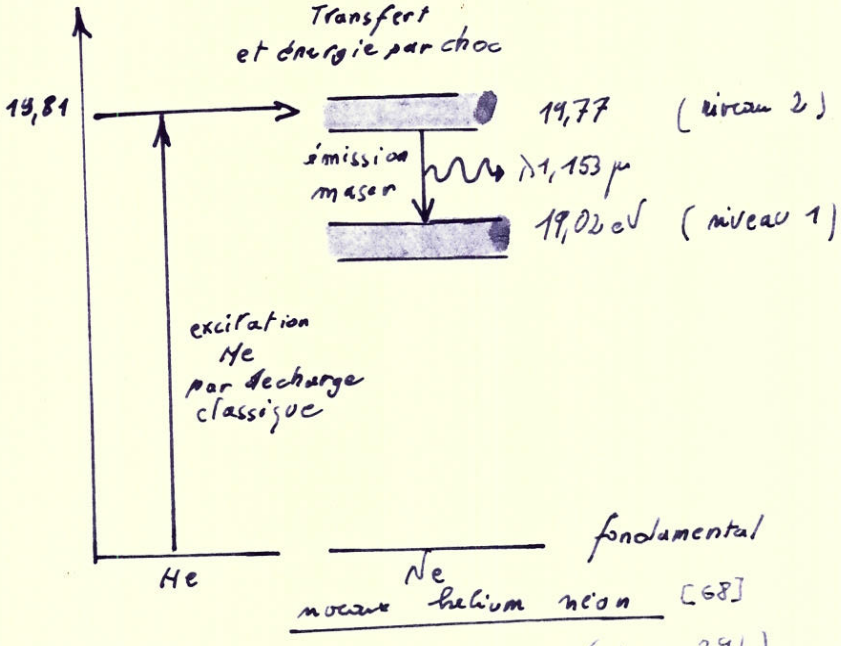
Si le photon heurte un atome déjà excité, il y a croissance du phénomène d'où une grande intensité. Si il se déplace le long du cristal, il rencontre au bout, un miroir d'où retour en arrière et même processus, il y aura réflexion successive et amplification du phénomène jusqu'à ce que l'onde forte traverse le miroir de cristal semi-argenté au bout de 1/100e de seconde (dessin 38 c)

Le laser décrit, émet la lumière en éclair, or il y a des applications pourlesquelles la lumière continuelle est nécessaire, d'où la nécessité d'un pompage optique propre à entretenir une inversion de population. Un bon principe du laser continu est le laser à quatre niveaux (dessin 39 a).
Le pompage porte les atomes à la bande d'absorption niveau 4 et la transition a lieu entre les niveaux 3 et 2. Le niveau inférieur n'étant pas le niveau inférieur, l'inversion de population en est facilitée; il suffit d'entretenir cette inversion. Ceci est du au fait que même si la bande 1 est très peuplée, l'écart de peuplement 2 et 3 étant faible, l'inversion est facile.



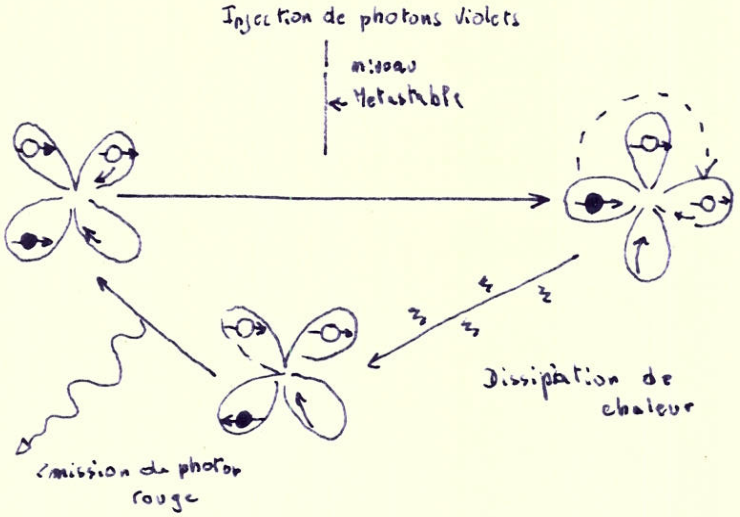
Laser à quatre niveaux [77]

(dessin 39a)



niveaux hélium néon [68]

(dessin 39b)



(dessin 39c) [79]

Pourquoi la lumière du laser est unique ?
Elle est émise avec quatre caractéristiques, supérieure à toute autre source

- *1°/ - Intensité*
- *2°/ - Directibilité*
- *3°/ - Cohérence de phase*
- *4°/ - Finesse de fréquence*

1°/ - Intensité

Due à l'émission stimulée, tous les photons qui se suivent sont synchronisés et en phase, de ce fait l'amplitude donc l'intensité du rayonnement est accrue au maximum ex.) des milliers de photons frappent en rang serré un même point.

2°/ - Directibilité :

En un point précis, il peut frapper, (conséquence directe du miroir car tout rayon oblique sortira plus ou moins tard du système) mais il arrache un atome au passage et aide au phénomène. Seuls les faisceaux parallèles sortent.

3°/ - Cohérence :

Les différentes ondes constituant les faisceaux sont en phase tout comme les cheveux d'une mèche frisée. Seule cette fonction permet d'interférer · rôle majeur chez nous (voir interférence chapitre IV)

4°/ - Etroitesse :

de bande de fréquence

- *Source classique : rayonnement des différentes longueurs d'onde*
- *laser : une longueur d'onde extrèmement précise. Pourquoi ?*

L'état excité constitue en vérité deux états précis et rapprochés de photon qui frappera en stimulé, s'attaquera préférenciellement à ceux qui ont son énergie, donc une

longueur d'onde rapprochée (fonction de la distance séparant deux miroirs)

II - 6 - CARACTERISTIQUES DU LASER ET DU MASER

II-6-1 - Pourquoi le laser ?

Pour pouvoir justifier, dans notre étude et nos études futures, du choix de l'un ou de l'autre "outil à onde cohérente", il nous faut les expliquer, chacun suivant leurs caractéristiques et leurs applications propres.

On peut affirmer aujourd'hui, que tous les états de la matière sont susceptibles de "laser" si l'on sait s'y prendre. D'autre part, ces systèmes variés sont en général, complémentaires. Certaines performances théoriques : telles que grande puissance, grande cohérence semblant presque systèmatiquement incompatibles.

On peut donc classer ces lasers soit par leur nature, soit par leur secteur d'application
Leurs seules caractéristiques communes sont :

- un milieu ou un circuit amplificateur (il faut trouver une matière qui émette énergiquement à la fréquence à laquelle on veut travailler).
- un moyen de fournir de l'énergie à ce milieu et à ce circuit (il faut trouver un moyen d'inverser la population, de façon que l'émission stimulée dépasse l'absorption)
- un rénovateur (un circuit accordé, une cavité de résonnance qui intensifiera l'effet. On utilise souvent l'interféromètre de PERO FABRY (qui sont deux miroirs en regard)

II-6-2 - "Races de laser"

nous avons vu qu'il y avait trois type laser :

- laser solide
- laser fluide (gaz, liquide,...)
- laser semi-conducteur

Les méthodes d'excitation des atomes et des molécules sont également de trois types :

- On peut éclairer violemment les atomes par un flash pour les amener à un état excité. Cette méthode est employée dans le laser solide
- On peut faire passer une décharge photonique dans un fluide
- On peut se contenter de faire traverser une jonction entre semi-conducteur par un courant électrique

II-6-3 - Laser à Gaz (laser fluide 1)

La méthode de pompage à trois niveaux est ici inutilisable à cause de la faible absorption des photons par le gaz mais surtout à cause de la finesse des niveaux qui exige un pompage monochromatique.

1°/ - Le gaz qui contient le milieu actif est contenu dans un récipient de verre ou de quartz, pourvu de miroir à ses extrémités
ex. : BELL en 1960 90 % Hélium et 10 % Néon

2°/ - Le Néon fournit le train d'onde
L'hélium, excité par un champ électrique et magnétique (H.F) prend un mouvement rapide et, est excité
Or, l'état d'excitation de l'hélium correspond à celui du Néon, de telle sorte que chaque fois que l'hélium excité heurte un néon à l'état fondamental, il peut lui transfèrer toute son énergie. Puis il y a amplification progessive... si l'on peut dire.

3°/ - La lumière est un faisceau :

- moins puissant (que le rubis) quelques milliwatts
- qui a une cohérence presque parfaite
- qui est parfaitement modulable (télécommunicable)

Ce type rayonne dans l'infra-rouge
Cette cohérence est due, évidemment, à l'aspect homogène si l'on peut dire du gaz (l'atome isolé donne une cohérence temporelle)

4°/ - De nombreux gaz peuvent donner lieu à une émission stimulée. Ce domaine d'émission s'entend de 0,2 µm environ (UV) jusqu'à 336,7 µm
Il se divise en trois classes :

Laser atomique :
Fonctionnement général en continu à des puissances situées entre le microwatt et quelques milliwatts Hélium, Néon
ex. : 10 milliwatts

Laser ionique :
Il y a, par exemple, 80 électrons dans un atome de mercure. Si l'on expulse un ou plusieurs électrons, l'ion positif qu'il devient, a un niveau d'énergie différent des atomes neutres. Ces ions sont une source puissante pour l'obtention des longueurs d'onde
Inconvénient et fragilité des premiers systèmes (surchauffe et hyperbombardement de la cathode et des parois du tube). Maintenant, on peut pallier en utilisant d'autres ions (chlore par exemple).
Il couvre le spectre visible à ultra-violet, prédilection pour bleu-vert, puissance en continu, comprise entre quelques watts et en impulsion de kilowatt

Laser moléculaire (3 sous groupes)
- Impulsion très courte dans l'azote
  Des puissances de crête de l'ordre du mégawatt peuvent être atteintes
- De nombreuses raies sont obtenues dans l'infra-rouge avec des molécules de monoxyde de carbone et d'eau (courant fort, tension élevée)

- Il base environ vers 10/u pour les gaz de travail (gaz carbonique ou oxyde d'azote)
  Rendement élevé

Principe :
Si une molécule reçoit de l'énergie ; d'abord on a des vibrations puis rupture de liaison, si l'énergie augmente, l'état "vibration" est le haut niveau d'énergie
L'intérêt est la longue durée de la vibration (quelques millisecondes)
Nous avons : CO_2, N et H
Cela donne : - en discontinu : du Kwatt à dizaine de Kwatts
- en continu : quelques dizaines de watts

II-6-2-2 - Lasers solides (voir dessin 38 a - b et c)
Les lasers solides sont, en général, constitués d'un milieu actif, cristal ou verre dopé (c'est-à-dire verre avec l'atome incomplètement saturé)

Les premiers modèles ont été mis au point par MAIMANN et fonctionnèrent en 1960

Ils sont formés :
- d'une cavité de résonnance, type PEROT- FABRY
- d'un corps possèdant des niveaux d'énergie dont l'espacement convient (photon dont l'énergie est de l'ordre de l'électron-volt). Cette énergie se rapporte aux interactions combiennes entre l'électron et le noyau, comme nous l'avons vu.

Pour provoquer une inversion de population, on utilise une méthode autre que pour les masers hyperfréquences, du fait de la zone du spectre où l'on veut travailler. Il faut étendre le spectre E_g en E E'_3 recouvrant, ainsi, des photons verts et ultra-violets.

Un corps a ce diagramme énergétique : c'est le rubis (0,05 % de Cr_2O_3) dans un support d'alumine. Ce qui fait la valeur du chrôme et son aspect d'ion Cr +++ ; Sa valeur n'est intéressante qu'à condition que l'espacement entre les atomes de chrôme soit grand (dessin 40 a)

Principe de manipulation

Nous injectons des photons pour faire passer les atomes à un niveau d'énergie supérieur. L'amplitude ne nécessite pas l'application d'un champ, c'est son état naturel qui le fournit. Ce sont les électrons non appariès qui produisent l'action en hyperfréquence.

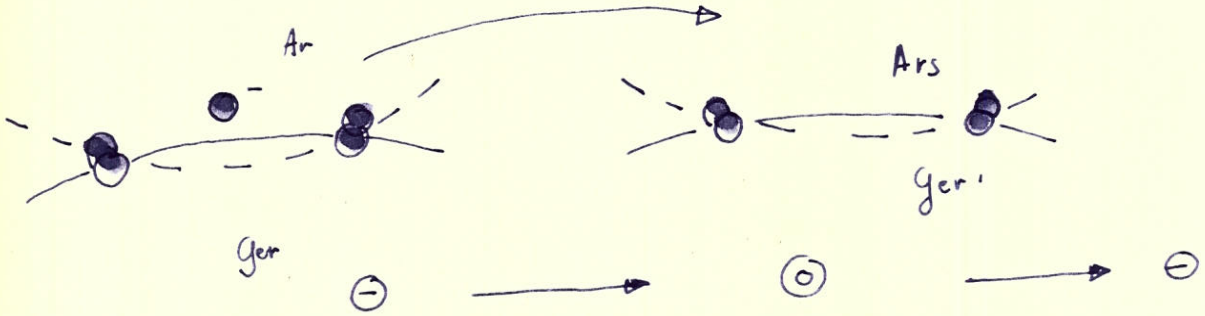
Ce trio est appelé à "utiliser" des photons optiques qui sont des dizaines de milliers de fois plus énergiques que les photons aux hyperfréquences.
Pour recevoir des photons d'hyperfréquence (maser), les trois électrons n'ont qu'à tourner d'un certain angle. Pour absorber l'énergie relativement élevée des photons optiques, le système de l'atome doit répondre d'une façon sensiblement différente. Du fait des interactions entre l'atome de chrôme et ses voisins, les trois électrons (SPIN) sont obligés de se déplacer suivant une feuille de trèfle. L'orientation decetteorbite est une mesure de son énergie. Pour des photons violets, l'angle est de 45 °, puis il y a retour, mais pas immédiatement, à l'état stable.

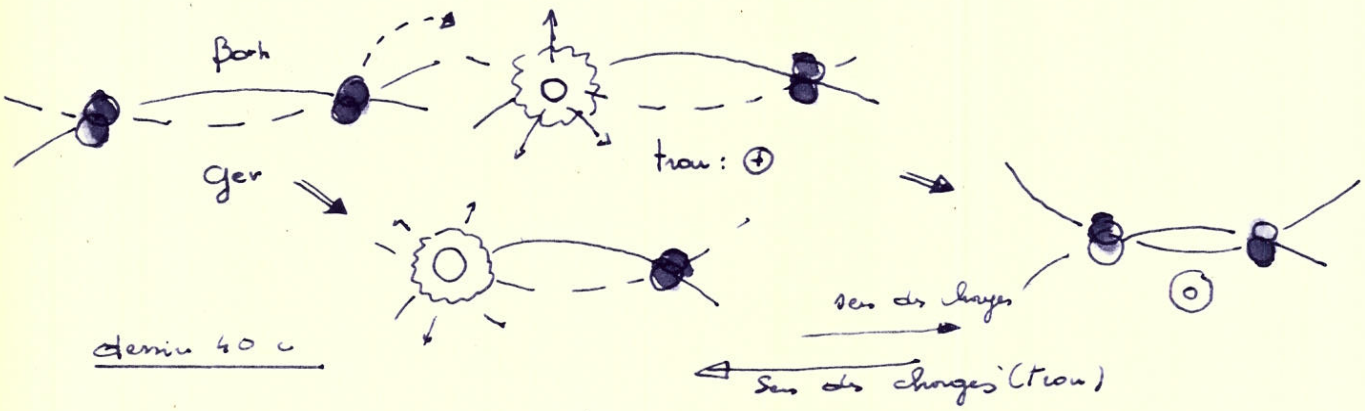
Il change de vitesse en jouant sur l'interaction magnétique entre les trois SPIN précédents (dessin 39 c)

- Les trois spin au niveau de bases sont dans la même direction, puis après absoprtion, il y a changement de direction
- Lorsque l'atome retourne, l'un des dipôles est "retardé" et ne tourne que de 180°. Ce premier passage jusqu'au niveau intermédiaire se traduit par une vibration cristalline (chaleur)
C'est le deuxième passage qui émet le rouge fluorescent du laser
- Le temps, très long pour un tel phénomène, qui conduit à un état intermédiaire est, tout simplement une inversion de population si la provision d'atomes excités est suffisante.

L'énergie rayonnée est confinée dans un faisceau pratiquement parallèle. Le principe d'HUYGENS nous donne, avec adjonction du calcul de rayonnement

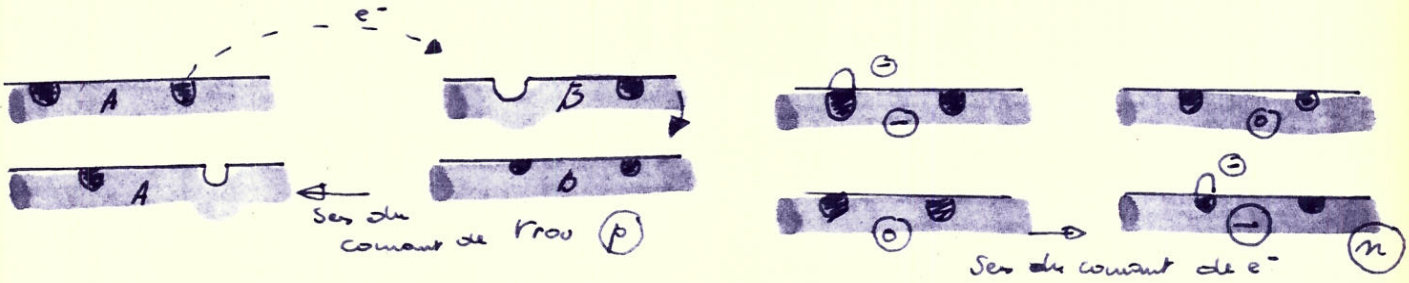
---



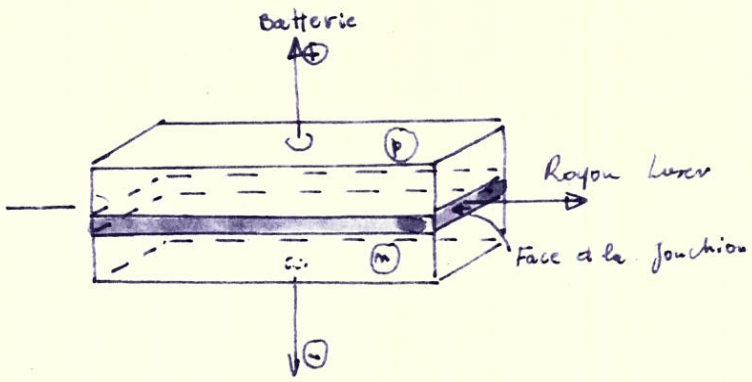


dessin 40 c

courant de trou



dessin 40 d



jonction p.n. dessin 40 e [74]

la presque totalité d'énergie étant diffusée suivant un cône

—

Le fonctionnement se fait par impulsion
Une source très monochromatique, la luminescence énergétique B est :

—

(l'angle O est faible)

En dehors de la grande énergie que celà peut représenter, avec un système de lentilles (100 millions de joules et plus), une autre indication nous intéresse.

En émettant de l'énergie lumineuse pendant quelques monosecondes, on peut détecter le temps, donc la distance séparant un objet de la source (ce principe sera approfondi dans le chapitre suivant) voir laser YAG YTTRIUM et aluminium, objet de nombreuses recherches.

Il existe d'autres lasers solides (cf tableau). Signalons quelques perfectionnements intéressants :

1°/ - Pour régulariser l'effet de pompage et avoir le maximum d'inversion de population on se basant sur le principe que plus la qualité du résonnateur est médiocre, plus l'inversion est grande : il suffit donc de modifier rapidement le QO (perte chimique caractéristique d'une cavité) c'est ce que permet la cellule de KERR (voir ouvrage spécialisé)

2°/ - Le laser solide zig zag ; il monte jusqu'à 100 w pendant 30 monosecondes (verre dopé au néodyme placé en zig zag)
Chaque force étant éclairée de façon uniforme et ayant un bon refroidissement, on peut travailler en impulsions répétées sans détérioration (voir dessin 40 b)
Ceci conduit à la rigueur à un courant continu
En résumé, ces lasers ont une puissance considérable, une cohérence spatiale médiocre et une cohérence temporelle excellente.

LASERS POUR PRODUCTION D'ENERGIE

NATURE DU MILIEU ACTIF	TYPE DE POMPAGE	PRINCIPALES LONGUEURS D'ONDE	FONCTIONNEMENT CARACTERISTIQUE	PERFORMANCES TYPIQUES (1) PERFORMANCES MAXIMA (2)				INTERÊTS + LIMITATIONS −
				PUISSANCE	ÉNERGIE	DURÉE	RENDEMENT	
SOLIDES DIELECTRIQUES (VERRE ET CRISTAUX DOPES)	Optique (lampe ou flash)	1,06 µ (Neodyme) 6943 Å (Rubis)	Impulsions, declenchées ou non Fonctionnement continu (YAG) et impulsions à haute cadence	(1) 30 MW (2) 1 T W (2) 30 GW (1) 10 W (2) 100 W	1 J 10 J 1000 J	3×10^{-3} 10^{-11} s 3×10^{-5} s continu continu	5×10^{-3} 5×10^{-3} 5×10^{-3} 10^{-2} 10^{-2}	+ Très grande puissance crête + Impulsions brèves − Faible rendement − Faible cohérence − Fonctionnement continu difficile
LIQUIDES INORGANIQUES DOPÉS ($POCl_3$)	Optique (flash)	1,06 µ (Néodyme)	Impulsions déclenchées ou non Haute cadence possible.	(1) 3 J MW	1 J	3×10^{-3} s	10^{-2}	Substitut possible du verre au Neodyme + Renouvellement du milieu par circulation − Toxique, corrosif
GAZ MOLÉCULAIRES (CO_2)	Electrique (décharge)	10,6 µ (CO_2)	Fonctionnement en continu ou en impulsions	(1) 50 W (2) 1 KW (2) 10 KW (1) 10 M W (2) 100 M W	10 J 100 J	continu continu continu 10^{-6} s 10^{-6} s	15×10^{-2} 25×10^{-2} 15×10^{-2} 17×10^{-2} 10×10^{-2}	+ Rendement élevé grandes puissances continues + Technologie relativement simple + Grandes puissances crête (pression atmosphérique) − Encombrement parfois important
	Chimique (reaction)	3 µ (HF) 10,6 µ (CO_2)	Fonctionnement en impulsions	Experiences de laboratoires				+ Source d'énergie de pompage autonome

LASERS "A VOCATION ELECTRONIQUE"

NATURE DU MILIEU ACTIF	TYPE DE POMPAGE	PRINCIPALES LONGUEURS D'ONDE	FONCTIONNEMENT CARACTÉRISTIQUE	PERFORMANCES TYPIQUES ( ) PERFORMANCES MAXIMA ( )				INTERÊTS + LIMITATIONS −
				PUISSANCE	ÉNERGIE	DURÉE	RENDEMENT	
GAZ (ATOMES OU IONS)	Electrique (décharge)	De 3000 Å à 20 µ 6 328 Å, 1,15 µ } He-Ne 5 145 Å, 4 880 Å } A^+ 4 à 16 Å Cd^+	Regime continu	(1) 1 à 100 mW		continu	10^{-4} à 10^{-3}	+ Très grande cohérence + Prix et encombrement relativement faibles − Faibles puissances bas rendements
				(2) 10 W (A^+)		continu	10^{-4}	
LIQUIDES ORGANIQUES COHÉRENTS (RHODAMINE)	Optique (flash, laser)	Tout le visible et jusqu'a l'UV 0,4 à 1 µm	Régime impulsionnel avec cadence de repetition.	(1) 3 MW	0,1 J	30 ns		+ Largeur d'onde reglable + Renouvellement du milieu par circulation − Fonctionnement continu difficile
DIODES SEMI-CONDUCTRICES (ARSENIURE DE GALLIUM)	Electrique (courant d'injection)	9000 Å 0,6 à 0,3 µm	− Regime impulsionnel − Régime continu à faible puissance − Modulation haute-frequence electr. possible	(1) 10 à 50 mW		continu	10^{-1}	+ Très faible encombrement + Bon rendement + Emission facilement modulable − Coherence faible − Technologie delicate pour fonctionnement en continu à Temperature ambiante
				(1) 5 W	5×10^{-5} J	10^{-6} s		

(dessin 41) [62]

II-6-2-3 - Laser organique (laser fluide 2)

Certaines molécules organiques peuvent être stimulées et donner de la lumière. On les dissout dans un solvant liquide ou, on les englobe dans une matrice solide (Plexiglass)

L'intérêt est que leur rayonnement couvre tout le spectre visible. De nombreux produits existent (les révélateurs-photos sont l'un d'eux)

II-6-2-4 - Laser liquide (laser fluide 3)

Des ions (notamment de néodyme) peuvent aussi être introduits en solution dans certains milieux liquides, de façons à obtenir des émissions laser au voisinage de 1

Le principe de fonctionnement, les techniques de pompage et les performances caractèristiques sont pratiquement comparables à ceux d'un laser à verre dopé au néodyme.

La seule différence importante est que le liquide peut être mis en circulation quasi permanente de façon à évacuer efficacement la chaleur dissipée lors du pompage. C'est ainsi que le fonctionnement en régime d'impulsion a assez grande cadence a pu être obtenu (50 à 100 impulsions par seconde)

Mais ces liquides sont des solvants chlorés généralement toxiques et corrosifs (cas de l'oxychore de phosphore $POcl_3$ et l'oxychlore de Sélénium $SeOCL_3$) ce qui rend la technologie de ces lasers assez délicate.

Il pourrait cependant constituer d'excellents substituts du verre, du néodyme, si l'on cherchait à augmenter encore les énergies et les puissances de crêtes des grands lasers [82]

A de très grandes puissances, on peut obtenir du plasma (4ème état de la matière) [86] donnant de grandes valeurs énergétiques.

II-6-2-5 - Laser à jonction de semi-conducteur [79 - 80]

L'effet laser dans des diodes semi-conductrices fut obtenu en 1962 quasiment simultanément par plusieurs groupes de recherches (I.B.M) Ils utilisaient l'arséniure de Galium.

- encombrement : quelques millimètres cubes
- rendement : 60 %
- tension : 2 v à 1,5 v

Ce qui est extraordinaire, c'est que, jusqu'en 1968 on obtenait que 10 % du rendement et du régime impulsionnel. Ce stade (Bell Téléphon) est dépassé aujourd'hui.

Un semi-conducteur est un intermédiaire entre un conducteur et un isolant [74]; ceci est du au 5e électron (par exemple) de l'arsenic qui n'est pas apparié et qui, de ce fait, devient libre pour conduire l'électricité. Si au contraire, face au germanium (4 électrons) on met un atome de BOHR (3 électrons) il manquera un électron et l'un des électrons du germanium sera une place attendant un électron, ou trou. On peut, comme le passage d'un électron, imaginer un passage de trou donnant un courant de trou, (dessin 40 c). Les premiers sont de type n, les seconds de type p.

On peut doper l'un ou l'autre à volonté. La rencontre de deux p et n est appelée jonction pn. Cette jonction a de nombreuses propriétés. Nous nous cantonnerons aux rôles d'émetteur et d'absorbeur d'électrons.

Si l'on expose ceci à une lumière, il y a conduction électrique (le hv de radiation met un électron libre dans un trou par exemple). Si cette radiation n'a pas d'énergie, il y aura en plus, émission de rayon. C'est le secret de la jonction pn

Dans le laser à jonction, des électrons sont injectés en force dans la région n (dessin 40 d) par une source électrique et vont vers la jonction p ou là aussi les trous sont poussés vers n.

En se confinant avec les trous, les électrons perdent de l'énergie (sous forme de chaleur et de vibration moléculaire ainsi que sous forme de photon) ou mieux, directement sous forme de photon, c'est le laser. On augmente l'effet en polissant les fonctions (miroir en cascade)

Avantages [74]

- *Pas besoin de pompe auxillaire car l'injection se fait directement par les électrons.*
- *Peut transformer 100 % de la puissance d'entrée en radiation (facteur température)*
- *La fréquence de radiation est chargée à volonté en règlant la composition chimique d'un semi-conducteur ou en faisant varier la température*
- *La puissance est fonction du courant (dessin 40 e)*

Différents appareillages [73]

- *Homojonction p + p ou n*
- *Hétérojonction simple (espace large) p + p*
- *Hétérojonction double (espace supérieur dédifférenciè)*
- *Hétérojonction à double émission (ex. 0,7280 et 0,8450 µm)*
- *Fonction du rouge et infra-rouge (0,6280 à 0,900 µm)*
- *Les matériaux* [In As] [I np] [In Ga (As)] [In Asp]

Note : Certains lasers peuvent être pompés par un faisceau [73] *d'électrons* [Zn (0,32 µm)]

II-6-3 - Tableau récapitulatif

(voir dessin 41)

II - 7 - DISCUSSION

L'examen des principales théories de la constitution énergétique de l'atome, des variations des électrons dans le nuage atomique.

L'examen des principales théories de la constitution électronique de l'atome nous ont révèlé que chaque électron présente quatre nombres quantiques précis et propres, et que chaque variation de ces nombres, c'est-à-dire le passage d'une position nombre quantique à une autre engendre une variation d'énergie qui varie plus ou moins suivant le nombre considéré.

Cette variation d'énergie peut engendrer un rayonnement traduit selon deux théories indissociables : par une onde électromagnétique et par quanta. Cette onde a une valeur énergétique variable qui correspond à la valeur de la variation de structure.

Cette onde ayant quitté l'atome [24] peut prendre cette énergie d'une façon partielle ou totale avant d'atteindre son but. La cohérence de rayon arrive. Les valeurs en x points sont données en Lux et Bougies

En se basant sur les travaux d'EINSTEIN on peut trouver une onde presque parfaitement cohérente, ayant, de ce fait des propriétés extraordinairement intéressantes.

C'est l'émission stimulée par inversion de population qui le permet [25]. Le laser permet d'obtenir cette onde [26] et il le fera suivant différents processus. Nous choisirons l'un d'eux

Nous sommes à même de comprendre l'hologramme mais avant, il faut réduire notre choix aux possibilités d'assimilation de l'organisme (chapitre suivant)

II - 8 - CONCLUSION

Nous choisissons un laser ayant pour caractéristiques :

- intensité : Ce n'est pas une nécessité pour nous dans la prise d'empreinte. Par compte, pour des applications accessoires de l'appareil (bistouri, coagulateur, peut-être cela sera intéressant)

- *Directibilité* : *absolument nécessaire. La conduction se ferait peut-être par la fibre*

- *Cohérence* : *absolument nécessaire (hologramme)*

- *Fréquence* : *longueur d'onde fonction de l'organisme*

Donc intensité faible, directibilité et cohérence maximum, fréquence, fonction de la biologie

Le laser He Néon semble être indiqué

ACTION DU RAYON SUR L'ORGANISME

danger ou non ?

- *INTRODUCTION*
- *ACTION SYSTEMATIQUE*
- *PROTECTION*
- *LASER EN DENTISTERIE*

Je tiens encore à remercier Monsieur le Professeur Dumas pour l'aide qu'il m'a apporté dans ce chapitre

CHAPITRE - III -

III - 1 - INTRODUCTION

Pour nous, le seul intérêt est cantonné dans la réponse à une question précise. Pour la bouche comme pour le corps, le laser, que nous choisirons, aura-t-il une action ?

Nous aurions pu, d'entrée, fixer notre étude sur un laser et en déduire en fonction des données, s'il est dangereux. Mais si les recherches ultérieures conduisent à changer d'origine ou si un nouveau laser est proposé, nous serions obligés de reconsidérer de telles données. Pour pallier en partie à cet échec, nous allons chercher l'effet des lasers, en général, sur le corps.

III-1-1 - Mécanisme d'action

En premier lieu, il s'agit d'étudier par quel mécanisme le faisceau agit sur la matière vivante. Le mode d'action le plus apparent est l'effet thermogène. En plus de brûler très localement, il peut même volatiliser les tissus.

Si nous le voulons, nous pouvons utiliser le rayon de façon globale et brûler indifféremment tous les tissus, mais nous pouvons aussi le faire de manière sélective. En effet, la plupart des substances chimiques, et en particulier celles qui constituent l'organisme, ne retiennent que la lumière d'une certaine couleur, ou longueur d'onde, par le phénomène de l'absorption sélective. Or, celle du laser est très pure et ne contient justement qu'une seule fondamentale (rouge, bleu, vert ou jaune) selon le type d'appareillage utilisé pour la produire. Par conséquent, si on choisit un émetteur dont la lumière est précisément absorbée par une seule substance, celle-ci sera détruite sans que la substance environnante ne subisse aucun préjudice. Ainsi peut-on obtenir la destruction ou la dénaturation sur l'organisme vivant de tel constituant cellulaire sans pour cela tuer la cellule.

en plus du procédé de localisation en un point précis

Con. J. Dumas

Action électrique

Une autre action biologique réside dans le champ électrique qui accompagne le faisceau laser. Ce dernier peut atteindre des valeurs de 1000 Milliards de volt par mètre. Or, le champs électrique qui unit les électrons et les noyaux dans les atomes est du même ordre de grandeur. On conçoit donc que le rayonnement puisse agir sur les constantes physiques et même, l'architecture des milieux qu'il traverse.
Ceci entraîne des modifications de leur conductibilité ou de leur constante diélectrique, l'apparition de radicaux libres très toxiques pour les cellules vivantes, le bouleversement de l'équilibre de certaines réactions chimiques cellulaires, voir le remodelage de certains systèmes moléculaires.

Action mécanique

Le laser agit aussi sur la matière vivante d'une façon purement mécanique, par la production à partir du lieu d'impact d'ondes de choc provoquées par la pression de radiation qui est considérable. Celles-ci repoussent les cellules en formant un véritable cratère ou, en orientant les molécules dans la direction de propagation du faisceau.
Par ailleurs, ces ondes de choc donnent naissance à des phénomènes ultrasonores très aigus qui, se transmettant dans le milieu environnant, peuvent entrainer à distance des lésions au niveau des tissus vivants.

Effet non linéaire

Enfin, avec le laser, on voit apparaître des effets qui n'avaient jamais été obtenus pratiquement avec des lumières conventionnelles : les effets non-linéaires.

Classiquement, lorsqu'une lumière est pure du point de vue couleur, (c'est-à-dire monochromatique); sa couleur ne change pas quel que soit le milieu qu'elle traverse.

Au contraire, dans certaines conditions, la couleur même du faisceau laser peut changer. Ainsi, un faisceau vert peut-il

engendre un faisceau ultraviolet, le tout venant d'un faisceau rouge :

Or, si le rouge est peu nocif du point de vue biologique, l'ultraviolet émis dans certaines conditions est extrèmement dangereux pour les cellules vivantes. D'autre part, ces mêmes effets non linéaires peuvent provoquer l'apparition d'ondes acoustiques (effet Brillouin) dont il faut tenir compte bien que ce phénomène soit encore très mal connu.

Disons tout d'abord, que les travaux de TOMBERG ont permis de classer les effets biologiques du laser, dès 1964, en 4 classes : thermiques, électriques, chimiques et cinétiques. Il utilise pour cela un microscope inversé auparavant employé pour le sondage au laser, par irradiation d'un plasma citraté d'une coupe de tissu

Des effets particuliers sont découverts et précisés par une équipe russe (COKODEC'KYJ). Ils trouvent ainsi des oscillations élastiques sur des matériaux biologiques (laser rubis). Par actions successives, ils découvrent que les radicaux libres semblent liés visiblement aux composés pigmentaires.

MENDELSON met en évidence par des dispositifs spéciaux, des ondes de choc et des dégagements de chaleur intenses mais strictement limités au point d'incidence du rayonnement, et par conséquent d'importance biologique douteuse sauf sur la rétine, (la peau et le muscle sont semi-transparents pour le rayonnement du laser)

COLDMANN étudia lui, les effets biologiques de leur rayonnement focalisé à haute énergie (décollement de rétine)

Toute une série d'ouvrage traite ainsi le rôle biologique et médical du laser (SMART - TOMBERG - VISHNEVSKIR - FINE). BURKHALTER précise d'une façon très nette les moyens de mettre en évidence les effets organiques et minéraux. Il a d'autre part, étudié les impulsions des effets mécaniques et le recul de la cible. Il décrit ainsi un moyen de mesurer ces effets.

III - 2 - ACTION SYSTEMATIQUE

III-2-1 - Plan Succin

Tout ceci peut paraître confus, mais l'idée principale était de faire comprendre que les études biologiques sont extrèment poussées et ne se cantonnement pas comme nous pourrions le penser, à des effets simples d'observation

Maintenant, nous allons diviser notre étude biologique et médicale en deux parties qui sont :

- Influence du faisceau sur les différentes parties de l'organisme, c'est-à-dire, successivement :
  a) - Au niveau moléculaire :
    - enzyme et réaction enzymatique
    - système endocrin
    - reproduction, sur laquelle nous n'insisterons pas puisqu'elle n'intéresse pas notre étude du fait de notre champs d'action

  b) - Niveau cellulaire
    - action sur le système nerveux : - anatomique
      - physiologique
    - action sur le système circulatoire
    - action sur le tissu épithélium et ses dérivés
    - action sur les tissus
      Nous diviserons notre étude en fonction des organites cellulaires et aborderons le problème de la reproduction et des tumeurs au niveau des cellules
    - action sur les dents et tissus dentaires :
      nous approfondirons cette partie en considérant bien que les études antérieures sont acquises, c'est-à-dire système nerveux, circulatoire, (tissus et organites)

Ayant fixé de façon générale l'action du rayon laser sur l'organisme, nous chercherons à en expliquer différentes applications dans notre domaine. J'entends par là, chirurgie, prothèse, biologie, paradontologie et orthodontie sans oublier l'endodonthie

III-2-2 - Niveau Moléculaire

III-2-2-1 - Action sur les enzymes [dessin p. 131]

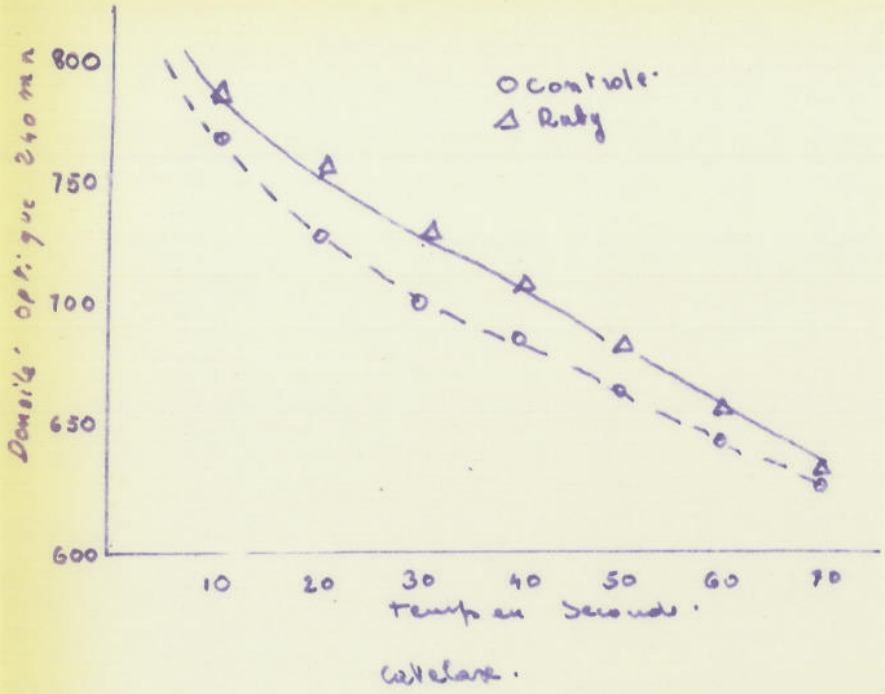
Les études, au départ, on porté sur des tissus : matériaux très divers. Cependant, leur champs d'action ne négligea jamais les enzymes. (Substance spécifique de groupe ou micro-organismes) [115]. Signalons essentiellement [116] des études sur les cellules respiratoires, les micro-radiation [117] du laser à rubis, les cellules isolées de cultures de tissu coloré à l'état vital par le vert JANUS B et, les effets sur les activités deshydrogènasiques.
Les conclusions que nous pouvons donner sont pour [118 - 119] BAR IGELMAN de plusieurs sortes. Durant plusieurs années, il étudia l'action des radiations sur l'inactivation des enzymes. Depuis 1879 où DONNEZ prouvait que la zymase était détruite par le soleil, nous avons fait beaucoup de progrès... L'action peut être, être liée au pH et être fonction des caractères de l'onde. Ce sont bien des rayons qui sont responsables de l'inactivation ou destruction de l'enzyme. Leur action peut aussi changer ses propriétés optiques, vitesse de sédimentation ou solubilité. L'action est donc directe ou non, mais c'est bien l'effet d'ionisation qui est responsable.

Résultat : (cf schéma) Il montre une diminution faible de l'activité enzymatique, peut même sans dénaturation, mais ceci est lié essentiellement au temps d'exposition : l'effet est semblable aux rayons X

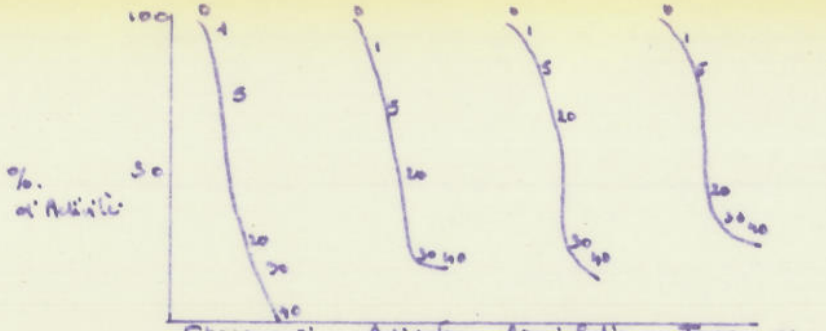
Seules les péroxydases s'avèrent inactivées (45 à 85 joules).
En vérité : les études de FINE conduisent à généraliser la baisse d'activité et, la due à la structure quatemaire qui serait dénaturée.

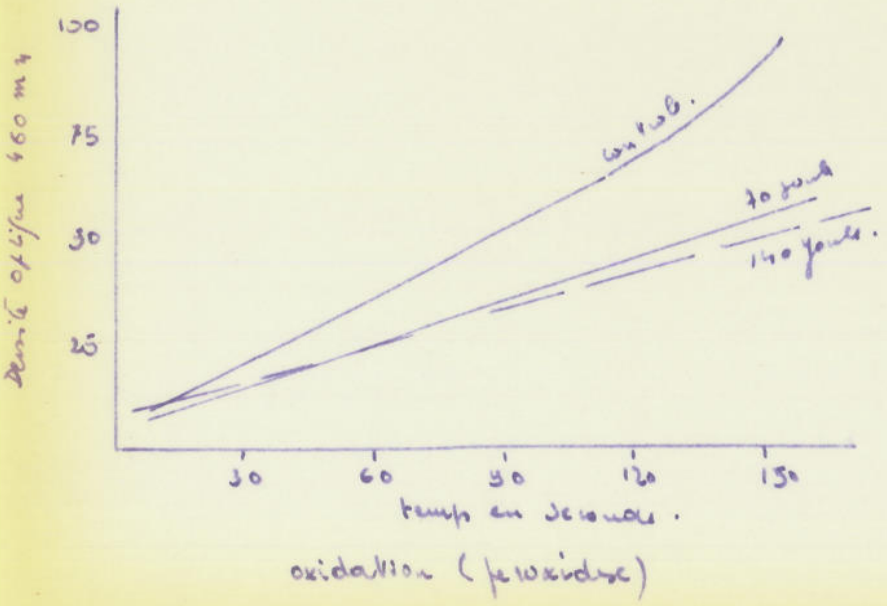
III-2-2-2 - Système endocrien

Quelques études seulement, car, pour nous, ne présentent aucun intérêt [120]. Signalons seulement que, dans le chapître final, l'hydrocortisone aura sa place.

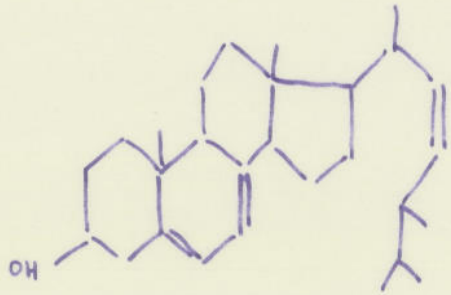


Cattelain.



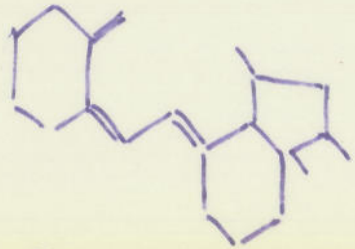


oxidation (peroxidase)



ergostérol.

action UV naturel.



Roffel ; action simple sur Ergostérol

Isselmann.

III-2-2-3 - Système reproducteur

Quelques études là aussi, et peut d'intérêt pour nous [121 - 122]. Par irradiation localisée, d'embryon de 12 à 14 jours (utérus exposé) ou de foetus 18 - 20 jours chez le rat, on produit des lésions, sans rupture de l'utérus ou du sac amniotique, et sans perte de liquide amniotique. Des études de la spermatogenèse avec irradiation semblent aller dans le même sens [123]

III-2-3 - Niveau cellulaire

III-2-3-1 - Sur le système nerveux

L'action sur le système nerveux s'étend sur :

1°/ - le système nerveux central
- les nerfs
- les organes périphériques

2°/ - les fonctions

III-2-3-1-1 - Action sur le système nerveux central

Les techniques utilisées sont variées et, à chaque publication, les auteurs établissent d'une façon rigoureuse leurs techniques [124]

En gros, les lésions observées sur [125] d'importance différente selon les structures (voir [127] les :

- hypertension intracranienne létale (haute énergie)
- oedème cérébral [128 - 129]
- Nécrose hémorragie
- Aberration neurologiques et du comportement
- effets secondaires plus graves encore que les primitifs [130]
- conséquences d'effets thermiques (restant localisés chez les souris ou cobaye trépassés)
- conséquence d'ondes ultrasonores entrainant les effets secondaires [131 - 132] (ou ultrasons induits)

Des solutions d'études sont proposées, voir ici balayage avec émissions continues à une longueur d'ondes de 177° [133]

III-2-3-1-2 - Action sur les nerfs

par une irradiation du nerf sciatique isolé de crapaud par un laser

de grande puissance 4.10^{16} w/cm2, on obtient une lésion en forme d'éruption de tissu au point d'impact une rupture de la capsule avec saillie des fibres nerveuses, Altérations de gaine de myéline et des axones, blocage partiel au complet de la propagation des potentiels d'action [139]

III-2-3-1-3 - Action sur les organes périphériques

Audition

Nous avions parlé des conséquences secondaires ultra-sonore de l'irradiation du laser. Partant de là, des chercheurs ont dégagé l'action sur la cochlée [140]. Son action est nocive à très haute dose, l'intérêt est l'aspect stimulant de son action [141 - 142] à faible dose.

Vision

Très grand champ d'action de recherche, car ici, de nombreuses applications médicales (que nous ne détaillerons pas).
NOus nous bornerons à étudier l'action des faisceaux sur les différentes parties de l'oeil.

On a cherché d'abord à connaître l'action excacte du faisceau pour l'ensemble de l'oeil, pour en jalonner les limites dangereuses.

La faible énergie [143] semble donner une onde continue et certaines images entoptiques peu inquiétantes

De 350 à 1.500 rm, une étude sur homme, lapin, singe, sur la transmission à travers les milieux de l'oeil, réflexion et absorption de l'épithélium pigmentaire de la rétine et de la choroïde ont été faites [144]. Ceci a conduit, en utilisant les données de DAVIES [145] de nombreux auteurs à chercher moins intuitivement que ZARET [146]. Par lui, les précisions sont données dès 1961. Un seul éclair de 0,5 ms suffit, en densité énergétique élevée comme le laser pour produire des lésions thermiques instantanées à la rétine pigmentée et de l'iris. Dès 1966 JONES [147] précise que des intensités de rayonnement variées provoquent macroscopiquement, érosions cornéennes, ruptures cristalliennes, formations de bulles et hémorragies dans le vitré : Histologiquement, lésion

importante de l'épithélium pigmentaire et de la choroïde, puis le décollement et la dégénérescence de la rétine, située autour de la zone exposée. L'effet du laser KRYPTON ou d'autres photocoagulateurs, a conduit à l'opposition de nombreux appareils [149 - 150]

Un modèle mathématique décrivant la probabilité de dommage oculaire pour une personne, atteinte par un faisceau laser pulsé, la fonction des paramètres optiques atmosphériques a été aussi établie [151] et des moyens de mesure mis au point [145]

Le laser ne fait pas que provoquer des brûlures. Nous avions vu pour l'oreille les ultra-sons. Ces ondes élastiques se propagent jusqu'à l'occipital ! [152 - 153] et ne sont pas de nature thermique. La formation de bulles dans le vitré serait due à ces impulsions. Un schéma expérimental, oscillogramme du phénomène établit la corrélation dans le temps entre les impulsions photoniques laser et les oscillations ultrasonores du milieu vitré.

Action sur les "lipides"
Mise en évidence des vibrations ultrasonores provoquées par le laser dans le corps vitré et les autres milieux, avec phénomènes de cavitation quelque soit la transparence de ces milieux [155].
Des modifications de l'indice de réfraction de l'humeur acqueuse et vitrée ont été notées [156 - 157] de même que des variations de température [158] ainsi que des variations de l'électrolyte des liquides endoculaires [159] (en particulier le rapport $\frac{Na^+}{K^+}$ dans l'humeur acqueuse et le cristallin après photocoagulation).

Action sur l'iris
Action sur la contraction [157] extérieure, et sur la pigmentation. On retrouve cette idée directive des corps pigmentaires [161]

Action sur la cornée
par des études de diffusion nous trouvons la répartition symétrique de super-structure [162] mais ce qui nous intéresse est l'action dangereuse ou non.
Chez un lapin, une irradiation de 0,1 w/cm2 pendant 30 mn ne provoque aucune lésion [163] clinique ou thérapeutique. Les diffé-

rentes modifications morphologiques (membrane basale, épithéliale, cornée et stroma) sont délitées pour des énergies supraluminaires et au voisinage du seuil [163]. Pour obtenir des lésions dans le visible de la cornée [164] il faut des doses très élevées.

On peut [165] classer les effets de cette façon à :
- Forte dose d'énergie : ulcère perforant nécrotique de la cornée
- Faible dose d'énergie, aucun effet

Entre les deux ulcères non pénétrant, nécrotique, intéressant les couches les plus superficielles de la cornée.

Il est à noter cependant [166 - 167 - 168 - 169 - 170] que :
- Une radiation 6943 Å 4 joules/cm2, entraîne des troubles de mitose sur la cornée
- Laser à gaz carbonique, très puissant, entraîne des épaississements cornéens (fusion des lamelles cornéennes à la périphérie, révélée par l'existence de foyers amorphes le long des fibrilles de collagène)
- On retrouve au laser à rubis les impacts visibles causés par les rayons U V et X

Action sur le cristallin

Diverses longueurs d'ondes donnent les résultats suivants [171] 10600 Å (IR) plus grand endommagement que les rayons verts (5300 Å) Ces derniers agissent sur la zone équatoriale du cristallin et donnent parfois une rupture de la capsule où l'explosion de l'épithélium antérieur. Les rayons infrarouges provoquent une cataracte annulaire. Cette cataracte annulaire [172] se caractérise essentiellement par une chute de calcium comme dans la cataracte galactosique mais à l'opposé des caractères de sénescence tétanique ou cryotique

Action sur la rétine

L'analyse qui, dans le rayonnement laser introduisait des lésions rétiniennes, a été décrite par de nombreux auteurs [183]. Les études portant d'abord sur l'oeil humain [174] ont conduit à créer un seuil de lésions [175] rétiniennes

CLARKE [176] et COLL ont déterminé la température locale à partir de laquelle les lésions de la rétine se forment. On trouve une élévation 9 à 10°C.

Seulement pour 1 à 2 mW focalisés sur 10 µ de diamètre pendant 250 ms sont suffisantes pour causer des dommages irréversibles.

Ces observations, on fait soumettre très rapidement [177] les grains de mélamine particuliers : . On étudia ainsi le caractère physique de l'épithélium pigmentaire, la stabilité thermique et les propriétés optiques des grains de mélamine nouveau modèle. On base cette théorie sur l'absorption de l'énergie incidente par les granulés de 1µ de diamètre et sur la conduction thermique entre ces grains et les structures rétiniennes essentielles voisines. Ces grains de mélamine [178] sont considérés comme site d'absorption primaire (site de la plus grande absorption d'énergie par unité de volume). Des incidences sur la vascularisation [179] de la rétine poussèrent à des études plus approfondies. Des études histologiques des lésions expérimentales furent entreprises sur les :

1°/ - Lésions avec conservation de la couche de jonction entre les cellules sensorielles et l'épithélium pigmentaire [180]
2°/ - Photocoagulations et études des élévations de température correspondantes [181]
3°/ - Lésions de spectre rouge visible continu ou pulsé [182]

Des études histologiques conduisent dès 1966 à la recherche des anomalies de l'électrorétinogramme

On trouve ainsi des descriptions de potentiel provoquées, sur le tractus optique, [183] par une stimulation lumineuse chez le chat ayant une lésion. Ces modifications [184] semblent réversibles dans certaines conditions. Une application continue de lumière vive (rat) conduit à l'étude de deux processus : détérioration - régénération qui ont un support tissulaire (le pigment visuel)

On note enfin des changements transitoires [185] dans l'électrorétinogramme et les décharges de la bandelette optique, après irradiation par un laser. Le résultat histopathologique de NOELL [86] montre une importante dégénérescence des cellules visuelles et de l'épithélium pigmentaire, confirmée par une diminution de l'amplification des ondes de l'électrorétinogramme. On montre ainsi l'existence de corrélation entre l'effet de la lumière et la température de l'oeil, ce qui explique l'importance à laquelle on attachait la température jusqu'alors.

Les lésions thermiques peuvent passer ina perçues [181] au départ, mais la diminution de l'activité visuelle avec lésions visibles provoquées par le laser et le photocoagulateur ont été précisées [188 - 189 - 190]. Le photocoagulateur permet de traiter [191 - 198] les décollements de rétine, les tumeurs occulaires, la création de pupilles artificielles. On a ainsi [193] la description d'une énucléation d'un mélanome malin. On sait que la séparation d'une des couches de rétine, conduit irréversiblement à la cécité. Pour recoller, on échauffe ou on irrite la rétine et les tissus sous-jacents afin qu'une cicatrice commune les soude. Le laser à l'avantage d'être très précis et permet de travailler en une fraction de seconde [102] et la température engendrée est nulle, ce qui enlève tout besoin d'anesthésie. La cautérisation choroïde - rétine conduit à des pertes visuelles absolument infimes [103]. Il est à noter que le décollement "constitué" (film liquide) ne relève plus de la photocoagulation. Le temps est loin où l'équipe du professeur GAILLARD à PARIS irradiait l'oeil d'un lapin et où l'oeil était découpé au microtome. Actuellement l'appareil ou ophtalmoscope est parfaitement utilisé.

III-2-3-1-4 - Discussion [194 - 195]

Le choix de la longueur d'onde utilisé est déterminée par deux conditions, d'une part, la lumière ne doit pas être absorbée par la cornée, le cristallin ou l'humeur de l'oeil, le graphe montre que les longueurs d'onde 400 - 900 Å et de 10600 Å sont les moins affaiblies par ces tissus ; d'autre part, il faut que la longueur d'onde employée soit absorbée par les tissus situés derrière la rétine, cela est pour 4000 et 12000 Å moyen, le maximum étant 5000 Å. Le laser à rubis (6943 Å) est le meilleur. L'hélium - néon 6328 Å donne aussi des infrarouges alors que le néodyme 10600 Å provoquerait la cataracte.

L'énergie est de 0,008 joule. Si elle augmente on augmente le diamètre de la cicatrice ; 0,1 mm correspondant environ à 0,11 joule sont les plus efficaces

III-2-3-1-5 - Comportement

Tout d'abord, disons que KIRBY KOVANIC et STUPDIVAN ont fait une grande étude systématique pour connaître le niveau exact de la mortalité [197] en utilisant un laser à rubis.

Ils donnent la dose en joule, la force en gramme et la réponse du comportement immédiatement ou après un certain temps. Les doses vont de 18 à 204 joules, le tout est représenté en diagramme. Ils en déduisent que les doses de mortalité ou de perte d'activité encéphalographique sont liées essentiellement aux doses et au temps d'exposition. Ils déterminent le DL_{50} et le seuil d'activité

JOHN fit une étude sur des insectes (ATT, protéines, acide urique) et n'en tire pas de conclusions majeures [196]. Nous nous baserons essentiellement sur les travaux de DUMAS [198].

FINE [138] donne : une irradiation de 100 joules en 1 ms à 6943 Å entraine une mortalité à 75 % en 24 h, les animaux survivants présentant des altérations sensitives et motrices

Pour DUMAS [198], le rayonnement de 6943 Å augmente l'activité cérébrale (20 joules en 1 ms) du rat blanc. "Cet effet a un seuil et un maximum" quelques heures après l'irradiation, aucune modifications n'est observée et l'autopsie ne révèle pas de lésion ni d'hémorragie microscopique de l'encéphale
(20 tirs espacés de 3 mn, une série étant séparée de la suivante par 30 mn) (dessin 43 a)

III-2-3-1-6 - Conclusion : protection du système nerveux

Les paramètres de son utilisation [189] sont essentiellement l'état de surface, la transparence, l'indice de réfraction, le potentiel d'ionisation et la conductibilité photonique

L'article de DUMAS [198] est très optimiste, heureusement sur nos possibilités d'action. L'organe le plus exposé est l'oeil dans le système nerveux. De regarder strictement la source est dangereux, l'interception d'un faisceau réfléchi [189] l'étant aussi du fait de la focalisation de la rétine et du cristallin

Une session du colloque de WASHINGTON a fixé les effets biologiques du laser sur les yeux [199]. Les facteurs dépendants du laser et de l'oeil sont séparés [200] et comparés aux autres rayons [201]

FRIEDMANN [202] propose un programme de protection ophtalmique. Aucune lésion rétinienne sur 195 personnes n'est observée dans un laboratoire "laser"

Disons qu'il y a une notion de dose et de choc [203]. Les doses d'exposition limites sont répertoriées en tableau [204] et données aussi, pour le laser à rubis et néodyme (inintéressant pour nous) [205]. Des filtres sont proposés dès 1965 [206] et d'un emploi extrèmement facile
Un dispositif comparaison oeil humain - oeil lapin est soumis et un verre iéna trouvé.
Ces comparaisons sont intéressantes pour d'éventuelles recherches.
La limite est de 200 joules. Les degrés de passage sont décrits (dessin 43 b)

Donc l'irradiation pulsée que réclame l'hologramme doit être de faible puissance. Une protection n'est pas, semble-t-il indispensable dans ce cas, mais elle reste facile de toute façon même au niveau de l'organe le plus faible, c'est-à-dire l'oeil. La protection sera liée à la longueur d'onde utilisée (revoir 77 p 128] et le temps d'exposition

III-2-3-2 - Action sur la peau [77 p. 130]

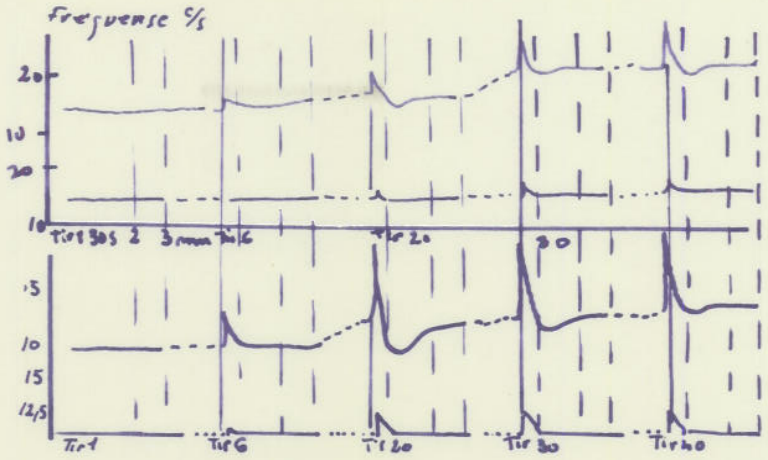
L'absorption par une haute énergie donne peu de réaction, le seuil est de 25 joules par cm2 pour une peau blanche et est plus faible pour un grain sombre de la peau (grain de beauté, tatouage)

Un faisceau focalisé sur la peau peut arriver malgré tout à provoquer des brûlures graves [189] SOBOLEN [98] approfondit considérablement le rôle du laser vis à vis des tumeurs.

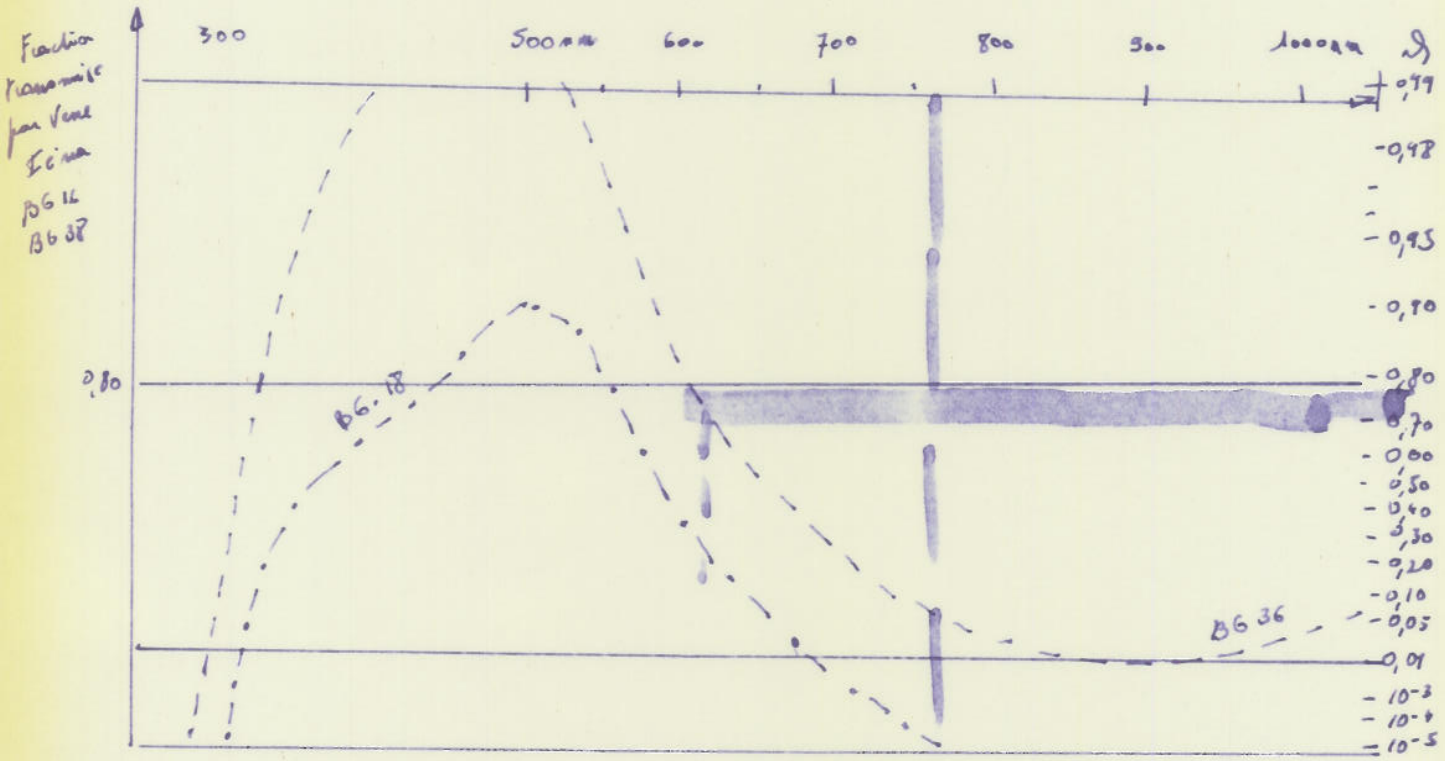
Selon les publications une impulsion continue de faible intensité chez la souris peut avoir des phénomènes inflammatoires voir une destruction des follicules pileux, une atrophie épithéliale ; chez une partie des souris on peut avoir des formations d'une nécrose du foie et de l'intestin grêle [207].

Les faibles doses semblent stimuler la division des follicules pileux à la différence des fortes doses [208 - 209]

Lors de l'irradiation de la peau, les nécroses semblent être plus abondantes au niveau des cellules les plus pigmentées (noires) donc les mélanocytes [210]

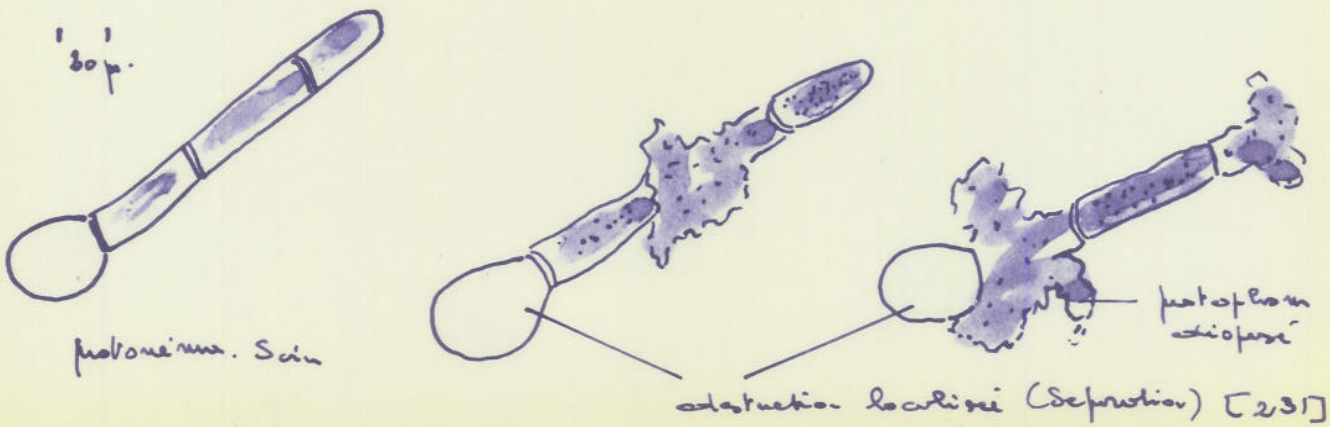


dessin 43a [138]



690 nm : 6900 Å
13 000 nm : 12 000 Å

dessin 43b [20c]



dessin 43c

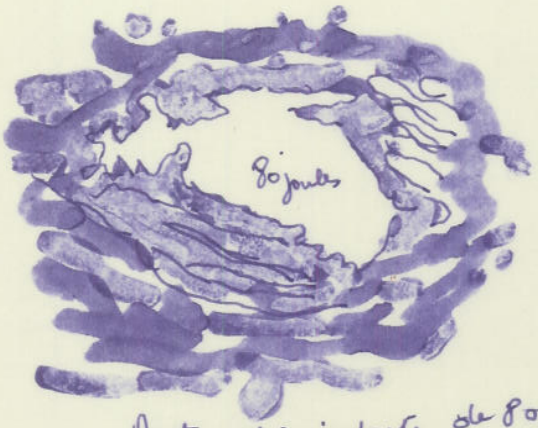
Pour l'équipe FINE-KLEIN [211] la gravité des brûlures est directement proportionnelle à la durée de l'exposition et de l'énergie débitée.
Un faisceau de 1000 W à une pénétration de 0,001 cm/s/w/cm2 produira une brûlure localisée des parties molles de 1 cm de profondeur sur 1 cm2 (plus il est blanc, plus la brûlure est profonde [189]

Pour un albinos on peut dire : 40 % absorbés 20 % reflèté et 40 % transmis [212]. Le blanchiment des tatouages ne serait pas que thermique (il est suivi d'un oedème [213]. Des irradiations de basses énergies (0,5 joule) pratiquées sur l'avant bras d'un volontaire durant 9 mois ont provoqué des altérations cliniques (prurît, nodule) et histologiques de l'épiderme, des annexes et des vaisseaux [214]. Les études analogues ont porté sur divers tissus [215] avec le cristal rubis par exemple.
Le résultat a toujours été dès le début le même [216] : protection

III-2-3-3 - Action sur les tissus

L'étude sur les tissus a été faite de deux manières fort distinctes (micro et macro irradiation) sur des cellules isolées ou sur des systèmes de cellules

L'action du laser à rubis sur des cellules isolées, en cultures colorées au vert JANUS B à conduit à de nombreux effets (microscope à contraste de phases). [221]. Les cellules de foie ont été souvent étudiées [222] et les applications aux cellules concéreuses sous entendu. Ces études faites par FINE [223] ont conduit à des observations au microscope électronique [224]. Pour FINE, il peut y avoir [225] création d'une nécrose focale du foie par irradiation du laser à travers les muscles de la paroi abdominale : des phénomènes thermiques et optiques ont lieu lors du passage, le tout aboutissant à des modifications macroscopiques et histopathologiques de la région hépatique. Ces mêmes modifications sont observées sur la rate et les reins [226]. Avec une irradiation pulsée (rubis et néodyme) et continue (CO_2) les lésions sont essentiellement thermiques, la différenciation est, là aussi, d'ordre pigmentaire. Il y aurait vaporisation des liquides tissulaires



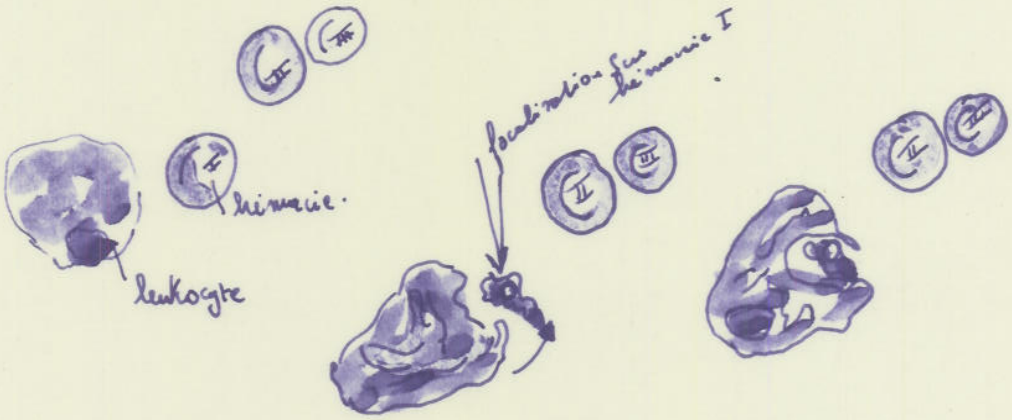
Aorte après impact de 8 jours

(dessin 44 a b)

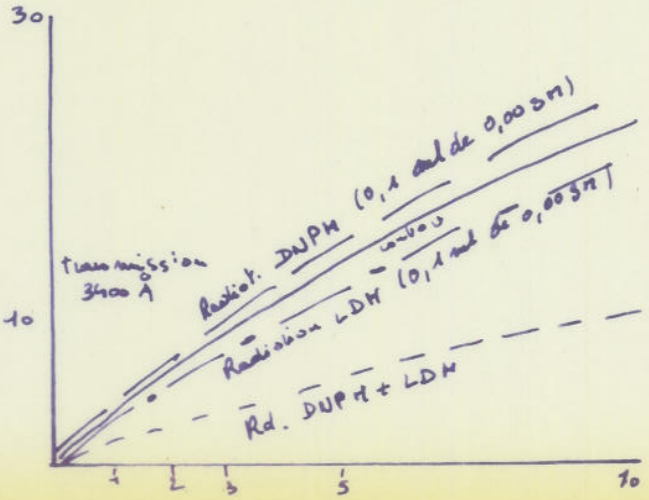




Aorte 30 jours (dessin 44 c) [232]



dessin 44 d [234]



dessin 44 e [238]

et formation d'espace par distorsion cellulaire
De hautes énergies furent alors utilisées (10.000 joules) [228] et des seuils établis [229]. Il voit une relation directe entre l'énergie de l'impulsion et le degré de pigmentation, l'absorption les caractéristiques du tissu étant peu importantes. Sous les conditions du rayonnement, il y a corrélation entre le changement dans les paramètres électriques (de conduction) du foie (constante diélectrique, résistance...) et la gravité de l'atteinte hépatique [230]. Un contrôle permanent de l'atteinte pourrait donc être imaginé sur n'importe quel tissu. Nous montrons (dessin 43 c) un exemple de rupture de protoplasme [231] (pulse 15 millijoules) On peut ainsi séparer des cellules : toute une série de coupe [232] ont été faites par GOLDMAN, y compris la section d'une dent (30 Joules) à travers une glace (de rubis laser) (dessin 44a, b et c)

L'énergie peut être calculée [233]. Une cellule détruite par le faisceau laser est phagocyté comme tout autre cellule [234] (dessin 44 d)

Conclusion :
En regard de ces observations, nous sommes amenés à penser que le rayon est absorbé par les cultures de tissus, en fonction là aussi de leur coefficient d'absorption et, que les brûlures peuvent être conduites à travers une partie non absorbante (abdomen). Les cellules détruites sont éliminées normalement.

III-2-3-4 - Action sur la cellule

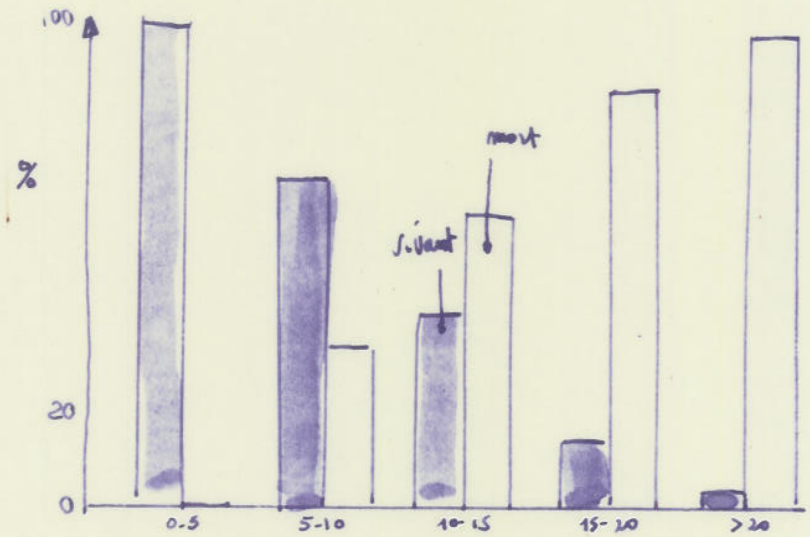
Nous avons vu l'éclatement cellulaire et l'évaporation de l'eau par dispersion protoplasmique [231]

Le laser à rubis a une action destructrice sur une couche de cellules [235] avec formation de foyer ayant une plage cytoplasmique soudée à disposition radiale. Donc, deux effets vérifiés; thermique et cinétique. L'action est liée à la teneur en vert JANUS et à la localisation (l'effet thermique semble être le plus dangereux).

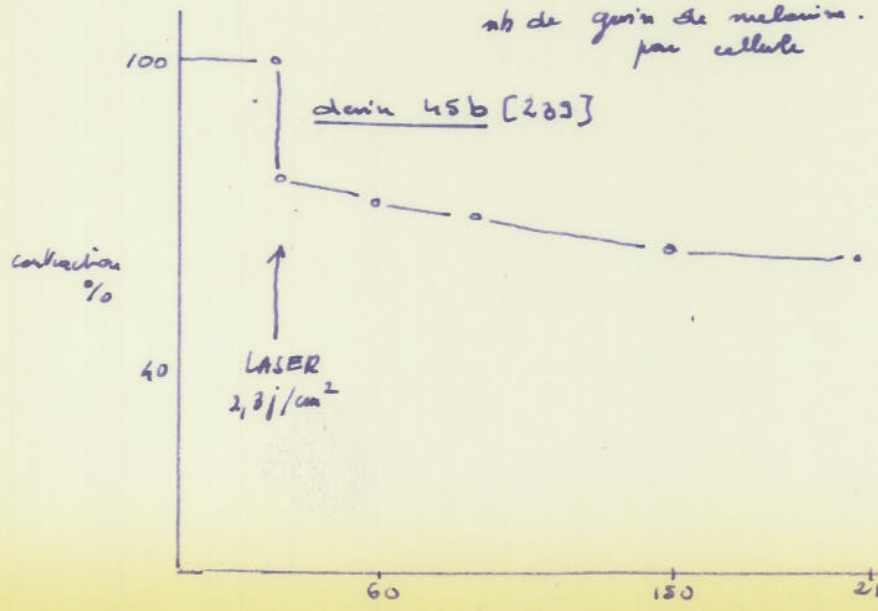
Spectre d'absorption.

Amino acide, peptides proteines	2,800			
Base ; nucleotide, A. Nucleiques	2,600 2,650			
Vitamines				
Phosphate pyridoxal	2,450 (H+)	3,880 (OH-)		
Nicotinique Acide		3,856		
A		3,250		
Riboflavine	2,660	3,710	4,140 4,750	
B12	2,780	3,610		5,500
D	2,645			
E	2,940			
Prolifine	2,550 2,840	3,650		
Coenzymes				
DPNH	2600	3,400		
NADH	2600	3,400		
FADH	2600	3,660	4,650	
Cytochromes				
a			4,520	6,050
b			4,820	5,300 ; 5,610
c			4,080 4,150 (ox) (red)	5,200 5,300 5,500 (ox) (red)
Oxidase			4,400	6,000

dessin 45a [288]



nb de grain de melanine par cellule



0,18 j/cm² 25 n.s

dessin 45b [289]

dessin 45c [290]

Les instruments nécessaires sont très variés (micro irradiation donnant variations morphologiques et biochimiques) [237]. La détermination de la sensibilité des cellules pigmentées a été établie [238] autour de 6943 Å. Pour que les rayons soient nocifs, il faut essentiellement la présence de substances captantes. Il y a, semble-t-il, variation du potentiel biochimique. Chaque matière absorbe dans une zone très précise, ainsi une réaction comme :

$$\text{PYRUVATE} + \text{DPNM} \underset{\text{LACTATE DESHYDROGENASE}}{\rightleftharpoons} \text{LACTATE} + \text{DPN}$$

Peut être très orientée dans ce sens : Pyruvate vers lactate, en fonction de l'irradiation (dessin 44 e et 45 a)
Le problème du pigment reste entier (dessin 45 b), une autre action [239] est essayée sur des cellules contractibles ; le rubis laser sur le muscle cardiaque squelettique ... provoque une inactivation de l'adénosine triphosphate, semble-t-il, visible sur le dessin 45 c

III-2-3-5 - Action sur les nucléoles [240]
(cellules myocardiques et endothéliales)
Irradiation 5145 et 4880 Å

Il faut une coloration à l'amino-acoridine et chlorure de quinocrine. On constate au microscope à contraste de phase des lésions du nucléole, avec un halo (3 heures)

III-2-3-6 - Action sur les mitochondries

Sous l'action d'un microfaisceau du laser à rubis [241], coloré au vert JANUS, là encore 2,6 Kv, 0,5 joule, 50/1 secondes, 6943 Å, la mitochondrie est transformée en une masse sombre ayant des parties complétement détruites et d'autres non.

Donc, nous pouvons dire qu'il y a eu dommage thermique classique et sélectif de la mitochondrie selon certains paramètres. Pour TANAKA ([243] dans certaines conditions, la mitochondrie subit une évolution comparable à celle des mitochondries colorées au vert JANUS B, involution de crête sans bouleversement de la structure générale.
La substance opaque étant des protéïnes coagulées.

III-2-3-7 - Action sur les chromosomes

A certaines doses, l'A.D.N. disparait [244], le cyle mitotique ne semble pas modifié à faible dose. Signalons dans les fibroblastes embryonnaires de l'homme des aberrations chromosomiques liées à la fréquence et à la dose 6228 Å [245]

III-2-4 - Niveau bactéries et virus

L'action du laser à rubis sur les bactéries a été étudée essentiellement par DESHAUX à LYON chez PEREZ [246 - 247]. L'action du laser sur support solide ou en suspension est le "tout ou rien". Si le phénomène thermique est évité, rien ne se passe, (aucune modification biochimique, génétique) ; ceci est dû au choix de la longueur d'onde dans un rayon déclenché 3 joules en 30 nanosecondes.

Par contre en relaxé, on remarque un taux de mortalité faible, mais constant (20 joules en 1 milliseconde). Dans les chlamydonomes, on peut noter [248] une activation du transfert des électrons dans le cytochrome.

Les variations du seuil létal ont été étudées dans la cytochrôme [249]. De nombreuses études ont porté sur KB épithéliale, conduisant à observer des altérations du chondriome, polysome, et ergastoplasme suivant le taux [250] on a : mort ou retour à l'état normal.
La description d'un dispositif pour avoir une cible de µ1 est donnée par MALI [251]

III - 3 - CONCLUSION - PROTECTION

Que dire finalement du danger du rayon laser sur l'organisme. Dès 1965, de nombreux articles paraissent sur les dangers du laser. ZORET décrit [252] trois cas d'exposition accidentelle. Nous avons vu successivement les zones d'action (voir avant)

Ainsi, plusieurs verres furent proposés [253 - 254] dont on prévoyait la longueur d'onde : absorbant surtout de 694,3 mm jusqu'à infra-rouge. Et dès 1968 des règlements généraux vis à vis des rayons incidents et réfléchis furent proposés.

Les organes les plus exposés sont les yeux et la peau. Lorsque le faisceau est focalisé, ses brûlures peuvent être graves mais peu étendues ; non focalisé, et même puissant les brûlures sont faibles. Les rayonnements directs ou indirects sont dangereux. De toute façon, il nous faudra utiliser un faisceau pour notre hologramme, de bonne cohérence, très court en impulsion, d'énergie faible et de longueur d'onde éloignée de 650 nm

La zone où nous travaillerons s'éloignera de la zone dangereuse. Nous ne recherchons pas la puissance, mais la cohérence. Mais une chose est sûre, c'est que notre longueur d'onde choisie, il faudra procèder à de nombreuses études quantitatives avant d'affirmer que les interactions avec le corps humain sont sans danger.

III - 4 - LASER EN DENTISTERIE OPERATOIRE

III-4-1 - Action sur l'os

Comme base, nous citerons les travaux de HOYBERG [273]. Un laser de 410^{10} W/cm2 coupe l'os une épaisseur de 0,3 à 1 mm (15 à 25 % de l'énergie traverse les coupes sans provoquer de perforation)
Les coupes humides ont une transmission plus élevée que les coupes sèches.

III-4-2 - Ceci nous conduit à parler de l'effet du laser sur la dent

L'utilisation que nous faisons du laser est très restreinte vis à vis de la dent. Ce qui nous intéresse est la simple réflexion et les absorptions différentes de la dent et de l'os. Depuis KINESSLY [264] nous savons que les perforations dépendent de l'énergie du faisceau, du type et de l'épaisseur de la substance traitée, du foyer de grossissement, de la distance d'opération et de la concentration du colorant ajouté. La coloration de la dent est nécessaire. Il est possible d'autre part de couper, brûler (microcratère) une dent [254]. L'action du rayon focalisé est surtout thermique [261] ce qui fait redouter une transmission de la chaleur de zones non sensibles à des zones sensibles

Que dire en 1973 de l'action du laser. D'abord il y a eu plusieurs époques. Epoque d'espoir au début où l'on ne voyait que les effets [254 à 268] et non les conséquences. Puis les conséquences plus ou moins favorables sont arrivées et l'on traverse une phase de désintéressement fort inutile qu'oiqu'en pense GOLDMANN et MENDELSON [266]. D'ailleurs STERN parlait en 1965 de destruction de prismes d'émail, alors qu'en 1973 [260] il parle de protection du laser CO_2 contre une attaque acide.

Je ne critique pas un processus expérimental très normalement mené mais j'attire simplement l'attention des lecteurs, en leur disant que le laser n'est pas une simple fraise dentaire, en un an ça évolue. (et est susceptible d'evoluer rapidement)

Vis à vis du laser une grande absorption de chaleur est à noter si elles sont colorées et ceci confirme les observations de [264] KINESTLY. On peut parler aujourd'hui, suite aux travaux nombreux faits sur la brûlure en fonction de la structure de l'émail, de "dosage de brûlure" [269]. Un effet secondaire du laser n'est-il pas une protection de l'organe dentaire [271 - 272]

Aujourd'hui les orientations de recherches sont variées mais ceci n'est pas le but de notre travail (cf. BULLIER - thèse [89]). Disons que pour nous, l'absorption est liée à des facteurs dont la variation peut nous conduire à différentes zones de réflexion.

Connaissant les coefficients d'absorption, je pose deux problèmes dont seule une longue expérimentation peut répondre.

III-4-3 - Notre étude vis à vis du laser R x

Si un rayon laser réagit en fonction de l'aspect du milieu, ne pouvons nous pas obtenir une réflexion sur des couches internes : pourquoi ne pas imaginer aussi un os coloré volontairement, la réflexion se ferait alors électivement sur l'os et l'hologramme serait celui de l'os.

De même, une coloration des vaisseaux pourrait conduire à la restructuration du milieu interne, sans avoir recours à des méthodes sanglantes. Pourquoi ne pas imaginer une association laser R x - hologramme conduisant par notre méthode à une structure en trois dimensions de la radio.

Cette succession d'étude n'a pour but que de conduire et d'attirer l'attention; utilisant les données actuelles, une étude de perméabilité et de réflexion conjointe à une observation rigoureuse du comportement du milieu irradié peut amener à des applications fort surprenantes. (dessin 46)

III-4-4 - Tumeur et bistouri

Enfin, nous attirerons succintement l'attention sur le fait que les russes [98] semblent être très avancés dans l'étude de l'action thérapeutique du laser sur les tumeurs. D'autre part, une application extrêmement intéressante est le bistouri à laser, outil qui est en fonction de la fibre, un admirable auxiliaire. Depuis quelques mois une fibre révolutionnaire a été mise au point, ceci me donnant plein espoir sur l'avenir de la méthode (voir plus loin) (le prix d'un laser n'est pas si éloigné de celui d'un bistouri électrique).

III-4-5 - Conclusion

L'action du laser sur les tissus est certaine et de plusieurs sortes :

- thermique
- élastique
- cinétique
- électrique

mais ceci est lié à quatre facteurs des tissus :

- état de surfac (brillance)
- transparence (coloration)
- indice de réfraction
- potentiel d'ionisation
- conductibilité photonique

Plus le milieu est transparent, moins il absorbe ; plus il est lisse, plus il réfléchit

Enfin, les conditions d'utilisation qui dépendent de :

- la longueur d'ondes
- la puissance
- le temps

- Relaxé signifie :

  l'effet laser apparait lorsque le nombre d'atomes excités sur le nombre total, dépasse le seuil d'émission stimulée (succession)

- Déclenché signifie

  on gonfle au maximum la puissance et on lâche en une impulsion

- continu signifie :

  l'entretien de l'excitation atomique conduit à une action continue

Solutions :

Tous ces facteurs sont à traiter indépendamment puis surtout ensembles, pour arriver à des conclusions rigoureuses.

Dans notre future étude, par l'hologramme, les énergies et longueurs d'onde peuvent être choisies en dehors des zones dangereuses. De toute façon, la protection peut toujours être réalisée.

L ' H O L O G R A M M E

Description

- DENIS GABOR et L'HOLOGRAPHIE
- PRINCIPE DE L'HOLOGRAPHIE
- HOLOGRAPHIE RELIEF
- DIFFERENTS HOLOGRAMMES

CHAPITRE - IV -

IV - 1 - DENIS GABOR ET L'HOLOGRAPHIE

L'holographie n'est pas le laser, elle date de 1948.
le laser en est son application éclatante.
L'holographie est basée sur la nature ondulatoire de la lumière (YOUNG) (dessin 47 a). L'interférence, que nous approfondirons, se calcule mathématiquement, comme l'énergie en chaque point . Pour obtenir les interférences, comme nous l'avons dit dans le chapitre II, il faut que la lumière soit cohérente et, pour obtenir de nombreuses franges, il faut qu'elle soit monochromatique le plus possible (la longueur de cohérence est la différence maximale entre les trajectoires que peuvent suivre deux rayons lumineux issus d'une même source en donnant des interférences observables). La photographie perd la phase et enregistre seulement l'énergie.

Dans l'holographie on fixera les ondes sur l'hologramme. On obtiendra un maximum Σ où les deux phases sont complémentaires et inversement, on obtiendra un minimum Σ en opposition

Conclusion : Problème

- L'action du laser sur les tissus est certaine et de plusieurs sortes :
  - . Thermique
  - . Elastique
  - . Cinétique
  - . Electrique

- Mais ceci est lié à quatre facteurs des tissus :
  - . Etat de surface (brillance)
  - . Transparence (coloration)
  - . Indice de réfraction
  - . Potentiel d'ionisation
  - . Conductibilité photonique

  Plus le milieu est transparent, moins il absorbe ; plus il est lisse, plus il réfléchit.

- Enfin, les conditions d'utilisations dépendent de :

- Relaxé signifie : l'effet laser apparait lorsque le nombre d'atomes excités sur le nombre total, dépasse le seuil d'émission stimulée (succession)

- Déclenché signifie : on gonfle au maximum la puissance et on lâche en une impulsion

- Continu signifie : l'entretien de l'excitation atomique conduit à une action continue

En éclairant un hologramme avec une même source on obtient une phase puis au moment de la rencontre avec l'hologramme, l'interférence recréée redonnera l'objet. Cet éclairement de l'image imaginé en 1962 par LEITH et UPATNEIK appelé : ondes de référence oblique est rendu possible par la grande longueur de cohérence du laser hélium-néon. Cette idée permettait ainsi de contourner l'objet, plutôt que de le traverser, car l'onde de référence est séparée du faisceau éclairant, en profondeur mais aussi angulairement par deux foix l'angle d'incidence. L'intensité, enfin, de ce laser étant plusieurs millions de fois supérieure aux sources conventionnelle, des émulsions lentes à grains fins purent être utilisées. Un hologramme ne doit pas vibrer et l'impulsion doit donc être très brève. Ce que permet l'impulsion laser.

IV-2 - PRINCIPE DE L'HOLOGRAPHIE

Rappelons brièvement :

IV-2-1 - Ondes électromagnétiques [91]

Nous savons que dans un champ rayonné, il y a des maxima et des minima, suivant que l'onde provenant de deux sources soit en phase ou en contraste de phase. Ceci est une interprétation qualitative du phénomène

Si R est la distance au temps t, la valeur du champ sera :

$$E(t) = \frac{-q\theta(t - R/c)\sin\theta}{4\pi\varepsilon c^2 R}$$

On a $(t - R/c)$, c'est l'équation au temps $(t - R/\theta)$ ou accélération retardée

IV-2-2 - Energie de rayonnement

Nous avons vu (chapitre II) les valeurs propres de l'énergie du rayonnement. Elles varient inversement à la distance.

Nous avons affirmé que l'énergie était proportionnelle au carré du champ. Cela signifie que l'énergie de la source diminue. Lorsque nous nous éloignons, elle varie comme l'inverse du carré de la distance (dessin 47 b)

Cependant la Surface de section du cône lumineux varie comme le carré de la distance bien que l'énergie totale est conservée "conseils-J. Dumas"

Si nous voulons récupérer, dans l'onde, le maximum d'énergie, dans un certain cône, à une distance v_1, nous trouvons à une distance v_2 que la quantité d'énergie par unité de surface interceptée varie directement comme le carré de v_1. Ainsi, l'énergie que nous pouvons extraire de l'onde à l'intérieur d'un certain cône est la même quelque soit notre distance. En particulier, l'énergie totale que nous pouvons extraire de l'onde totale en plaçant tout autour des oscillateur est une quantité fixe donnée. Ainsi le fait que l'amplitude varie en $\frac{1}{v}$, revient à admettre l'existence d'un feu d'énergie qui avance sans cesse, se disposant sur une surface effective de plus en plus large. Nous voyons donc qu'après son oscillation, une charge a perdu un peu de son énergie, qu'elle ne peut jamais retrouver.

IV-2-3 - Onde sinusoïdale

Une onde oscille à la fréquence angulaire " w " : c'est le taux de changement de phase avec le temps (radian / seconde)

Si nous fixons t, et observons l'onde en fonction de v, l'énergie oscille exactement de la même manière. On peut définir K comme étant le taux de changement de phase avec la distance.

Si la phase $\varphi = w\,(t - \frac{v}{c})$

le taux de changement

$$\frac{d\varphi}{dt} = K - \frac{w}{c}$$

IV-2-4 - Deux dipôles rayonnant [91]

Quel est l'effet de deux oscillateurs en un point donné ?
Si les deux oscillateurs sont en phase, (onde électromagnétique) le champ électrique est deux fois plus fort et l'intensité quatre fois plus élevée que s'il n'y avait qu'un seul oscillateur.

IV-2-5 - Mathématique de l'interférence [91]

Calcul quantitatif
Les deux oscillateurs, dans notre cas, ont une phase relative intrinsèque l'un par rapport à l'autre et en un point donné deux intensités A_1 et A_2 différentes. La différence de phase est due à une différence de distance. La somme R de deux ondes est :

$$R = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

- Moyen géométrique pour combiner les deux ondes
(voir dessin 47 c)

On considère que le diagramme entier tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à une fréquence angulaire w

Dans ce calcul, nous obtenons donc l'effet d'une interférence qui est en réalité la différence entre ce que nous aurons en ajoutant les intensités et ce que nous obtenons effectivement.

IV-2-6 - Diffraction [91]

Diffraction et interférence ne se différencient que par le fait que le premier terme est lié à un nombre important d'oscillateurs égaux.

IV-2-7 - Laser et interférence [77]

Si nous utilisons une source classique, nous devons sacrifier environ 95 % de la lumière rayonnée par la source, car seule une faible partie (dans l'expérience de YOUNG en 1820) passe par les fentes;

l'intensité de la fraction de lumière cohérente que l'on peut utiliser avec les sources ordinaires est toujours extrèmement faible .

Le laser apparait comme la première source intense de lumière cohérente, et l'on voit nettement des alternances de zones claires et de zones sombres (phases ou contrastes de phase) (dessin 47 d - e).

D'autre part, une lumière nue ne se déplace pas exactement en ligne droite : Certes, le principe du moindre temps de FERNAT [91] existe, mais d'autres facteurs jouent. Une onde lumineuse à sa longueur si petite par rapport aux objets qu'elle rencontre, qu'elle est imperceptiblement dérivée par le phénomène de la diffusion.

Ainsi, une onde pénétrant dans une ouverture s'étale à la sortie (illustration du phénomène) (dessin 48 a)

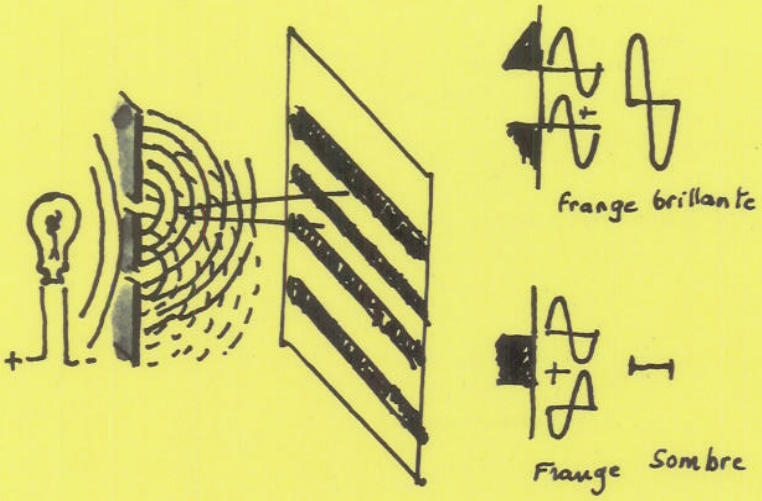
Cette diffraction des rayons lumineux est déjà impliquée dans l'expérience de YOUNG. Le passage de la lumière dans des fentes étroites provoque leur diffraction et s'étalant de part et d'autre, les faisceaux vont s'entremêler et interférer.

La combinaison de la diffraction et de l'interférence nous donne l'image en trois dimensions (dessin 48 b)

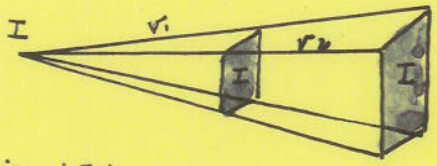
IV - 3 - HOLOGRAPHIE ET RELIEF

IV-3-1 - Théorie

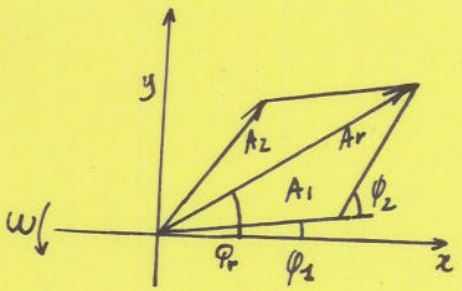
Alors que l'image avec deux verres colorés provoque l'impression de relief, avec un hologramme on reconstitue le relief, permettant de contourner les objets.



expérience de Young (dessin 47a)

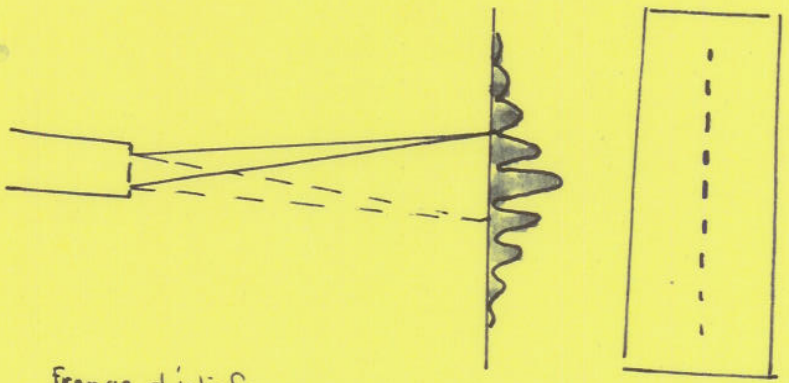


dessin 47b



utilisation des Cosinus

(dessin 47c)



Frange d'interférence au laser [77]
Il y a Superposition sur une plaque photographique

(dessin 47de)

Lorsque nous photographions un objet, simplement, une lumière porteuse d'information pénètre dans la chambre noire. La sensibilité n'est liée qu'à l'intensité (voir IV--2--2 et chapitre II)

La notion de distance n'est traduite qu'en intensité et on ne peut connaître la distance entre les objets et nous. Or, nous savons que théoriquement (Chap. IV-2-3) nous pouvons connaître la distance en connaissant la phase : concrètement, cette information est déduite des décalages de phases des ondes qui atteignent la surface photo sensible à un moment donné.

L'arrivée sur une plaque se traduit par des zones claires et des zones sombres. Supposons que les deux trains d'ondes soient sphériques (dessin 48 c) les franges seront circulaires et leur largeur décroît en s'éloignant du centre. La différence entre les réseaux formés sur la plaque, dans les deux cas est caractéristique de la nature du second faisceau employé. Si nous considérons le premier train d'onde comme faisceau de référence (perpendiculaire à la plaque) le réseau de la plaque contient l'information requise pour restituer le second train d'onde, c'est le faisceau signal.
Ceci est le principe de l'holographie

Pour obtenir cette réflection LEIT et UPAITNIECKS ont réalisé une image de locomotive, jouet de 50 cm de longueur, à l'aide d'un laser à rayon de 5 W de puissance. Le laser à gaz est le meilleur [98] car plus monochromatique ; ce système ne nécessite ni lentille ni objectif. Le faisceau laser dirigé vers un système optique qui le forme est élargi sans que la cohérence soit perturbée. Le champ doit être suffisamment étendu pour recouvrir l'objet à photographier (pour nous, 7 cm sur 7 pour une empreinte totale, voir 1 cm sur 2 pour une dent)

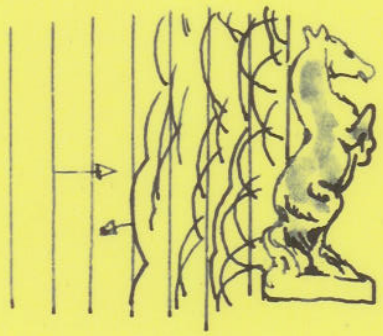
Ce faisceau est ensuite dirigé vers l'objet par le rayon dit direct, une autre partie frappant un miroir (rayon de référence) Les deux rayons, l'un renvoyé de l'objet et l'autre direct interfèrent sur la plaque.



diffraction : l'étalement est moindre si la λ diminue

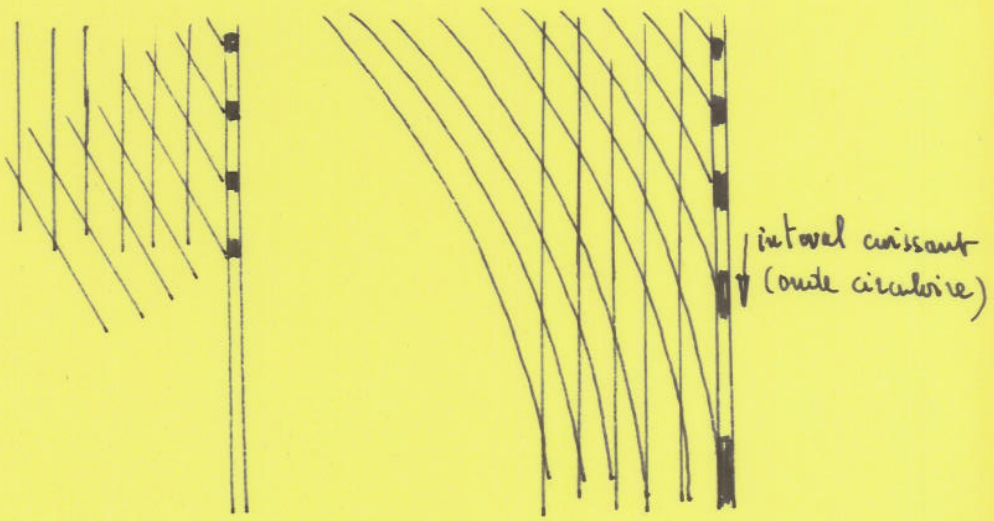


(dessin 48a)



diffusion : d'un objet simple.
d'un objet complexe (ensemble de très nombreux points unitaires)

(dessin 48b)



Retranchement des amplitudes de 2 trains d'ondes

(dessin 48c)

Comme on le sait, les ondes du rayon de référence sont égales en amplitude et en longueur et sont caractérisées par la même relation de phase. Les ondes échos ont des amplitudes différentes et des phases alléatoires. L'ensemble des séries d'ondes sphériques, dont l'apparition correspond pour chacune d'entre elles à un certain point de la surface de l'objet réfléchissant et d'une nature extrèmement complexe. Les franges d'interférence enregistrées par l'hologramme ont une densité de raie qui dépend de la grandeur de l'angle formé par la direction de propagation des ondes véhiculant l'information concernant l'objet et la direction de propagation des ondes de référence. (dessin 49 a et b)

IV-3-2 - L'hologramme

Notre plaque ne montre pas un objet mais un ensemble d'interférences qui, sous forme codée, représente l'information du faisceau signal. En plus de présenter l'intensité, il présente le décodage de phase.

Les calculs qui suivent, indiquent le chemin à suivre pour l'enregistrement et la restituation de l'information.

Un objet tridimensionnel éclairé par une onde cohérente

$\mathcal{E}$ est l'onde diffractée

$\mathcal{E}_r$ est l'onde de référence.

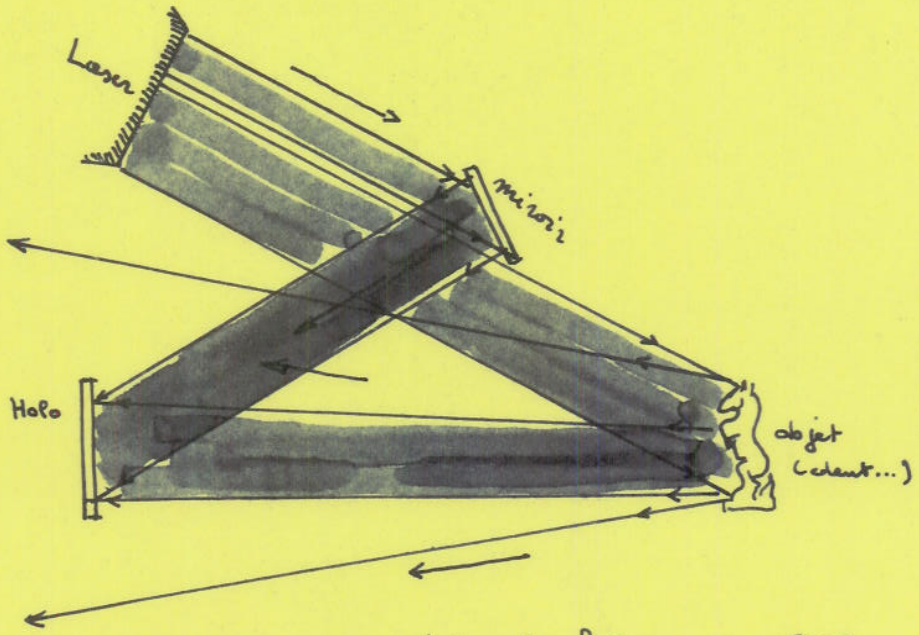
Si l'on fait abstraction du facteur temps

A l'enregistrement, l'intensité totale tombant sur l'émulsion photographique est égale au carré de la somme des amplitudes des deux ondes qui se superposent [276 - 277 - 278]

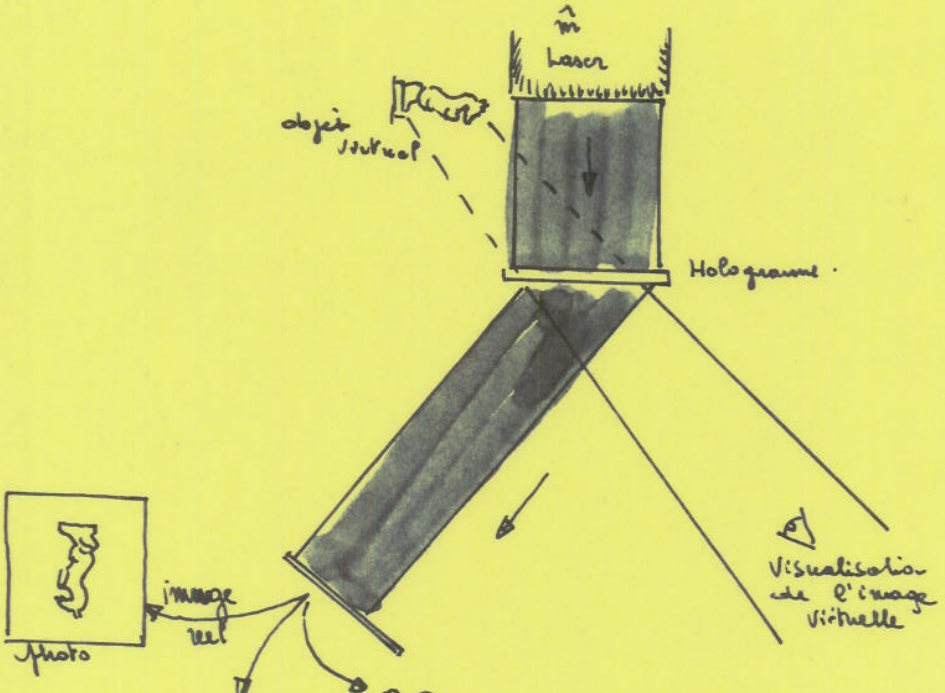
$$I = (\mathcal{E} + \mathcal{E}_r)^2$$

$$I = A^2(x,y) + A_r^2 + A(x,y) \exp j[\varphi - \varphi_r] + A^*(x,y) \exp -j[\varphi - \varphi_r]$$

où $I = A(x,y) + A_r^2 - 2A(x,y) A_r \cos[\varphi(x,y) - \varphi_r]$

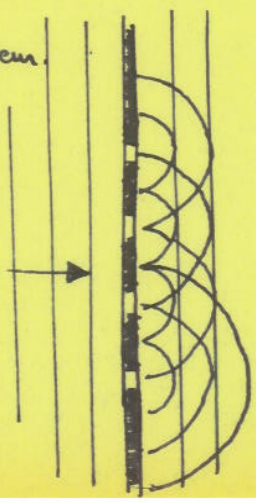


prise de hologramme. [77]



Restitution de hologramme.
[77 modifié]

(dessin 49)



principe de Restitution

Remarquons que dans le 3ème terme, le déphasage des points objet y (x,y) est bien présent

$$t(a) = F(E \cdot t)$$

On peut donc calculer la transparence à l'amplitude $t(a)$ de l'hologramme. Si l'on fait intervenir le facteur de contraste de l'émulsion $t(a)^{\gamma}$ est proportionnel à $E^{\gamma/2}$

Si l'on travaille dans la région linéaire de la courbe ou E t représente le produit de l'éclairement par le temps de prise, on considérera que cette transparence est proportionnelle à l'énergie reçue par l'hologramme.

Pour DENIS-YUNK [280 - 281], la preuve que les 3 dimensions sont réduites en 2 dimensions est à considérer, comme quoi l'hologramme est un système équivalent à l'objet. Ce fait est difficile à prouver car aucune méthode de prédétermination dans l'arbitraire "objet à 3 dimensions" n'est connue en optique, le paramètre de liaison proposé par DENISYUNK est la fonction tridimensionnelle de la constante diélectrique de distribution.

La constante diélectrique serait en "convolutions" avec la fonction $[F(\vec{R_o}, \vec{R})]$ résultat des ondes spécifiques de l'objet et incidentes (voir dessin pour la transition 3, dimensions en 2 sur un hologramme)

Pour MALLIEK et ROLLIN [282] les informations de chaque point de l'objet ne sont pas éparpillées partout sur la surface de l'hologramme mais sur une toute petite surface. Aussi, un hologramme eut être considéré comme étant un grand nombre microhologramme représentant une région de l'objet.

MARIO BERTOLOTTI de l'université de ROME propose une méthode pour mesurer les variations d'amplitude et de phase en un point quelconque du front d'onde donc la technique est à la hauteur même de la théorie [283] dans le domaine de l'holographie.

IV-3-3 - Reconstitution

Comment faire pour décoder une image aussi complexe ?
Rien de plus simple, il suffit de la faire traverser par le faisceau d'un laser orienté dans la même direction que le faisceau employé pour la prise de l'hologramme.

La reconstitution est due au phénomène de diffraction. Lorsque l'on éclaire l'hologramme, par exemple au moyen d'une onde identique à l'onde de référence, le résultat s'exprime par une quantité proportionnelle au produit de t a (ou encore I) par la fonction d'onde, soit :

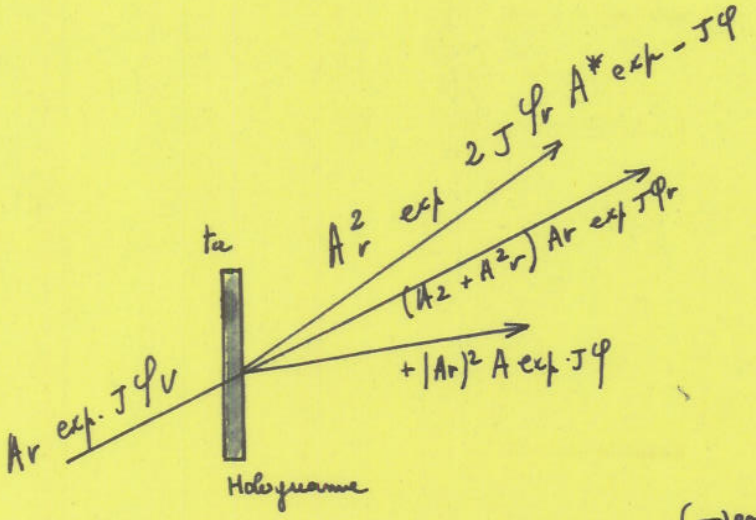
(dessin n° 50) $I_a = A r \exp j\varphi_r$

A la reconstitution, de part et d'autre du faisceau d'éclairage direct, apparaissent, à un facteur multiplicatif près, deux images conjuguées de l'objet et suivant des directions symétriques par rapport à celles du faisceau de reconstitution

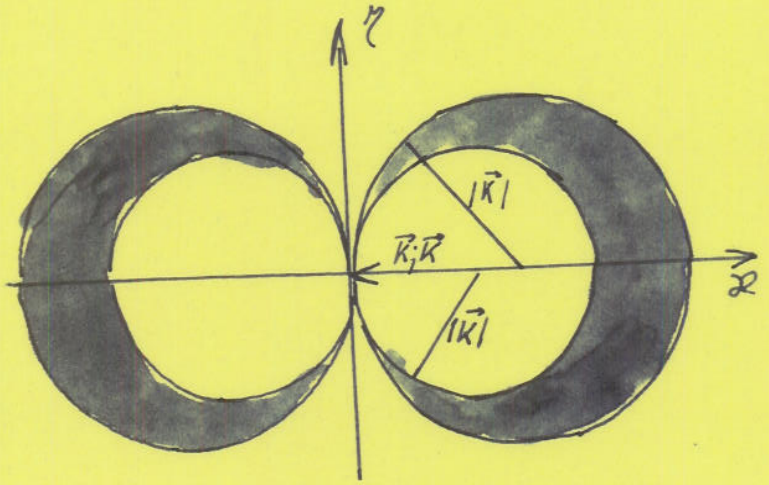
- Plaque
Un observateur placé de l'autre côté, verra les objets à travers l'hologramme, et s'il déplace sa tête litéralement, il observera l'effet de parallaxe caractéristique de vraies images tridimensionnelles.

Pourquoi ? parceque le phénomène expliqué avant indique que les franges sombres arrêtent Σ_r et les franges claires le laissent passer ; puis il y a diffraction et interférence. L'hologramme est en somme une onde "fixée" sur son parcours puis remise en route

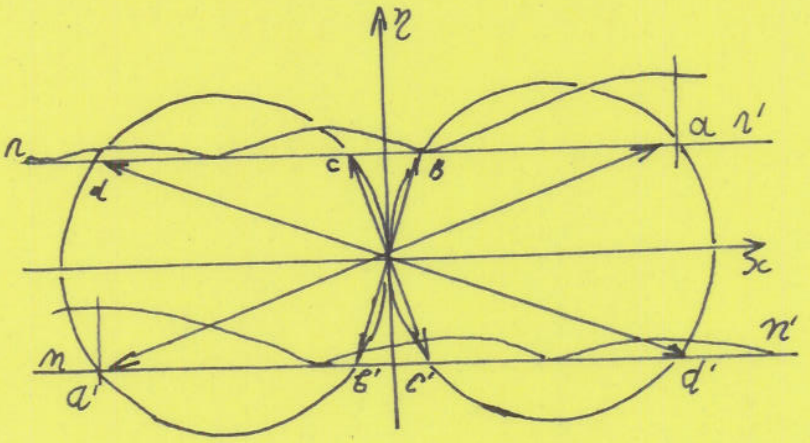
- Télévision
Nous nous sommes posés un problème : Rapidement, analyser directement le volume (caméra hollographique) ou indirectement par analyse de l'hologramme. Nous avons choisi un moyen terme qui est :
Prise de l'hologramme sur gel (sensible) de grande définition (classique) puis analyse de l'hologramme avec précision



(dessin 5a)



Représentation d'un objet en onde plane



transition d'un objet 3 dimensions en 2 dimensions

Les deux Schémas de bases de Denisyuk

(dessin 5b)

dans différentes positions pour sculpter effectivement en 3 dimensions.
Nous ne prenons pas directement la télévision pour analyser plus complètement les 3 dimensions.
Avant d'analyser les méthodes d'étude de l'hologramme, expliquons comment le fabriquer

IV - 4 - DIFFERENTS HOLOGRAMMES [277 - 278 - 279]

IV-4-1 - Hologramme par transmission

Les ondes Σ et Σ_r superposées dans le plan de l'hologramme émanent d'un objet transparent, après l'avoir traversé, qui peut être une pièce mince transpercée

Une onde est donc séparée en 2 parties. Le seul problème est de faire en sorte que la différence des deux trajets ne dépasse pas la longueur de cohérence.

IV-4-2 - L'hologramme par réflexion

L'onde Σ_{1-2} est obtenue par diffusion et diffraction de la lumière qui éclaire. Les objets (1) et (2) disposés devant la plaque photo graphique P sont éclairés par l'onde sphérique S

Au niveau de P, les ondes Σ_r et Σ_{1-2} se superposent et interfèrent. La différence de trajet optique entre deux points A et B se traduit par un déphasage de l'onde Σ_{1-2} mise en mémoire dans l'hologramme ; au cours de la restitution les deux images apparaitront l'une derrière l'autre (dessin n° 52)

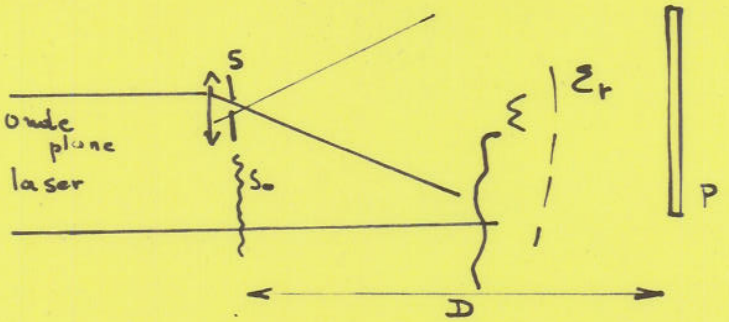
IV-4-3 - Hologramme à fréquence porteuse

On enregistre l'onde transmise et l'onde diffractée (inintéressant pour nous car notre objet n'est pas transparent)

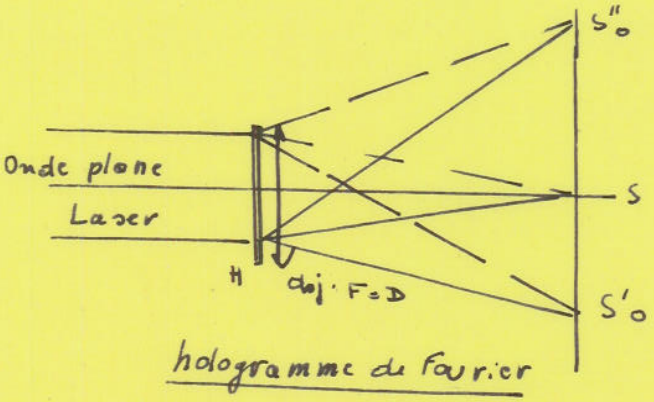
Conclusion :
Pour régler l'image en 3 dimensions, il nous faut avoir recours à l'hologramme, c'est-à-dire, aux interférences optiques. Il nous permet d'autre part de trouver bien des solutions à certains problèmes.

Différents montage pour hologramme.

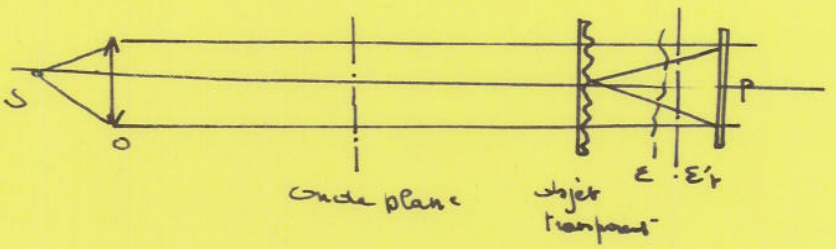
(dessin 5a et 5b)

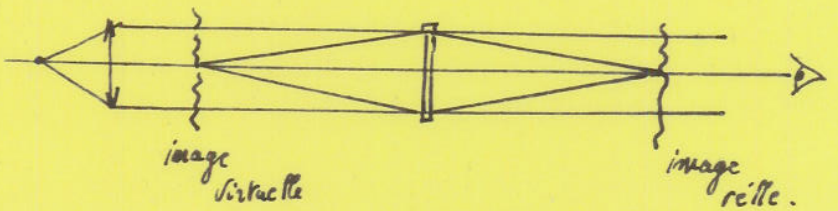


objet transparent

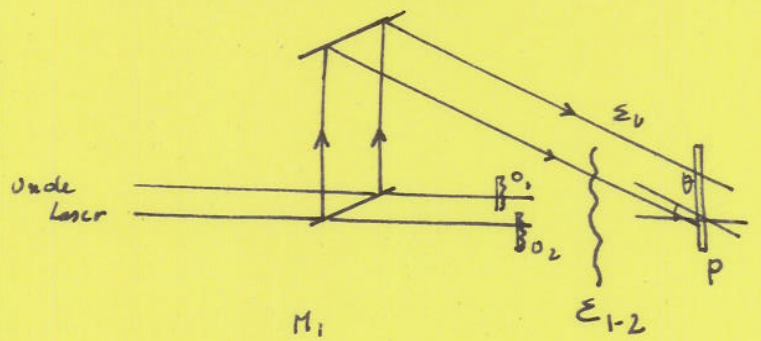


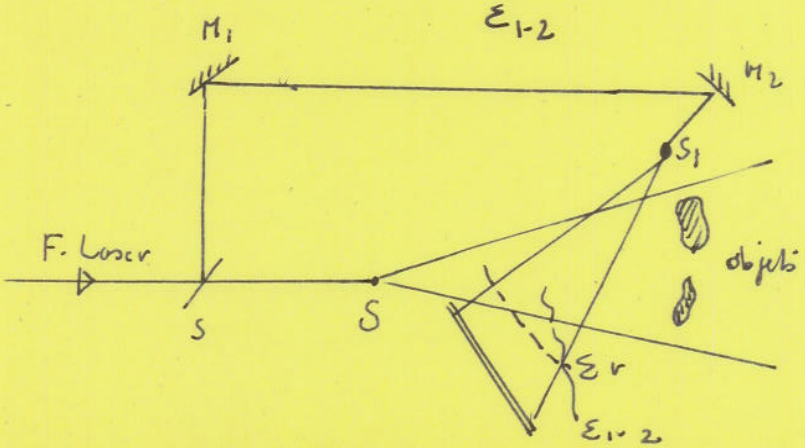
hologramme de Fourier





hologramme de Gabor





A N A L Y S E U R C O N V E R T I S S E U R

Description

- *TRANSMISSION D'INFORMATION DE TYPE HOLOGRAPHIQUE*
- *TRANSDUCTION LUMIERE COURANT*
- *R E S U M E*
- *CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMERIQUE*

CHAPITRE - V -

V - 1 - TRANSMISSION D'INFORMATION DE TYPE HOLOGRAPHIQUE

Nous savons déjà comment emmagasiner l'information détaillée de l'objet, plan ou tridimensionnel sur une émulsion photo (film-souple ou plaque...)

V-1-1 - Etude optique directe de l'empreinte

Nous prendrons un capteur qui transformera les informations lumineuses en électriques. Ces dernières seront, soit projetées pour lecture directe, soit utilisées dans notre chaine.
La première phase : projection directe.

Pour pouvoir contrôler le bon état d'une taille, nous proposerons de projeter sur un écran une vue de la dent. Un bon moyen pour pallier au problème de la multiplication du mouvement et du tremblement et de geler l'empreinte en hologramme, puis en deux dimensions, d'étudier la dent par projection. La lecture se ferait par un système classique sur un hologramme, donc, on pourrait éviter les vibrations du patient et parfaitement analyser notre dent 10 m sur 10.

L'observation faite, on pourrait enclencher le processus de sculpture, aux dimension de l'hologramme, car nous savons qu'aucune lentille n'agrandit en 3 dimensions mais seulement en deux. Nous proposerons dans des travaux ultérieurs une idée de conception.

V-I-2 - L'image ; ses caractéristiques

Avant de les définir, rappelons ce qu'est la télévision [285 - 286 - 288]. L'idée de T.V. date de 1.881.
Ce qui nous intéresse en premier est d'expliquer la T.V. achrome

V-1-2-1 - Télévision achrome

Il s'agit de décomposer l'image que l'on veut transmettre en un nombre aussi grand que possible de points élémentaires. (Zone minimale) et de mesurer la brillance de chacun de ces points. Lors de la retransmission, chaque point élémentaire sera replacé à une place similaire sur l'écran d'analyse. Le cinéma professionnel 35 mm a une définition de 1 Million de points élémentaires

Nous aurons donc une immense difficulté pour transmettre de manière simultanée tous ces éléments, aussi, les chercheurs ont proposé une analyse séquentielle de l'image et une restitution séquentielle.
Chaque image est explorée suivant des lignes horizontales successives (dessin n° 53 a) de haut en bas, soit de façon directe, soit par entrelaçage (dessin n° 53 b). Les dimensions minimales de ces points successifs sont évidemment déterminées par le moyen d'analyse utilisé, le pinceau électronique, le spot.
Des tops de synchronisation à chaque ligne et fins d'écrans, permettent de bien synchroniser l'analyse et la restitution (dessin n° 53 c)

V-1-2-2 - Canon à électron et tube analyseur

Grace à l'iconoscope de ZWORYKIN modifié par ROSINY, on peut balayer l'image à analyser par un faisceau d'électrons, la source en est une cathode. Le faisceau qui diverge rapidement (même surgie des électrons) est rassemblé par une lentille électronique, ceci par concentration et (ou) électromagnétique, la déviation volontaire du faisceau se fera essentiellement en électromagnétique (dessin 53d)

Dans notre expérience, nous utiliserons plutôt le rayon laser qui à l'avantage d'être plus fin

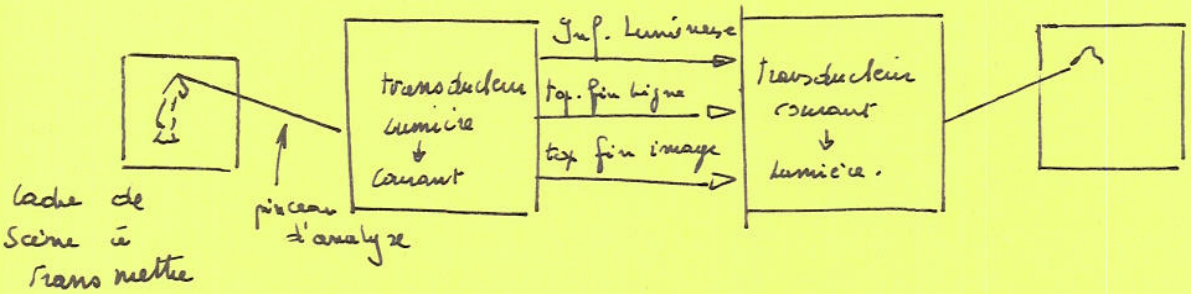
V-1-2-3 - Transmission utilisée

a) Au temps réel : elle correspond à un capteur transmettant le signal électif relatif à l'objet de façon à ce qu'au même moment, l'onde puisse être diffractée directement à partir d'une répartition d'amplitude et de phase liée au signal transmis. Le risque est la déformation ou le déplacement.



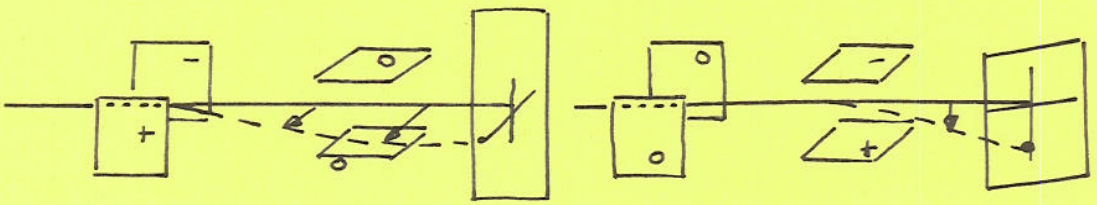
balayage à 3 ligne

(dessin 53a)

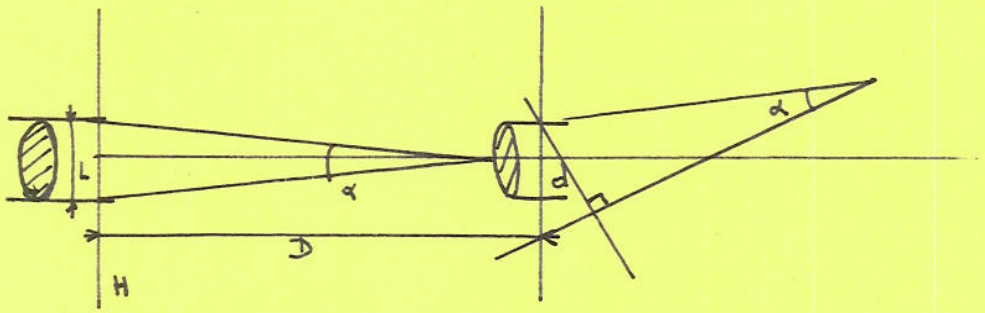


principe.

(dessin 53b)



(dessin 53c)



(dessin 53d)

b) Au temps différé : il y a un stade intermédiaire, puis réalisation de l'hologramme, enfin réanalyse de ce dit hologramme.

J'appelerai le temps différé, réduit analyse par projection en deux dimensions
Le temps différé satisfait notre propre utilisation

V-1-2-4 - Exigence du système

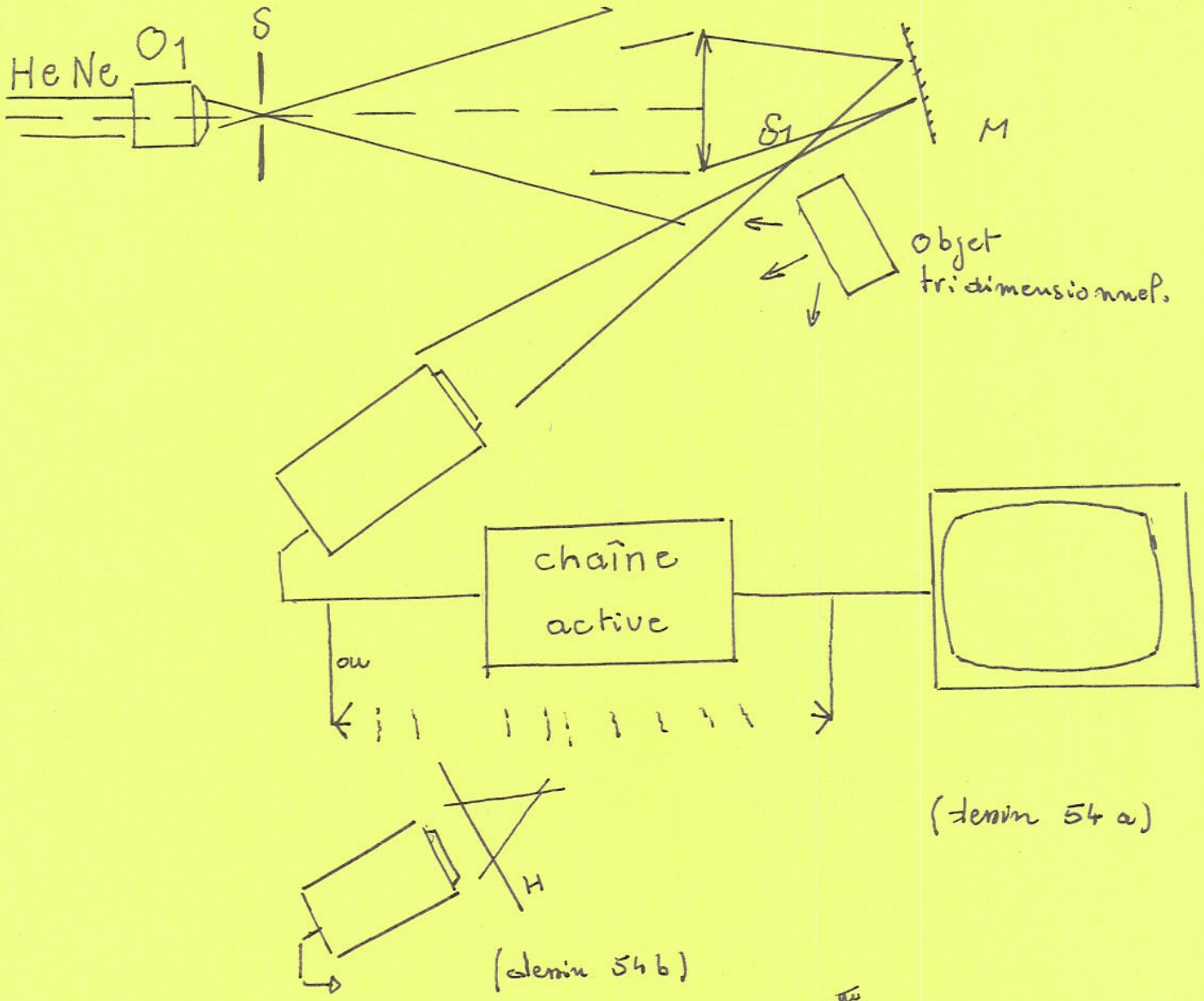
Un hologramme d'objet tridimensionnel a comme caractéristique la quantité considérable d'information qu'il contient [289]. Sur une plaque de 9 x 12 cm on arrive au chiffre de 10^{10} bits mis en mémoire (2410^4 élément horizontal) et (1810^4 élément vertical)

Notons que des émulsions photographiques (KODAK 649 F. AGFA 8 F.50) atteignent 2500 à 3000 mm^{-1} de résolution (exemple précédent 1000 mm^{-1}). Pour augmenter la précision, on peut monter le nombre de ligne à 20.000 voir même en spatiale à 40.000 lignes. C'est-à-dire 510^{-3}mm (5 μ) par ligne et on ne trahit pas notre précision. N'oublions pas que la succession 1/25e de seconde ne nous intéresse pas, le temps de balayer peut être très lent.

La définition de notre image dépend de l'angle, des faisceaux ξ_1 et ξ_2 et des dimensions de l'objet.
L'objet est tridimentionnel. Dans le plan P la fréquence spatiale est $\sqrt{} = 1/i$ est la plus petite interfrange $i = \frac{\lambda D}{d}$ et $\alpha = \frac{L}{D}$ donc $\sqrt{} = \frac{\alpha D}{\lambda L}$

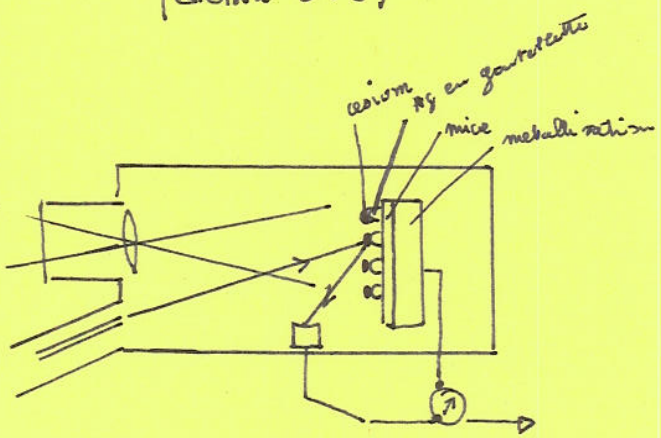
La fréquence spatiale des franges $\sqrt{}$ dépend à la fois de l'angle α (dessin 54 a) et de l'objet (d). La valeur limite est néanmoins fixée par la technologie de l'appareillage ; un compromis doit être trouvé entre les valeurs de d et de α ou encore entre celle de d et D. En pratique, on choisit notre objet, la valeur choisie de D est fixée par l'importance des flux .
(deux flux : référence et réfléchi)

Pour réduire la largeur de bande, des fréquences sont enregistrées sans perdre le déphasage des ondes restituées. Différentes méthodes ont été proposées [290] par la SFER.

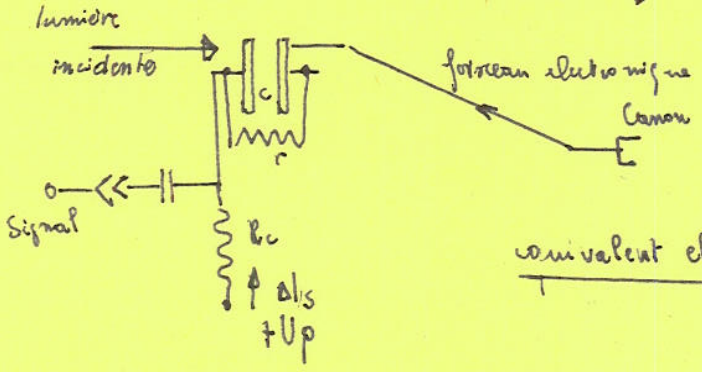


(dessin 54 a)

(dessin 54 b)



* Schéma de l'iconoscope de Zworykin



(dessin 54 c)

équivalent électrique.

Le Klystron réduit même la largeur de bande par rapport au laser (par un facteur 50.000 dans He Ne 6328 Å)

V-1-2-5 - Le niveau d'éclairement sur la photocathode

La fréquence de frange est liée à D qui est elle-même liée à un flux qui diminue considérablement avec D ($\frac{1}{D^2}$). Quelques fois, ce flux n'est pas suffisant, une amplification de luminescence peut être adjointe. Il agrandit la surface utile et la sensibilité dans le domaine d'utilisation.

V-1-3 - Transmission d'hologramme d'objet diffusant tridimensionnel

Exemple pratique que nous réaliserons

V-1-3-1 - Transmission réalisée à partir d'hologramme objet :

L'objet est éclairé par un laser hélium néon (ondes cohérentes sphériques 6328 Å) d'une puissance variable (10 m W ex) Une partie de l'onde est focalisée par un objectif (O_2). Un hologramme classique se forme dans le plan H où l'on dispose, pour la transmission d'une caméra de télévision.
On transmet avec un type analyseur (voir dessin 52)

V-1-3-2 - Transmission à partir d'un hologramme préalablement réalisé

Les expériences décrites jusqu'ici avaient la particularité d'être réalisées en temps réel. Une autre méthode, la nôtre, est de transmettre l'information d'un hologramme préalablement emmagasinée sur une émulsion photographique.

On réalise l'hologramme. Nous ne nous étendrons pas sur cette technique [291]

L'hologramme est éclairé à travers un diffusant, par une source de lumière cohérente ou non. Son image est formée à l'aide d'une optique sur la fenêtre du tube de la caméra.
Ce procédé nécessite du bon matériel et représente de nombreux avantages.

Les avantages sont :

1°/ - Un changement d'échelle de l'hologramme peut être effectué à l'aide de l'optique utilisée ; par exemple, un hologramme de résolution maximal 40 mm^{-1} peut être agrandi 2 fois afin de n'en transmettre qu'une partie.

2°/ - Le niveau d'éclairement peut-être adapté à la sensibilité de la couche du détecteur, un gain en résolution sera alors acquis.

3°/ - La longueur d'onde est choisie en fonction de la réponse spectrale de la couche photo sensible. Le rendement quantique étant alors amélioré

4°/ - On peut diminuer les parasites (phénomènes incohérents)

5°/ - Une adaptation de l'éclairement peut être faite en fonction du noircissement de l'hologramme

V - 2 - TRANSDUCTION - LUMIERE - COURANT

Tube analyseur

Au départ de la chaine se trouve un organe essentiel qui est ce tube analyseur. Son but est de transformer l'image optique placée dans son champ en une image électrique à partir de laquelle nous obtiendrons des signaux électriques que nous saurons manipuler, amplifier, utiliser pour moduler une onde porteuse par exemple.

V-2-1 - Effet photoélectrique

Trouvé par BECQUEREL en 1839. Disons qu'aujourd'hui nous ne faisons plus appel à l'effet voltaïque mais à l'effet photoémissif ou photoconducteur. On sélectionne le matériau présentant le pouvoir émissif le plus élevé suivant la longueur d'onde (6396 Å pour nous) utilisée

Le système de COREY consistait à utiliser une infinie quantité de cellules photoélectriques. Il est plus simple d'utiliser un tube analyseur à électron...

Une Surface constitué de matériau diélectrique (dessin n° 54): sur du mica, on vaporise de fines gouttelettes d'argent sur lesquelles on met une fine couche de césium. Chaque gouttelette se compare à une minuscule cathode photoélectrique.
Donc, si on envoie une information photonique à analyser, chaque gouttelette élémentaire de cette mosaïque va émettre un nombre plus ou moins grand d'électrons, en fonction de l'éclairement du point de l'image qui lui correspond. Le matériau transforme les gouttelettes en microcondensateurs plus ou moins chargés. Un faisceau électronique analysera le déchargement de chaque gouttelette, c'est le signal vidéo.

Plus l'énergie collectée est élevée, plus la charge du condensateur est positive.

Or, pour revenir à une charge nulle, le faisceau d'électrons qu'il rencontrera sera plus ou moins absorbé et à cette absorption, correspondra une variation de tension entre
la plaque support des gouttelettes et le faisceau réfléchi
(l'anode collectrice)
(voir dessin n° 54) : schéma du tube ionoscope de ZWORYKIN

Cette variation de tension est le signal vidéo fréquence.
De ces mêmes principes sont tirés des améliorations ionoscope image et photicon

V-2-2 - Tube dissecteur de FARNSWORTH

Il n'y a pas de caisson électronique. Un matériau photoémissif est placé après l'objectif et les électrons en sortant sont amplifiés.
D'où l'avantage : suppression d'effet secondaire, mais besoin d'un éclairage puissant.

V-2-3 - Orthicon (analyse lente)

Les électrons sont très ralentis au moment de leur impact sur la cible. Le signal vidéo est ici constitué par des courants successifs de décharge au passage du faisceau, des potentiels positifs formés

aux différents points des gouttelettes (mosaïque) sous l'action de la lumière incidente.

Le tube "image orthicon" échappe au défaut des autres tubes et à ceux du tube "orthicon". Ce sont les électrons du faisceau qui n'ont pas été captés par la cible et qui ont rebroussé chemin vers la dernière anode d'accélération qui vont être exploités. La sensibilité d'un tel système est remarquable (même 10^{-3} lux)

V-2-4 - Effet photoconducteur Vidicon et plumbicon

On utilise la photoconductibilité mais pas la photoémissivité. Il se présente sous la forme d'un cylindre de verre dont une extrémité en verre optique porte la cible photoconductrice

A l'autre extrémité se trouve un canon électronique dont le faisceau est focalisé et dévié par des bobines disposées autour du corps Vidicon. La pla signal est portée à un potentiel positif (10 à 30 v) par rapport à la cathode du canon.

" L'image optique est focalisée sur une couche photoconductrice, la conductivité de chaque point de cette dernière variant avec l'intensité lumineuse reçue ; les charges positives appliquées à la plaque du signal diffusent plus ou moins rapidement à travers la couche, en sorte que l'on obtient sur la face arrière de la cible un relief de charge positive constituant bien une image électrique fidèle reflet de l'image optique projetée.
Lors du passage du faisceau analysateur, chaque point de la cible captera la quantité d'électrons nécessaires pour ramener son potentiel à celui de la cathode du canon. Les électrons excédentaires sont repoussés et captés par une grille de récupération. Les divers courants, correspondants aux apports d'électrons du faisceau qui annulent les charges positives de la cible, traversent la résistance de charge placée dans le circuit de la plaque de signal et créent à ses bornes des variations de potentiel ou signal vidéo "

Un grand intérêt est son utilisation comme tube mémoire, car il conserve longtemps son information imprimée sur la cible.

Le plubicon (base de plomb) est l'aboutissement de la finesse et de la précision. On a une couche de 10 à 20 µ avec dessus des aiguillettes de 0,1 à 1 µ, ce qui, évidemment assure une excellente définition et permet d'étendre son utilisation dans l'infrarouge.

V - 3 - R E S U M E

D'une image, nous obtenons une tension. Cette image (hologramme) se caractérise par un nombre considérable d'informations 10^{10} par 10 cm2. Donc, le nombre de lignes d'analyse devra dégager une précision maximum. Pour analyser 10^{10} unités pour 10 cm3, il faut au moins un balayage de 20.000 lignes, c'est à dire, 10 µ de précision pour 10 cm2, ceci est énorme et très précis.
C'est réalisable si nous considérons que le balayage de 1/25 ne nous intéresse pas. Donc, la précision à ce niveau sera 5 à 10 µm sur l'empreinte faite.

V - 4 - CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMERIQUE

V-4-1 - Convertisseur de signaux électriques

On pourrait parfaitement court-circuiter ce convertisseur et travailler en tension, c'est-à-dire garder la valeur électrique pour alimenter notre machine-outil. Ceci a le gros inconvénient de réduire considérablement notre champ d'application ; d'autre part, la transmission de l'information à un ordinateur commun à plusieurs analyseurs mineurs permet d'exclure le prix de l'ordinateur de l'ensemble.
Le nombre de chiffres significatifs lus de la tension, correspondra à la précision, donc, notre but sera d'arriver à une variation de tension correspondant à une distance d = 5µm, ce qui paraît difficile actuellement (actuellement je dis bien). Etant donné que certains tubes analyseurs arrivent à 10^{-5} lux, l'espoir est permis.

On sait que l'expansion numérique peut être formulée suivant divers systèmes de numération. Le système décimal est celui que nous utilisons ; pour des raisons techniques, les machines utilisent le système binaire pour les traitements internes et le décimal codé binaire (D C B) pour les communications avec l'homme.

963 = 1111 00 00 11 (binaire)

1 00 1 0 11 000 11 (D C B)

V-4-2 - Méthodes utilisées (dessin n° 54)

V-4-2-1 - Méthodes par balayage successif

A l'instant zéro, le visualisateur V est remis à zéro. Un générateur G élaborant une tension croissant linéairement avec le temps est mis en route ; un oscillateur ch commence à envoyer des impulsions régulièrement espacées dans un totalisateur T. L'amplitude du signal d'entrée S E est alors composée avec celle croissante émise par le générateur G ; tant qu'elle est supérieure, les choses continuent. Au moment où la tension croissante devient égale à S E, le comparateur C émet une impulsion qui fige l'envoi d'impulsion dans T. On lit alors le nombre d'impulsions emmagasinées, qui donne le temps de croissance de la tension de balayage, d'où l'on déduit l'amplitude inconnue.

Le totalisateur est en fait une suite de bistables qui ont pris des positions correspondantes aux nombres emmagasinés ; en explorant ces bistables on obtient la représentation numérique de la tension inconnue.

V-4-2-2 - Méthode par intégration (dessin n° 54)

V-4-2-2-1 - Conversion, tension, fréquence :

Un amplificateur à seuil As forme l'alimentation d'un relai Rs lorsque la tension Vc appliquée à son entrée atteint une certaine valeur. Considérons maintenant le signal d'entrée S E qui à travers un amplificateur AE, charge un condensateur C à travers une résistance R ; on sait que lorsque l'on applique une tension

continue aux bornes d'un tel circuit RC, la tension aux bornes du condensateur croît exponentiellement avec le temps (d'autant plus vite que la tension appliquée est plus élevée).
La tension Vc atteindra d'autant plus rapidement le seuil de déclenchement de As que Se sera plus élevé. A ce moment le relais se ferme et décharge le condensateur obligeant le cycle à se répéter. La fréquence de répétition est proportionnelle à la tension inconnue. On la mesure à l'aide d'un fréquencemètre totalisateur ouvert pendant 1 seconde.

V-4-2-2-2 - Méthode de la double rampe

Le principe est identique, sauf que lors de la décharge, le condensateur est relié à une tension inverse (de polarité opposée).
On démontre que ce montage permet de compenser les dérivés des divers éléments de l'appareil et offre donc une précision améliorée.

V-4-2-3 - Méthode par approximation successive :

Un registre numérique à bistable contrôle par des interrupteurs un réseau de résistance qui délivre une tension Vi proportionnelle au code affiché dans le registre. Un compensateur précis compare cette tension Vi au signal analogique à convertir E.
Chaque rang de code est essayé successivement en commençant par exemple, par le poids fort. Si $Vi > E$ on inscrit 0 et on passe au rang suivant. Si $Vi \leq E$ on inscrit 1 puis on retranche de la tension d'entrée, la tension de référence avant de passer au cycle suivant.

Ce processus permet d'engendrer successivement tous les bits du nombre représentatif du signal d'entrée dans le code choisi

V-4-3 - Conclusion chapitres IV et V

Dans le chaptire IV nous démontrons que le seul moyen de prendre un objet en trois dimensions sur une plaque en deux dimensions est d'avoir recours à l'interférence, la diffusion et la diffraction. Nous montrons comment la découverte de DENIS GABOR avec l'hologramme, nous permet de geler ces 3 dimensions en 2 et nous donnons

une source de démonstration mathématique du fait (DENIS YUNK). Nous expliquons ainsi où est l'intérêt du laser dans l'invention de GABOR et qu'elles sont les différentes possibilités. Nous proposons un nouvel hologramme que nous étudierons

Donc pour geler notre empreinte en 2 dimensions en perdant l'inconvénient du micro-palpeur et, en gagnant beaucoup de temps, nous utiliserons l'hologramme (temps différé) ou la caméra de télévision (temps réel)

Nous devrons donc, maintenant expliquer comment nous étudions et surtout, reconstituons les distances avec les interférences contenues dans la pièce holographique.

" La plaque photographique constituant un hologramme ne comporte que des variations de noircissement et il n'y a pas de raison pour qu'on ne puisse pas les reproduire artificiellement. Grace à l'ordinateur, on calcule l'amplitude émise par un objet fictif dans un plan quelconque. On lui ajoute une amplitude auxiliaire qui joue le rôle de l'amplitude produite par l'onde cohérente. L'ordinateur calcule l'intensité résultante : une imprimante liée à l'ordinateur reproduit sur une feuille de papier ces variations d'intensité. Il n'y a plus qu'à en prendre une photographie convenablement réduite pour obtenir un véritable hologramme. On peut ainsi reconstituer en trois dimensions des objets qui n'ont pas d'existence réelle " [297]

Dans le chapitre V nous obtenons une tension précise à 5 µ de séparation (X Y) pour un balayage de 20.000 lignes sur 10 cm2. Le but est d'avoir une définition d'éclairement permettant de séparer une profondeur de 5 µ ($d - d' = 5\ \mu$) Cette tension est alors traduite en système binaire par un convertisseur de type double, rampe rapide par exemple. En effet, pour ne pas retarder le processus de lecture il serait bon que la lecture de l'unité élémentaire de surface ne dépasse pas $1\ 10^{-5}$ seconde, ce qui est rapide semble t-il ! Ceci permettrait une analyse en quelques minutes à 5 µ près.

L'analyse de notre image peut être comparée maintenant en une succession de lignes qui couperaient 20.000 fois l'objet. Chaque nombre ou bits sera (de la tension), la distance d'un point considéré de l'objet à l'hologramme. Cette information va être analysée et transformée par l'ordinateur.

O R D I N A T E U R

- PERIPHERIQUES DES ORDINATEURS
- SOLTWARE
- ORDINATEUR

CHAPITRE - VI -

Les informations liées au balayage de l'empreinte et transcrites sous forme codée seront envoyées par terminal (par exemple) à l'ordinateur pour des raisons de sécurité des constantes. On peut parfaitement admettre une simple utilisation sous forme de tension électrique, c'est-à-dire sous forme V avant le convertisseur et manier cette information pour ensuite faire fonctionner la machine sans convertisseur analogique numérique ; mais étant donné que nous avons un grand nombre de modification à faire intervenir les risques d'imprécision seraient très ennuyeux sur 15 ou 20 manipulations successives on augmenterait certainement beaucoup l'imprécision d'intensité ΔU. Par contre en convertissant immédiatement sous forme numérique, l'erreur ΔU se fera qu'une seule fois
Le seul inconvénient de cette idée est que le prix peut s'élever considérablement.

VI - 1 - LES PERIPHERIQUES

Si l'on compare l'ordinateur à un cerveau, les périphériques sont les organes sensitomoteurs périphériques (recepteurs et effecteurs)

VI-1-1 - Les canaux

Reliant l'unité centrale de l'ordinateur aux périphériques, ils peuvent être canaux sélecteurs (grand nombre d'informations mais liées à un seul périphérique) ou multiplexes (petites informations à gèrer comme carte, bande, ceci fonction du temps 10^{-6}s (information). Un canal d'accès direct permet de lier des informations stockées sur disque ou tambour sans transit par l'unité centrale (voir dessin 55 a). L'unité de contrôle sur un canal lié à un périphérique a pour rôle de synchroniser les opérations d'entrée et de sortie avec la poursuite du traitement (vérifie code, décode, ordonne les informations des périphériques)
Notons que le canal à plusieurs unités de contrôle sous ses "ordres"

VI--1-2 -- Périphériques

VI--1-2-1 - Type lent ou type rapide

Dans les types lents, on note les cartes (là, par balayage ou cellule photoélectrique) sur 80 colonnes et dont la lecture est de 1000/ mm par exemple.

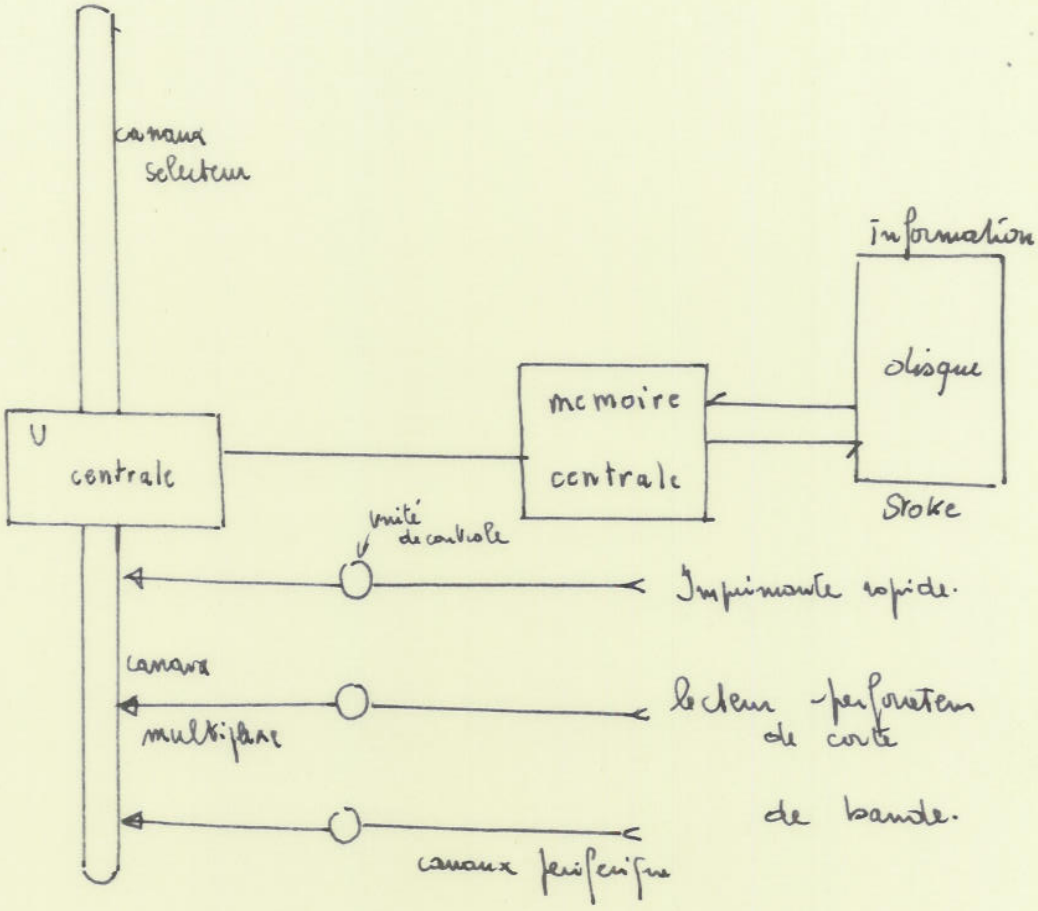
Les perforateurs de cartes sont des récepteurs d'information et reçoivent les informations de l'unité centrale. La vérification des perforations est immédiate (voir dessin n° 55 b)

Les rubans perforés sont basés sur le même principe (6 à 8 perforations sur une largeur de 3 cm)
Les imprimantes sont des machines réceptives d'information qui permettent de transcrire sur papier les résultats du traitement effectué dans l'unité centrale. (voir dessin n° 56 a)

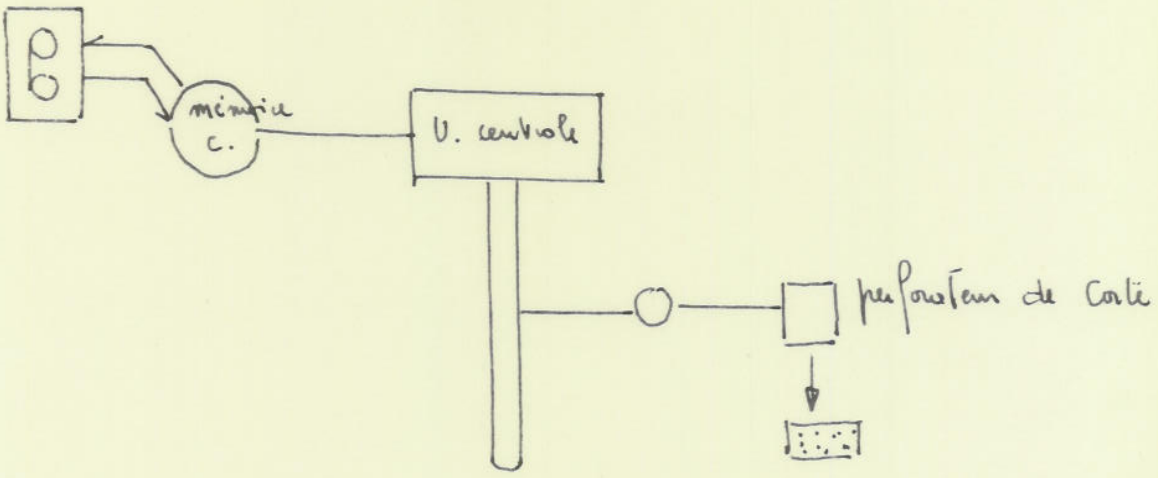
VI-1-2-2 - les perforateurs rapides (bandes magnétiques, disques ou tambour) permettent de stocker les informations qui ne sont pas constamment utilisés (fichier et programmes). Les dérouleurs de bandes magnétiques lisent et inscrivent sur ces bandes.

Comme sur une bande perforée, les informations enregistrées sont lues sur des pistes longitudinales : deux types, 7 ou 9 pistes (7 ou 9 moments magnétiques). Il y a deux modes d'enregistrement NRZI et modulation de phase. Dans le premier, l'inversion de flux se traduit par un bit 1 et l'absence par un bit 0. Dans le second, les bits 1 et 0, sont enregistrés par inversion de flux. Cela donne de 1900 à 6000 bits par pouce, donc par seconde, le nombre de transferts d'information serait de 30.000 à 640.000 caractères par seconde. Le disque permet une lecture plus rapide que la bande magnétique. Le tambour est lui-même très intéressant.

Notons que l'on appelle périphériques compatibles les "plug to plug", c'est-à-dire des périphériques vendus à bas prix et pouvant fonctionner sur n'importe quelle unité. (voir dessin 56 b)



Ordinateur (dessin 55a)



périphérique Ordinateur (dessin 55b)

VI - 2 - S O F T W A R E

Ce sont les programmes de l'ordinateur

VI - 3 - L'ORDINATEUR

C'est très schématiquement l'outil principal. Une machine capable d'accepter des informations, sous forme codée, de leur appliquer certaines transformations, définies par un programme et de produire des résultats sous forme codée.

VI-3-1 - La présentation des informations

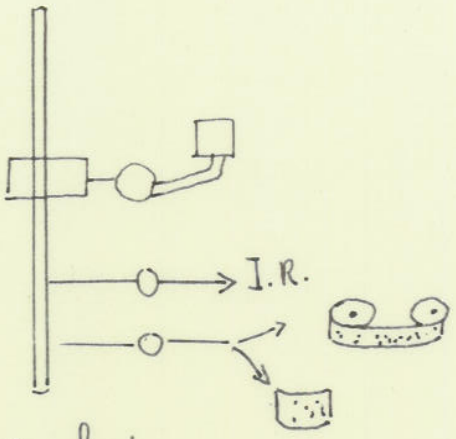
Elle se fait par des symboles conformes à la lecture de la machine. Les supports étant les cartes, vu précédemment ; Les données seront transcrites à l'ordinateur sous forme de tension électrique. L'absence de passage dans le trou de la carte empêche la mise en route d'un circuit précis. L'état donc du tout ou rien ne peut se faire que sous forme binaire, système arithmétique de base 2

VI-3-2 - Fonction mémoires

L'organe fondamental d'un ordinateur où s'effectuent des calculs porte le nom d'unité centrale.

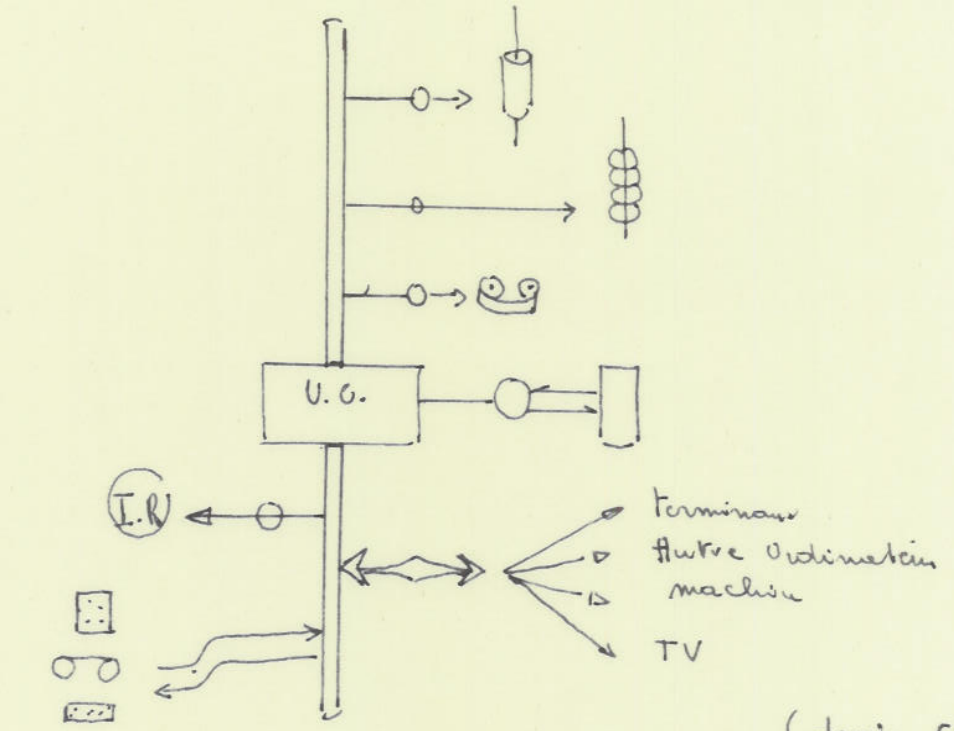
Avant d'être traitées par l'ordinateur, toutes les données doivent être mises en mémoire (la capacité varie d'une dizaine de milliers à quelques millions de caractères). Chaque position de mémoire est fichée dans l'ordinateur. Les mémoires auxiliaires ne sont en contact avec l'extérieur qu'en passant par la mémoire centrale. (voir dessin 56 c)

Le temps d'accès est le temps pour sortir l'information en mémoire, le principe de la lecture dans l'organe de l'ordinateur est celui du tore magnétique traversé par deux conducteurs



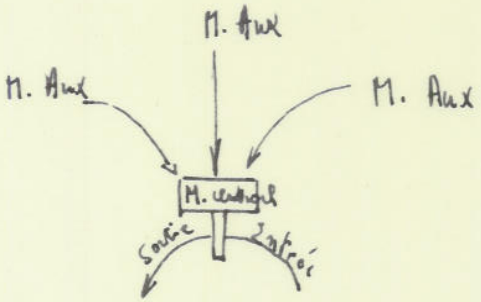
périphérique à type lent.

(dessin 55 a)

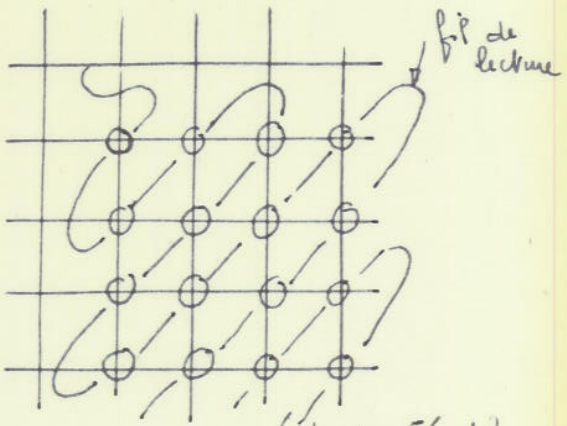


(dessin 55 b)

fonction mémoire.



principe. (dessin 56 c)



(dessin 56 d)

lecture

portant chacun la demie intensité de bascule de la polarité. Seuls les tores portant les deux intensités produisent une inversion tout ou rien (1 ou 0) (voir dessin n° 56 d)

L'ensemble des bits correspondant à un caractère alphanumérique codé ou à un mot, est disposé sur une même verticale.

VI-3-3 - L'unité centrale

Les fonctions de l'unité de l'ordinateur sont : Et, Ou et Non
L'une des fonctions principales est d'aller chercher en mémoire les facteurs sur lesquels s'effectuera l'opération. On fournit donc à la machine l'opération et l'adresse où la trouver. L'ensemble nécessaire pour mener à bien une série d'opérations données, constitue un programme.

Les programmes sont présentés aux circuits de la machine sous forme d'informations codées qui sont placées en mémoire. L'unité de traitement ira chercher en mémoire centrale une à une les instructions du programme. Les mémoires peuvent être d'abord placées en mémoire auxiliaire (disque bande) et changées progessivement en mémoire centrale.

Tout processus peut donc être mis en mémoire et codé. Le passage d'un travail à un autre se réduit à un changement de programme dans la mémoire.

VI-3-4 - Analyse et programmes

Il faut donc, avant d'analyser une information, que l'ordinateur ait reçu les instructions sous forme de programme lui-même enregistré dans les mémoires.

Les phases sont :
1°/ - Enregistrement du programme
2°/ - Enregistrement de l'information à traiter
3°/ - Calcul
4°/ - Restitution des résultats

VI-3-4-1 - Programmation

Le programme interprèté par un ordinateur sera l'algorithme des opérations conduisant au résultat.

Pour communiquer les ordres de travail à l'ordinateur, on utilise des langages de programmation généraux, ce qui nous permet de nous approcher de la formulation mathématique (FORTRAN, ALGOL et pour gestion COBOL et PL1 chez I.B.M.)

Il est à noter qu'une semaine de travail suffit à analyser un langage comme FORTRAN ; donc, la mise en programme est réalisable par tous.

VI-3-4-2 - Les compilateurs

Les instructions traduites en langage évolué servent de base de données aux compilateurs qui les traduisent en langage assembleurs
1°/ - reconnaissance du mot clef
2°/ - analyse syntaxique des instructions
3°/ - établissement des tables des variables
qui serviraient à stocker les valeurs évolutives ou définitives

Le résultat est l'obtention d'un langage assembleur du programme de l'utilisateur sous forme de listes comprenant des langages symboliques induisant les adresses des variables et la géographie de la mémoire ou des diagnostics d'erreurs.

Souvent, il y a plusieurs programmes symboliques compilés séparément, assemblés puis enchainés une fois mis au point.

Avantages : - écriture rapide
- réduction des erreurs d'écriture
- diagnostic facilitant les mises au point
- présentation d'un programme simple
- exploitation par différents matériels
- modifcation ou extension possible

VI-3-4-3 - Analyse

C'est l'ensemble des études qui nous permettent de traiter l'information

VI-3-5 - Notre méthode (voir dessin 57)

VI-3-5-1 - Programme

Nous devons avoir en mémoire (voir dernier chapitre)

- Dents typiques (enregistrées en bits)
  Il y aura donc 32 dents permanentes et 20 dents temporaires idéales et théoriques

- Types de couronnes utilisées
  Même information mais avec la forme idéale de la coiffe céramique par exemple ou d'une couronne avec trous ou ancrages pour attachement

- Métal utilisé
  Entrée : directe
  élasticibilité
  usure de ce métal dans la salive

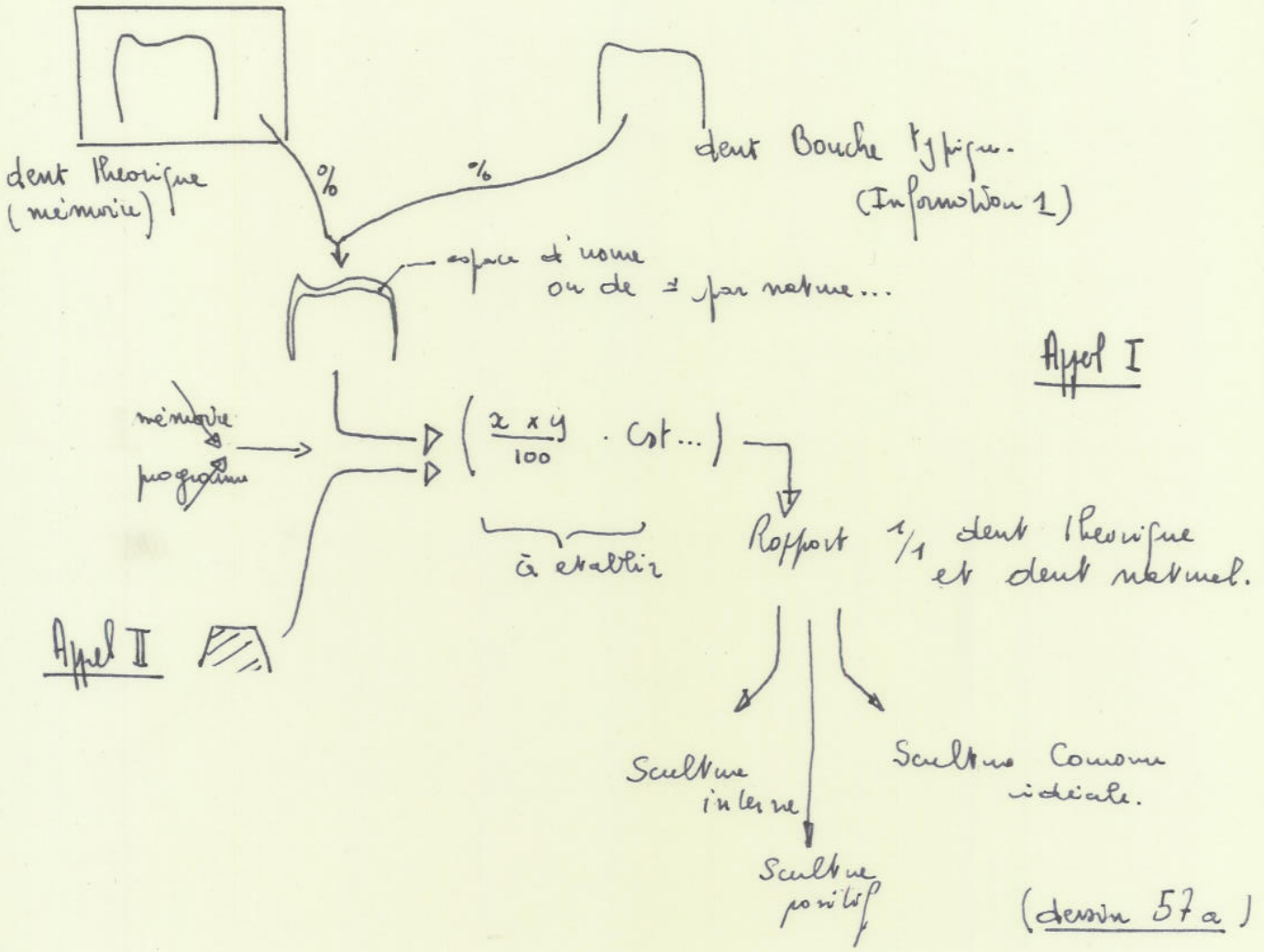
Ceci pourra être, par exemple, enregistré sous forme de bits sur disques

VI-3-5-2 - Opération (voir dessin n° 57 a)

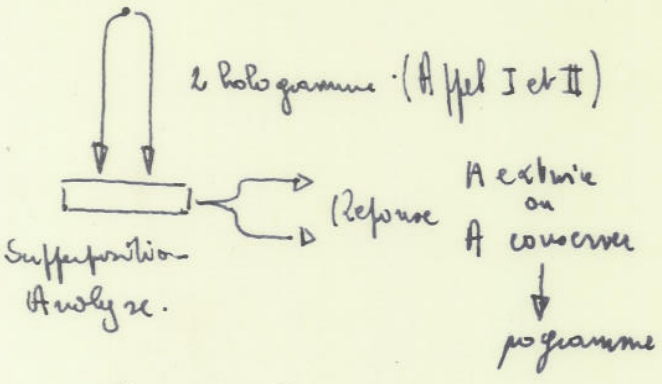
VI-3-5-2-1 - Sculpture de l'extérieur

- l'information 1 : on fera entrer une dent ou même X dents typiques dans la bouche analysée. L'ordinateur fera la différence entre les dents théoriques et les dents présentes, que l'on donne en information et celui-ci établira ainsi l'usure relative moyenne des cuspides... Cette valeur sera mise en mémoire non définitive (voir dessin n° 57 a)

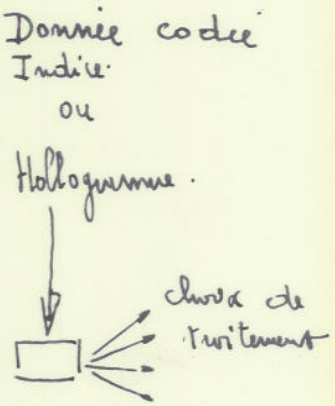
- l'information 2 : on analysera et, compte tenu de règles établies l'ordinateur adaptera la dent théorique au volume du mâgnon de la dent à couronner.



(dessin 57 a)



Prothèse.



ODF

(dessin 57 b et c)

- *Analyse :*

  Avant de sculpter la dent, l'ordinateur réduira ses données théoriques en suivant le programme

  . 1 dent théorique réduite aux dimensions réelles

  . 1 réduction (1) enregistrée de la comparaison information n° 1

  . 2 réduction (2) si présence antogoniste de métal ou dent naturelle

  . 3 réduction (3) par facteur choisi (mobilité... déchaussement)

  . 4 réduction (4) pour couronnes choisies (céramiques ...)

- *Sortie :*

  . 5 expension compte-tenu de l'usure pour matière en métal

La dent qui sortira sera donc une dent théorique modifiée par ce que la nature aura crée avec le t emps et par ce que l'on veut.

VI-3-5-2-2 - Sculpture de l'intérieur

L'analyse information 2 sans modification donnera une sculpture de l'empreinte, puis en sculptant l'intérieur de la couronne on pourra augmenter nos données d'une manière théorique en permettant ainsi le passage du ciment choisi.

VI-3-6 - Terminal

On peut ne pas penser qu'un individu aura chez lui un ordinateur aussi, une bonne solution est l'utilisation du terminal

VI-3-6-1 - Il y a trois grandes catégories de terminaux

- *Les terminaux de saisie des données : il envoie seulement des données*
- *Les terminaux d'information : on envoie des questions pour recevoir une information*
- *Les terminaux dialogues hommes - machine : on frappe sur une machine pour envoyer un code permettant d'appeler un programme déterminé puis on envoie notre information. L'ordinateur nous la restitue*

VI-3-6-2 - Note cas

On codera : 1) - appel donne réponse : j'écoute

2) - on introduit la dent typique de la bouche choisie

mettons l'exemple : information 1 { 12 / 8 / 5 }

ensuite :

3) ordinateur : modification faite

4) nous : information 2 (mâgnon à couronne)

5) programme : introduit

ce qui donne 6) sortie : (1) positif

temps mort

(2) sculpture interne modification faite

temps mort

(3) sculpture externe théorique

VI-3-6-3 - Données théorique

(1) On voit en ordonnée les différents temps de l'opération

L'information 1 puis l'information 2 plus programme

(2) Autres choix (directs)

ici on a, soit :

ODF données théoriques mises en mémoire,

on envoie nos données pratiques (angle...) d'où terminal question (dessin 57 c)

PARO idem (dessin 57 b)

VI-3-6-4 - Résumé

(dessin 58)

Nos données sont donc apportées par :

- le choix d'un programme
- l'exemple de dents types de la bouche (égale information)
- L'envoi du mâgnon taillé (information 2)

En retour, l'ordinateur nous renverra une taille

- d'un positif

- de l'intérieur de la couronne
- de la couronne

Le stockage de l'empreinte est facile et la répétition indéfinie sans modification de sculpture

Il restera à ne pas oublier que si l'ordinateur choisit librement l'endroit où il commencera à sculpter la pièce en l'occurence la couronne on devra l'orienter précisément en trois dimensions pour ne pas avoir de décollage ; pour cela il suffit de faire coincider sur l'hologramme notre empreinte sculptée avec sa photo, ce qui est très facile (vérification de pièce)

L'emploi du terminal justifierait pour nous son utilisation aussi bien en ODF qu'en paradontologie pour autre chose que dans un single but d'information

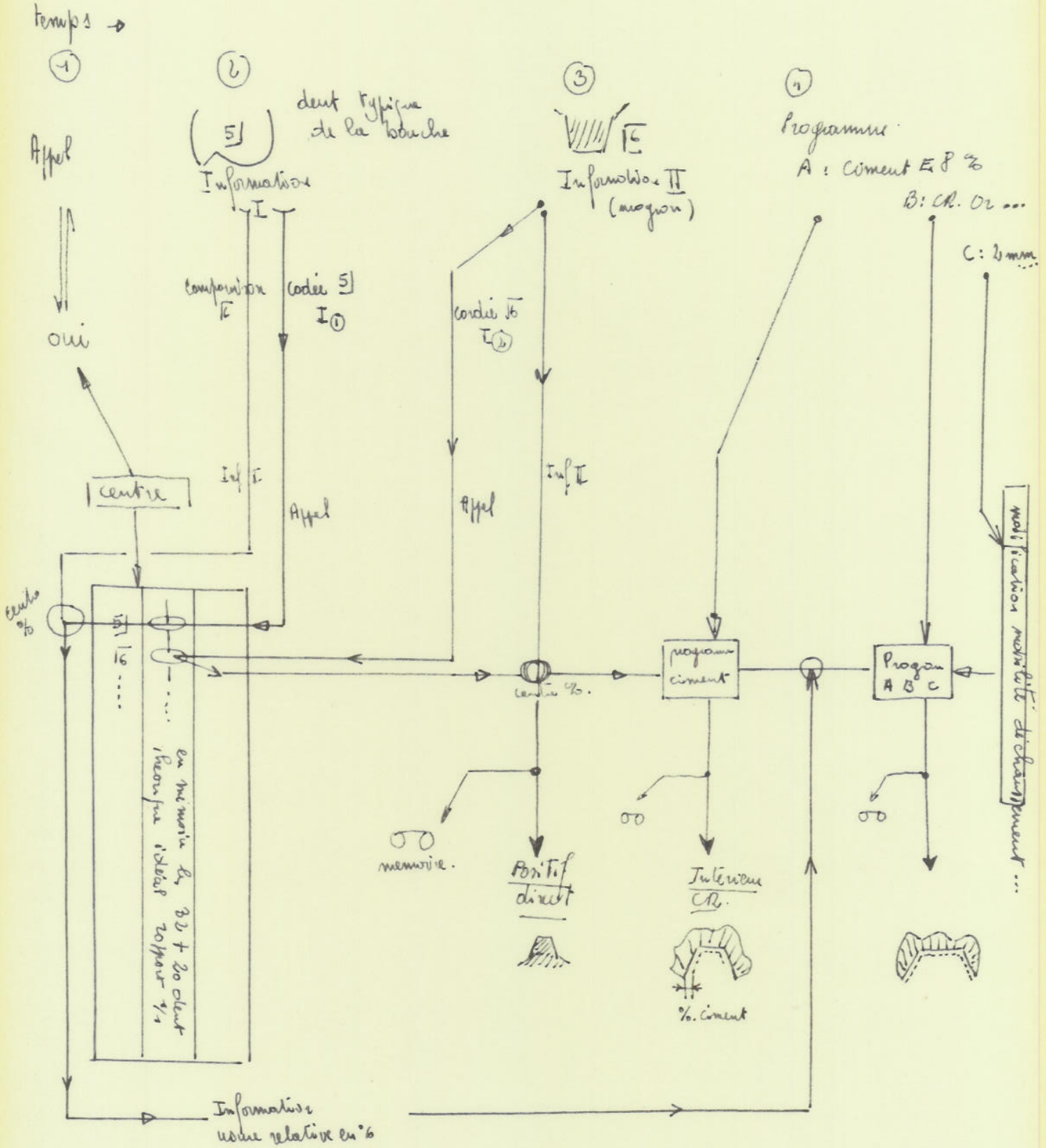


schéma d'induction d'une couronne de 16

(dessin 58)

COMMANDE NUMERIQUE DES MACHINES OUTILS

- ORGANISATION DE COMMANDE NUMERIQUE
- DIFFERENTES COMMANDES NUMERIQUES
- TRANSMISSION DES INFORMATIONS
- METHODE DE MESURE NUMERIQUE DE DEPLACEMENT
- FONCTIONNEMENT DE MACHINES OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE
- ETUDE DE MACHINES OUTILS EN MISE EN POSITION CONTINUE
- CONCLUSION
- RESUME

CHAPITRE - VII -

Définition :

La commande numérique est un procèdé d'automatisation permettant de conduire un organe mécanique mobile à une position déterminée par un ordre, cette position peut, suivant les cas, être obtenue par un déplacement de type linéaire ou angulaire selon les degrés de liberté du mobile ; l'ordre est délivré sous la forme de coordonnées numériques cartésiennes ou polaires
On a toujours un procèdé point par point mais en rapprochant, compte tenu de la précision de la machine, l'action sera continue.

Le procèdé de commande numérique peut être utilisé pour déplacer n'importe quelle sorte d'organes mécaniques animés par un moteur.

On peut dire aujourd'hui que 30 % des machines à usiner sont en commande numérique (perceuse)
Une telle commande permet la production en petite et surtout grande série avec plus de souplesse qu'une commande manuelle, surtout sur les petites machines.

VII - 1 - ORGANIGRAMME D'UNE COMMANDE NUMERIQUE

L'organe mobile comporte autant d'axes de placement, (chacun par moteur) qu'il possède de degrés de liberté.
Chacun des moteurs constitue l'organe terminal d'une des positions.
Le principe du cerveau commande est le suivant :

- *On compare à tout instant la position à l'ordre et le signal de commande délivré au moteur en fonction. C'est l'écart entre ces positions qu'on appelle signal d'erreur. Il faut un "capteur de position".*

Les ordres sont issus d'une bande programme qui supporte la traduction, en langage machine, des cotes chiffrées portées sur le dessin de la pièce à usiner (pour nous les cotes de lecture holographique)

On a, enfin, un comparateur donnant le signal d'erreur et ce signal tendra, en agissant sur le moteur, à rattraper l'écart de position entre le signal et la position réelle.

Une machine à commande numérique comporte plusieurs axes de commande. Elle comporte le plus souvent autant d'axes que de cerveaux commande indépendants .

Il faut signaler l'existence de systèmes de mise en position d'une table X et Y dans laquelle une seule servocommande se trouve utilisée successivement pour mettre en position x et y, l'avantage est l'économie, l'inconvénient et la perte de temps.

Même s'il y a 2 à 6 axes de commande, la bande (lectrice) est unique. Elle supporte donc les ordres destinés aux divers servocommandes pour que chacun reçoive le sien. Il faut donc un bon aiguillage.

VII - 2 - DIFFERENTES COMMANDES NUMERIQUES

VII-2-1 - Introduction

Nous devons obtenir un profil continu, aussi nous nous attacherons à la commande continue.

Le guidage continu exige la commande coordonnée des différents axes de commande, de façon que le chemin parcouru passe par des points courants de la trajectoire théorique, suffisemment nombreux pour que l'on puisse être assuré que la trajectoire réelle ne s'en écarte jamais d'une distance supérieure à la tolérance. Il faut donc coordonner, en plus de la servocommande, un grand nombre de points de la trajectoire le long de laquelle le guide est mobile.

Les systèmes à programmation absolue sont ceux auxquels on délivre les ordres de mise en position sous forme de coordonnées de points qui représentent des destinations successives du mobile.

Les systèmes à programmation relative sont ceux auxquels on délivre les ordres de mise en position sous forme de composantes du déplacement à opérer, à partir d'une position occupée pour gagner la suivante.

- ordre absolu : $M_1 \nearrow M_2 \longrightarrow M_2 (x_2 y_2 z_2)$
- ordre relatif : $M_1 \nearrow M_2 \longrightarrow \begin{array}{l} \Delta x = x_2 - x_1 \\ \Delta y = y_2 - y_1 \\ \Delta z = z_2 - z_1 \end{array}$

Alors que dans la lecture on effectuait une conversion numérique, ici on effectue une conversion analogique (ou numérique/analogique)

VII-2-2 - Système de programmation absolue des ordres

VII-2-2-1 - Lecture absolue : les ordres de la position peuvent être analogique ou numérique suivant que la position est vérifiée en numérique (avec transcodeur) ou analogique.

VII-2-2-2 - Lecture absolue : les ordres sont relatifs au déplacement . Il n'est pas nécessaire de connaitre la position de l'objet il suffit d'intégrer son déplacement dans le temps (le capteur, dit "incrémental", se déclenche si un déplacement est X)

VII-2-3 - Programmation relative des ordres

Seul le système en boucle fermée (vérification) nous intéresse
Le système de servocommande à programmation absolue est le plus satisfaisant mais le plus coûteux.

VII - 3 - TRANSMISSION DES INFORMATIONS

Dans notre technique, la machine lit et prend note des informations puis elle exécute l'opération commandée conformément aux indications.

Les lectures de la machine après programmation se font par carton perforés ou bandes magnétiques.

On ne peut, avec un terminal, penser aux bandes perforées aussi nous nous tournons vers le magnétoscope et ses bande magnétique (magnétophone aussi). Une couche magnétique, oxyde ferromagnétique sur une bande (par induction électromagnétique sur un électro-aimant) renferme l'information. On peut accorder plus de 7 électro-aimants en lecture.

On peut lire sur une bande 50.000 à 10.000 lignes par seconde ; et la vitesse de lecture par elle la même que l'enregistrement.

Pour exécuter une information complète, la machine requiert davantage d'informations que celle d'une ligne de bande. L'ensemble des lignes forme en vérité un bloc d'information complète

- exemple : (perçage)	X	= 200.000	position de la table à la cote du trou
	Y	= 100.000	
	K	= 18	n° d'outil
	P		séquence de perçage
	Z_1	= 7. 000	cote d'arret d'avance rapide
	B_3		vitesse de broche
	A_4		vitesse d'avance
	Z_2	= 120.000	cote d'arret d'avance de travail
	END		Fin de bloc d'information

Généralement la machine explore en rafale toutes les informations, elle dispose simultanément ces informations dans un circuit de mémoire où elles seront, ensuite, reprises pour être traduites aux organes concernés.

VII - 4 - METHODE DE MESURE NUMERIQUE

Les méthodes sont pour les déplacements du chariot.

VII-4-1 - Relatives, incrémentales ou par comptage

Le mouvement du chariot dont on veut mesurer le déplacement, provoque l'envoi d'une information, toujours la même, chaque fois que ce déplacement atteint une valeur déterminée.

VII-4-2 - Méthode absolue ou par codage

Un certain nombre de positions est défini le long du déplacement du chariot, comme pour le 1er groupe, mais chacune de ces positions est définie en permanence par un code porté par un organe de mesure et lu par un dispositif solidaire du chariot. Donc, on a la position exacte par rapport à l'origine.

Dans tous ces systèmes, on trouve les capteurs rotatifs (photoélectrique) inductifs, capacitifs (ou à franges noires) mais il y à d'innombrables autres méthodes.

L'influence de la commande numérique explique pourquoi mon choix a été sur l'ordinateur. Elle s'exerce de deux façons, imposant certaines conditions aux machines outils et permettant un gain de temps opératcire.

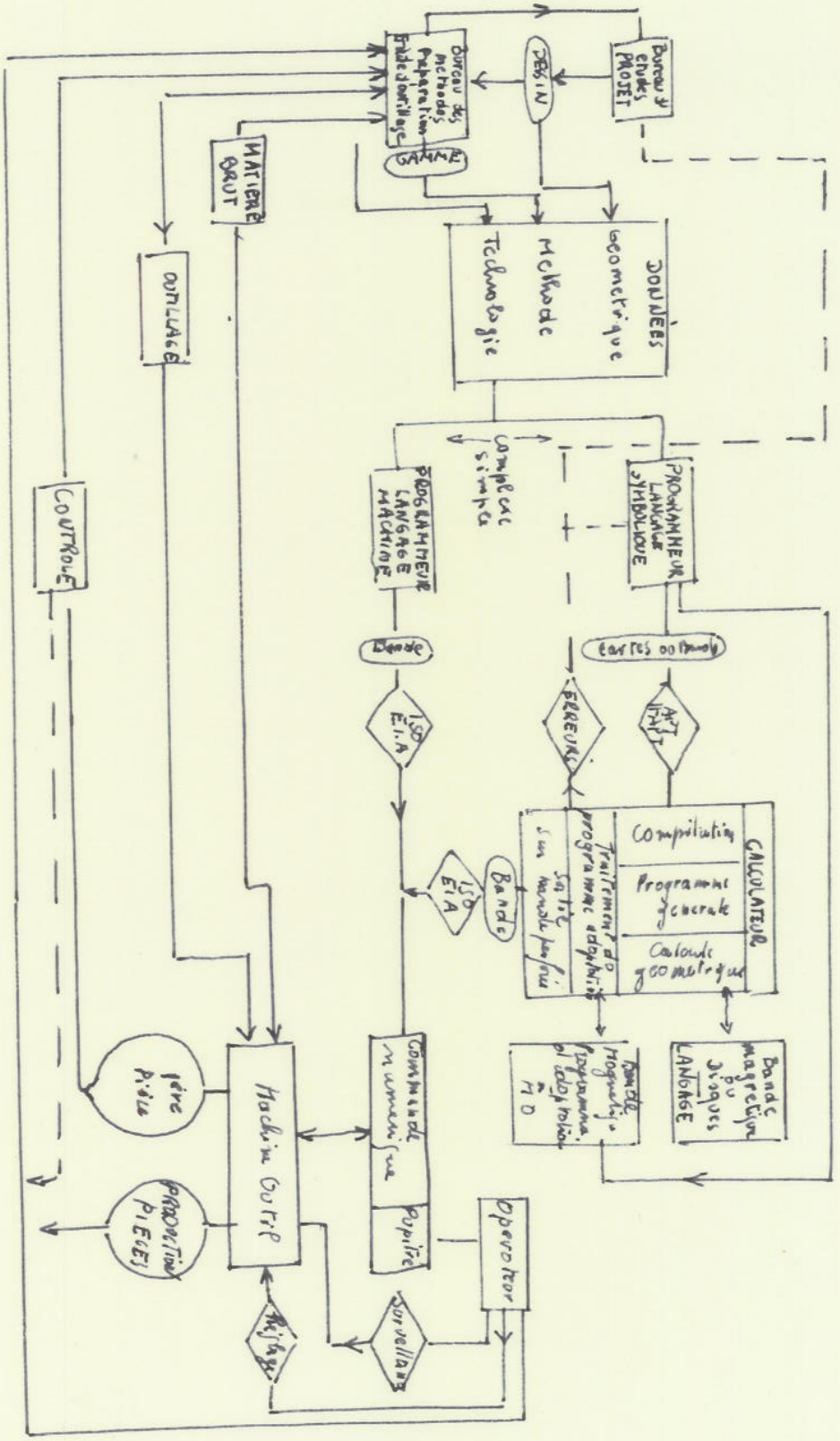
VII - 5 - FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE

(voir dessin n° 59)

VII - 6 - ETUDES DES MACHINES OUTILS A MISE EN POSITION CONTINUE

VII-6-1 - Système de commande

Les commandes successives de la machine ne se font que si l'ordre précédent a été correctement exécuté.
Ce système dépendant de l'action antérieure est dit séquentiel en opposition avec le programmé, dont le paramètre régissant l'état est indépendant du temps considéré. Il est défini par un programme permettant de communiquer à la machine les instructions nécessaires à l'exécution des diverses opérations (définies, donc de manière absolue sous forme enregistrée par exemple)



commande numérique de M. O.

[Bureau] (dessin 59)

VII-6-2 - Caractéristiques

Le système de positionnement continu présentent les caractéristiques suivantes :

- utilisation d'un grand nombre de données numériques
- mise en oeuvre d'une logique de commande à grande vitesse
- emploi d'organe d'action aux caractéristiques parfaitement linéaires
- coût plus élevé
- mise en contribution beaucoup plus importante de l'utilisateur dont les connaissances doivent être étendues (le prothèsiste se situera ici dans l'échelle de notre idée)
- on utilise plutôt des systèmes en bouche fermée

VII-6-3 - Le prothèsiste

Le rôle du prothèsiste sera de préparer la machine pour qu'elle exécute sainement l'opération, et le prothèsiste deviendra collecteur et programmeur d'informations, très spécialisé en machine outil et [illegible]. Son rôle sera aussi de faire les céramiques.

VII-6-4 - Processus de commande

VII-6-4-1 - Le manuscrit

- information de trajectoire
- autres informations d'usinage : vitesse de coupe
  vitesse de broche
  vitesse d'avance
  type de diamètre d'outil
  liquide d'arrosage

VII-6-4-2 Calcul de la trajectoire

Il peut être manuel ou automatique

- seul le 2ème cas est pour nous envisageable.

- La bande envoyée de notre ordinateur est enregistrée magnétiquement et transmise à un calculateur universel définissant les différents points de la trajectoire (nombre minimal des ordres ou des arcs de circonférence compatible avec la tolérance imposée et le fini désiré) de l'usure de l'outil et des défauts de ligne . Enfin, sur une bande à la sortie du convertisseur on aura des instructions concernant les avances vitesses de translation, ou la machoire doit s'arrêter. Comme la trajectoire sera complexe on devra lui substituer des courbes empiriques tenant compte de la précision requise et du fini demandé ; ce qui conduira à définir des centaines, voir des milliersde petits fragments approchant la trajectoire théorique et nécessitant l'enregistrement d'un nombre comparable de blocs d'information

VII-6-4-3 - Calcul d'interpolation

Les informations enregistrées sur la bande correspondent à une suite directe de points dont la juxtaposition définit un contour polygonal inscrit dans la trajectoire réelle ; or nous devons avoir un contour continu d'où interpolation
Les calculateurs sont des interpolateurs

VII-6-4-4 - Enregistrement des informations

Il se présente sous plusieurs trains d'impulsions incrémentales élaborés simultanément, chaque tissu correspondant à un axe différent et comportant, pendant un intervalle de temps donné, autant d'impulsions que le déplacement dans la direction considérée comporte le pas élémentaire. Devant l'abondance, on prend les bandes magnétiques.

L'interpolateur n'est pas à avoir chez soi, mais au centre spécialisé.

VII-6-4-5 - Commande de la machine

Les signaux de type incrémental sont appliqués pour chaque axe à un comparateur de position par comparaison avec la position effectivement occupée par l'outil et transmise au

moyen d'un capteur approprié. Le comparateur élabore un signal d'erreur qui, après amplification est utilisé pour commander un organe d'action sensible au signal d'erreur jusqu'au moment où la position prescrite est atteinte.

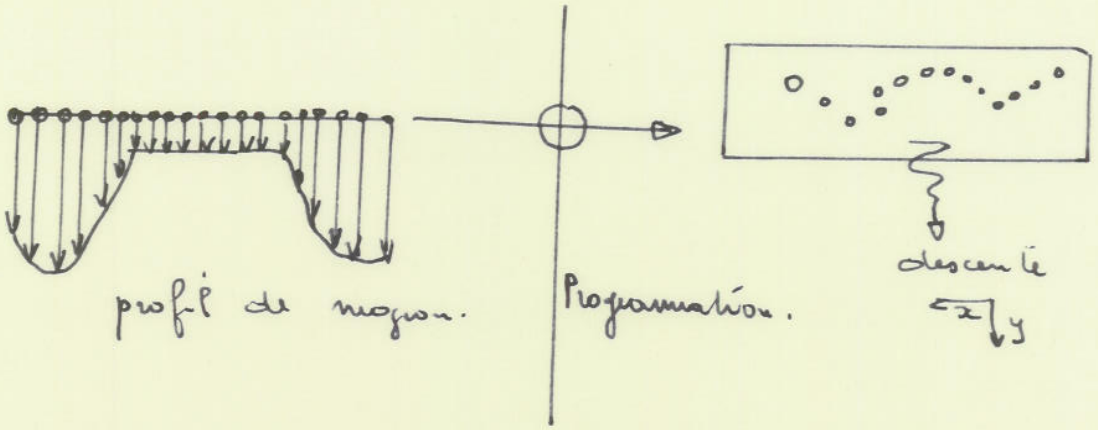
Note : Cette commande est, actuellement, coûteuse et compliquée mais intéressante. Pour une diagonale de carré de 1 cm de côté, la vitesse de chacun des axes égale 2,5 cm/s, il faut donc 1000 à 5000 impulsions /seconde, ce qui correspond à des incréments au pas de 25 à 5 µ, d'où pour 5 µ 15.000 bits par seconde, soit pour 2 cm de côté 20.000 bits environ/seconde. Ainsi, une empreinte unitaire nécessite environ 200.000 bits maximum par seconde et une empreinte totale 2 millions de bits. Ceci est parfaitement admissible pour un ordinateur et pour une bande magnétique à déroulement rapide.

Pour commencer, on peut réduire le nombre d'informations en utilisant un interpolateur numérique intégré qui permette de diminuer le nombre des valeurs programmées en déduisant de ces dernières, les valeurs correspondantes intermédiaires.

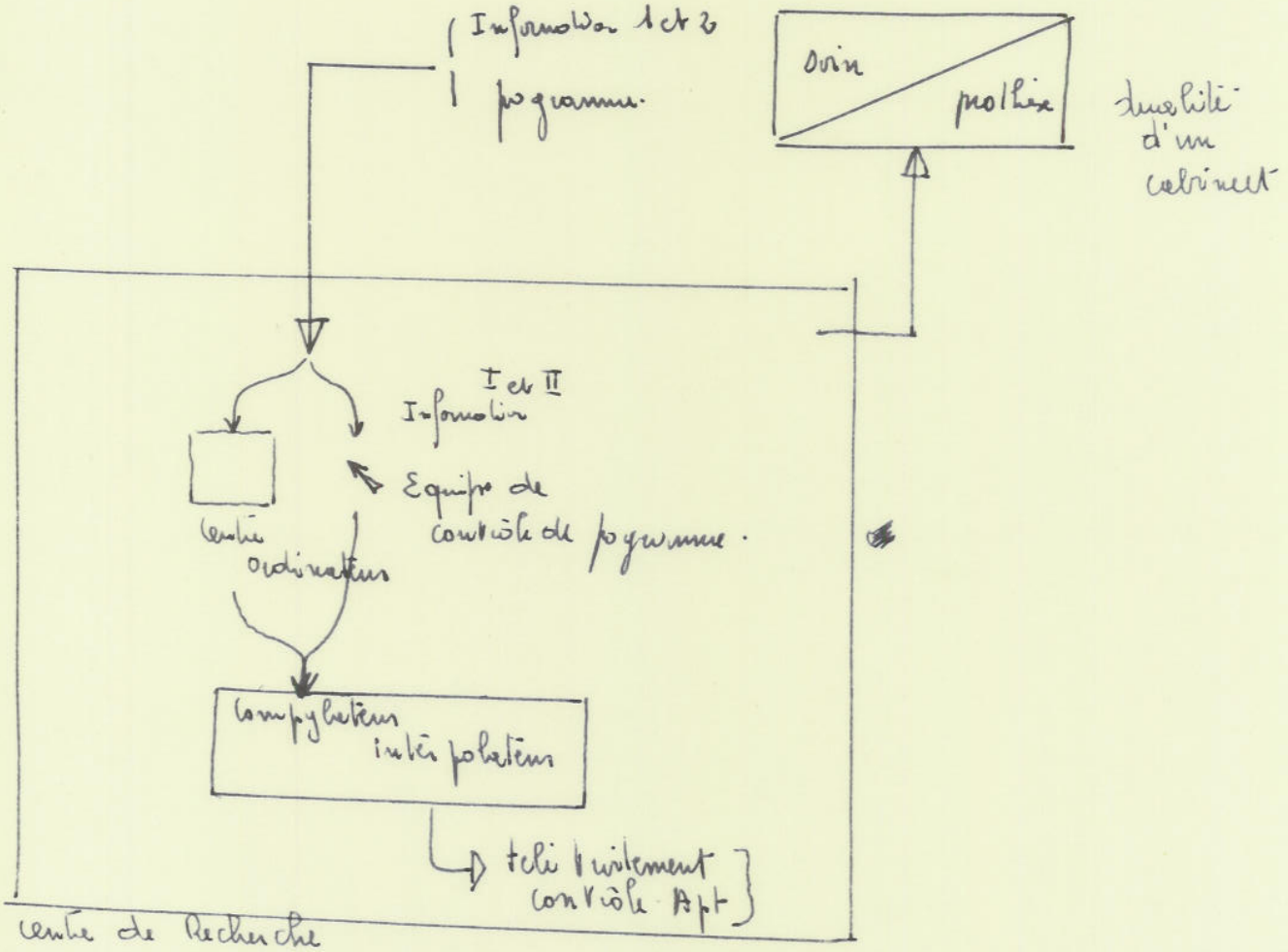
Je dirais comme (I.B.M.) il ne peut y avoir de traitement numérique sans connaissances précises de certains programmes comme en classe II Autospot, Adapt et Apt et en classe III Romance, Teckpor et Autopol. Ces programmes sont proposés à des machines pour travailler, soit point par point, deux dimensions et deux dimensions plus deux, soit par contournage deux dimensions et trois dimensions.

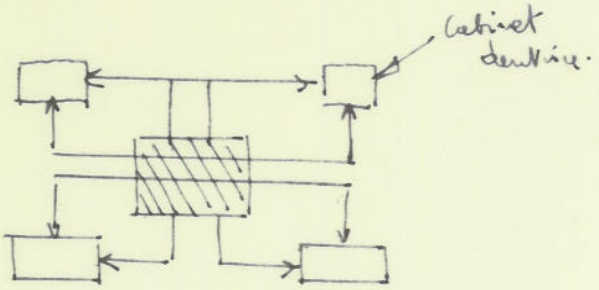
VII - 7 - CONCLUSION

Nous devons admettre en plus de notre ordinateur, un traitement de notre information II, sortie, par un programme type de machine outil à commande numérique, tels que les programmes Apt à trois dimensions, le tout lié à une idée d'interpolation (voir dessin 60)



(dessin 60 a)





dessin 60 b

Chaque programme souvent écrit en Forman sont admissibles dans une machine à commande numérique. Ils seront transmis dans notre cas par télétraitement.

VII-7-1 - Problème actuel

Etant donné la précision maximum que nous réclamons de nos machines, il faut admettre que, en plus des paramètres géométriques et cinématiques des opérations d'usinage, les paramètres technologiques doivent être incorporés comme le choix des outillages, choix des séquences d'opération, conditions d'image. On appelle ce problème "l'intégration des données technologiques dans les programmes de commande numérique"
(Except en Allemagne par exemple)

Comme nous ne connaissons pas toujours les degrés et les propriétés d'usinabilité des matériaux utilisés et la stabilité de la coupe, nous devons pallier en déterminant les conditions d'usinage optimale avec une commande adaptative.
(voir dessin 60)

Il est bon, toutefois de remarquer que nous présentons des matériaux (or - acier) avec des problèmes d'usinabilité réduits ou connus.

Par télétraitement de gros calculateurs, une équipe spécialisée préparerait, modifierait les données du programme. Je base ce principe sur le fait que l'unité centrale traiterait rapidement les problèmes alors que les unités périphériques (entrée - sortie) traiteraient lentement chaque problème. Donc gain de temps et de fiabilité. Rien n'empêche un dentiste de contrôler sur sa T.V. fermée: l'identification, les moyens graphiques et la qualité du programme envoyée en le superposant à l'empreinte (écran cathodique d'ordinateur)

VII-7-2 - Procèdé Unisurf (Renault)

VII-7-2-1 - Délai de réponse

- lecture : quelques minutes
- fraisage : quelques heures paur surface de plusieurs m2

VII-7-2-2 - Précision

10^{-4} (1 mm ⟶ 1 µ)

VII-7-2-3 - Conception : facile et mathématique

Indépendante vis à vis du référentiel, la définition des courbes et surfaces est indépendante du référentiel choisi. Cette propriété permet de nombreuses exécutions simplifiées des calculs correspondants aux opérations de projection, translation et rotation, dont on a besoin au cours d'usinage et de dessin.

Le procèdé unisurf permet à un opérateur sans connaissance mathématique de matérialiser dans un délai très court et avec précision de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-5} la forme d'une courbe où d'une surface et de la modifier à son gré. La vitesse permet la production d'une épine (par exemple) en quelques minutes

Conclusion :

Pour une surface de 10 cm2 avec une précision de 10µm (un dentiste travaille avec une précision de 50 à 100µ) Le temps est de 1 h 30 maximum (espace : 10µ par trait) et 1 h 30 pour 1 cm^2 avec 1 µ de précision. Le temps de fraisage est fonction de la précision demandée (espace des traits)

VII - 8 - R E S U M E

Nous pouvons penser que, compte tenu du traitement des informations I et II et du programme envoué par le télétraitement (terminal) se composant :

- du type de métal
- du type de travail choisi (couronne - coiffe...)
- de la surface voulue et de sa précision

Que en retour, notre équipe centrale renverrait par terminal sur un magnétophone, le programme type codé (Apt) pour la machine.

l'équipe centrale se composera des mathématiciens (théorique et ordinateuristes), des spécialistes de matériaux et des sculptures, et des dentistes théoriciens

L'avantage de la méthode est de permettre enfin une application des idées théoriques même dans les cabinets les plus reculés.

Le bloc central modifierait le programme et contrôlerait l'entrée et la sortie. Le dentiste/prothésiste n'aurait qu'à contrôler l'usinage et sa reproduction sur l'hologramme pris au départ (place du prothèsiste)

Voyons maintenant la machine utilisée pour la sculpture

MACHINE - OUTIL

- INTRODUCTION
- ELECTRO-EROSION
- ELECTROCHIMIE
- ELECTROFORMAGE
- USINAGE CHIMIQUE
- ULTRA-SON
- PROCEDES A HAUTE ENERGIE SPECIFIQUE
- LASER
- FRAISAGE
- CONCLUSION

CHAPITRE - VIII -

INTRODUCTION

Le micro-usinage proposé se divise en deux parties. La première : de type non conventionnel est divisé en 7 parties ; le deuxième représente les méthodes classiques et se divise en 2 parties.

Pour les méthodes non conventionnelles d'usinage, nous n'avons pas voulu modifier le caractère du livre de M. MARTY [300], nous avons donné un résumé de cet ouvrage sans en modifier les phases, celles-ci étant faites par des spécialistes... Seul le dernier chapitre sur le travail de la fraise, a été tiré de l'ouvrage de METRAL [301] très classique pour l'usinage

Usinage de la pièce
L'usinage consiste à enlever de la matière d'une pièce afin de lui donner la forme et les dimensions d'un produit déterminé.

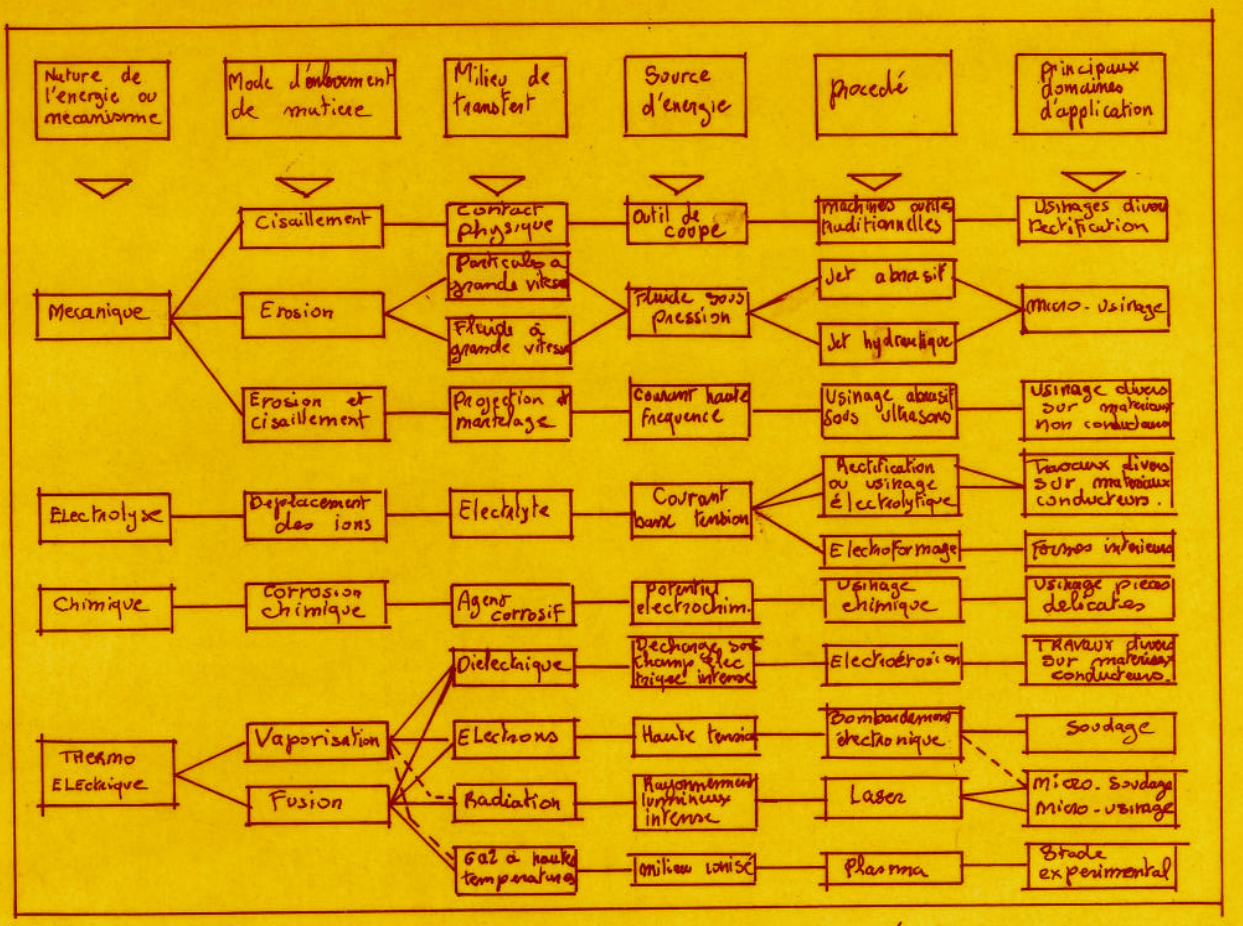
Nous allons aussi étudier les différentes techniques d'avant garde : (électro-érosion, électrochimie, électroformage, usinage chimique, ultra-son, procèdés à haute énergie comme le bombardement électronique et le laser).

Nous essayerons ensuite d'en dégager une application, qui nous sera plus particulière et, dans un résumé : nous réunirons C N et usinage (dessin n° 61 a)

VIII - 1 - ELECTRO-EROSION [300]

VIII-1-1 - Propriétés

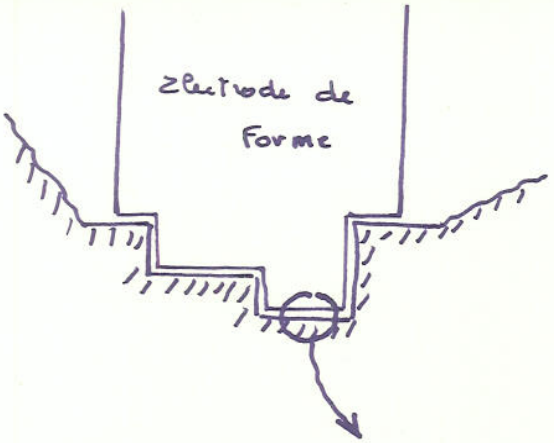
- Grande aptitude à usiner des métaux ou alliages, durs ou réfractaires (outillage en acier, carbure de tungstene ou stellite)
- Faculté de reproduction automatique de forme ; on enlève, en effet, une matière qui est localisée sur toute la surface d'une électro-pièce à usiner. Ce qui veut dire que la forme de l'électro-pièce sera celle que l'on obtiendra dans la



(dessin 61 a)

	Vitesse de penetration	Tension	Concentration d'electrolyte	Temperature d'electrolyte	Surface à usiner	Pression d'injection	Rendement de dissolution	Effet de la Trempe
Courant	Influence proportionnelle directe	Sans influence	Influence inversement proportionnelle et indirecte par augmentation du rendement	Influence proportionnelle et indirecte par diminution du Rendement	Influence proportionnelle directe et linéaire	Influence inversement proportionnelle indirecte par augmentation du rendement	Influence inversement proportionnelle et directe	Influence proportionnelle directe generalement peu importante
	→	-----	⇢	⇢	→	⇢	→	→
Gap	Influence directe importante et inversement proportionnelle	Influence proportionnelle directe	Influence importante proportionnelle et directe	Influence proportionnelle directe, peut être compensée par diminution du Rendement	Sans influence	Sans Influence notable	Influence directe et proportionnelle	Influence directe et inversement proportionnelle peu importante
	→	→	→	→	—	→	→	→
Rendement de dissolution anodique (cas du $NaNO_3$)	Influence proportionnelle directe	Sans influence notoire	Influence proportionnelle directe	Influence directe et inversement proportionnelle	Sans influence	Influence proportionnelle directe		Influence directe et inversement proportionnelle peu importante
	→		→	→	—	→		→

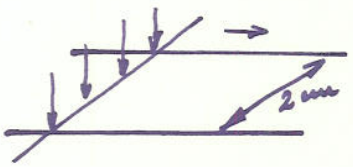
(dessin 61b)



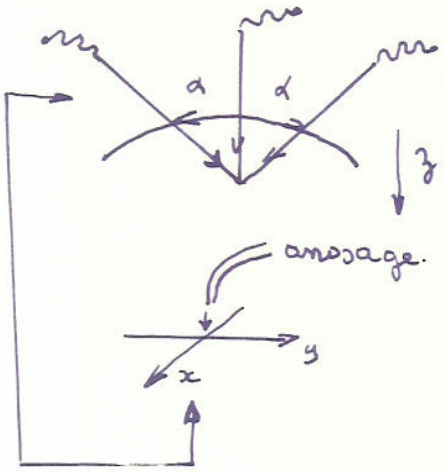


Electro erosion (dessin 62 a et b)

NOTA: générateur à impulsion (courant ou isoenergétique)
électrode très fine.



pour une précision de 10µ sur 2 cm
→ 100 aller et retour
décalage de 2 mm seulement



Rendement $f(c)$ de l'intensité
refroidissement
du liquide E.L.

(dessin 62 c)

pièce à usiner (voir dessin n° 62 a)
Avec les générateurs à impulsion on diminue l'usure des électrodes. Ceci a permis l'usinage de formes générales. On peut donc réaliser des catégories de surface dites tridimensionnelles. (Par simple plongée d'une électrode de forme).

VIII-1-2 - Principe physique (dessin 62 b)

"Enlèvement de matière au moyen de décharges électriques"
Un liquide contient des ions libres, sous l'influence de la tension appliquée entre les électrodes, les ions vont se déplacer (très fort pour liquide électrolytique)

Si l'on applique entre les électrodes, une tension qui est plus grande que la tension de claquage, fixée par la distance des électrodes et le pouvoir isolant du di-électrique, une décharge va s'amorcer à l'endroit du champ électrique le plus fort, il se forme un canal ionisé qui est conducteur pour le courant électrique.

Du canal ionisé, on arrive à un grand passage de courant, puis à une éjection du métal érodé, la 3ème phase se recoupe avec la 2ème et se prolonge.

VIII-1-3 - Montage

Différents montages sont envisageables, en fonction des générateurs employés. Les conditions sont : de mettre à disposition une forte tension, de limiter le courant de décharge, la durée et la fréquence de répétition élevée. Ces générateurs peuvent être à impulsion de type courant ou isoénergétique, où une quantité bien définie de matière est enlevée ; ceci garantit des conditions optima vis à vis d'un usinage rapide, d'une bonne qualité de surface et d'un usinage à une distance régulière.
Pour ce genre de générateur, la répartition de l'énergie peut être en parallèle ou en sortie séparée (beaucoup plus rapide : s'il y a 8 électrodes, il ira 8 fois plus vite). Signalons enfin, des générateurs de superfinition permettant ainsi l'utilisation de micro-électrodes, mais à grandes impulsions énergétiques (de 80 V on passe à 250 V)

VIII-1-4 - Description des machines (dessin 62 c)

La machine se compose d'une colonne avec une tête de travail comportant un cervomécanisme agissant sur un piston porte électrode, assurant un déplacement dans un axe unique. Dans certains cas, la tête peut pivoter permettant une orientation de l'axe de travail. En regard, existe un chariot porte-objet orientable (précision de 10 µ pour 40 cm à 1 µ/cm)
Le servo-mécanisme maintient toujours une électrode à la bonne distance de la pièce (commande électrohydrolique, électro-mécanique)

Il y a un dispositif d'arrêt de profondeur et l'arrosage doit être constant (liquide di-électrique)

VIII-1-5 - Mise en oeuvre

Non intéressante pour nous
La vitesse d'usinage est fonction de l'intensité, le liquide a un rôle à ne pas négliger (rendement du phénomène, refroidissement de la pièce)

Les caractères seront précisés lors de la notion de commandes numériques liée à ce chapitre. Disons que la précision est de 5 % de la distance d'étincellage (1 à 2 µ environ)

VIII-1-6 - Application

Le système permet de préparer des moules de la pièce à couler. Ce serait un bon procédé de réalisation des couronnes ion métal, dont j'ai parlées.

On produirait avec une précision maximum de 5 µ des moules successifs numérotés

VIII - 2 - USINAGE ELECTRO-CHIMIQUE

VIII-2-1 - Etude générale

On produit un enlèvement de métal à l'anode par création d'une différence de potentiel entre les deux électrodes.
La quantité enlevée est proportionnelle à la quantité de courant et à la valence gramme de l'élément.

(voir dessin n° 63 a)

Ainsi, dans le cas d'un alliage, il sera nécessaire d'utiliser la formule :

$$\frac{q}{m} = X_1 \frac{A_1}{n_1} + X_2 \frac{A_2}{n_2} + X_3 \frac{A_3}{n_3} \ldots$$

donc, de bien connaître la composition métallique (pour avoir une bonne précision)
Le mécanisme de l'électrolyse est supposé connu... Chaque facteur (migration, diffusion, conversion) devra être soigneusement revu.

VIII-2-2 - Etude dynamique

L'étape d'action maximum, l'espace de bon rendement est le gap. On tend asymptotiquement à cette valeur, ce qui veut dire que l'usinage électrolytique ne nécessite pas un asservissement du porte-électrode puisqu'il autorégularise la tension d'alimentation, la vitesse primitive demeure constante (10 µ et plus).

Pour obtenir une constance dans cet espace, il est nécessaire de maintenir l'évacuation des déchets et l'enlèvement des couches passivantes, d'où l'idée de WILLIAM d'injecter l'électrolyte.

VIII-2-3 - Considérations pratiques

L'enlèvement du métal suit la règle de FARADAY, mais le rendement est lié aussi à la dissociation de l'électrolyte et à la nature du métal.

La forme de l'outil détermine la forme de la sculpture obtenue. La forme de l'outil doit épouser la forme de l'empreinte à réaliser. Il faut de ce fait, connaître :

TABLEAU XIII – Résultats de découpe au laser à CO_2 obtenu dans les laboratoires O.I.P avec une puissance de sortie du laser de 400 watts (décembre 1969)

Materiau	Epaisseur mm	Gaz	Vitesse m/ma	Largeur de découpe mm	Zone affectée
Acier inox	0,7	O_2	2,70	0,15	1,04
	1	O_2	2,10	0,12	0,53
"304	1,5	O_2	1,40	0,13	0,53
	2	O_2	0,50	0,14	0,65
	3	O_2	0,30	0,40	2,28
"316	4	O_2	0,30	0,42	3,32
AC C 1010	3	O_2	1,00	0,40	2,50
Acier doux	● 1,5	O_2	1,70	0,13	0,64
	● 4	O_2	0,45	0,15	1,60
Fer blanc	0,3	O_2	6,80	0,14	2,84
Alliage special NICOMO	0,4	O_2	4,70	0,21	0,87
Acier inox + film en plastique	1	O_2	1,65	0,12	1,00
Titane pur	0,8	air	1,90	0,20	2,00
Pin	4	air	8,20	0,30	1,30
	● 10	air	2,50	0,23	0,46
	● 18	air	0,75	0,31	0,45
Frene	● 9-9,5	air	17	0,23	0,37
	● 18	air	0,50	0,48	0,50
	20	air	0,40	0,54	1,4
Triplex	● 4	air	8,75	0,22	0,23
	● 10	air	2,00	0,21	0,37
	● 9-9,5	air	2,35	0,16	0,43
Bois Aggloméré	● 11	air	0,75	0,32	0,40
unalit	● 3	air	5,20	0,13	0,19
Plexigals transparent	● 3	air	5,00	0,33	1,07
	● 6	air	1,90	0,198	0,86
	9	air	1,30	0,40	2
	● 30	air	0,15	0,54	1,12
Plexiglas mat	3	air	3,70		
	● 6	air	1,90	0,23	0,51
Papier	0,07	air	516	0,06	
	0,1	air	360	0,06	
Tissus 3 couches	4	air	8,3		
33 couches.	9	air	2,3		
Tissus synthetique 29 couches	9	air	1,8		
Caoutchoux 2 couches	1	air	20		
	2	air	5,7	1	1
	0,02	air	500	0,06	0,2
Feuille PVC	0,05	air	320		
	0,15	air	105		
ELement prefabriqué	10	air	0,5	0,4	0,6
Cuir 3 couches.	5,5	air	2,8	0,5	1,5
Polyurethane	200	air	0,5	4	
Verre	2		2,9		
	3		1,8		
Eternit	● 3,5	air	0,70	0,15	0,19
	● 14,5	air	0,10	0,23	0,45
Formica	● 1,5	air	9,00	0,03	0,22

● Résultats obtenus avec un laser de 3000 W de configuration speciale en mars 1970 (dessin 63 b)

(dessin 63 a)

TABLEAU III – Taux d'enlevement theorique pour une intensite de 10

Metal	Valence	Masse atomique	Masse specifique	Enlevement de matiere
			$gr \cdot cm^{-3}$	$cm^3\ mn^{-1}$
Aluminium	3	27	2,67	2,06
Béryllium	2		1,85	1,50
Chrome	2	52	7,19	2,25
	3			1,51
	6			0,75
Cobalt	2	59	8,85	2,05
	3			1,38
Niobium	3		8,57	2,16
Columbium	4	93.1	12,7	1,69-1,34
Cuivre	1	63.6	8,96	4,69
	2			2,20
Fer	2	56	7,86	2,21
	3			1,47
Magnésium	2	24	1,74	4,34
Manganèse	2	55	7,43	2,28
	4			1,15
	6			0,77
	7			0,66
Molybdène	3	96	10,22	1,95
	4			1,47
	6			0,98
Nickel	2	59	8,90	2,11
	3			1,36
Silicium	4	28	2,33	1,87
Argent	1	108	10,49	6,39
Etain	2	119	7,30	5,05
	4			2,52
Titane	3	48	4,51	2,19
	4			1,65
Tungstene	6	184	19,3	0,98
	8			0,74
Uranium	4	238	19,1	1,92
	6			1,29
Vanadium	3	51	6,1	1,74
	5			1,05
Zinc	2	65	7,13	2,85

- l'espace interélectrode
- l'écoulement de l'électrolyte
- la ligne de courant du champ électrique permettant de tenir compte des variations

Quant à l'état de surface, il est de très bonne qualité, à condition que l'on considère chaque paramètre : écoulement, nature de l'électrolyte, densité du courant et type de l'alliage (voir dessin n° 64 a)

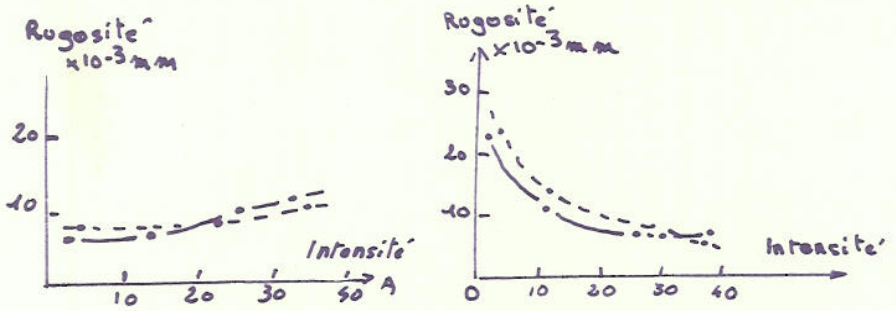
VIII-2-4 - Mise en oeuvre

Pour une action, les différents paramètres sont :
- vitesse de pénétration
- tension
- concentration de l'électrolyte
- température de l'électrolyte
- surface à usiner
- Pression d'injection
- Rendement de dissolution
- Effet de trempe

L'avantage de ce procédé est l'usure nulle de l'outil de travail, la suppression des opérations classiques d'ébauche et de finition, l'usinage dans les matériaux traités, ce qui évite toute déformation ultérieure, l'état de surface est remarquable (1 µ CLA), la précision obtenue excellente en rectification (10 µ) et en perçage; le travail est rapide (voir dessin n° 61 b)

VIII - 3 - ELECTROFORMAGE

Il s'agit de provoquer une électro-déposition sur une forme dite maîtresse appelée aussi noyau, mandrin ou matrice et qui est enlevée totalement après usinage de la surface extérieure (Dessin n° 64)



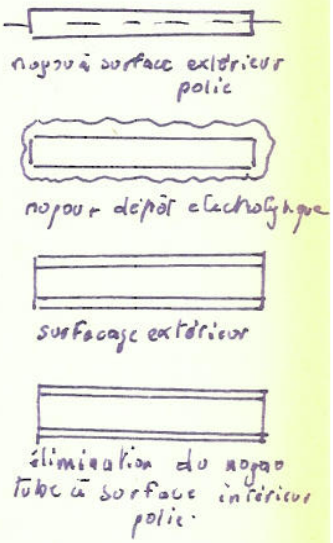
Acier doux — Acier inoxydable

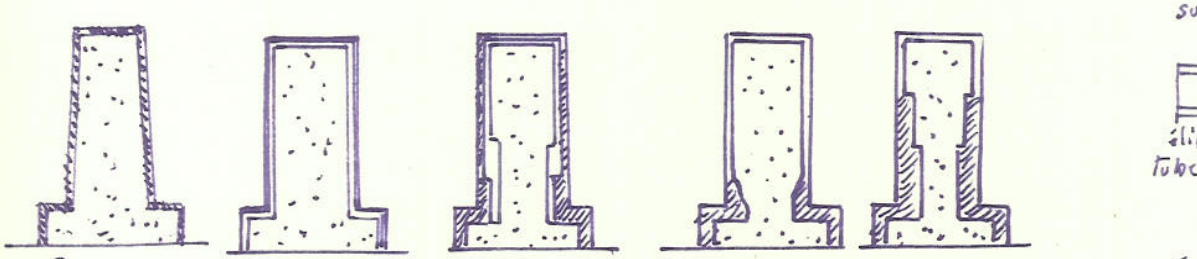
Variation de la rugosité en fct de l'intensité

(dessin 64a)



(dessin 64b)

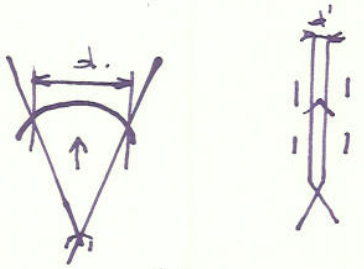




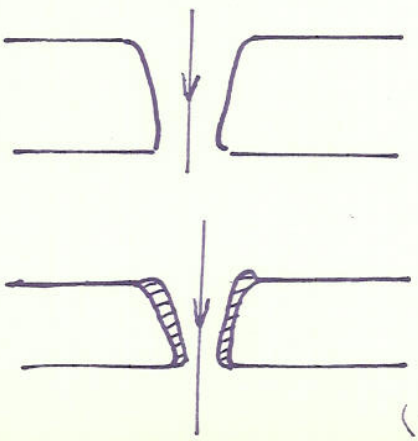
(dessin 64c)



(dessin 64d.)



(dessin 64e)



(dessin 64 f)

(dessin 64 g.)

VIII-3-1 - Avantages et inconvénients

VIII-3-1-1 - Avantages

Le dépot fait corps avec son noyau, en épousant les moindres reliefs, c'est ainsi qu'on utilise ce procèdé pour les matrices de microsillon
(c'est dire la précision)

On peut produire des pièces en grande quantité avec un très haut degré d'exactitude dans les dimensions, n'étant limité que par l'usinage de la matrice

Les formes creuses sont réalisables (voir dessin 64 b) ainsi que des pièces de toutes dimensions
L'électroformage assure la réalisation de matériaux sandwichs, formés des métaux les plus variés
Tolérence par rapport à la matière enlevée est grande et l'on peut obtenir des
Paroi mince

VIII-3-1-2 - Inconvénients

- Prix élevé si plus de 1 cm d'epaisseur
- Dépot lent : 0,5 mm/heure

VIII-3-2 - Choix de la matrice (voir dessin n° 64 c)

VIII-3-2-1 - Matrice permanente

C'est celui qu'on réutilise une fois la pièce formée ; un espace doit être respectée pour retirer la pièce, ou alors, il faut qu'il y ait une différence de dilatation thermique pour ce retrait.

VIII-3-2-2 - Matrice permanente avec couche faible

Si les détails empèchent de retirer la pièce usinée on recouvre d'une mince couche d'étain ou de cire graphitée qui, à la fusion, permettront de retirer la pièce.

VIII-3-2-3 - Matrice destructible

Si l'on peut retirer la pièce, on utilise des alliages à bas point de fusion : plastique, cire, ect...

VIII-3-3 - Conception de la matrice

VIII-3-3-1 - Propriétés

- Usinabilité
- Aptitude à recevoir le film positivant
- Méthode de séparation
- Coefficent thermique d'allongement
- Nature du métal déposé
- Dûreté superficielle
- Soudabilité
- Prix

Les angles sortants sur la matrice doivent être faits aussi grands que possible pour éviter modules et arborescences ; les angles rentrants seront fait avec un rayon aussi petit que possible pour effectuer le dépot

- Les rayures doivent être évitées
- L'usinage de la pièce doit être fait avec sa matrice

VIII-3-4 - Matériaux utilisables pour matrice

- Aluminium (attaquable)
- Acier inox (2 µminimum)
- Matières plastiques (galvanoplastie)
- Alliages à bas point de fusion (cher, mais récupérable, bismuth, étain) après on élimine la matrice

VIII-3-5 - Matériaux électroformés

On doit savoir:

- Propriétés mécaniques et physiques
- Résistance à la corrosion
- Dépot régulier

Des contraintes internes sont à souligner (possibilité de faire éclater)

On peut utiliser 8

- cuivre
- nickel cobalt
- cobalt tungstène
- chrôme
- fer
- argent, l'or (faible épaisseur)

Il faut bien noter qu'aucun système ne remplace cette idée, on obtient d'autre-part des impuretés que l'on peut éliminer par une étude précise

VIII - 4 - USINAGE CHIMIQUE

Il s'agit d'une dissolution de certains métaux dans une solution agressive appropriée (fabrication de circuit imprimé)

VIII-4-1 - Mise en oeuvre

Il faut soumettre certaines parties du métal à la corrosion, pour que les autres soient préservées, il faut admettre l'existence d'un masque d'où :

- préparation de la surface
- l'élaboration d'un masque
- usinage chimique
- nettoyage et contrôle

VIII-4-2 - Elaboration du masque

Il doit résister aux solutions agressives

Adhérer à la pièce suffisamment de temps pour que l'épaisseur enlevée soit réduite

pouvoir être découpé

Il s'agit en général de peintures, vernis et caoutchouc ou résine photosensible. Une erreur volontaire appelée "retrait" est destinée à tenir compte du fait que la dissolution n'est pas rigoureuse

Si l'on veut une précision de 1/100e les résines photosensibles sont valables.

La méthode d'insolation est admissible (négatif) même dans notre cas (dessin n° 64 d)

VIII-4-3 - Résultat technique

L'épaisseur dissoute dépend du métal. Disons toutefois, que 2 mm à 10 mm peuvent être atteints

VIII - 5 - ULTRA-SONS

Ce sont les ondes comprises entre 16 K Hz et 1000 M Hz
Les vibrations mécaniques sont transmises par excitation des molécules qui oscillent autour de leur position de repos, elles se développent de proche en proche.

La propagation est analysable (KIEFFER)

Il faut noter le phénomène d'interface. Les vibrations peuvent se transmettre d'un milieu à un autre, il y a un angle d'incidence classique. On retrouve donc les lois de réflexion et de réfraction

On peut parler "d'optique" ultra-sonore en ce sens que les recherches ont donné généralement une signification aux termes réflexion, réfraction, focalisation dans le domaine acoustique

VIII-5-1 - Générateur d'onde ultra-sons

Il existe de nombreuses possibilités, les transducteurs étant nombreux (KIEFFER). Signalons les travaux de CRAWFORD

VIII-5-2 - Visualisation des ultra-sons et autres applications.

Elle se fait de différentes manières (méthode de SCHLIEREN) Signalons le rôle de la caméra ultra-sonore. Elle est basée comme notre analyse . sur un balayage par tube cathodique et donne de bons renseignements (voir dessin 65 a)

Avec de bons résultats on obtient une précision de 200 µ qui peut être encore plus poussée.

Ils peuvent être utilisés pour augementer la vitesse du dépot électrolytique [Chapitre VIII-3]

L'application basée sur la détection d'échos est pour nous essentielle. Le sonar de la marine l'utilise, on peut détecter des fonds marins mais aussi des bancs de poissons ... Le (dessin 65 b) donne une idée précise de pénétration ultrasonique.

Ce qui est très important est de savoir que le laser, dans le domaine de l'ultra-son peut se réfléchir électivement sur certaines zones. Le domaine thérapeutique est énorme et je l'espère, sera le sujet de nombreuses recherches futures.

VIII-5-3 - Usinage abrasif par ultra-sons

Il permet le passage sous forme quelconque là où les techniques traditionnelles ne le permettent pas

Une machine se compose d'un générateur de courant à basse fréquence ; d'un convertisseur électro-acoustique ; d'un amplificateur ou cône en demi -onde, enfin, d'un outil d'usinage ou sonotrope en forme de double cylindre, dont le rapport d'

amplification est uniquement fonction du travil à effectuer. Il est facilement interchangeable et, est fixé par un filetage.

Les pièces à usiner sont fixées sur le groupe de recyclage d'abrasif qui peut être adapté à une table à mouvement croisé dont le mouvement XY est commandé par micromètre. Dans le cas de surface importante à usiner on procède par apport successifs avec une très grande précision, en utilisant une table à mouvement croisé.

Il faut y adjoindre évidemment un abrasif (en général du carbure de bore). Ce n'est pas une action directe de l'outil mais de la vibration de l'abrasif sous l'action de l'ultra-son.

Sa vitesse est inférieure à une meule mais l'avenir est plus propice, on peut perfectionner la finition en diminuant le grain de l'abrasif. Enfin, signalons que l'on peut y adjoindre plusieurs têtes.

VIII-5-4 - Le soudage par ultra-sons des plasties devrait à mon avis, remplacer nos techniques classiques de réparation

En effet, la transformation de l'énergie mécanique en énergie calorifique est indépendante des qualités diélectriques des matériaux à souder qui, dans les moyens classiques (haute-fréquence) entre en jeu. Le problème de l'ultra-son résout cette indépendance, donc, la possibilité de souder des matériaux à faible perte diélectrique comme les plasties.

Sur les métaux, la qualité de cette soudure devrait rapidement remplacer tout type de soudure.

VIII-5-5 - Assistance technique

Disons simplement que l'ouvrage de MATRY est suffisamment explicite. Signalons seulement que l'application de l'ultra-son des usinages classiques nous dégage de bien des soucis d'usinage de précision (copeaux...) et la longevité des outils en acier est bien supérieure

On peut résumer les bénéfices des ultra-sons de haute fréquence et de faible amplitude durant l'usinage (MATRY)

- diminution des tensions résiduelles des métaux durs
- meilleur état de surface
- disparition de phénomènes d'arrêtes rapportées
- accroissement de la longévité du tissu
- diminution partielle des efforts de coupe

Donc, il ne faut pas hésiter à l'appliquer afin d'augmenter la qualité de notre travail

VIII - 6 - PROCEDES A HAUTES ENERGIES SPECIFIQUES

VIII-6-1 - Bombardement électronique

Le but est de concentrer un faisceau d'électrons sur un métal.

VIII-6-1-1 - Principe théorique

$$W = \frac{1}{2} n \quad m V^2 = n e \sqrt{}$$

Cette formule est assez connue... sans en préciser les termes.

Parmi les moyens proposés signalons :

- Le canon à forte tension d'accélération
  soudure et micro-usinage
- Le canon à focalisation fine et moyenne fusion
- Le canon à faisceau transversal et chambre multiple :

Signalons ici la focalisation par électrode de forme (voir dessin 65 e, f, g)

VIII-6-2 - Applications

Elles sont diverses (usinage, évaporation et recuit)
Dans l'usinage, signalons le percement de trous très fins et longs 50 à 25 μ (dessin n° 65)

Dans la métallisation on projette des ions métalliques. L'avantage est l'éventail des métaux utilisés, la finesse est de quelques microns, d'autre-part, il est possible de déposer des couches de matériaux différents au cours d'un seul traitement, l'action est rapide.

Le recuit ne nous intéresse pas directement

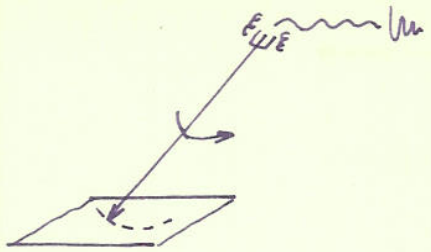
VIII-6-3 - Soudage

Il lie un point très important que l'on se doit d'approfondir. Le bouleversement est énorme dans ce domaine, il est possible d'assembler des métaux dont la température de fusion et la conductibilité thermique sont différentes. On y parvient en dirigeant le faisceau sous un angle déterminé.

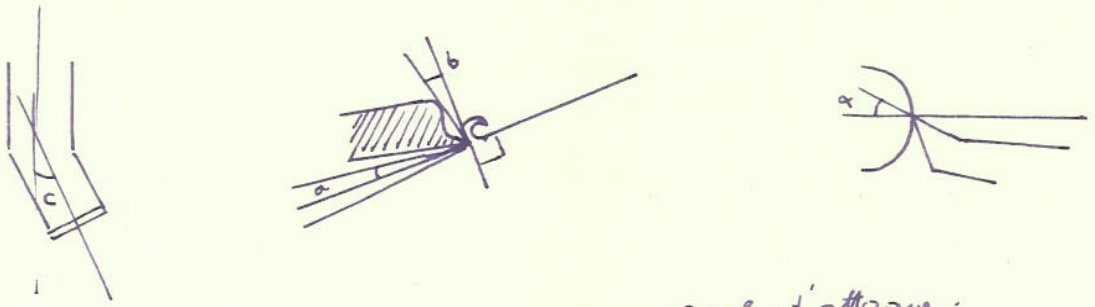
Le faible échauffement et des tensions également réparties dans l'épaisseur de la soudure, permet d'utiliser le soudage par bombardement électronique pour réparer des pièces complexes et closes.

VIII - 7 - LASER

Le côté théorique a été longuement développé dans le chapître II, nous ne reviendrons donc pas sur son principe.

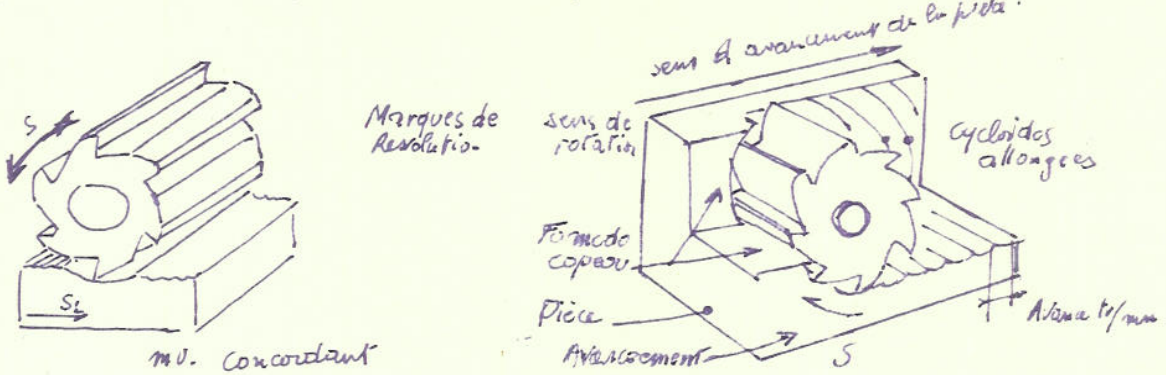


(dessin 66 a)



angle d'attaque.

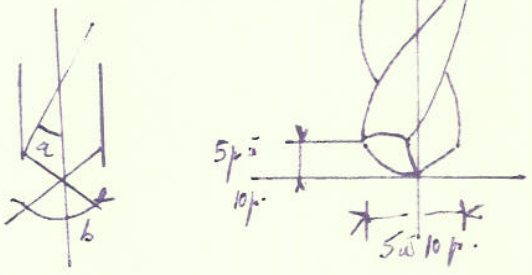
(dessin 66 b, c, d)



(dessin 66 c, f)



(dessin 66 g)



(dessin 66 h, j)



instrument diamanté

(dessin 66 i)

VIII-7-1 - Usinage (dessin 66 a)

Pour nous son rôle est essentiellement un rôle de soudage et de découpe. Nous pouvons dire que le point de soudure à l'avantage de ne présenter que quelques microns, donc après traitement et sculpture, nous pouvons souder avec un rapprochement semblable aux dents naturelles.

L'avantage de la soudure laser est qu'elle se fait avec précision, sans déformation, même à proximité de matériaux faibles (céramique) sans surchauffe, sans grossissement de grains, donc pratiquement aucun risque futur de fracture pour les matériaux sensibles au grossissement de grains comme les stellites.

Quant au perçage, disons qu'il permet d'obtenir des trous en forme de trompette, ce qui n'est pas utile pour nous.

Par contre, le coupage à un intérêt pour nous, il permet de remplacer le système de masque (dessin 64 f, g)
En effet, le tracé effectué, on peut réaliser la découpe du matériel déposé par action du rayon laser, sans craindre les modifications structurales

VIII - 8 - FRAISAGE
==========

La représentation d'une exploration traditionnelle est une coupe qui, jusqu'alors passait par la mesure au micro-palpeur. Le profil obtenu donnait les valeurs du déplacement du palpeur sur l'axe X et sur l'axe Z (l'axe X représentant l'espace parcouru, l'axe Z représentant la hauteur du sillon)

Ceci était classique mais limité, car l'on suppose généralement que la surface explorée est uniforme, et que sa texture est régulière, ce qui n'est pas notre cas. Donc, dans une méthode classique, par rectification à la meule, boisseau, honing, iodage, fraisage en bout, sablage et grenaillage, ou n'avait pas une direction de profil marquée. Il en est de même des défauts émanant des métaux travaillés

De nombreux appareils ont ajouté la 3ème dimension (micro-topographeur) et font des lectures d'un plan de 50 sur 50 en lignes parallèles successives avec une précision de 0,1 µm, donnant une représentation de surface très intéressante.
Le couplage avec le fraisage en bout présente la nécessité des 3 dimensions que cet appareil propose, mais avec un laps de temps trop élevé à notre avis. Notre système par lecture semble plus intéressant, dans la mesure de sa réalisation, et il offre les trois dimensions.

VII-8-1 - Le problème

Le problème que nous devons résoudre est donc, nous l'avons vu, d'obtenir un volume variable, c'est-à-dire, non pas une valeur géométrique comme un cercle ou un carré, mais une ligne brisée.
Dans notre action, il y a deux choses :
- la pièce
- l'outil de coupe

La pièce

c'est soit la couronne de type ion or, soit de préférence, le dépot d'électroformage ou alors, les résines (ARALDITES) pour empreintes totales

L'outil

C'est la partie tranchante qui enlèvera l'excédent de matière

Plusieurs outils existent, disons que nous n'envisageons, dans notre cas, qu'un déplacement circulaire de l'outil, et le principe du tour, c'est à dire, la pièce qui tourne sur une lame fixe ou non

VIII-8-2 - L'outil

Dans cette partie de chapitre, nous considérons que c'est l'outil qui tourne et non la pièce. L'outil se compose d'acier (ordinaire ou spécial) de fonte (ordinaire ou spéciale) de stellites et de carbures frittés (diamantés)

VIII-2-1 - Aptitude à l'usinage de l'outil de coupe

Avant de chcisir le type de fraises, il faudra connaître les facteurs suivants

- Pression de coupe
- Température de coupe

(Energie nécessaire à l'arrachement du copeau, frottement du copeau et du métal sur l'outil, coefficient de conductibilité et masse de l'outil, coefficient de conduction, masse et surface de la pièce à usiner)

- usure de l'outil

(facteur important)

Pour cela on propose un dégrossissement, puis une finition en différentes étapes ce qui évite l'usure trop rapide de l'outil

- formation du copeau
- état de surface

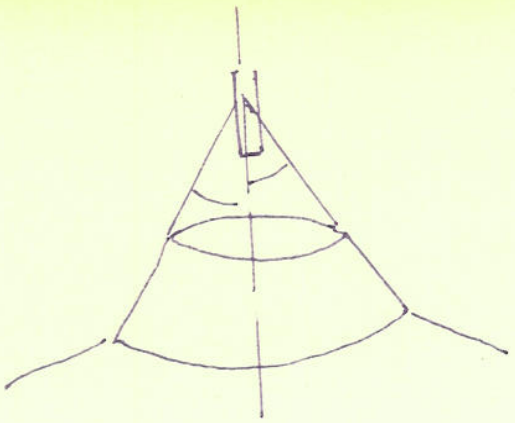
VIII-2-2 - Caractéristique de l'outil

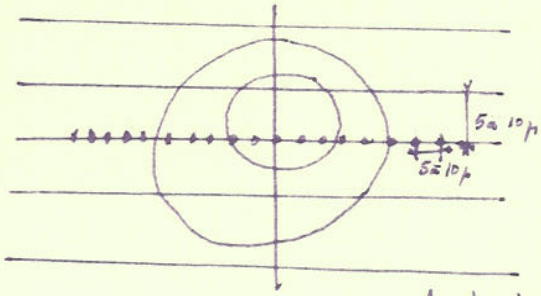
- angle de dépouille, de pente d'affutage et de direction (voir dessin n° 66 b et c)

Le copeau étudié donnera le choix de ces angles de l'outil, puis de ce choix, on en tirera leur valeur en fonction du métal que l'on attaquera (copeaux continus ou discontinus)

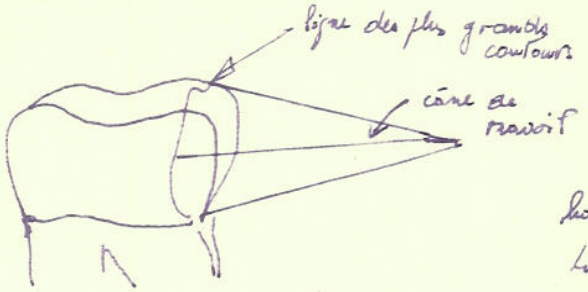
L'arête rapportée est l'amas de copeaux qui appuis sur l'instrument (et tend à le repousser). Il faudra donc chercher le copeau taillé minimum.

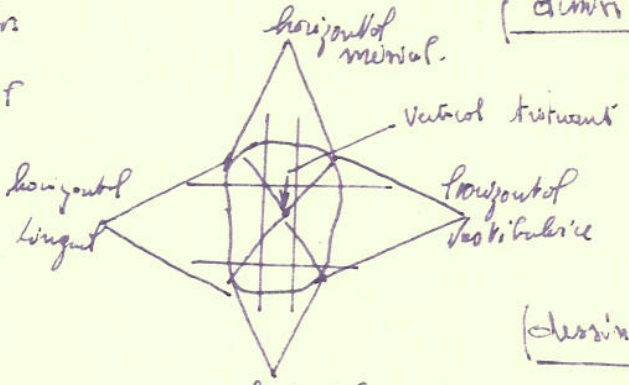
Il est évident que le métal travaillé et la coupe influencent la Pression de coupe en fonction :



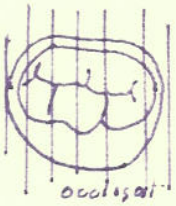


(dessin n°67a)

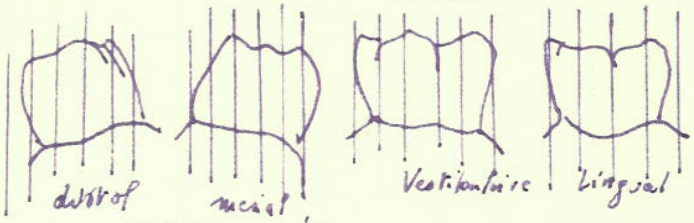




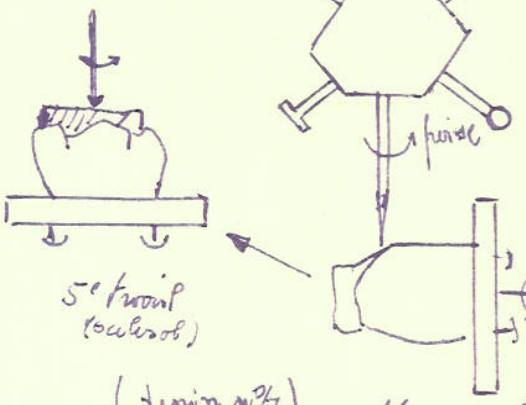
(dessin n°67b)



horizontal dentaire

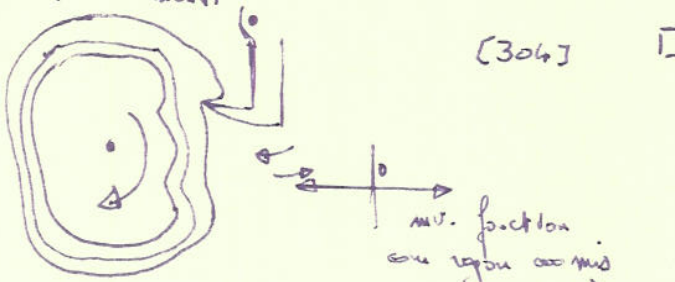


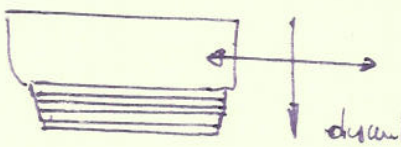
[304]



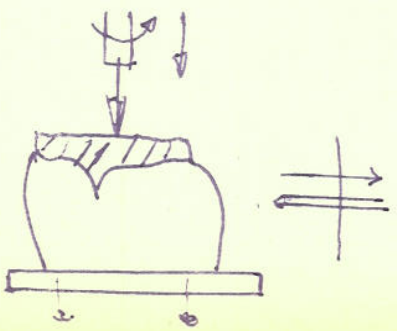
(dessin n°67c)

4 premières travaux





descente jusque la face triturante.



2e mv.
attaque verticale de la fraise.

(dessin n°67d)

= condition de coupe vue avant
= section du copeau
= la nature du métal travaillé

VIII-2-3 - Influence sur la coupe

Les facteurs sont :
- La matière travaillée
- La pente de l'outil (la pression diminue si la pente augmente) (voir dessin n° 66 d)
- l'angle direction idéal est 90°
- la lubrification permet une production élevée par unité de temps
  réduit le travail de frottement
  diminue la puissance par le nettoyage
- permet une augmentation de la vitesse
- permet une augmentation du débit de la matière

Lorsque l'on passe du travail sec au travail humide, il faut augmenter la vitesse de coupe et de manière d'autant plus élevée que la qualité du lubrifiant est meilleure.
- l'usure
  Des variations de métaux, de vitesse, de lubrification, sont déterminées automatiquement si un tableau d'usure est établi

VIII-2-4 - Fraises

Les fraises sont des solides de révolution possédant à intervalles égaux, sur leur pourtour des outils appelés dents qui s'agencent de façon intermittente dans la pièce à usiner.

Le mouvement de la dent de la fraise et de la pièce peut être en opposition ou en concordance (avalant) (voir dessin n° 66c)

Différentes formes de fraises peuvent être utilisées et différentes formes d'arêtes. Le travail peut être perpendiculaire ou parallèle à la pièce (voir dessin n° 66f)

Dans notre cas, il sera les deux en même temps (voir dessin 66c)
Le choix de la fraise sera fait par l'expérience. La limite de l'action et la précision sont liées, plus la fraise est fine, plus elle tourne doucement et au centre la vitesse sera nulle (voir dessin n° 66g)
Pour une précision de 5 à 10 µ, il faudra équilibrer les mesures données (voir dessin n° 66h)
Il faudra donc donner l'angle en pointe (a) et l'hélice en degré (b) (dessin n° 66 i)

Une bonne solution est la coupe par outil diamanté, il peut être avec ou sans facette, mais sa précision peut être augmentée par la finesse du grain. D'autre part, le diarant est un des corps les plus durs (dessin n° 66j)

VIII-8-3 - Notre utilisation

Le travail se fera par lignes successives correspondant au balayage et faites par le tube analyseur

Une surface sera donc réduite en une succession de lignes parallèles dont l'espace correspondra à la précision de l'appareil

L'axe d'attaque de la fraise sera unique dans une taille de dépouille et multiple si des contre-dépouilles existent.

VIII-8-3-1 - Cas d'un mognon
C'est la dépouille classique
La pièce, empreinte du mognon, a été taillée dans un matériau choisi. L'axe de travail, le mognon fini sera la bissectrice au sommet du cône, donc, toute la face sera accessible à l'outil (dessin n° 67 a)

VIII-8-3-2 - Cas d'une empreinte de couronne

C'est le cas de contre-dépouille
Il faudra, soit orienter la fraise, soit orienter l'axe dans des angles différents pour pouvoir sculpter tous les détails

Le dessin n° 67 b explique l'idée proposée qui peut être modifiée, évidemment si besoin est ; mais de toute façon, on peut obtenir cette centre-dépouille (dessin n° 67c)

Donc nous voyons qu'une dent se divise en 5 plans de sculptage caractéristiques, par 5 lignes de plus grand contour -- par 4 axes horizontaux de travail (vestibulaire, lingual, distal mésial) et 1 axe vertical (occlusal)

Compte tenu de l'angulation possible de la lecture de la plaque holographique nous pouvons obtenir ces 5 faces

Les 5 faces seront sculptées séparément, l'ensemble formant la dent en totalité

Le plus simple semble t-il est un outil fixe en une direction avec fraise variable mais support de l'empreinte tournant de 90°, 4 fois dans le plan occlusal et 1 fois de 90° dans le plan sagittal ou frontal de la dent

L'ordinateur aurait ici pour fonction de n'induire l'action de l'instrument que jusqu'à la limite de plus grand contour

Avec ce même procèdé, on peut sculpter n'importe qu'elle surface.

VIII-8-3-3 - Tour

On pourrait parfaitement admettre une sculpture pour remplacer la sculpture horizontale. Ceci permettrait d'imaginer un appareil de travail, d'abord comme un tour en faisant travailler une tête horizontale puis ensuite en actionnant une fraise pour la taille horizontale triturante.

L'avantage de se système serait la rapidité d'exécution et c'est peut-être la solution

L'empreinte serait une succession de circonférences espacées de 5 à 10 µ . La pièce tournerait de haut en bas ou inversement, du collet à la surface triturante. Arrivé à cette surface, la tête fraiseuse ne travaillerait que sur la face triturante (dessin n° 67 d)

VIII-9 - CONCLUSION

VIII-9-1 - Etude comparative [BEZIER]

VIII-9-1-1 - Machine classique

Les machines outils classiques réalisent assez facilement des mouvements de translation rectiligne et de rotation (fraise) et engendre une bonne précision

Ces machines classiques ont une action soit par mouvement de la fraise, soit par déplacement d'un chariot (fraiseuse à chariot croisé)

Pour satisfaire à la précision on leur a adjoint des servo-mécanismes, les machines travaillant par abrasion, montrent des rectifieuses fonctionnant à l'aide d'un gabarit ou par comparaison optique d'un tracé avec le profil de la pièce.

A l'exception faite des rectifieuses de cône cylindrique, le contact entre l'outil et la surface à engendrer est ponctuelle et non pas linéaire. Si l' avance est très faible les sillons laissés par l'outil sont pratiquement imperceptibles, mais dans le cas contraire (fraisage) il faut enlever l'excédent

Les fraises travaillent dans des conditions assez médiocres surtout pour les grandes précisions

VIII-9-1-2 - Procèdés récents

Nous ne nous appesantirons pas, car nous l'avons déjà vu en détail, disons que des procèdés comme l'électro-érosion sont l'avenir pour bien des raisons

Pour nous le choix reste à faire et ce choix est fonction de ce qu'on exige de notre machine outil (l'électro-érosion peut rendre les contre-dépouilles)

VIII-9-2 -- Conclusion

Nous pouvons dire en conclusion que n'importe quel métal (pratiquement chez nous) peut être modelé, sculpté et ceci avec une précision de 50 µ sûr et de 5 à 10µ par des procèdés très fins

L'usinage suit donc parfaitement la précision de l'empreinte optique.

Nous allons maintenant reporter notre étude (du début à la fin) de notre profession)

RESUME ET APPLICATIONS DE CETTE IDEE A NOTRE METIER

- CORRELATION ETABLIE

- NOTRE TRAVAIL EN CABINET

CHAPITRE IX -

INTRODUCTION

Nous avons expliqué, dans les chapitres précédents comment nous pouvions nous baser sur des techniques existant réellement. Chaque étape est réalisable ; les ordinateurs ont été établis dans différents domaines. Il ne nous reste donc plus qu'à les rappeler, puis, ensuite à lier notre métier vis à vis de cette étude. Enfin, nous expliquerons une ouverture éventuelle vers d'autres domaines.

IX - 1 - CORRELATIONS ETABLIES

Il existe actuellement un système de lecture ou TV holographique ; ce qui veut dire : les appareils prenant l'image en trois dimensions, puis l'analysant (convertisseurs) sont au point. La liaison ordinateur (convertisseur analogique, numérique, ordinateur) existe aussi. Enfin, la commande numérique d'une machine outil et la sculpture sont liées ; nous pouvons donc dire que notre but est de lier les différentes phases, considérant que ceci existe déjà dans d'autres domaines et d'en ressortir des applications à notre métier, il faut relier la lecture TV holographique à l'ordinateur, c'est-à-dire mettre au point un programme et ensuite créer un programme de commande en choisissant notre machine-outil (voir dessin n° 68 a)

Notre rôle sera de lier ces techniques, d'orienter les recherches dans ces liaisons et de coordonner chaque spécialiste dans une phase qui lui est propre

IX - 2 - NOTRE TRAVAIL EN CABINET

Plusieurs cas sont à envisager
- soit la dent est saine (couronne sur dent vivante)
- soit elle est délabrée, ou même absente

Si elle est saine, l'ordinateur est inutile, il suffira de prendre l'empreinte optique avant la taille puis, après la taille,

Dans l'autre cas, l'ordinateur est nécessaire. Evidemment nous approfondirons surtout ce cas.

IX-2-1 - Préparation

Quelque soit le but à atteindre, la qualité de notre travail (taille) n'est en rien modifiée, elle ne doit que tendre vers une amélioration (prothèse conjointe, adjointe). Par contre, en chirurgie, l'empreinte est faite avant l'ouverture donc, elle est non sanglante

IX-2-2 - Vérification

Le changement commence ici. Normalement, la taille faite, nous prenons une empreinte après avoir vérifié à la sonde et la loupe. Cette méthode à notre avis, est assez imprécise ; Pour y pallier, nous proposons de prendre un hologramme de notre taille et de l'agrandir pour mieux voir les détails.

IX-2-2-1 - Prise de l'hologramme classique

Nous plaçons notre laser, Hélium - Néon par exemple, à l'entrée de la bouche, où nous amenons le faisceau à l'aide de fibres optiques (voir additif)

Pour avoir un bon éclairement, nous prenons sur une plaque ou fibre souple, les interférences en quelques secondes. On peut sur un même film, prendre 150 vues en changeant quelques paramètres de l'appareil.

L'hologramme réalisé, nous le fixons sur un socle analysateur nous permettant en utilisant le même laser de restituer l'image de l'empreinte (voir chapitre IV)

Nous pouvons aussi supprimer la plaque et utiliser l'oeil d'une caméra holographique (voir chapitre V)

Dans les deux cas, nous enregistrons, si l'on veut, l'information sur magnétoscope (dessin 68 b)

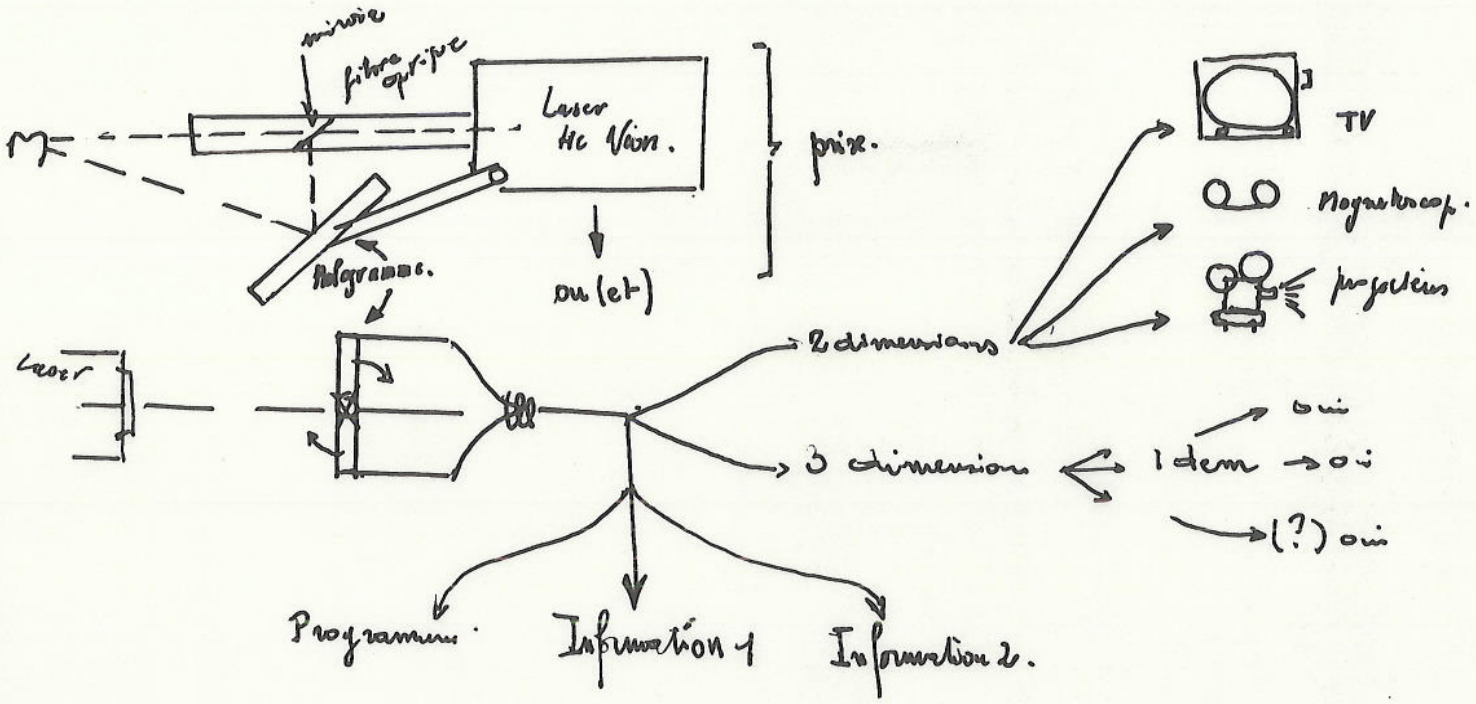
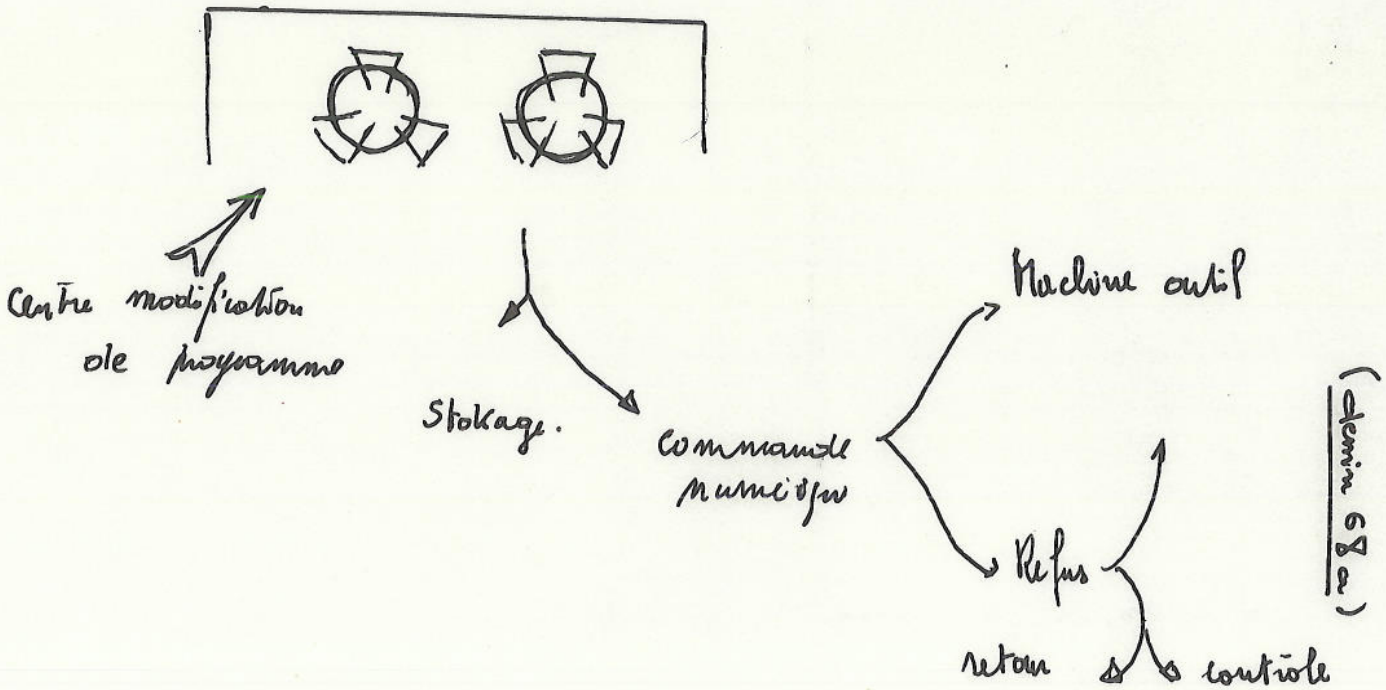
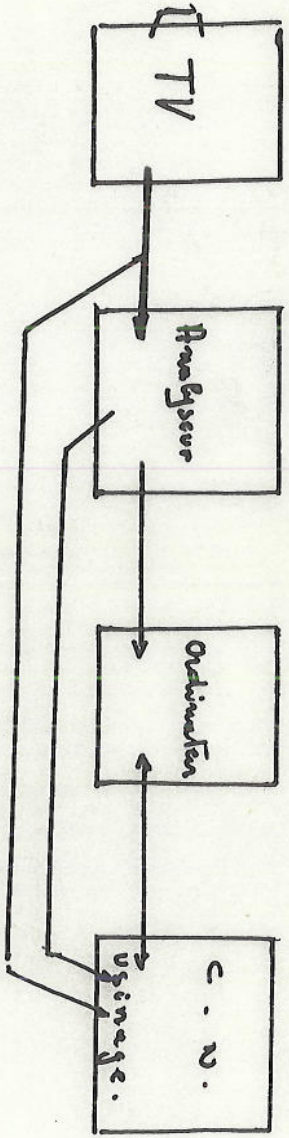


Schéma général.



(dessin 68 b)

(dessin 68 a)



L'analyse de la plaque peut se faire à l'oeil, mais aussi par projection sur un tube convertisseur T V en trois dimensions (T V holographique) et, lorsque l'on aura trouvé une lentille grossissante en trois dimensions, il deviendra possible d'augmenter le rapport objet virtuel et réel au delà de 1/1 et voir même de projeter sur un écran de cinéma

Si l'on veut dès maintenant, vérifier en gros agrandissement notre empreinte, il suffira de la projeter sur un grand écran de cinéma placé dans le cabinet et l'on pourra voir notre mignon 3 m / 3. L'analyse de l'hologramme en temps réel se fera de l'empreinte en trois dimensions réduite en deux, ou, par une rotation de la caméra secondaire (voir dessin n° 69 a) on projettera en deux dimensions une étude progressive de l'hologramme sur 180°, donc on verra progressivement toutes les faces de la dent. La méthode du faisceau divergent par estimation de la profondeur du champ peut être utilisée (voir dessin n° 69 b)

IX-2-2-2 - Conclusion

Pour nous la taille sera vérifiée, agrandie afin que l'oeil ne se fatigue plus et avec beaucoup plus de précision. On sortira enfin hors de la bouche, ce qui jusqu'à ce jour y était resté l'évolution de notre travail et l'observation de la taille avant l'empreinte.

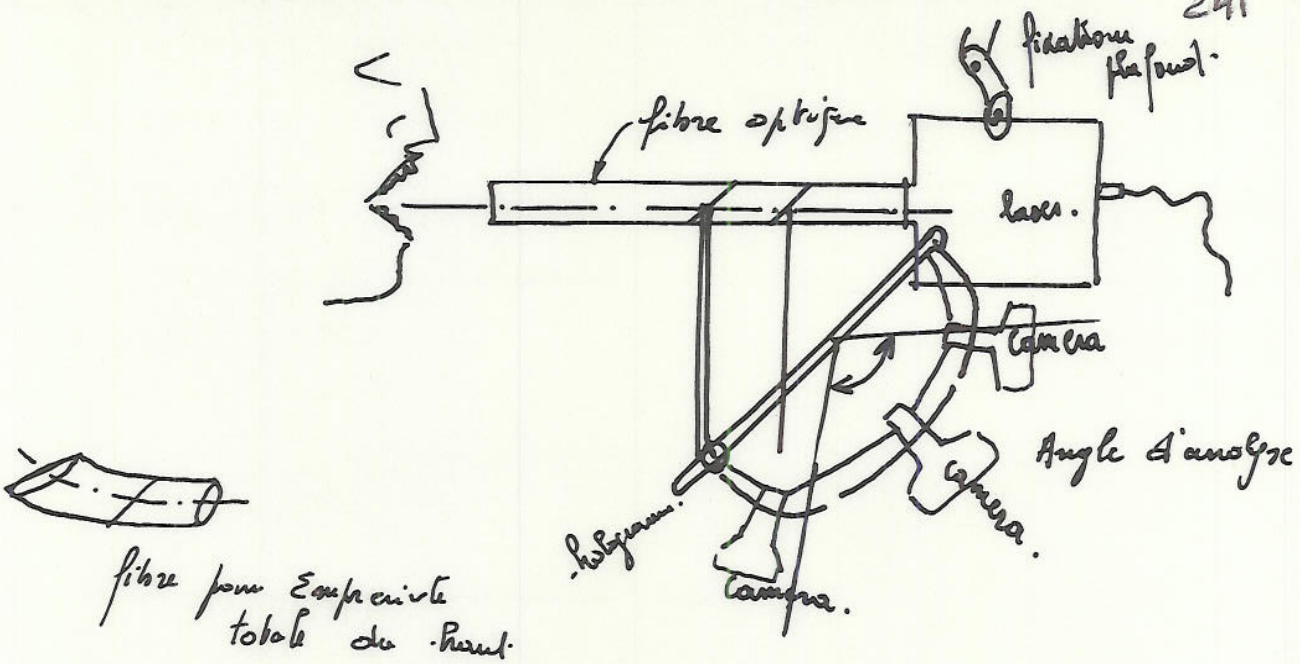
En enregistrant, on pourrait projeter les différentes phases d'un travail pendant l'exécution en temps réel (film) ou en temps différé (plaque : par analyse d'un hologramme portant 150 vues successives "sur magnétoscope" (voir chapitre IV et V)

IX-2-3 - Approfondissement

IX-2-3-1 - Empreinte optique classique répétée

a) dans la pratique courante

on peut justifier à un patient l'évolution de l'esthétique de la bouche (moindre frais : temps réel).

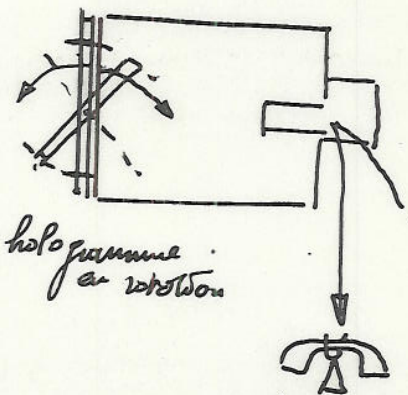


fibre pour Empreinte tabale du haut

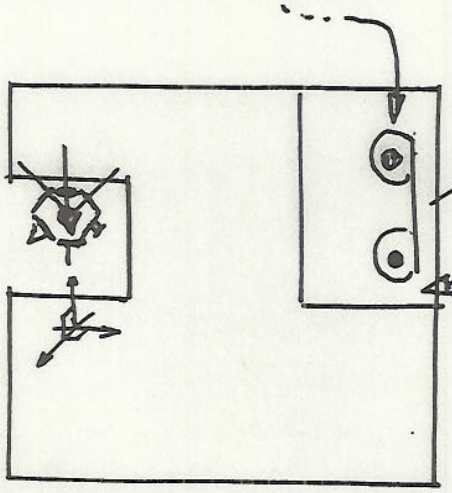
fibre pour Empreinte partielle du haut

fibre pour tabal du bas

fibre pour partiel du bas



(dessin 69 a et b)



machine proposée à mettre sur un meuble (ou sur pied) selon la précision.

machine à sculpter

On peut aussi montrer à des collègues ou à son prothèsiste le choix ou le défaut d'un travail.
En orthodontie on pourra visualiser si l'on a une gression, une version ou tout autre mouvement local ou général. [par empreintes optiques successives dans chaque séance et le tout donnant un dessin animé (dessin 70 a)]

On fait varier légèrement λ pour voir ce mouvement et on superpose chaque vue par enregistrement photographique
En parodontologie on pourra par des empreintes en temps réel, visualiser, à la précision de la longueur d'ondes, un mouvement dentaire, de même par une méthode non sanglante, on pourra donner une valeur exacte du déchaussement (voir dessin n° 70 b)

b) - <u>En recherche</u>

Double but, enseignement et recherche
En enseignement, l'enregistrement d'un travail sera évident et simple, la technique si elle est utilisée :il suffira d'enregistrer l'évolution du travail et de projeter aussitôt ces empreintes optiques successives

En recherche on pourra stocker nos idées et revenir sur l'une d'elles même 30 ans après. (Aucune technique ne mourra)

c) - <u>En général</u>

Comme en sciences appliquées, n'importe quel objet pourra être reproduit sans matrice double préalable et sans l'emploi fastidieux du micro-palpeur

On pourra ainsi, créer des maquettes de ce que l'on observe, aussi bien au microscope : visualisation en 3 dimensions que l'on pourra toucher, ou reproduction de pièces rares que l'on pourra garder. C'est la photocopie en 3 dimensions.

On peut donc admettre que n'importe quelle pièce sera reproduite directement ou par téléphone, d'un musée chez un particulier possédant cet appareil (télex empreinte direct.). De même en

superposant des empreintes holographiques on pourra, avec une base, classer des pièces, même différentes, selon que leurs caractères soient exacts

En effet, la transformation de FOURIER transpose la représentation géométrique par des variables x et y en une série de fréquences spatiales f (x, y). Trois propriétés en montrent l'intérêt dans la ressemblance des formes

1) - Formation d'une fonction en termes de FOURIER, ne faisant intervenir qu'un seul paramètre, la fréquence d'espace, quelque soit la fonction objet considérée

2) - Les basses fréquences traduisent la continuité, c'est-à-dire l'uniformité des objets, alors que les détails fins (contours, points de discontinuité) caractéristiques des écarts entre les formes, correspondent à des fréquences élevées qui s'étalent sur les bords des spectres

3) - L'écriture, en termes de FOURIER, d'une fonction quelconque se fait sur un continu comme dans le cas de l'espace géométrique, ceci permet des comparaisons optiques de formes même lorsqu'il existe des chaines continues de forme intermédiaires.

En chimie, on pourrait visualiser des grosses molécules... ou des plus petites plus tard. D'ailleurs, rien ne prouve que l'on ne sculptera pas des choses inobservables lorsque l'on travaillera à des λ de l'ordre de 1 Å. (L'oeil devient inutile si l'on agrandit ce que la machine observe)

Enfin... si "Apollo" a cet appareil à bord et des matrices de pièces défectueuses... rien n'empêche d'envoyer l'information en ordre... mais ceci appartient au domaine du rêve ! Le but de ce passage est de rappeler les innombrables possibilités d'application.

la suppression de maquette permettrait de reproduire des objets par préparation de pièces théoriques idéales sur papier, en supprimant bien des manipulations (lire "le travail en miettes de FRIEDMANN")

IX-2-3-2 - Empreinte optique secondaire
(revoir chapitre III)

IX-2-3-2-1 - Chirurgie - empreinte

a) simple visualisation

Le principe consiste à ce que la réflexion dans un milieu soit fonction de son indice n (de sa coloration, voir chapitre III) Une telle idée n'est pas prouvée (mais n'est due qu'à notre imagination, donc peut être irréalisable)
Pourtant tout laisse à penser qu'une étude en ce sens s'averrait exacte.
Dans le chapitre III, nous avons bien insisté sur deux choses : les tissus absorbent ou rejettent certaines longueurs d'ondes et transforment ces mêmes longueurs d'ondes durant leur passage. Partant de cette "observation" rien n'empêche d'admettre qu'une étude approfondie de ces caractères permettrait de savoir qu' elle $\lambda(I, \lambda)$ (paramètres) représente une réflexion sur l'os et sur les mélanocytes et, quelle est la fréquence nécessaire pour obtenir une interférence à la sortie après réflexion.

En connaissant la fréquence de sortie après réflexion sur l'os et en faisant interférer avec cette fréquence sur la plaque, seuls les rayons réfléchis par l'os seront emmagasinés, donc l'empreinte obtenue sera celle de l'os (invisible) et non pas celle de la gencive. (voir dessin n° 70 c)
C'est cette empreinte que nous appelons empreinte optique secondaire

b) Coloration

De la même manière en colorant électivement lez zones souhaitées à observées, on pourra obtenir une réflexion et une interférence élective de ces zones, donc une visualisation elle-même élective (voir dessin n° 70d)

XI-2-3-2-2 - Application

a) Dents incluses

Une visualisation de la dent permettra de savoir :

pas de page 246

- Sa position dans l'espace et le temps
- ses rapports anatomique
  (voir dessin n° 70e)
- de distinguer la pointe osseuse à enlever

b) Fracture maxillaire ou autres fractures

Par cette empreinte, on visualisera un trait de fracture, le déplacement d'une pièce osseuse dans l'espace (entorse) (voir dessin n° 71 a et b)
La remise en place sera d'autant plus précise

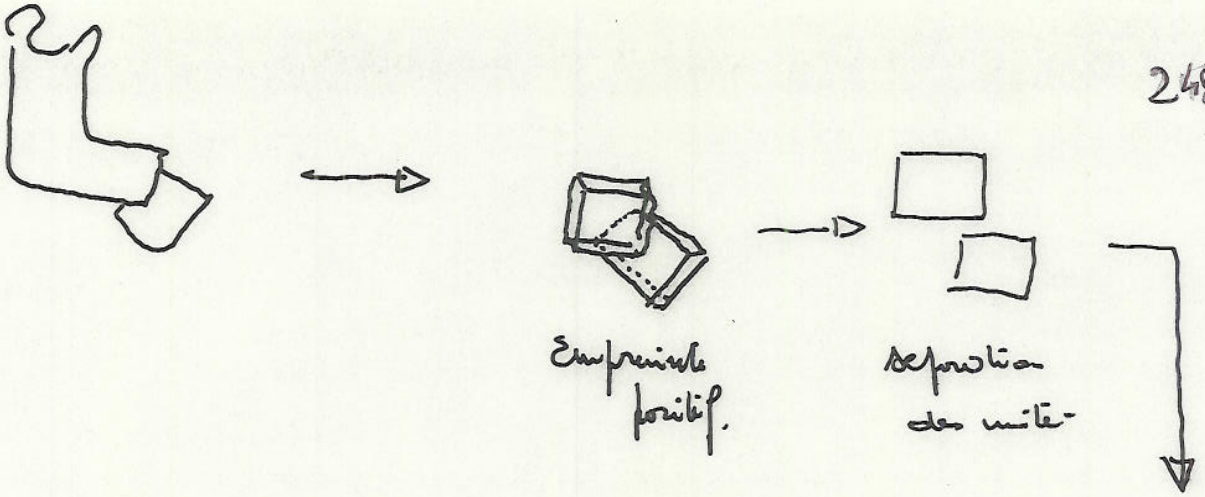
c) Tumeurs et rapports anatomiques

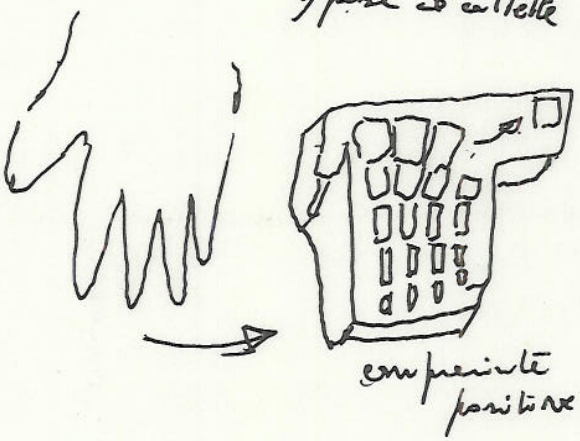
Une coloration élective (chapitre III) additionnée d'un changement des paramètres du rayon, permettra de situer une tumeur, ses rapports ou n'importe quelle pièce anatomique. L'intérêt essentiel de cette méthode est :

- de savoir s'il y a refoulement des rapports ou invasion, donc la détermination du caractère de la tumeur
- de visualiser des rapports veineux ou nerveux facilitant grandement certaines opérations d'abord difficile (cou), donc, on situera la tumeur ou toutes autres malformations et l'on pourra compte-tenu de ces rapports, choisir la voie d'accès à suivre sans risque de lésions dangereuses (voir dessin 71 c)

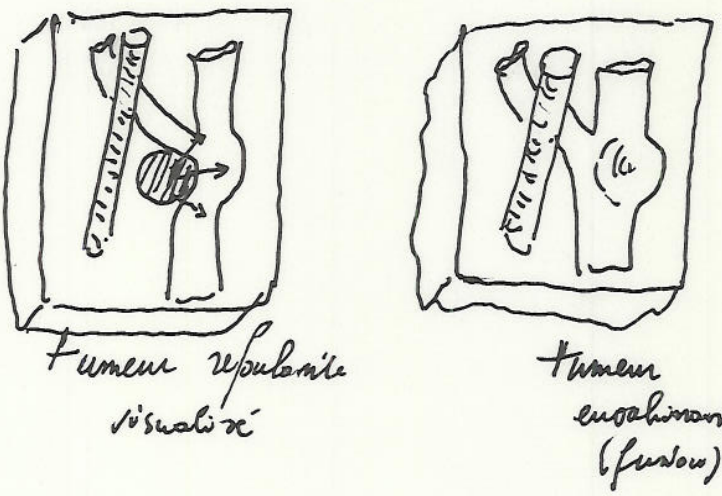
d) - Atelles osseuses de toutes sortes

- Haute-chirurgie : en chirurgie osseuse on peut parfaitement admettre l'empreinte d'un os, donc ensuite la préparation d'atelle de contention avant d'ouvrir la jambe.
L'avantage est que la pièce prothètique sera préparée tranquillement avec de bons matériaux sans méthodes sanglantes et, les pièces osseuses pourront être jointes en position idéale. On ne clouera la pièce métallique que lorsque les pièces osseuses seront jointes parfaitement. L'idéal serait de connaître la position antérieure. Aussi, nous proposons dans le même sens des applications souvent idéalistes mais réalisables (voir dessin n° 71 a BRUGIRARD)





(dessin 11 a et b)



(dessin 11c)

- *Anatomie : on visualisera exactement pour un individu donné l'aspect osseux sans méthode sanglante*
  De même on pourra voir dans notre métier par exemple, l'épine de Spix, le trou mentonnier, ou les trous palatins ...

e) *Implantologie : double aspect*

1/ une empreinte de l'alvéole permettra de réaliser un positif exact de l'alvéole, donc le positionnement d'une dent, en porcelaine ou en métal idéal

2/ les implants "plaqués" seront réalisés facilement et exactement et posés idéalement (voir anatomie et attelles chirurgicales)

f) *Prothèse conjointe (voir dessin n° 72 a)*
L'empreinte de type secondaire permet enfin d'envisager l'empreinte sous deux rapports : la dent et son support

- *Le support : c'est l'os. On peut voir son aspect et sa texture, le degré de déchaussement, les dénivellations*
- *La dent : c'est la seule empreinte rigoureuse permettant de visualiser d'une façon absolue sans fil ou autres méthodes traumatisantes, la taille du bord triturant au rebord osseux (et non au collet). Le problème de l'attache épithéliale est à revoir*

g) *Prothèse adjointe*
L'onde que l'on peut obtenir peut à notre avis (par un choix judicieux et la considération des paramètres équivalents) prendre une empreinte sans pression, et successive dans le temps (empreinte à caractère primaire). L'empreinte successive permet non pas de modifier le pourtour d'une pâte (très aléatoire) mais progressivement d'éliminer de la découpe théorique des zones de contraction. Ainsi, par des mouvements choisis, additionnés d'un palpeur extensiométrique, on situera sur ordinateur le pourtour idéal

(voir dessin n° 72a)

Par différence entre l'empreinte optique primaire et secondaire on aura exactement l'épaisseur de l'épithélium... restera à en déduire exactement les zones de pression (voir dessin 72 b)

Pour la prothèse squelettique nous ferons intervenir le programme ordinal

h) Travail du métal

Le travail du métal est un problème théorique important reporté en pratique : la contrainte dans un métal peut être visualisée en interferométrie "cohérente" comme en interférométrie classique le résultat pratique est que notre appareil d'enregistrement permettrait par une telle empreinte de visualiser les zones d'effort dans le métal (voir dessin n° 72 c)

i) vérification

La superposition de l'hologramme théorique et de la couronne usinée permettrait [77] de contrôler l'exactitude, mais aussi dans le temps le degré et la position d'usure. En paradontologie on pourra visualiser dans le temps les zones d'usures et leur évolution. Cette idée est applicable aux dents naturelles (voir dessin n° 72 d)

IX-2-3-3 - Conclusion

Qu'il s'agisse d'empreintes optiques primaire ou secondaire, le résultat est très intéressant. Le centre de recherche devra approffondir les paramètres (... et coloration) pour tirer tous les avantages d'une telle méthode.
Penser que la méthode s'arrête à la sculpture d'une empreinte, représente une idée bien peu intéressante. Notre but est de poursuivre au-delà de l'empreinte, de rechercher une quantité d'applications pratiques les plus étendues possibles, car cette méthode résoud beaucoup d'autres problèmes

j) Problème du pivot et de l'instrument fracturé

Le problème du pivot nous le savons est essentiel. Nous pensons que puisqu'il est possible de prendre un détail quelconque de la dent, on peut prendre l'empreinte du pivot de la même manière l'empreinte du canal . Si cela n'est pas réalisable, l'empreinte sera faite, le pivot en place.
Si cela est réalisable, le pivot sera placé après l'empreinte coulée ou même sculptée selon l'empreinte exacte du canal (suppression du mooser)

De même, si l'on peut prendre un canal, on peut prendre l'empreinte de la chambre pulpaire. Il semble donc évident que l'empreinte prend alors une toute autre dimension.

1/ - Deuxième degré

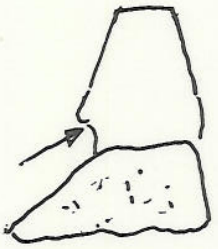
L'empreinte du second degré permettra la réalisation d'Inlay, oulay parfaits, donc l'amalgame deviendra inutile et le ciment sera remplacé par une porcelaine scellée. L'ère de l'amalgame du "plombage toucherait à sa fin"

2/ - Troisième degré

On visualiserait la cavité par une empreinte, donc on pourra visualiser l'orifice permettant un coiffage sur mesure

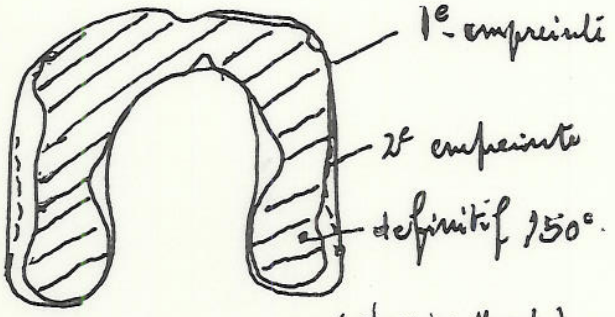
3/ - Troisième degré

La visualisation en empreinte hors de la bouche permettrait de retirer les racines et de savoir si la dent est correctement ouverte (suppression des cornes pulpaires) puis on pourrait repérer le placement des instruments à canaux ou une éventuelle fusion des racines (voir dessin n° 72 e). Enfin, par des techniques à développer, les cônes d'argent seraient faits sur mesure



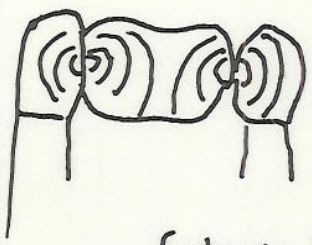
(dessin 72a)

visualisation d'une
contre dépouille

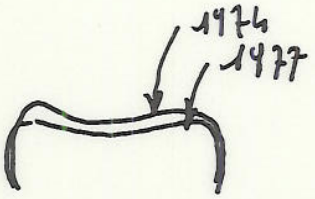


(dessin 72b)

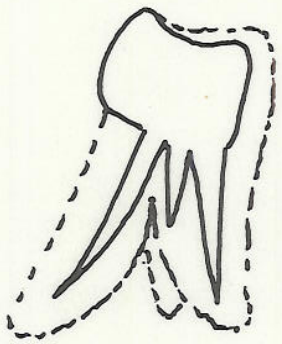
prothèse du bas.

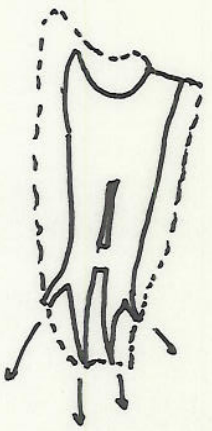


(dessin 72c)

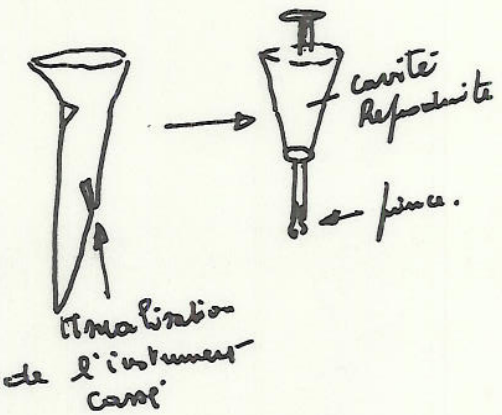


(dessin 72d)

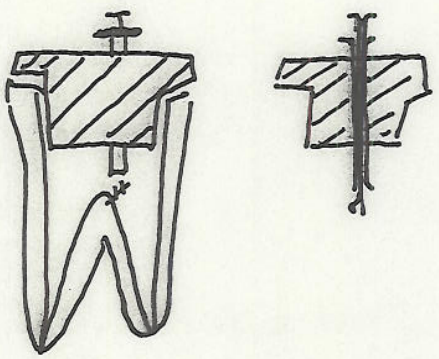




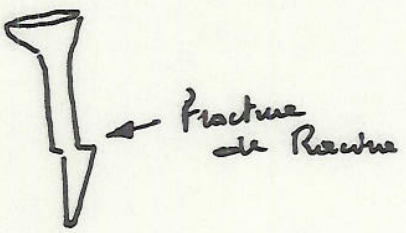
(dessin 72e)



(dessin 72f)



(dessin 72 g e.)



(dessin 72 i)

En cas de rupture instrumentale

le fragment serait repéré et l'instrument pour l'atteindre, préparé avec soin ; pour celà il suffirait d'utiliser une araldite transparente (voir dessin n°72g) Des instruments seront disponibles avec une pièce et un crochet en bout (voir dessin n° 72 f), sur lesquels on pourra couler en araldite dégradable, l'empreinte exacte de la cavité (voir dessin n° 72 g)
Il suffirait d'introduire l'instrument, le crochet sera exactement placé sur la pièce cassée, du fait de la complémentarité araldite - cavité, et l'extraction sera immédiate (voir dessin n° 72 h)
Notons que l'application permettrait de passer les recherches dans un autre domaine ; un choix plus étendu de métaux car il peuvent par cette méthode être coulés mais aussi travaillés directement

Enfin, une racine cassée sera mise en évidence d'une façon rigoureuse sans risque d'artéfacte (voir dessin n° 72 i)

IX-2-4 - Analyse des données numériques

L'analyse de l'empreinte a été enregistrée par l'hologramme puis analysée par un balayage ou toute autre technique .
Nous pouvons donc admettre que des informations par balayage arrivent progressivement

IX-2-4-1 - Arrivée de l'information (voir chapitre III et V)

XI-2-4-1-1 - Magnétoscope

L'enregistrement sur magnétoscope se fait par impulsion électromagnétique résultant des intensités d'analyse ponctiforme de l'image

La restitution peut-être immédiate et induire la commande numérique d'une machine-outil. Cette même restitution forme le départ d'une constitution en image de l'empreinte effectuée
En suivant les données, il est possible de sculpter l'intérieur d'une couronne ; ceci ne nécessite pas un ordinateur

Enfin, si la couronne est vivante, on aura avant, l'empreinte de la dent telle qu'elle doit être après.
Le problème que l'on soulève est évidemment l'espace qu'il faut laisser pour le ciment ou, la diminution de l'"intensité cuspidienne" en fonction du métal utilisé pour la couronne (suivant certaines théories admises). Pour résoudre ces problèmes, nous passons à l'utilisation de l'ordinateur
Le magnétoscope permet d'autre part à un dentiste de stocker dans son cabinet des bandes porteuses d'informations sous toutes leurs formes.

IX-2-4-1-2 - Télévision, projecteur cinématographique

Ils permettent, dans le cabinet comme dans les centres de recherche (voir plus loin) de visualiser l'empreinte afin d'en contrôler les exigences.

IX-2-4-1-3 - Terminal

Les informations relevées sur l'"empreinte optique" doivent, dans le deuxième degré du travail, être transmises à un ordinateur pour avoir un plus grand traitement qu'il s'agisse d'informations primaires ou secondaires

Il semble aberrant de posséder chez soi un ordinateur. Nous proposons l'utilisation d'un ordinateur qui sera relié à chaque cabinet par un terminal de type téléphone par exemple.

Les informations seront donc envoyées par cette voie au traitement proprement dit

IX-2-4-2 - Ordinateur (chapitre VII)

IX-2-4-2-1 - Rappel

Nous rappelons (revoir chapitre VI) que l'ordinateur est schématiquement, la machine capable d'accepter des informations sous formes codées, de leur appliquer certaines transformations et de produire des résultats sous formes codées

Nos informations seront de deux sortes :

- l'information 1 sera une dent ou n dents typiques de la bouche que l'on analyse. Ce qui veut dire que l'ordinateur recevra l'empreinte optique d'une dent plus ou moins usée, selon l'âge, l'état physique...
- l'information 2 sera l'empreinte optique du mognon ou de la cavité par exemple, que l'on veut traiter.

Le programme lui, sera constitué par les facteurs que nous ferons intervenir pour que la couronne, l'appareil ou toute autre pièce soit reproduite idéalement lors de la sculpture.

Le dentiste devra donc envoyer ces deux informations et aussi le type de programme choisi

Par exemple, il enverra pour une couronne or :

1°/ - information 1 : 6 4 7

2°/ - programme C — C R Or 8

- programme C' { antagoniste Or
  accessoire { déchaussement 1 m/m

3°/ - information 2 moyen de 8

Dans le chapitre sur les ordinateurs, nous avons développé plus avant les idées, mais il est à remarquer la simplicité de l'emploi car il suffit d'envoyer les informations et de choisir sur des tableaux établis, le type de sculpture désirée

Dans ce même ordre d'idées, l'envoi d'une information pour un appareil squelettique sera :

1°/ - programme G — Sq — Or
{ 6 dents ...
{ mobilité respective
{ longueur des racines
{ selon DUBECQ et CUMMER

2°/ - information empreinte

IX-2-4-2-2 - Centre de recherche

Pour établir un programme, nous pensons que l'ordinateur devrait être dans un centre de recherches. Nous voulons dire par là que des chercheurs spécialisés en chaque domaine, feraient et modifieraient leur programme en fonction de leur propre recherche, mais aussi en fonction des résultats obtenus dans les cabinets, donc aucun praticien ne serait isolé dans son exercice et le recyclage de base ne serait que très partiellement nécessaire. Seuls les spécialistes changeraient certaines données pour arriver à des couronnes idéales.

Par exemple, la sculpture d'un "squelettique" se ferait par des théories qui suivraient l'évolution des recherches, et un programme type DUBECQ, modifié 74 pourrait être choisi par le dentiste.
De même en orthodontie, les données suivraient l'évolution de cette science.

IX-2-4-2-3 - Avantages de l'ordinateur

Suivant les métaux désirés, les antagonistes présents, le degré d'usure latent de la bouche considérée, les théories du jour... la sculpture (sculpture de la couronne évidemment) sera modifiée.

Donc trois sortes de sculptures seront proposées (voir dessin n° 73 a)

- la première étant l'empreinte

- la deuxième l'intérieur de la couronne augmente en fonction de la Granulométrie du ciment de scellement.
Elle pourrait elle-même être modifiée sans nuire à la précision de l'ensemble pour permettre l'insertion des bridges, sans soucis, et idéal (voir dessin n° 73 b)

Dans le cas du mignon:
Si le mignon est normal et l'insertion possible (compte-tenu de l'élasticité du métal) l'empreinte intérieure sera intacte.

pas de page 25

Si, par contre, (voir dessin n° 73 c) la contre-dépouille (par exemple) est trop importante, deux solutions seront possibles.

- refus de l'information compte-tenu du pourcentage et l'erreur admissible
- acceptation et façonnage intérieur avec modification idéale, compte tenu de la mauvaise taille d'une couronne, s'adaptant parfaitement à la dent et partiellement à l'idéal admis.

Le dentiste sera donc prévenu dans ce cas, et choisira l'une ou l'autre solution (voir dessin n° 73 d)

La troisième sculpture

sera la sculpture extérieure et sur cette sculpture jouera presque la totalité des programmes établis dans l'ordinateur, c'est en effet l'aspect extérieur, anatomique de la dent couronne.

Ainsi en plus de l'empreinte, l'ordinateur induira la sculpture de la couronne ou de toute autre pièce prothèbique suivant le programme choisi.

L'avantage de l'ordinateur est donc de permettre la sculpture de l'extérieur de la couronne par la même méthode que la sculpture du positif de l'empreinte. Le programme étant les données que l'on transmet à l'ordinateur

Il sera aussi la modification toujours importante de ce même programme compte tenu des données théoriques mais aussi pratiques au moment de son utilisation.

Enfin la grande capacité de mémoire que sont les ordinateurs permettant le stockage de toutes les dents théoriques de l'organisme (voir dessin n° 73 e)

IX-2-4-2-4 - Retour de l'information

L'ordinateur renverra donc à la commande numérique trois informations de trois positifs. Il le fera sous forme de code destiné à la sculpture

IX-2-5 - Usinage [300 - 301]

A - Empreinte unitaire ou totale

IX-2-5-1 - Réusinage

IX-2-5-1-1

Il s'agit de la sculpture d'un positif.
On utilise la machine directement sans faire intervenir de facteur sur le programme. L'information 2 [empreintes] est transmise sur un bloc qui sera sculpté. Ce bloc peut être une résine très dure comme de l'araldite, un métal même très dur ou simplement du plâtre...

Nous en tirerons donc, soit l'empreinte classique, soit l'empreinte (chirurgie) de l'os, des veines avec coloration de tout rapport anatomique.

IX-2-5-1-2 - l'usinage utilisé sera :

si c'est un métal conducteur par exemple :
- électro-érosion
- électro-chimie

s'il s'agit d'araldite
- fraisage
- ultra-son

a) - Electro-érosion (voir dessin n° 74 a)

1) Générateur à impulsion (courant iso-énergétique)
2) Electrode très fine 4 à 8 µ cylindrique
3) L'axe du piston porte-électrode sera par rapport à la pièce, celui qu'a le tube analyseur par rapport à l'empreinte
4) Le nombre de la pièce "électrode" peut-être par exemple de 8 ; (compte-tenu de l'intensité) pour une électrode de 8 µ de large, pour obtenir une précision de 10 µ ; cent aller et retour seront suffisants, ainsi qu'un décalage de 2 m m

Résultat : très bonne finition (poli)
temps relativement réduit
peu d'usure de pièce
très bonne précision
(mettre au programme)

b) - Electro-chimie

1) Loi de FARADAY : M = Cste It
2) Nous chercherons la même disposition que celle de l'électro-érosion (micro-électrode, huit en nombre, largeur (ce qu'il faut) déplacement suivant la précision)
3) Ici la loi de FARADAY nous permet, compte tenu des facteurs (824) , en faisant varier I, de réduire la finition qui reste très bonne mais surtout d'augmenter la vitesse de travail.

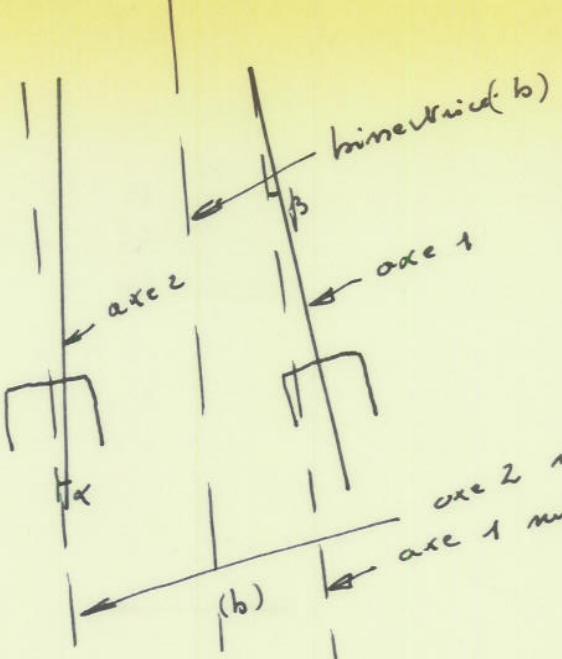
Avantages : - une usure de l'outil de travail nulle
- une grande précision
- finition et rapidité

c) - Ultra-son

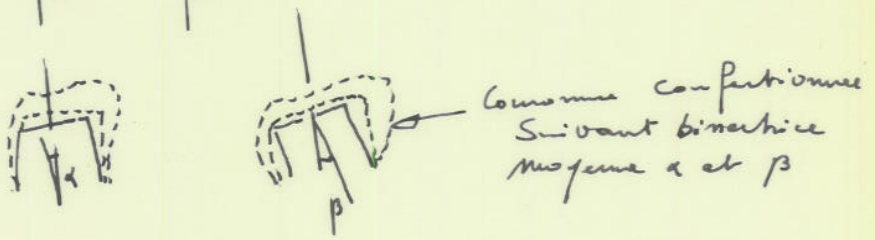
Nous utiliserons une lame très fine transmetteuse de vibrations ; la granulométrie de l'abrasif est fonction de la précision désirée. On peut, là encore, admettre un balayage de la surface

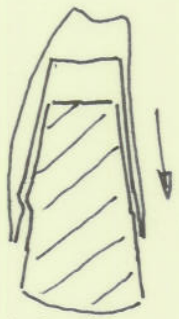
d) - Fraisage (voir dessin n° 74 a)
Le travail se fait toujours en trois dimensions, le problème sera l'usure de la pièce qu'il faudra réduire au maximum, en donnant à l'outil la possibilité de travailler avec le maximum de rendement.
Il est évident que l'attaque sous d'autres angles sera réduite à l'obtention des contre-dépouilles

IX-2-5-2 - Présentation

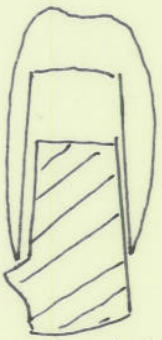


(dessin 73 a)

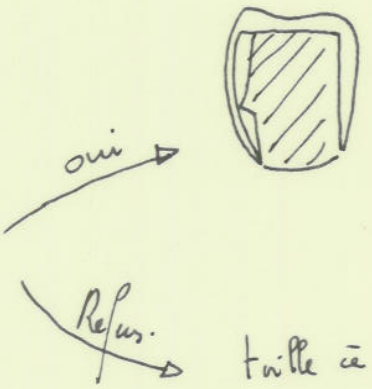


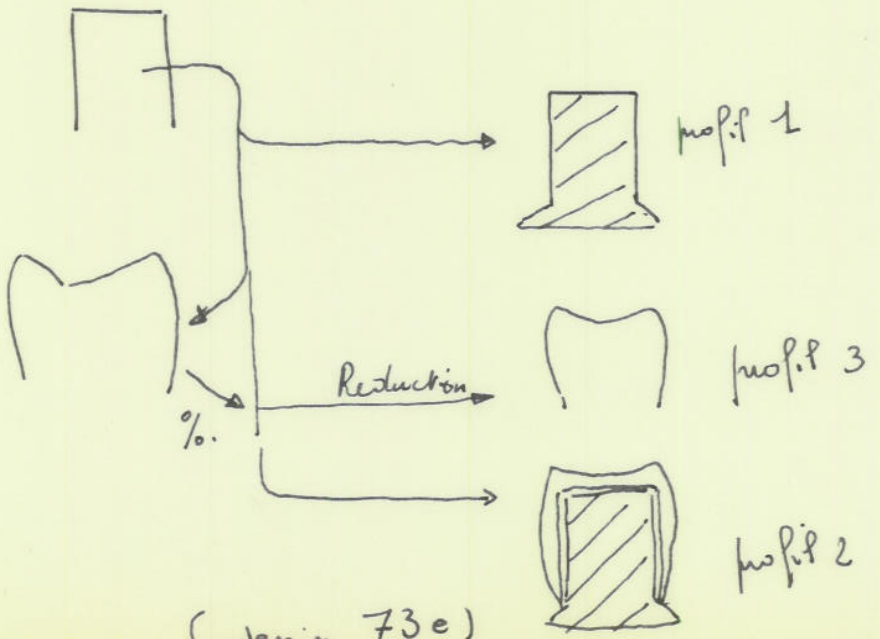


le métal permet le passage.
(dessin 73 b)



le métal ne le permet pas.
(dessin 73 cd)





(dessin 73 e)

Si l'empreinte est prise perpendiculairement à l'axe, ou si cette perpendiculaire est rétablie et si elle est parfaitement dépouillée pas de problème, un axe de travail suffit, l'axe perpendiculaire au plan de l'empreinte (voir dessin n°76 a)

Par contre, si l'empreinte est en contre-dépouille, l'hologramme sera analysé selon deux angles, voir même un balayage. L'angle d'attaque de l'outil sera alors celui de la lecture

IX-2-5-3 - Résultat (voir dessin n° 76 b)

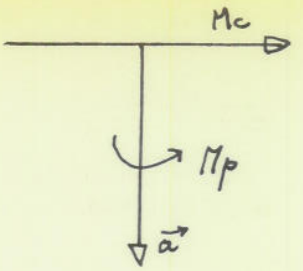
Le résultat sera une empreinte totale ou partielle comme celle que l'on obtient classiquement ; mais ce qui est moins classique est que le temps est réduit jusqu'à 10 fois ; Elle pourra être en acier inoxydable comme en plâtre, sa précision sera de ce que l'on voudra et non ce que l'on pourra ; elle sera invariable dans le temps et reproduite si l'on veut en n exemplaires sans en affecter la précision

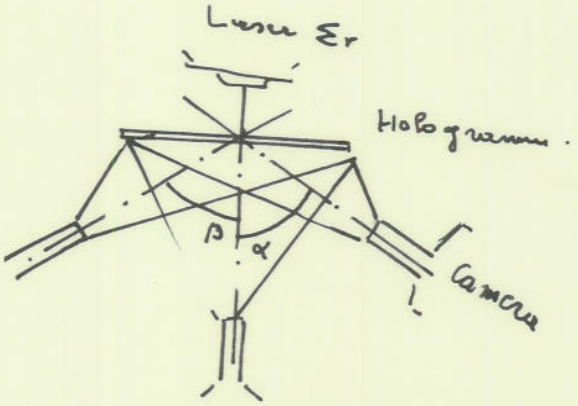
IX-2-5-4 - Variantes

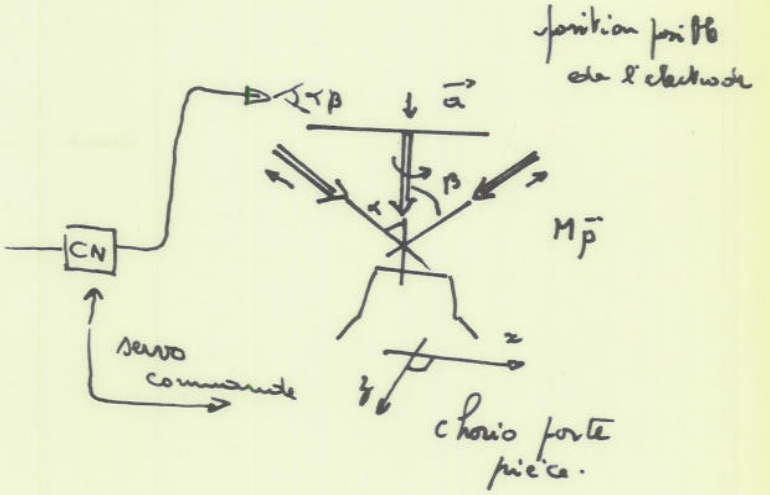
IX-2-5-4-1 - changement d'instrument (voir dessin 74c)
un outil peut choisir, outre son angle, sa forme, ce qui fait que l'on peut faire des ébauches à la fraise, ébauches rapides puis finition par un procédé électro-chimique

IX-2-5-4-2 - changement d'angle (voir dessin 74 a etd)
On peut volontairement supprimer une contre-dépouille, (dessin) et obtenir (II), donc la couronne au collet sera parfaite car le diamètre au collet maximum évidemment sera sculpté, il suffit de refuser les angles ∝ et β et de travailler seulement perpendiculairement

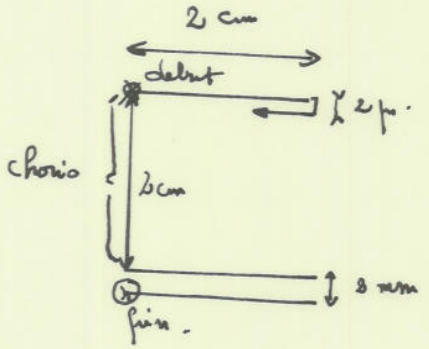
IX-2-5-4-3 - Changement de matière
Il est évident que le travail de produits résineux est moins " traumatisant" pour une fraise et plus rapide mais la finition reste délicate car il y a impossibilité d'utiliser la méthode électrolytique.



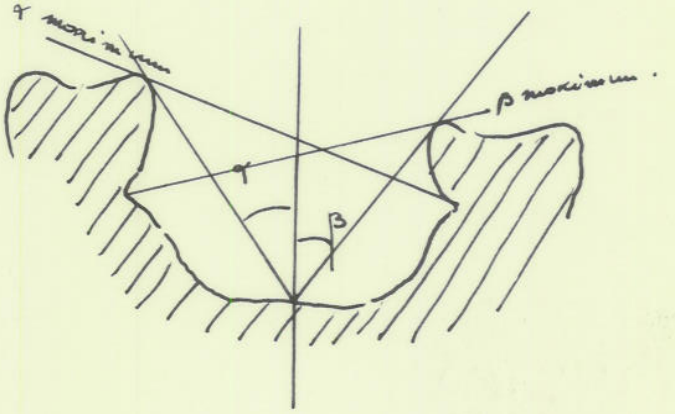


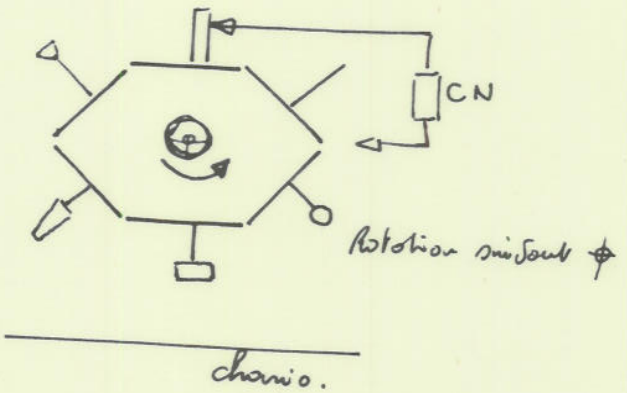


(dessin 74a)



(dessin 74b)





(dessin 74c)



(dessin 74d)

On choisira donc des produits pour des empreintes donc une précision de finition ne sera pas nécessaire (O.D.F., parodontologie, chirurgie buccale)

Par contre, on pourra utiliser des matériaux très durs nous permettant de couler de l'or en fusion (correction faite mathématiquement de la rétraction) et considérer un inlay triturant comme un creuset à or...

En coulant un matériau dur mais destructible, on pourra faire un mandrin que l'on pourra détruire, si par exemple la contre dépouille devient nécessaire (voir dessin n° 75 a)

Enfin, sur de l'araldite on peut mettre un dépot très fin conducteur (argent) permettant ainsi de traiter si le besoin s'en fait sentir, l'empreinte "résineuse" pour un dépot d'électro-formage.

IX-2-5-4-4 - changement de forme d'instruments

L'angle et surtout la forme d'attaque d'un instrument fera qu'il faudra étudier une sorte d'instrument pour un usage précis (dessin 75 b) une petite contre-dépouille pourra être obtenue par une fraise ronde ou cône renversé (voir dessin n° 75 b)

IX-2-5-4-5 - Facteurs (voir dessin n° 74 tête)

Nous avons étudié les facteurs principaux, mais il est important de signaler que d'autres facteurs jouent (vitesse de rotation $\vec{Mc}$, vitesse de pénétration $\vec{a}$, vitesse d'avance $\vec{Mp}$)

IX-2-5-5 - Conclusion

En combinant comme nous l'avons fait, ces différentes possibilités n'importe quelle forme peut être obtenue dans la mesure où elle est accessible à la machine. Pour notre empreinte, cela est parfaitement possible, y compris le creusement d'un pivot.

La précision est fonction de l'instrument et de la vitesse désirée. Une bonne méthode, assez rapide, une heure, voir deux, permet une précision de sculpture sur des métaux mous ou très durs de quelques microns.

On ne perd donc pas la précision de 5 µ de lecture par notre tube analyseur.

B - Problèmes particuliers de la couronne en prothèse conjointe et de toute autre forme de métal

IX-2-5-6 - Couronne classique coulée

La couronne classique coulée, pourrait être sculptée sur des sortes de couronnes préformées comme le seraient des "ions" mais en or, cela éviterait une perte (récupérable certes, car non fondues) d'or ou autres matériaux.

Il me semble que l'électroformage, c'est à dire le dépot électrolytique de métal aurait un avantage certain.

IX-5-6-1 - Electroformage

Cette technique nous permettrait d'éviter la couronne préformée. En considérant l'empreinte sculptée (plus pourcentage accordé au ciment) comme mandrin, le dépot se fera d'épaisseur constante à partir de la base.

En se rappelant que plus il est rapide, plus grand est le risque de parasites, et en considérant les facteurs vus en [83] nous pourrons en une heure déposer 0,5 m/m d'or, valeur suffisante pour une couronne. Le mandrin étant l'empreinte, on sculptera ensuite l'information idéale de la couronne à moindre perte, en évitant la sculpture interne de notre couronne. Le mandrin destructible serait souhaitable car le démoulage serait évident
Ce procédé permettrait d'autre part d'imaginer une succession de matériaux mis en sandwich, réalisant ainsi une coopération idéale et permettant peut-être d'éviter l'or en surface (interaction mercure de plombage et or supprimé) voir dessin n° 75 c)

On pourrait ainsi faire des dépots de matériaux se rapprochant de la couleur et l'éclat de la dent, en évitant la porcelaine sur toutes les dents. L'intérêt serait la fracture de la porcelaine évitée et un dépot métallique possible partout.
(le temps des couronnes visibles serait passé)

IX-2-5-6-2 - Bridge

Peut se construire de la même manière, la sculpture extérieure se ferait progressivement et on pourrait admettre un point de contact très fin et théorique.

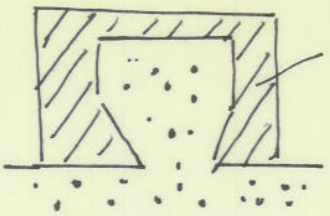
La soudure au laser paraît être admise si les couronnes sont séparées à la fin (points de contact tres fins) (voir dessin n° 75 d)
L'avantage de la sculpture en une pièce est évident (temps, propriété du métal) l'avantage du laser, comme nous l'avons dit précédemment, consiste en ce qu'il peut être fait contre la céramique sans l'altérer ; les grains de métaux ne grossissent pas ; soudage ponctiforme de 25 µ et extraordinairement solide.

IX-2-5-6-3 - Couronne céramique, couronne à vis

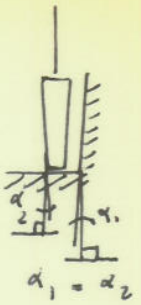
Il suffit de sculpter avec le programme le dépot d'électroformage; Un judicieux système de couplage avec un découpage au laser [87] ou autre bombardements électroniques [86] permettrait par cette haute énergie de percer de part en part la couronne, l'inlay corps (sous couronne) et ainsi obtenir après la taille dans la masse des trous à usage divers (voir dessin 75 c)

IX-2-5-6-4 - Stellite

Le problème de stellite est facilité (théoriquement parlant, toujours) par le système d'usinage chimique
En installant un masque souple selon la découpe tracée par l'ordinateur, puis en faisant sur un résineux, par exemple un dépot de conduction puis, un dépot d'alliage chrôme cobalt.
On fera déposer le stellite directement (voir dessin 76a)
Cela vous permettrait ainsi le sandwich voir des zones de choix de métal en changeant les masques en cours d'opération (élasticité plus grande...) (voir dessin 76 b).
On peut de même admettre le découpage du stellite par une ligne traçante au laser [77]
La aussi, on évite la coulée et l'on peut, par soudure au laser ajouter des attachements librement



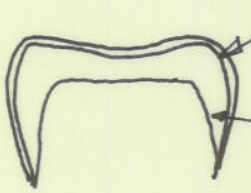




(dessin 75a)



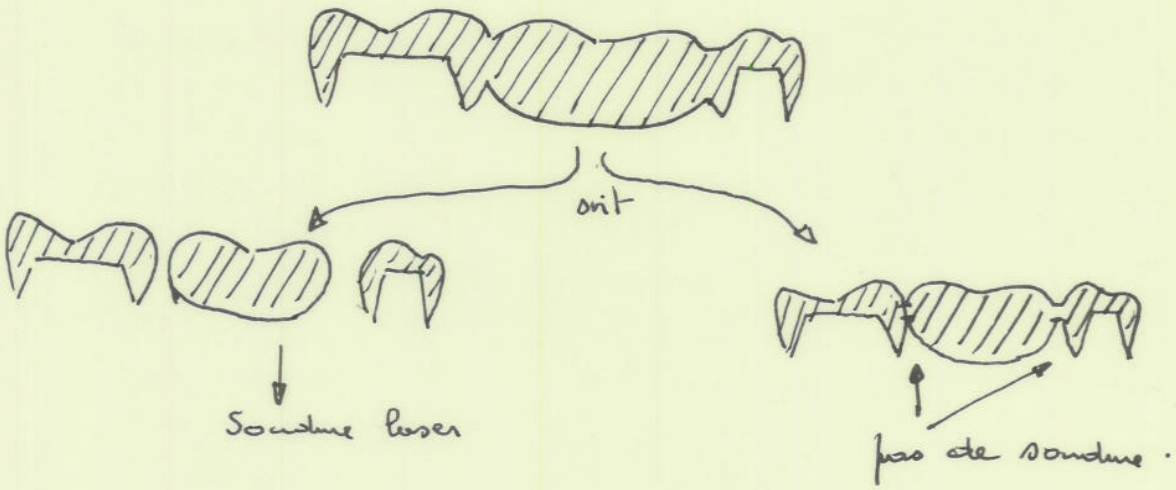
Water dépouille maximum admise (précision diminue + x est élevé ...)



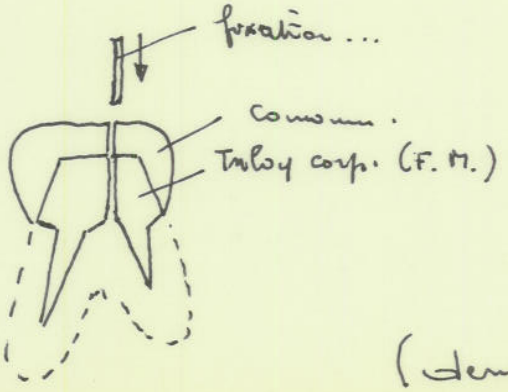
(dessin 75b.)

<u>couronne Sandwich</u>

(dessin 75c)



(dessin 75d)



(dessin 75e)

IX-2-5-6-5 - dent à pivot

En mettant le pivot en place, le dépot peut se faire aussi sur ce pivot (voir dessin 76 c) ou à sa place

IX-2-5-6-6 - Couronne ajustée

Il suffit de tailler l'intérieur de la couronne supprimant le métal excédentaire, mais gardant l'avantage de la cohésion au collet (voir dessin n° 76 d)

IX-2-5-6-7 - Conclusion

Nous voyons donc, qu'en utilisant l'électroformage, sans ou avec masque, on peut obtenir des couronnes avec peu de perte après la sculpture

Ces couronnes peuvent être de toutes sortes et le laser peut les travailler ou les souder.

Des combinaisons métalliques nous permettent enfin d'associer des métaux en zones topographiques choisies et en couche successives choisies.

Le tracé idéal d'une prothèse et la sculpture idéale d'une couronne sont garantis de 5 à 10 µ près.

La soudure peut être évitée mais peut être utilisée, pour celà une seule ne paraît actuellement acceptable, c'est le bombardement à haute énergie [laser ou bombardement électronique, ou, alors la merveilleuse soudure à l'ultra-son 854]

Enfin, n'importe quelle forme peut-être obtenue

Le champ d'étude pourrait être positif compte tenu des possibilités d'agencement et de précision offertes

Donc, nous pouvons dire que l'usinage suit l'analyse en précision, il est le seul temps long de l'opération

- usinage 1 heure maximum (empreinte)
- dépot 2 heures maximum (couronne)
- usinage finition 2 heures

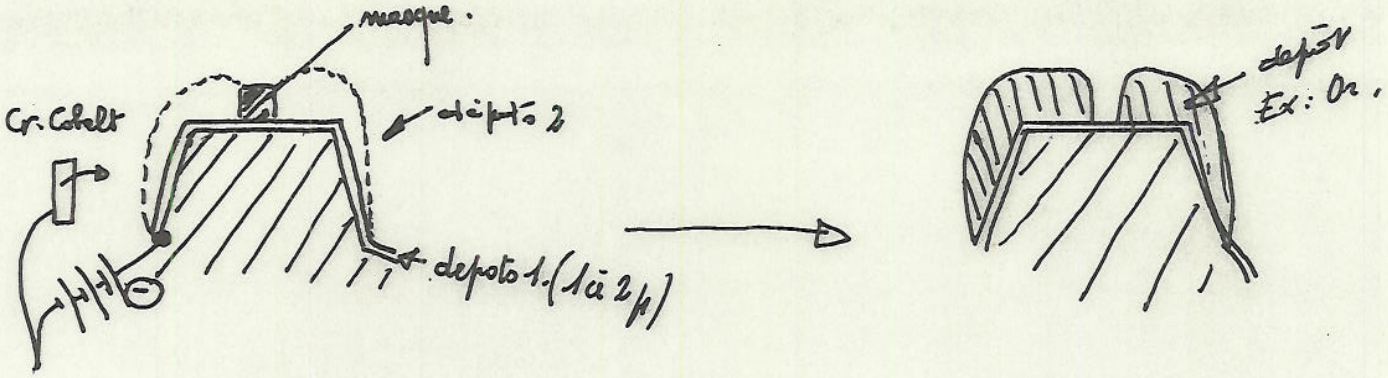
En 5 heures, 1 bridge complet ou une couronne peuvent être scellés après la taille... gain de temps, quelques semaines... et prix de revenu à étudier, voir suite... très favorable même dans les conditions théoriques actuelles

Vous pouvez nous reprocher de faire un catalogue de possibilités. Afin de comprendre pourquoi, il faut voir que ce choix est nécessaire, d'autre part, une sélection faite : fraise et électro-chimie peuvent être fixées à une même tête d'attaque. Le bain électroformage peut-être accolé à une machine à sculpter, fixant le temps de dépot en fonction du programme. Enfin, le laser utilisé pourrait être amplifié par un laser gaz par exemple, pour permettre la soudure, ou deux lasers, un hélium-néon et un rubis, peuvent être réunis.

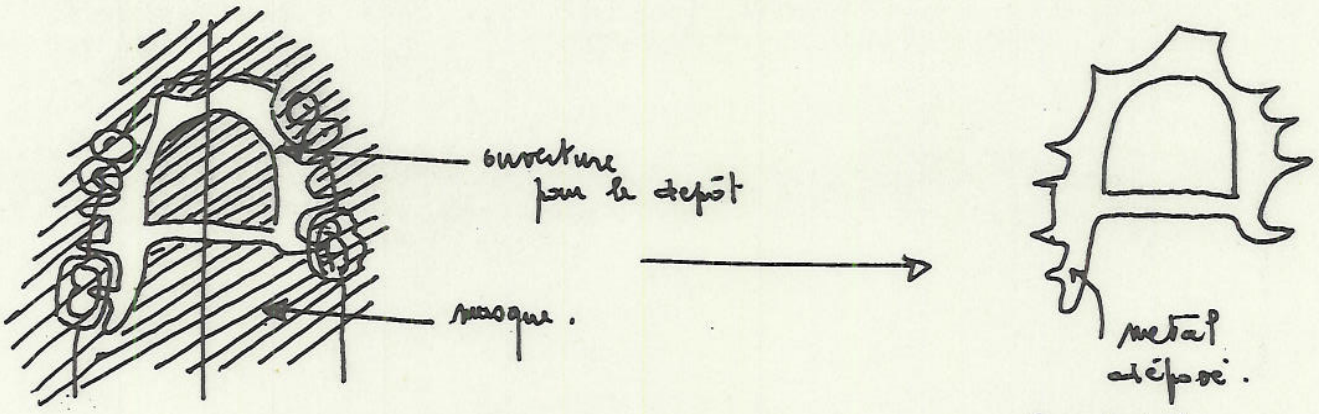
1/ - Donc, n'importe quelle forme, n'importe quel métal, n'importe quel agencement de métaux, n'importe quelle soudure (la soudure de plastique par ultra-sons remplaçant nos résines-auto) sont obtenues par ce système avec une précision de 5 à 10 µ (actuellement, selon les possibilités techniques) Nous travaillons avec une précision de 100 à 500 µ avec nos méthodes classiques

2/ - Nous supprimons tout changement d'état même au niveau de la soudure, nous n'intervenons donc pas au niveau des variations primaires (chapitre 1) car nous sculptons une pièce établie et en équilibre avec les systèmes l'environnant

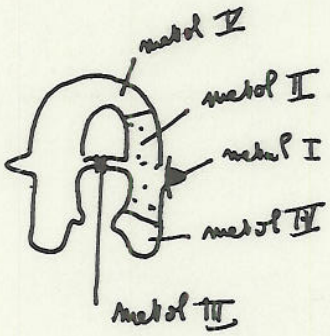
3/ - Nous supprimons pratiquement totalement les variations secondaires et tertiaires en supprimant la manipulation et le risque de destruction partielle ou totale de l'empreinte Ce qu'il faut comprendre c'est que la pièce n'est accessible à la main humaine que lorsqu'elle est réalisée en couronne, c'est-à-dire nous ne pouvons en modifier la sculpture par notre manipulation



(dessin 76 a)

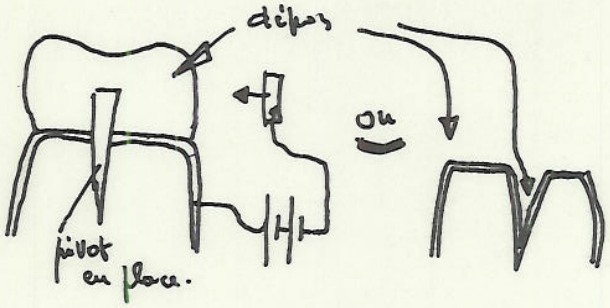


(Sléphilé)

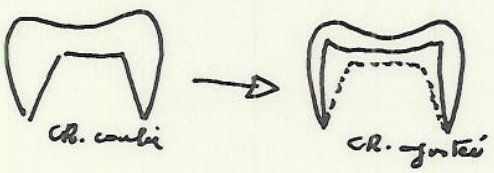


Sléphilé Sandwich.

(dessin 76 b)



(dessin 76 c)



(dessin 76 d)

CONCLUSION GENERALE

Nous avons décrit les grands principes qui lient l'objet et son hologramme
Dans l'additif comme dans les chapitres laser et hologramme, nous avons insisté sur ses avantages et ses inconvénients
La simple reproduction d'une empreinte ne justifie pas cette méthode même si elle est plus précise ; le prix de revient de départ étant relativement élevé, nous proposons au-delà de la simple empreinte, la réalisation de toutes pièces de prothèses conjointes (couronnes, bridges, coiffe...) et adjointe (squelettique complet...) la mise en place de pivots et attelles de contention, nous essayons de justifier l'inlay par rapport à l'amalgame d'argent qui, selon nous n'aurait plus de raisons d'exister si ce n'est pour des raisons économiques.
Enfin, quelques applications à caractère original sont proposés.
L'appareil sera donc en plusieurs parties

- dans le cabinet, un laser hélium-néon avec fibre optique et plaque fixe pour la prise en bouche (voir dessin 69 a)
- il y aura restitution et analyse par tube analyseur type T.V.
- l'information recueillie sera transmise à un ordinateur par terminal dans un centre de recherche ou les programmes seront établis (voir dessin 60b)
- de ce centre, par ce même terminal, est renvoyé l'information de commande numérique d'une machine outil à haute précision (voir dessin n° 69 b)

La couronne ou l'appareil squelettique seront ainsi totalement réalisés en une ou deux heures après la taille

Dans ce travail, nous décrivons l'empreinte classique et le pourquoi de son inexactitude (chapitre I) nous définissons le laser et ses avantages (chapitre II) puis son action sur l'organisme (chapitre III)

Ensuite, dans le chapitre IV nous réalisons et définissons l'hologramme.
Dans le chapitre V nous l'analysons par tube analyseur puis nous créons un programme pour chaque cas, (chapitreVI) le tout (chapitre VII) induisant la commande numérique d'une machine outil. Ces machines outils (chapitre VIII) sont utilisées suivant les cas, chapitre IX

Pour court-circuiter éventuellement la lecture totale, nous conseillons de se rapporter au chapitre IX et éventuellement si l'intérêt s'en fait sentir, de se rabattre sur les chapitres précédents

La lecture se fait en nano-secondes, l'analyse en quelques 1/10° de seconde, la programmation en quelques minutes et la sculpture en une ou deux heures...

La précision est de 5 à 50 µ suivant la technique choisie.
Les possibilités de l'empreinte optique sont essentiellement liées au fait que l'on utilise les données que nous offre l'optique cohérente (chapitre II) sur le milieu biologique largement étudié (chapitre III) et les données électroniques (chapitre IV et V) appliquées à l'ordinateur (chapitre VI), le tout réalisé par l'intermédiaire d'une machine outil à commande numérique (chapitre VII et VIII)

Le rejet de l'empreinte classique vient de ce caractère absolu de l'imprécision, de la conservation et de la reproduction souvent problèmatique, de la fragilité du temps de laboratoire trop long et trop lié à l'expérience du prothèsiste. Il vient aussi du caractère agressif que représente psychologiquement l'empreinte classique en bouche.

L'empreinte secondaire, liée au fait que des paramètres sont modifiées, permet la réalisation d'attelle ou de visualisations intéressantes sans méthode sanglante.

Ces travaux représentent un ensemble préliminaire à un programme plus vaste.

Reconstitution d'objets fictifs (d'après les spécialistes de l'hologramme)

" La plaque photographique constituant un hologramme ne comporte que des variations de noircissement et il n'y a pas de raison pour qu'on ne puisse pas les reproduire artificiellement. Grâce à l'ordinateur, on calcule l'amplitude émise par un objet fictif dans un plan quelconque. On lui ajoute une amplitude auxiliaire qui joue le rôle de l'amplitude produite par l'onde cohérente. L'ordinateur calcule l'intensité résultante : une imprimante liée à l'ordinateur reproduit sur une feuille de papier ces variations d'intensité. Il n'y a plus qu'à en prendre une photographie convenablement réduite pour obtenir un véritable

hologramme. On peut ainsi reconstituer en trois dimensions des objets qui n'ont pas d'existence réelle. [297] "

Nous espérons par cette thèse modeste et bibliographique avoir ouvert notre métier vers d'autres recherches.

LE GRAND-LEMPS, [redacted]

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie par ordre d'apparition dans le texte

1 - EMC lejoyeux, 23.064 A^{10}, 5, 1971

2 - FAUCHARD traité des dents, tome 2 servieres 1.786

3 - EMC (12) page 2, 2.333 S^{E10}, 1961

4 - NGUYEN NGOC THNAN, étude des élastomères, thèse 1973

5 - NALLY, matériaux et alliages dentaires, Prélat 1964

6 - BACHMAN, étude comparative dimensionnelle, RMSOS n° 4 p. 434-73, 1965

7 - BACHMAN, " " " " Septembre 1964

8 - BOLL, chimie à l'art dentaire chez ballière Paris 1949

9 - SKINNER, et PHILLIPS, the Sc of dental matérial, samders, ed philadephie

10 - LE JOYEUX, prothèse complète, tome 1, Maloine, ed Paris 1971

11 - CHOURAQUI, étude critique des différentes techniques, prothèse fixe ROS n°7 1968

12 - LEJOYEUX, matériaux d'empreinte, propriété physique, RUS n° 10 1963

13 - HUBERMANN, évolution de la technique d'empreinte, RFOS n° 8 1303-34 1967

14 - CAITUCOLI, variation linéaire d'élastomère ROSt midi FR n° 1 1970

15 - POGGIOLI, hydrocol et thiocol, RFOS n° 8, 1963

16 - ROUCOULE, précision et stabilité dimensionnelle I. Dent n° 45 1972

17 - MARTINELLI, dental laboratory, techno, the CV Mosby company StLouis 1970

18 - DURVILLE, du gypse au plâtre thèse 2ème cycle 1/1973

19 - BANIAC, contribution à l'étude sulf. Ca semihydrate ADEP 1968

20 - SKILLER, recristallisation of calcium, J, APP CHEM 1962

21 - TARLIN, hydratation kinetic of calcium Nature 1965

22 - PICOU, cristallographie p. 243 Sedes 1957

23 - FONTALTABA, minéralogie p. 94 Marabout U 1965

24 - PERROL, cours 2ème année ENCDL 1970

25 - BRUNNER, Physikalische Egers chaften, Diss Zurich 1954

26 - FORGETON, couronne coulée, choix de positifs, thèse 2ème cycle Paris 1973

27 - DEYROLLE, précision dimensionnelle des positifs, thèse de 2ème cycle, Paris 73

28 - EMC, Démolon 5. 23.064 C^{10} 1971

29 - CHOURAQUI, étude d'empreinte critique, thèse 2ème cycle 1973

30 - MEYERS, Propriété de Oxyd Zn et Eugénol impression, JD Res 10

31 - PHILLIPS et SKINNER, science des matériaux prélat ED, 39.48 1961

32 - PHILLIPS, the effects of résidual stress and water, J Dent. Res. 37816-23, 1958

33 - MEYER, uber die Prüfund clostischer abformmasen Dtsch Zah Z 11 (10) 1956

34 - POGGIOLI, technique moderne d'utilisation des n en p. F R de St 56 (n° 11) 813 1955

35 - PEYTON FLOYD, restaurative dental matérial mosby St. Louis USA, 188-98, 1968

36 - TORFO, Précision en prothèse fixe REUS (1) n° 5 p. 681 à 97, 1959
37 - J.D Belge n° 1 1955, p. 5 à 26
38 - J.D Belge n° 3 1953, p. 179 à 93
39 - J.D Belge n° 5 1958, p. 291 à 311
40 - MOKLER et ADIR, an. ex. for hyaroscopique expansion J.Den Res. (39)578-89 1960
41 - ROUCOULE, prothèse dentaire, mabine Paris 1969
42 - MARMASSE, DO tomme II, p. 512 à 643
43 - DOCK, EMC 23.066 A^{10} S. 1970
44 - BLANC-BENON, thèse 3ème cycle p. 28 à 30 Lyon 1972
45 - BLANC-BENON, SOS Lyon n° 6 (28) 1971 p. 211 à 214
46 - LABE REY, composite SOS Lyon n° 6 (28) 1971 p. 211 à 14
47 - WINTERHAGER, Röntgerographische Métall. und Technik 14 1.157 à 62 1960
48 - BLANC-BENON, ZIPFEL, physicochimie composit SOS Lyon n° 6 (28) 1971 , 249 à 57
49 - GAUTHERON, cours CES biochimiste structure métabolique maîtrise 1972
50 - COLOBERT, énergie dans la cellule, cours de biochimie, Lyon 2ème année médecine 1970
51 - ARZELIES, thermodynamique, relativiste et quantique Gauthier Villard
52 - BOUCHE, thèse 3ème cycle Paris VIe
53 - WATELLE Gi, Cours 1ère année CB BC Dijon 1967
54 - LAROUSSE, XIIe p. 757 , 1957
55 - Encyclopédie I. des sciences et techniques Presse de la cité 1972
56 - CUVILLIER, manuel de phylosophie 1939 Armand Colin
57 - ENCYCLOPEDIE QUILLET, tome I p. 526
58 - TRILLAT, Cours de physique PCB Hermann 1961
59 - BRUNOLD JACOB, textes phylosophiques Belin 1965
60 - MILL, Syst. de logique tome 1 p.12 Alcan
61 - C. BERNARD, introduction à la médecine expérimentale I (1)
62 - SCIENCES et AVENIR, les laser n° 8 1971
63 - EINSTEIN "Zeitschrift fur physik (18) 1917
64 - EURIN et GUIMIOT, cours de physique M.E 1966
65 - BRUHAT, optique p. 948 à 1000 Masson Paris 1965
66 - BERNARD J. Y, Int. à mec. quantique Hachette
67 - THOMPKINS H. au pays des merveilles, chez Gamov
68 - BERNARD, laser et maser PUF 1965
69 - L. de BROGLIE, physique et microphysique Michel ed.
70 - L. de BROGLIE, cahier de physique de 1948 et 1948
71 - PAULI, th. of relativity (1921) Pergamon Press 1958
72 - PLANCK, Berl. Ber. p. 542 à 580 1907
73 - PLANCK, Zur Dynamik Bew. Syst. (Ann Phys. Bd. 26 p. 1 à 34 1908

74 - BROTHERTON, Fonet et Utilité des masers et lasers, DUNOD, 1970

75 - Cours physique CPEM, Grenoble 1969

76 - GUILL, cours de mécanique (II) Beranger 1911

77 - BROWN, les lasers, Larousse 1970

78 - FERRETTI, les lasers, librairie Parisienne de la radio 1972

79 - FERRETTI, le haut-parleur, n° 1939 p. 150

80 - FERRETTI, le haut-parleur n° 1984 p. 213

81 - S Vie, n° 533, 1962

82 - S et V. n° 609, p. 92, 1968

83 - Cours de physique, Math. Eve (l'école)

84 - " " " " " (Magnard)

85 - " " " " Eurin et Guimiot (Hachette)

86 - S. et V. n° 635 p. 50 1970

87 - Electronique professionnelle n° 1397 p. 31 Mars 1973

88 - Qu'est-ce que... le laser, Journal Electrique n° 211

89 - BULLIER, thèse 2ème cycle, le "laser" Mai 1973

90 - LEVINE, lasers, DEKKER New-York 1966

91 - FEYMAN, cours de physique Bilingna 1970, mécanique tome I

92 - Optique d'aujourd'hui "Atome" p. 356 à 63, 1968

93 - Quelques applications du laser "Nucléus" 324 à 30, 1965

94 - KRUG, contribution au microscope interférentiel

95 - Cohérent et incohérent HEWLETT PACKARD JOURNAL, Juillet 1966

96 - Laser Interferometer, " " " , Août 1967

97 - Réalité, la Science p. 39 n° Spécial 1963

98 - SOBOLEV, les lasers, MIR Moscou 11/1973

99 - CASTELLS, Action chez monochr. Rev. Clin. Esp. 104 (1) p. 48 - 55 1967

100 - GRANT, Méchanisme of inflammation Proc. Soc. Exper. Biol. Méd. USA 119 (4) 1.123 à 9 1965

101 - TOMBERG "Biophysical effects of laser "19th" Année Conf. 1966 San Francisco

102 - TOMBERG, "Non thermal biological effects. of laser "Nature G.B 204 (4961) 868 - 70 1964

103 - GORODEC'KYJ "Oscillations dans les milieux biologiques sous effet du laser à rubis" Fiziol Zh Ukrafin R.S.R 13 (2) 230 - 3, 1967

104 - GORODEC'KYJ, "Activité biologique du laser" Inst. Physio. A.A. Act. Sc. R.S.S.S.U Kiev 222 - 9, 1967

105 - GOLDMAN, école "biomédical Asp. of lasers" J. Amer. Méd. Ass. 188 (3) 302 - 6 1964

106 - SMART, école "the role of lasers in biology and médecine", phys. Bull G.B 20, 5 à 9, 1969

107 - TOMBERG, "Biological effects. of concentrated laser beams," polytech. inst. Brooklyn. Res. Int. symp. Ser., 13 , 505 - 508, 1969

108 - VISHNEVSKI, école "Use of lasers, in biology and médecine", EKSPTL. KHIRURG. ANESTEZIOL 8 (6) 3 à 5 1963

109 - FINE, école "lasers in biology and médicine", laser focus USA, 5 (13) 28- 36 1969

110 - FOX, école, "développements in biologie effeck of lasers, " Méd. Ann. Dist. Colombir, 34 , (8) 353 - 356 1965

111 - FINE, école "Biological effects. of lasers", Adv. biol. méd. Phys. USA, 10 149 - 226, 1965

112 - MADDOCK, "The laser : dévelopment and uses", Hazper Howp, Bull, USA) 24 (5) 238 - 42, 1966

113 - BENEZETH, Arch. Mal. Prof. Fr, 81 (1) 36 - 41 , 1966

114 - ZARET, "laser application in médicine", Z. angew. Math. Phys. Schweiz, 16 (1) 178 - 81, 1965

E N Z Y M E S

115 - KLEIN, école "effects. of lasers on biological systems", Ann. Internal. Méd., 68 (4) 725 - 726 , 1966

116 - ROUNDS, école, "effect. of the laser on cellular respiration", Z. Zelfersch. mikr. anat. Dstech 87 (2) 193 - 8

117 - STORB, "effects on deshydrogénase activitées" Exper. Cell. Res. USA , 45 (2) 374 - 84, 1967

118 - KLEIN, école "Laser radiation with biologic systems. III", Feder, Roc, USA 24 (1) Part III 1965, 5104 - 10

119 - IGELMAN, école "Exposule of. enzymes tolaser radiation", Ann. Ny, Acad. Sci. 122, 790 - 801, 1965

E N D O C R I N A L

120 - EGNER, école "laser Strahlenstickvers. uche an fisch. Mélanophérein, Z. Wiss. Miks. Tech. Dstch 70 (1) 17 - 22 , 1970

R E P R O D U C T I O N

121 - LANG, école "lasers as tools for embryology and eytology" Nature, 201 (4920) 675 - 677, 1964

122 - FINE, école "lasers : effect. on rat embryo and fetus in utero", Life Sci, G.B. 4 (5) 615 - 23, 1965

123 - GOLSTEIN, "Irradiation of sper. tails by. laser. microbeam", J. Exper. Biol G.B, 51 (2) 431 - 41, 1969

ACTION SUR LES TISSUS

124 - BROWN, école "laser radiation II, effects on incranial structure", Neuro U.S.A, 17 (8) 789 - 96, 1967

125 - BROWN, école " Craniocerébral trauma induced. by. lasers", Life. Sci. G.B 5 (1) 81 - 87 , 1966

126 - FOX, école "effects. on the central nervous II" neurof neurong Pscheatry G.B. 31 (1) 43 - 9, 1968

127 - HOYES, J. neuropath. Exp. neurol. U.S.A. 26 (2) 250-8 ,1967
128 - LAMPERT, J. neuropath exP. neurol. USA. 25 (4) 531 - 41, 1966
129 - ZANISCH, Zbl. Allg. pathol. Anat. Dtsch. 110 (5) 458-64 , 1967
130 - KELEMEN, Arch. Oto. Laryngol. USA, (6) 603-9, 1967
131 - MARCHAL, Z. Angew. Math. Phys. Sweiz. 10 (1), 181, 1965
132 - MARCHAL, CR. Acad. Sci. Fr. 259 (2) 465-68
133 - LE BEAU, CR. Acad. Sci. D. Fr. 269 (13) 1216-17, 1969
134 - ROSOMOFF, Arch. Neurol. USA, 14, 143-8 , 1966
135 - LISS, 16 (8) 783, 1966 Neurol.
136 - BROWN, Neurology 16 (8) 730 - 7, 1966
137 - EARLE, Feder. Proc. USA, 24 (1) post III 5129-42, 1965
138 - FINE, Life. Scie. G.B. 3 (3), 199-207 , 1964

N E R F S

139 - HOGBERG, Acta.Soc. Médicum. Upsal. 72 (34), 105 - 19, 1967

O R E I L L E S

140 - AUDRY, CR Acad. Sc. de Frs. 262 (13), 1476 - 9, 1966
141 - BURGEAT, Rev. Acoust. Fr. 3 (9) 51 - 2, 1970
142 - BURGEAT, " " " 2 (6) 129-32, 1969

O E I L

143 - ASMUS, Amer. J. Opham. Arch. Amer acad optam 47 (1) 18-23, 1970
144 - GEERAETS, Amers " 66 (1) 15-20, 1968
145 - DAVIES, Appl. Opt USA 8 (10) 2147-8 , 1969
146 - ZARET, Sciences USA, 134 (3489); 1525-6, 1961
147 - JONES, Invest. Opt. USA 5 (5) , 474 - 83, 1966
148 - L'ESPERANCE, Amer J. Opht. 68 (2) 263 - 73, 1969
149 - SCRIBNER, Electronic. USA 42 (14) 110-1, 1969
150 - DRAEGER, Opt Suisse 152 (3) 212-8, 1966
151 - DEITZ, Appl. Opt USA, 8 (2) 371-5, 1969

OEIL ONDE

152 - AMAR, Bibl. Opt Suisse (72, 414-6, 1967
153 - AMAR, CR acad. Sci. Fr. 259 (20) 3053-5
154 - DESVIGNE, Cr. Acad. Frs. 259 (8) 1588

OEIL LIQUIDE

155 - DESVIGNES, Cleveland ohio conf. Commith. 17 th Ann/ Conf. 1964
156 - NOSTRI, Minerve Opt Ital. 11 (2) 63-5 1969
157 - NOSTRI, Minerve Opt Ital. 10 (5) 153-5, 1968
158 - NOSTRI, " " " " " 156-60, "
159 - " " " " " " 161-2, "
160 - " " " " 11 (3) 96-8, 1969

I R I S

161 - WATTS, Exper. Egs. Res. G.B. 8 (4) 470 - 6, 1969

C O R N E E

162 - BETTELHEIN, Bioch. Bioph. de la cornée, Pays-Bas 177 (2) 259-64, 1969
163 - FINE, Amer, Opt. S. 66 (1) 1-15, 1968
164 - CAMPBEL, amer. Opt. S., 66 (4) 614-32, 1968
165 - " " " " " 604,614, 1968
166 - PAR, Inverst. Opt. USA, 6 (4) 356-63, 1967
167 - FINE, Amer. J. Opt 64 (2) 209-22, 1967
168 - FINE, Science USA, 162 (3849) 129-30, 1968
169 - SEVAST"JANOUA, Biofzika SSSR, 11 (2), 295 - 8, 1966
170 - PEPPERS, Appl. Opt. USA, 8 (2) 377-81, 1969

C R I S T A L L I N

171 - SIMAKOV, Manch. DeKl. Vyssh. Shk. Biol. Nanki. SSSR, 12 (7) 39-46, 1969
172 - " " " " " " " " 188 (6) 1387-9, 1969

R E T I N E

173 - ZARET "Analyse of factor" Feder Proc. USA 24 (1) III, 1965
174 - SMITH, "Ocular Hazard", Amer. Opht. J. 66 (1) 21-31, 1968
175 - CAMPBELL, "Thres Old. of the rétine domage) Arch. Opt. Thol. 76 (3) 437-42, 19
176 - CLARKE, "Equilibrium Thermal model" Appl. Opt. USA, 8 (5) 1051-4, 1969
177 - HOYES, "Thermal model for rétinal model" AGARD conf. Proc. Fr. (25-28) 128-19 1967
178 - HANSEN, "[illegible] model" Appl. Opt. USA, 7 (1) 155-9, 1968
[illegible] L'ESPERANCE, "Effect. on rétinal vascul" Arch. Ophtal. USA, 74 (6) 752-9, 196
180 - MARSHALL, "Histology of formation lesion rétinal" Exper. Eye. Res. G.B. 6 (1-4-9) 1976

181 - KOHTIAO, "Température in and photocoagul" Amer. J. Opt. 62 (3) 524-8, 1966

182 - KOHTIAO, "Herschold lesion in rablit rétinal "Amer J. OPht, 62 (4) 664-9, 1966

183 - NICHOLSON, "Laser lesion" Nature G.B 210 (5036) 637-8, 1966

184 - GORN, "Rétinal danage in visible" Arch. Opht. USA 77 (1) 115-8, 1967

185 - Allwood, "Trans. Changer. in the électrorétinogramme" J. Physio. G.B. 187 (2) 31, 1966

186 - NOEL, "Rétinal Damage big. Light in rats" In opht USA, 5 (5) 450-73, 1966

187 - RATHKEY, "Accidental laser burn macula " Arch Opht USA, 74 (3) 346-8, 1965

188 - VOS, "Heat damage to coagulateurs" Opht. Suin 151 (6) 652-4, 1966

189 - SANTOS, "Choriorétinal lesion produced " Amer J. OPHT 61 (2) 230-40, 1969

190 - KENT, "Laser induced pathology" Amer J. OPHT. 46 (11) 847-54, 1969

191 - ZWENY, "Clinical. Exp. with laser photoco" Feder. Produc. USA. 24 (1) III 1965

192 - FRANKHANSER, "Photocoagul of rétinal"Appl. Opht. USA, 7 (2) 377-8, 1968

193 - ZWENG, "Histology of human ocular L. Coagul." Arch. Opht. Mol. USA. 76 (1) 11-5, 1966

194 - LAPPIN, "Rétinal irradiaties" He Ne" Amer. J. Opht. 45 (5) 279-91, 1968

195 - GEERATS" Coagulator..." Fed. proc. 24 (1) III 548-61, 1965

C O M P O R T E M E N T

196 - FEIR, Phys. of. Large Milkweed. Bug. after in lamp. Bioch. Phys. 28 759-64, 1969

197 - KIRBY, Affect. in on ehead eye of animals intern. neuromoteur behavier symp. on loss of vision 16 Mars 1966

E C G

198 - DUMAS SIBILLE PEREZ, effect. of. ECG. CR. soc. biol Fr. 163 (8-9) 1804-7, 1970

199 - SOC Photo Opht. 13 th Ann. tech. Symp. Proc. WASHINGTON D.C, 1968, I, 419-430

200 - GRANIER, "Effect. ocular du laser", Arch. Mal. Prof. Frs. 29 (7-8) 389-401, 1968

201 - FRANCHAUSER, "Gafahren von strahleneireiwir Kungen"... z. angew Phys. Dsch (65-66) 20 (6) 521-4

202 - FRIEDMANN, "A Sereening Program. for personnel" Ann. Occup. Hyg G.B. 12 (4) 219-21, 1969

203 - LISKA, (en Tcheque) Jemma mech opht. Ceskosl 12 (11) 341-4, 1967

204 - PEACOCK "laser properties" Amer. J. Opht. 46 (3) 202-13, 1969

205 - SMITH, "Ocular hazard" Amer. J. Opht. 67 (1) 100-10, 1969

206 - STRAUS", Protection of the human eye" Ann New York Acad. Sci. 122 (2) 773-6 1965

P E A U

207 - MESTER, "Dir. Wirkung", Radiobiol. Radiothérap. All. 10 (3) 371-7, 1969

208 - " " " " " " 10 379-83 , 1969

209 - " " " " " " 9 (5) 621-6, 1968

210 - MAC DONALD, "the action on mammalian Epid. Mélanocyte" 45 (2) 110-3, 1965

211 - FINE et KLEIN, "Burn... CO_2 "Arch. Surg. USA, 98 (2) 219-22, 1969

212 - CARNEY, "the effect. of light." Bioch. Bioph. Act. Pays-Bas 148 (2) 525-30 1967

213 - GOLDMAN, " 10 Megav. on tatoo of man" J. invest. Derm. USA 44 (1) 69-71 1965

214 - GOLDMAN, the effect. of repeated exposure" Acta dermato. venereal Suede 44 (4) 204-8, 1964

215 - GOLDMAN, "Patology of the effect.".. Nature G.B. 197 (4870) 912-4, 1963

216 - GOLDMAN, "Pathology of skin " V. invest. Derm. USA 40 (3) 121-2, 1963

217 - GOLDMAN, "Dermatologique manifestation " Feder Proc USA 24 (1) part. III 592-93, 1965

218 - HELWIG, "Anatomic and histochimical chary" Feder Proc. USA, 24 (1) Part.III 583 - 599, 1965

219 - KUNS, "laser injury in skin" labe. invest. USA (1) 17, 1-13, 1967

220 - LAWRENCE, "In vitro rubis laser" Brit. J. Plast. Surg. 20 (3) 257 , 1967

T I S S U S

221 - ARDEN, "Rapid Light. induced." Nature G.B 212 (50671) 135-6, 1966

222 - CHALZAVERA, "Effect. della radiazione laser " Minerval Rad. Ital. 13 (4) 223-9, 1968

223 - FINE, "Effect. on liver of néonatal rat" Feder Proc. USA, 24 (2) I 256, 1965

224 - HOYES, "In upon mousse liver "Feder. Proc. USA 24 (2) I 238 , 1965

225 - FINE, "Focal hépatic injury" Amer. J. Pathol. 52 (1) 155-76, 1968

226 - KROMOV, "Action sur rat blanc" Ekper Khir Anestezial SSSR 13 (5) 12-8, 1968

227 - LAOR, "Pathology of viscera" Ammer. J. Med. Sci. 257 (4) 242 - 52, 1969

228 - HULLIUS, "High. Energy laser Pulse..." Surg. Gynécal. Obstets USA 122 (4) 727-32, 1966

229 - MINTON, "Quantification destruction de 1000 Joules" Sury. Forum USA 17 (121-2 1966

230 - SYDORYK, "Effect. de la radiation sur conductibilité Elect. du foie Dop. A. Kad. mank, URSS B 31 (8) 735-4, 1969

231 - LEPPARD, "for isolating singl cell" Can J. Bot. 43 (8) 955-8, 1965

232 - GOLDMAN, "Comparaison biomed tiss low and high " Ann. N Y Acad. Sci. 122 802-31, 1965

233 - FINE, "Interaction with B. S. III" Feder Proc USA 24 (1) part. IV 1965

234 - BINES, "Micopare of cells..." Ann. N.Y. Sci. 122 (2) 689-94, 1965

235 - GAMAJELA, "Action du R. Pubis laser et néodyme" Bjüll e Koper Biol. Méd. SSSR 67 (2) 58-62, 1969

236 - GROSMAN, "Contraste de phase sur cellule irradiée" Folia. Biol. Techecosl 15 (3) 205-8, 1969

237 - MORENO, "Partiel Cell. in par U V" Inter. Rev. Exper Pathol. USA 1969

238 - ROUNDS, "Effect.of laser radiation"Feder Proc. USA 24 (1) part. III 1965

239 - ROUNDS, "laser radiation of culture tissu "Ann N.Y. Ac. Sci. 122 (2) 713-

240 - BERN, "Argen lose mico IR sur nucléole" J. cell. Biol. USA 43 (3) 621-6,

241 - AMY, "Selective mitochondrial damage" Sciences USA 150 (3697) 756-8, 1965

242 - SALET, "Paramètre physique" Photochim. and photobiol. G.B 11 (3), 193-205.

243 - TANAKA, "Effet L. Rubis sur mito" J. Cell. Biol. USA 41 (2) 424-30, 19

244 - BERNS, "Effect. laser rubis sur chx." Exper. Cell. Res. USA 56 (2-3) 298-8 1969

245 - RABKINS, En russe "Action cytogénétique exper. Cell. Res. sur Alliam" Dokl Pikell Nouk SSSR 180 (6) 471-2, 1968

BACTERIE - VIRUS

246 - DESCHAUX, "Action L.R sur bactérie" Publication Lyon (Personnel)

247 - DESCHAUX, "O. Diplome E.A. en physio. A. " Juin 67 Lyon

248 - HILDRETH, "Laser activated E. " Plant. Physiol USA 43 (3) 303-12, 1968

249 - LABORDE, "Action R.L. sur paramecie" C.R soc. Biol. Fr. 159 (12) 2527-9, 1965

250 - STORB, "M.E, study of vitality strained" R.L. J. Cell. Biol. USA 31 (1) 11-29 1966

251 - MALI, "Effect. of laser R..." Feder Proc. USA 24 (1) III 5122-25, 1965

252 - ZARET, "laser hazard" Arch. environ Hiealth USA, 10 (4) 629-30, 1965

253 - STRAUB, "Use of protective goggles" Feder Proc. USA 24 (1) IV 278-82, 1965

254 - FRANKHAUSER, " Dée Gefahren der laser..." Schweiz A. a Wissens Tech. 31 (6) 199-201, 1965

253'- GORODEKIS, "En russe "Gig. Trud. prof. Zabolev. SSSR 12 (1) 37-41, 1968

D E N T - O S

254'- STERN, "Laser US tooth Decoy" Laser Focus 5 (11) 40.1, 1969

255 - STERN, "Laser en DO" J dentaire 49 (38) 3589-97, 1967

256 - STERN" laser en DO" Gaz Med. Frs. 74 (10) 1873-80, 1967

257 - STERN , "Email CO_2 Pulsé J. Dent. Res. 51 (2) 455-460, 1972

258 - STERN, "Inhibition de la carie" J. Am. Dent. Ann. 85 (5) 1087-90, 1972

259 - STERN, "Effet du laser sur la solubilité et perméabilité" J. Ann. Dent. An 73 (4) 838-43, 1966

260 - STERN, Essais clinique laser sur carie " CD de Frs. p. 47-59, 25 avril 1973

261 - KINERSLY, "action du laser sur tissu dent." 70 (3) 593-600, 1965 J. ADA

262 - KINERSLY, "Rayon L. en stomato. RA.D. Mex. 23 (4) 491-94, 1966

263 - KINERSLY, "Microperforation expérimentale" O. Surg. 21 (4) 527-29, 1966

264 - KINERSLY, "Microperforation de section de dent". J. Dent. Res. 45 (1) 199-203 1966

265 - GUFF, "ann. of surgercy (4) 1964, concours médic. 6 1965

266 - MENDELSON, "Surg. gynec. Opst." 125 (116) 1967

267 - M.D., "le laser", C.D. de Fr. 10 1969

268 - WEICHMAN, "Lader in endo" 31 (3) I 1971, Oral surgercy méd. Path.

269 - WEICHMAN, " " " " 34 (5) II 1972, " " " "

270 - ADRIAN, "Laser and the dental pulp." J. of ADA 83 (1) 1971

271 - TATARSKI, "laser and the dental pulp". ID 24.2.72 (8) 712

272 - DU SOGNNAES, "I.D, 1973, 1807

273 - HOGBERG, the transmission of a ligh power " Act. Soc. Méd. Upsal. 72 (3-4) 223-8, 1967

H O L O G R A M M E

274 - S et Vie N° 584 , p. 70, 1966

275 - GABOR, S. et V. n° 671, p. 48, 1973

276 - GABOR, "Microscopy by reconstructed wavefront" Proc. Roy. Soc. A 197 437-54 1949

277 - LEITH, Reconst. Waves. and. Comm. Théorie" J. of. Soc. Ann. 52 1123, 1962

278 - FRANCON, "Holographie" Masson Ed. 1969

279 - VIENOT, "Holographie et application " Dunot Ed.

280 - DENISYNK, "Symposium Besançon (1)part. 1 1970

281 - DENISYNK, "Académiec Nank URSS, 144 (6) 1962

282 - MALLICK, symp. Bes. 1970, (2) part. 3

283 - BERTOLOTTI, symp. Bes. 1970, (2) part. 6

284 - FRANCON, "Microscope interférentiel

T V

285 - CARRASCO, cours fondamental de T.V édition radio 1968

286 - DOURIAN, mon T.V. edition radio 1965

287 - VARLIN, récepteur T.V édition radio 1972

288 - DELACONDRE, principe de radar 1962

289 - LEITH, holograph" ys partical dimention " Electronics 39 (15), 1966

290 - VIENOT, Transmission d'information holo annex Rapport DRME n° 1 1970

291 - Sympsoium Besançon 1970, (Vienot, Buladois, Pasteur)

292 - BERDAM, radio tehhnique et T.V Dunod 1959

293 - GUILLIEN, 2lectronique IV P U F

294 - KOCHEN, "laser induced microvascular thrombosis" NVA Sci 122 (2) 728-37, 1965

295 - PEREZ, DUMAS, "les effets biol. du R. laser" CR soc. Biol. Fr. 158 (11) 2111-3 1965

296 - BESSIS, "chimiotactisme après laser" CR, Soc. Biol. Fr. 158 (11) 1995-7, 1965

297 - ENCYCLOP, Sci. I, presse de la cité 5 1972, p. 656

COMMANDE NUMERIQUE MACHINE-OUTIL

298 - METRAL, la machine outil tome I Dunod 1953

299 - " " " tome II " "

301 - " " " tome III " "

300 - MARTY, Usinage p;p; non conventionnel Ed. Masson 1972

302 - WILLIAM, Rectification électrochimique machine moderne p. 52-64, 1968

303 - CRAWFORD, technique des ultra-sons Dunod Paris 1969

304 - MARSEILLER, les dents, Gauthier Villard, 1967

305 - FOURNIER, thèse 3ème cycle Besançon 1970

306 - HALIONA, thèse 3ème cycle Orsay 1971

307 - ARSAC" application de la théorie de l'approximation à l'étude des études optiques, optica Acta 3 (2) 55-65, 1956

308 - ARSAC, transformation de Fournier Dunod Ed. 1961

ADRIAN	270
ALLWOUD	135
AMAR	151 - 152
AMY	241
ARDEN	221
ARSAC	307 - 308
ARZELIES	51
ASMUS	143
AUDRY	140
VANIAC	19
BENEZETH	113
BERDAM	292
BERN	240 - 244
BERNARD	61 - 60
BERTOLOTTI	283
BESSIS	296
BETTELHIEN	162
BINES	234
BLANC - BENON	44 - 45 - 48
BOLL	8
BOUCHE	52
BROTHERTON	74
BROWN	77 - 124 - 125 - 136
BRUHAT	65
BRUNNER	25
BRUNOLD	59
BULLIER	89
BURCEAY	141 - 142
CAITUCOGI	14
CALZAVERA	222
CAMOBELL	164 - 165 - 175
CARNEY	212
CARRASCO	285
CASTELLS	99
CHOURAQUI	11 - 29
CLARKE	176

COLOBERT 50

COURS 75 - 83 - 84 - 85

CRAWFORD 303

CUVILLIER 56

DAVIES 145

DE BROGLIES 69 - 70

DEITZ 151

DELACONTRE 288

DEMOLON 28

DENIS YUCK 281 - 286

DESCHAUX 246 - 247

DESWIGNE 154 - 155

DEYROLLE 27

DOCQ 43

DOURIAN 280

DRAEGER 150

DUMAS 198 - 295

DURVILLE 18

EARLE 137

EGNER 120

EINSTEIN 63

ELECTRONIC 87

ENCYCLOPEDIE 57 - 297 - 55

EURIN 64

FANKLMAUSER 201

FAUCHARD 2

FEIR 196

FEPRETTI 73 - 79 - 80

FINE 111-109-122-138-163-167-168
211-223-225-233

FONT ALTABA 23

FOURNIER 305

FOX 110 - 126

FRANCON 273

FRANKMAUSER 192 - 254

FRIEDMAN 202

GABOR 276 - 277

GAMAJELA 235

GEERAETS 144 -195

GOLDMANN 105-213-214-215-216-217-232
GOLSTEIN 183
GORN 184
GORODECKYT 103-104-253
GRANT 100
GROSMANN 230
GUFF 265
GUILL 76
GUILLIEN 293
HALIOVA 306
HANSEN 178
HEWLETT 95 - 96
HELWIG 218
HILDRESTM 248
HOYBERG 139 - 273
HOYES 177 - 224
HUBERMANN 13
IGELMAN 119
JANISH 129
JONES 147
JOURNAL 37 - 38 - 39 - 88
KELEMEN 138
KIRBY 197
KINESBY 261 - 262
KLEIN 115 - 118 (voir fine)
KOCHEN 294
KOHTIAO 181-182
KROMOV 226
KUNNS 220
LABE 46
LABORDE 244
LAOR 227
LANG 121
LAMPERT 128
LAPPIN 194
LAROUSSE 96
LAWRENCE 220
LEITH 277 - 289

LEJOYEUX	1 - 10
LEPRARD	231
LEREAU	133
L'ESPERANCE	148 - 179
LEVINE	90
LISKA	203
MADDOCK	112
MALLY	251
MALLICK	282
MARCHAL	131-132-180
MARMASSE	42
MARSEILLIER	304
MARTINELLI	17
MARTY	300
MENDELSON	266
MESTER	207-208-209
METRAL	288-289-301
MEYERS	30 - 33
MILL	60
MINTUN	229
MOHLER	46
MORENO	237
MULLINS	228
NALLY	5
NASTRI	150-157-158-159-160
NGUYEN	4
NIGHOLSON	183
NOELL	186
OPTIQUE	92
PARR	166
PAULI	71
PEACOCK	204
PE PPERS	170
PERROL	24
PEREZ (voir dumas)	
PEYTON	35
PHYLIPPES	31 - 32
PIGON	22
PLAK	72 - 73

POGGIOLI	15 - 34
RABKINS	245
RATHKEY	187
REALITE	97
ROSOMOFF	134
ROUNDO	116
ROUND	238-239
ROUCOULE	16-41
SALET	242
SANTOS	189
SCRIBNET	148
SEVAST'JANOVA	169
S. et AVENIR	62
S. et VIE	81-82-86-274
SIMAKOV	171 - 172
SKINNER	22
SKINNER	9
SMART	106
SMITH	174 - 205
SOBULET	98
SOGNNAES	172
STERN	254-255-256-257-258-259-260
STORS	117-250
STRAUS	206-253
SYDORYK	230
TANAKA	243
TARLIN	21
TATARSKI	271
TMUMPKINS	67
TRILLAT	58
TOMBERG	101
TORFS	30-102-109
VARLIN	287
VIENOT	279-290
VISHNEVSKI	108
VOS	188
WATELLE	53
WATTS	161
WERGMMANN	269
WINTERMAGER	47
WILLIAM	302
ZARET	114-146-173-252
ZYENGMI	193

I - HOLOGRAMME, PRECISION LIMITE [306]

L'image ne dépend que d'un nombre fini de paramètres indépendants (degré de liberté)
Ainsi l'application du théorème d'interpolation (FOURIER) permet de définir la quantité d'informationsobjectives contenues dans une image optique. Cette quantité d'information est définie et ne dépend que de l'étendue de la bande passante de fréquences, d'où l'importance de sélectionner ces données.

L'instrument de restauration de l'image a deux effets sur elle

1/ - Il y a une fréquence de coupure, au-delà de laquelle aucun signal n'est transmis et il y a perte d'information sur l'objet original au delà de la coupure

2/ - La fréquence de la bande passante de l'instrument est atténuée et déplacée suivant la forme de la fonction de transfert : il y a distorsion de l'information transmise dans la bande passante

Le problème de transfert optimal de l'image a été étudié en détail par ARSAC [307] et l'optimation cherchée dépend essentiellement du critère choisi pour évaluer la qualité de l'image. Il en conclut que la fonction optimale de filtrage correspond à une fonction aussi plate que possible pour les fréquences les plus basses et se raccordant à l'axe le plus doucement possible au voisinage de la fréquence de coupure

Pour les images, le bruit de fond, donc le degré de précision est dû

1/ - au bruit du photon lié à la fluctuation du nombre de photons de l'image. Il est d'autant plus important que l'éclairement est faible et devient négligeable dans les cas où l'on dispose de fortes intensités lumineuses

2/ - le bruit photographique est lié à la granularité de l'émulsion photographique sur laquelle est enregistrée l'image et qui crée des fluctuations aléatoires et transparence

3/ - le bruit électronique est lié aux fluctuations de courant dans les circuits amplificateurs ou autre, utilisés dans les méthodes opto électroniques

En général, c'est ce bruit de fond qui limite les informations contenues dans une image.

Les méthodes de déconvolsion (amélioration d'image) ont été précisées par TSUJIUCHI et STROKE [309]

Donc nous pouvons dire que la précision est liée à quelques paramètres et une imprécision peut être rattrapée (travaux de la NASA)

II - FIBRE OPTIQUE

Le problème de la fibre est d'actualité depuis la découverte d'une fibre transmettant de 40 à 60 % de l'intensité lumineuse

La fibre est un canal guidant parfaitement la lumière. Le problème jusqu'à présent était la déperdition énorme que subissait le rayon durant son transfert. On obtenait que quelques pourcentages d'énergie lumineuse, donc le rayon était pratiquement inutilisable.

Dans notre méthode, la fibre utilisée est celle de 60 % de rendement où alors elle doit être éliminée.

