

MISE EN EVIDENCE DES DISLOCATIONS ET DES TRACES DE PARTICULES
IONISANTES DANS LES MONOCRISTAUX DE CHLORURE D'ARGENT

PAR

DENIS P. DEMARS

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade
de Maître ès Sciences Physiques.

Département de Physique,
Faculté des Sciences Pures et Appliquées,
Université d'Ottawa,
Ottawa, Canada.

1967

SOMMAIRE

L'utilisation d'un monocristal de chlorure d'argent comme détecteur de particules, est d'un grand intérêt pour la physique nucléaire. Cette méthode doit son origine à C.B. Childs qui en a découvert la possibilité. Le travail présenté ici, est une approche du problème comprenant en premier lieu, une discussion de la théorie associée avec la mise en évidence des dislocations et des traces de particules. Le premier appareil de décoration qui a été construit est décrit par la suite. Le principe de cet appareil consiste à appliquer une haute tension sur les plaques d'un condensateur dont le diélectrique est le cristal. A l'aide d'un thyatron, le système se décharge à travers une lampe à vapeur de mercure, ne laissant à l'intérieur du cristal que le champ électrique dû à la polarisation. On obtient ainsi une synchronisation entre la production du champ électrique et l'impulsion de lumière qui tombe sur la surface du cristal. La production de photoélectrons qui sont attirés dans le volume du cristal, suscite la formation d'argent photolytique sur les pièges, selon la théorie de Mott et Gurney. Ceci rend donc les dislocations et les traces de particules apparentes. Les résultats obtenus avec cet appareil sont illustrés dans les photographies 3 à 16 et discutés brièvement. On y remarque la décoration de dislocations et de certaines traces de particules. Un deuxième appareil plus perfectionné a aussi été monté dans le but d'étudier le processus de la décoration. Cet appareil permet entre autres, de faire varier indépendamment la haute tension appliquée au cristal et l'intensité de la lumière venant d'une lampe à vapeur de mercure; de plus, il est possible de contrôler le décalage entre l'arrivée de la lumière sur la surface du cristal et la décharge de la haute tension appliquée aux plaques du condensateur entre lesquelles le

cristal est maintenu. Un résultat important qui ressort de cette recherche est sans doute le fait que des cristaux purs (1 ppm d'impuretés divalentes) de chlorure d'argent ne sont pas décorables.

REMERCIEMENTS

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à M. J. Hébert qui ayant suggéré ce projet de recherche, m'a ensuite accordé son entière collaboration. Je me dois de remercier aussi, plusieurs personnes entre autres:

Les gens de l'atelier du département de Physique pour avoir construit plusieurs accessoires essentiels à ce projet.

M. Cairns et M.B. Roberts de l'atelier de Physique appliquée du Conseil National de Recherches, pour les nombreux conseils concernant le polissage des cristaux, l'utilisation de leurs appareils et l'évaporation de couches de chromel ou d'inconel sur des plaques de quartz.

M. M. Drolet qui a bien voulu aider à la préparation des photographies des pages 55 à 61.

Dr. E. Fortin qui a montré beaucoup d'intérêt pour ce projet de recherche, lequel lui a valu maints dérangements.

Il me fait plaisir de reconnaître l'aide financière du Gouvernement d'Ontario et Conseil National de Recherches sous forme de bourses.

En dernier lieu, mais non le moins important, je profite de cette occasion qui se présente enfin, pour manifester envers Dr. G. Lamarche et Dr. J.M. Robson, un vif sentiment de gratitude pour l'encouragement moral qu'ils m'ont accordé tout au long de mes études et particulièrement à un moment précis.

Denis P. Demars

Denis P. Demars,

Ottawa, le 1er décembre 1967.

TABLE DES MATIERES

Sommaire	iii
Remerciements	v
Table des matières	vi
Liste des dessins	viii
Liste des photographies	ix
CHAPITRE I. <u>INTRODUCTION</u>	1
CHAPITRE II. <u>THEORIE ASSOCIEE A LA MISE EN EVIDENCE DES DISLOCATIONS ET DES TRACES DE PARTICULES</u>	6
- Dislocations et charges associées	
- Processus de la décoration	
- Nature des traces de particules chargées.	
CHAPITRE III. <u>APPAREIL DE CHILDS</u>	10
A- Circuit électrique simplifié	10
B- Description détaillée	10
1. Source de haute tension	10
2. Circuit P.F.N.-A. et thyatron	10
3. Résistances R-1 et R-2	11
4. Inductance L-1 et diode	12
5. Système de déclenchement C	12
6. Source de photons: lampe BH-6	13
7. Support à cristaux	13
a- Description	13
b- Transmission du plateau supérieur	15
C- Fonctionnement du système	16
D- Avantages et inconvénients	17

E- Travaux accomplis et discussions	17
1. Améliorations apportées à l'appareil	17
2. Préparation des cristaux	18
3. Mesures de conductivité	20
4. Décoration de dislocations	23
5. Décoration de traces de particules	24
CHAPITRE IV. <u>NOUVEL APPAREIL</u>	26
A- But	26
B- Plan d'ensemble	26
1. Source à haute tension, support à cristaux, thyatron et générateur d'impulsions.....	27
2. Amplificateur	27
3. Lampe au mercure-xénon: Hanovia 901 B-1	27
4. Système de synchronisation mécano-photoélectrique .	28
a- Roue dentée	28
b- Moteur	29
c- Petite lampe et phototransistor	29
C- Fonctionnement	29
D- Résultats	31
CHAPITRE V. <u>CONCLUSION</u>	32
REFERENCES	34
APPENDICE 1: Champ électrique dû à la polarisation	35

LISTE DES DESSINS

Figure

1. Travail de Haynes et Shockley	40
2. Appareil de Childs	41
3. Circuit P.F.N. H-850 de Sprague	42
4. Impulsions appliquées à la grille du thyatron	43
5. Courbe de la tension appliquée	43
6. Support à cristaux	44
7. Transmission de la plaque de quartz	45
8. Fonctionnement de l'appareil	46
9. Synchronisation des impulsions	47
10. Courbe de la cuisson des cristaux (Température vs temps)	48
11. Plan d'ensemble de l'appareil	49
12. Circuit électrique	50
13. Amplificateur	51
14. Spectres relatifs d'émission des différentes lampes	52
15. Roue dentée	53
16. Système optique	54

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie

1. Deuxième montage du support à cristaux	55
2. Dislocations produites quand le cristal a été coupé	55
3 et 4. Comparaison de zones ayant été décorées avec des temps d'exposition différents	56
5 et 6. Décoration de dislocations	57
7 à 11. Décoration de réseaux de dislocations	58-59
12. Résultats de l'évaporation : d'une couche d'argent sur la surface d'un cristal	59
13. Comparaison entre une émulsion G-5 et un cristal de chlorure d'argent	60
14 et 15. Décoration de traces de particules alpha	60
16. Une étoile	61

CHAPITRE I

INTRODUCTION (HISTORIQUE)

L'étude, à l'aide d'émulsions photographiques, des rayons cosmiques et des particules produites au moyen d'accélérateurs, est maintenant une méthode fiable et acceptée. Les émulsions photographiques, tout en étant un outil très utile et puissant, présentent quand même plusieurs inconvénients. Le but de notre recherche est de développer et d'utiliser une nouvelle méthode photo-ionographique. Ce procédé ne peut qu'augmenter les avantages de la méthode photographique par rapport aux autres façons de localiser les traces de particules ionisantes. Puisque celles-ci semblent être de même nature que les dislocations, il est naturel de commencer par étudier les imperfections. Il suffit ensuite d'appliquer les mêmes conclusions à l'étude des traces de particules. Puisque ce domaine est très récent, il serait bon pour bien le comprendre, de le situer d'après son histoire.

Chacun connaît un peu la théorie de Mott et Gurney⁽¹⁾; cette dernière rend l'électron responsable de l'effet "Print out"* dans le cristal. Ceci remonte aux environs de 1938.

*"Print out" veut habituellement dire noircissement direct.

En 1951, J. R. Haynes et W. Shockley⁽²⁾ voulant vérifier cette théorie en déplaçant le noircissement à l'aide d'un champ électrique et aussi mesurer la mobilité des électrons dans le chlorure d'argent, firent l'expérience suivante: Entre deux plaques d'un condensateur, figure 1, ils introduisirent un cristal de chlorure d'argent. Le montage était en parallèle avec une source de haute tension et un tube à décharge, en quartz, contenant du mercure.

A l'aide d'une impulsion électrique, ils déchargèrent le condensateur à travers le tube, la vapeur de mercure émettant de la lumière violette. Cette lumière passant par une des faces du condensateur produit des photoélectrons à la surface du cristal; à ce moment la polarité du champ électrique est telle qu'elle permet aux électrons d'être accélérés à l'intérieur du cristal.

On remarque que la plaque supérieure du condensateur possède trois orifices par où la lumière passe. Après plusieurs heures, trois colonnes d'argent colloïdal étaient visibles dans le cristal. La théorie de Mott et Gurney était donc confirmée. De plus, puisque le noircissement, i.e. l'argent colloïdal, est formé aux endroits où les électrons sont pris dans les pièges, l'étude de la distribution du noircissement produit dans un champ électrique révèle la position de ces pièges à électrons. Cette étude montra que l'argent colloïdal,

ainsi que les limites entre les régions de différentes orientations du cristal et les imperfections de toutes sortes sont des pièges à électrons efficaces.

Il fut conclu de cela que l'absorption de lumière ultra-violette était la cause de la formation de particules d'argent photolytique le long d'une imperfection.

Cette idée fut utilisée pour la première fois par J. W. Mitchell en 1953 avec J. M. Hedges⁽³⁾. Ils étudièrent à ce moment les imperfections. Par la suite, Mitchell étudia la structure des cristaux, la sensibilité photographique et la formation de l'image latente interne.

La différence entre la méthode de Mitchell et la nôtre, est que la lumière violette lui servait uniquement à produire l'image latente. Le développement était chimique.

Ce fut en 1960 que C. B. Childs et L. Slifkin⁽⁴⁾ rapportèrent la décoration* des dislocations en attirant les électrons à l'intérieur des cristaux de chlorure d'argent, utilisant pour cela la méthode de Haynes et Shockley. En 1962, ils publièrent quelques résultats sur la détection de désintégrations nucléaires dans des monocristaux de chlorure d'argent⁽⁵⁾, ouvrant ainsi un domaine de recherche complètement nouveau.

*Décoration est maintenant le terme technique accepté voulant dire: mise en évidence, développement.

L'utilisation de cristaux de chlorure d'argent comme détecteurs de particules est donc possible. Cependant, il y a tant de détecteurs, pourquoi vouloir se servir de celui-ci?

Pour un physicien des hautes énergies travaillant avec les émulsions photographiques, l'enregistrement de traces dans des cristaux, surtout dans les halogénures d'argent, est d'un très grand intérêt. Il voit la possibilité de faire des expériences et des calculs concernant le mécanisme élémentaire de la photographie; il entrevoit aussi les applications nucléaires souvent impossibles à cause d'un milieu trop compliqué.

De plus, non seulement le milieu cible est simplifié mais aussi tous les problèmes jamais résolus de sensibilité chimique, de pénétrabilité des solutions chimiques, de distortions parasites des traces, s'évanouissent ainsi que le gonflement variable des pellicules avec l'humidité, les corrections douteuses de contraction et l'affaiblissement plus ou moins rapide de l'image avec la température et l'humidité.

Grâce à des recuits convenables, il est possible de récupérer les cristaux après s'en être servi.

Au lieu d'attendre une bonne quinzaine de jours entre l'exposition et le début du dépouillement, l'utilisateur peut, avec les cristaux, obtenir les résultats d'une exposition en quelques heures.

Le pouvoir d'arrêt électromagnétique du chlorure d'argent est de 50% supérieur à celui de l'émulsion concentrée, pour un pouvoir d'arrêt nucléaire double, ce qui donne à la zone d'expérience un caractère compact.

Aussi, des cristaux, d'épaisseur beaucoup plus grande que celle des émulsions, peuvent être utilisés.

Enthousiasmés d'abord par la visite de Childs à l'Université d'Ottawa et par l'idée de pouvoir utiliser un cristal en plus d'une émulsion nucléaire, nous avons décidé d'approfondir les possibilités réelles de cette nouvelle découverte.

Dans le but de décorer l'intérieur des cristaux, un premier appareil a été construit. Connaissant les limites du système, un deuxième montage plus élaboré a été réalisé en vue d'étudier le processus de la décoration.

CHAPITRE 2

THEORIE ASSOCIEE A LA MISE EN EVIDENCE DES DISLOCATIONS ET DES TRACES DE PARTICULES.

Un solide parfait peut être considéré comme un groupement d'atomes arrangés dans un réseau sans faille. Toutes les cellules du réseau possèdent un arrangement identique des constituants chimiques, de sorte que la structure interne est parfaite. Cependant, même un solide idéal possède un certain nombre d'imperfections de plusieurs types. Considérons la limite idéale où la densité d'imperfections est suffisamment faible pour que chaque imperfection soit considérée comme une entité discrète ayant un caractère particulier.

On peut ainsi définir six sortes d'imperfections* fondamentales⁽⁶⁾:

- (1) Phonons.
- (2) Electrons et trous.
- (3) Excitons.
- (4) Positions vacantes dans le réseau (lacunes) et atomes interstitiels.
- (5) Atomes étrangers (impuretés).
- (6) Dislocations.

Il y a aussi trois sortes d'imperfections transitoires:

- (7) Photons (de la gamme des fréquences radio jusqu'aux rayons gamma).

* Dans le sens de défauts ou de perturbations.

(8) Particules chargées (ions positifs et négatifs, particules alpha, particules bêta, mésons).

(9) Particules non chargées.

Dans cette partie de la thèse, nous nous intéressons surtout au sixième type d'imperfections, les dislocations, mais aussi aux lacunes et aux atomes interstitiels.

Dislocations et charges associées.

Les dislocations sont les défauts linéaires dans les cristaux. Elles furent proposées afin d'expliquer pourquoi les matériaux réels se brisent sous une tension plus petite que prévue pour un cristal idéal. La présence de défauts mobiles de cette sorte permet aux plans atomiques de la substance de glisser à des températures beaucoup plus basses. Les dislocations sont subdivisées en deux types selon la direction de glissement: dislocations "coin" et "vis". La dislocation "coin" peut se propager du plan de glissement original à des plans de glissement adjacents par addition ou par soustraction d'atomes à son extrémité. Dans les cristaux ioniques, ces sauts peuvent être chargés et sont responsables de plusieurs phénomènes électriques observés. Seitz⁽⁷⁾ a étudié ceux-ci en détail. Il montra qu'ils possèdent une charge de $+e/2$ ou de $-e/2$ ou de zéro, selon l'arrangement. Grâce à l'intérêt manifesté par les physiciens intéressés aux dislocations chargées, ceci débuta en 1933 avec Stepanow, nous possédons

plusieurs conclusions utiles. Entre autres, que le potentiel observé à la surface des cristaux déformés est dû aux dislocations chargées et que le signe de la charge va du positif au négatif selon la température. Sonoike⁽⁸⁾ a fait quelques expériences sur les halogénures d'argent et en a conclu que les dislocations sont généralement positives dans le matériau pur. L'addition d'ions S^{--} sous la forme Ag_2S amena les dislocations à devenir positives à la température ambiante; avec des ions de Cd^{++} , elles devinrent négatives. Plus tard, W. C. McGowan jr, conclut de ses expériences⁽⁹⁾ que le signe était négatif dans la région extrinsèque en dessous du point isoélectrique et positif au dessus de cette température. Il est donc admis que les dislocations sont chargées et ainsi, capables de capturer des électrons si elles sont positives.

Processus de la décoration.

Le processus de la décoration peut s'expliquer comme suit: un quantum de lumière libère un électron d'un ion de chlore; cet électron est attiré dans le cristal par le champ électrique, laissant un atome neutre de chlore. L'électron dans son parcours est capturé par une dislocation; si la dislocation a une charge de $+e/2$, elle devient de $-e/2$ à la suite de la capture. Cette charge négative est changée de nouveau en $+e/2$ par un ion d'argent qui s'associe avec l'électron pour former un atome d'argent. Chaque piège à électron est transformé en un

grain d'argent, à la suite de la capture répétée des photoélectrons et des ions d'argent.

Ainsi, il est possible de mettre en évidence les réseaux et structures résultant d'un arrangement quelconque de dislocations.

Nature des traces de particules chargées.

Une particule chargée traversant un cristal perd de l'énergie de plusieurs façons, entre autres: par ionisation et interactions avec les ions présents. Les émulsions sont sensibles à l'ionisation, le réarrangement étant peu probable à cause des réactions à la surface des microcristaux.

Dans les cristaux de dimensions macroscopiques, la surface est si loin que l'ionisation doit effectivement être annihilée. Quelque chose d'autre, de plus permanent, résultant du passage de la particule, doit demeurer. Comme l'a expliqué Seitz⁽¹⁰⁾, un échauffement local, intense, au centre de la trace, doit se traduire par une région déformée. C'est cet ensemble d'imperfections du réseau cristallin qui doit servir d'image latente. Puisque la nature des traces de particules semble être un peu semblable à celle des sous-structures formées de dislocations, il est aussi possible, expérimentalement, de décorer les traces laissées par des particules.

CHAPITRE III

APPAREIL DE CHILDS

A. Circuit électrique simplifié.

Le circuit électrique utilisé pour la décoration, figure 2, produit le champ électrique à l'intérieur du cristal et la lumière violette, les deux étant synchronisés. L'appareil consiste en une source de haute tension, un circuit P.F.N., un thyatron, un générateur d'impulsions pour le déclenchement, une lampe à vapeur de mercure et un support à cristaux.

B. Description détaillée.

1. Source de haute tension.

La source de haute tension, type 200, de la compagnie Dynatron Radio Ltd. porte le numéro 3-7/0002. La tension peut varier de zéro à quatre mille volts avec un courant maximum limité à quelques milliampères.

2. Circuit P.F.N., et thyatron.

Le circuit P.F.N., figure 3, est le numéro H-850 de la compagnie Sprague. Il peut donner au choix, des impulsions ayant une longueur soit de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, ou de 3 microsecondes. La tension maximum qu'on peut y appliquer est de sept mille volts. La capacité étant de 0.0105 micro-farad par microseconde, il est possible d'obtenir une impulsion d'une énergie aussi grande que l'on veut. Il suffit de faire varier la durée de l'impulsion et la tension appliquée. Le thyatron 4C 35 est utilisé

parce qu'on peut appliquer une tension maximum de huit mille volts entre la plaque et la cathode.

Selon les recommandations de la compagnie, le déclenchement du thyatron nécessite une impulsion ayant un temps de montée minimum de 0.5 microseconde, (de 10% à 90% de l'amplitude maximum), une amplitude minimum de 175 volts et une largeur minimum de deux microsecondes à 70% de l'amplitude maximum. Ces impulsions sont représentées dans la figure 4. Nous avons trouvé que dans le circuit présent, le thyatron se déclenchait avec une impulsion de 50 volts au minimum.

3. Résistances R-1 et R-2.

Dans la figure 2, on voit aussi les résistances R-1 et R-2. La première donne le réglage d'impédance nécessaire au circuit P.F.N.; la lampe BH-6, quand elle conduit, a une résistance de moins de un ohm. R-2 permet à l'anode du thyatron d'être à la même tension que le circuit P.F.N.; cette résistance permet aussi à la lampe de se décharger parce qu'essentiellement, toute la tension délivrée par le circuit P.F.N. apparaît à travers ses bornes au moment où le thyatron déclenche.

4. Inductance L-1 et Diode.

L'inductance L-1 contrôle les variations du courant quand le circuit P.F.N. se charge; elle évite aussi une saute de courant lorsque le thyatron se déclenche. La diode V-1 empêche le circuit P.F.N. de se décharger à travers la source de haute tension. Les courbes résultantes ont été photographiées et données dans la figure 5.

5. Système de declenchement C.

Un générateur d'impulsions, modèle 131, de la compagnie Hewlett Packard est utilisé. Il possède les avantages suivants:

- Fréquence: 10 c.p.s. à 100 k.c.p.s.
- Largeur des impulsions: 100 ns à 500 μ sec.
- Tension de sortie: 0 à $\pm$ 50 volts.
- Temps de montée des impulsions: 10 ns
(de 10% à 90% de l'amplitude maximum).

Il est aussi possible de le faire déclencher extérieurement à l'aide d'une impulsion positive de 2 volts. L'impulsion nécessaire normalement, venant du générateur d'impulsions, a une amplitude de +50 volts et dure environ quelques microsecondes (figure 4).

6. Source de photons: lampe BH-6.

Cette lampe à vapeur de mercure est reconnue pour donner une impulsion de lumière de haute intensité et de courte durée.

Elle est constituée d'un capillaire en quartz, de deux électrodes en tungsten et contient suffisamment de mercure dans une ampoule pour qu'il soit distribué également aux deux extrémités.

Cette lampe donne une impulsion de lumière tombant à $1/e$ de sa valeur maximum en dix microsecondes indépendamment de l'énergie dissipée. Si elle était utilisée d'une façon continue elle dissiperait environ 900 watts (900 volts, 1 ampère). Selon le nombre d'allumages, elle dure plus ou moins longtemps. Si elle fonctionne continuellement, elle peut durer de quarante à soixante-quinze heures. Durant ce laps de temps, l'intérieur du quartz semble être "attaqué" de sorte que l'intensité diminue de beaucoup.

Le flux de lumière à dix centimètres est de 10^9 photons par centimètre carré par impulsion.

7. Support à cristaux.

a) Description.

Excepté les pièces indiquées, le support à cristaux est entièrement fait de teflon. Il consiste, figure 6, en une plaque de quartz, D, formant le plateau supérieur d'un

condensateur et un disque de laiton, F, jouant le rôle du plateau inférieur.

La plaque de quartz de dix millièmes de pouce d'épaisseur est recouverte sur la face extérieure du condensateur, d'une mince couche d'inconel*, A; cette dernière est conductrice** d'électricité et partiellement transparente à la lumière violette. Une couche d'or, B, recouvre l'inconel à part un disque au centre de la plaque. Cette couche d'or protège l'inconel contre les fissures possibles dû au fait que la plaque de quartz est très malléable. Ces fissures nuisent à la conductivité.

Le contact électrique est établi grâce à une bande de cuivre C, sur un côté de la plaque. Le cuivre est légèrement pressé sur la surface d'or par une pièce de teflon.

Une feuille de milar, E, d'un millième de pouce d'épaisseur isole le plateau inférieur. Le cristal de chlorure d'argent repose sur le milar; le plateau supérieur est ensuite abaissé, les supports glissant le long des tiges verticales. On amène ainsi la plaque de quartz en contact avec le cristal. Les ressorts qui soutiennent le plateau supérieur donnent une

*Inconel: alliage de nickel (76%), de chromel (15%) et de fer (9%).

**Résistance: 1000 ohms.

certaine élasticité au système. Le cristal est ainsi maintenu entre deux surfaces isolantes. Cela est nécessaire à cause du fait que le chlorure d'argent est un conducteur ionique; autrement le courant ionique continu qui résulterait, décomposerait le cristal.

Le champ électrique est renouvelé régulièrement parce qu'il décroît rapidement; ceci est aussi une nécessité résultant des propriétés ioniques du cristal.

On peut noter que la plaque de quartz recouverte d'inconel est utilisée afin d'obtenir une transmission suffisante dans l'ultra-violet. L'avantage de ce système sur les plaques de métal trouées, utilisées par Haynes et Shockley est que le champ électrique résultant est uniforme à travers le cristal. De plus, la lumière est distribuée uniformément sur la surface du cristal. Avec ce montage on peut facilement, pour fin de comparaison, masquer à la lumière la partie du cristal de notre choix.

b) Transmission du plateau supérieur*.

La transmission de la plaque de quartz recouverte d'inconel, figure 7, est de 40% à 50% pour deux mille à quinze mille Angstroms de longueur d'onde.

* Ces mesures ont été faites au Conseil National de Recherches.

C. Fonctionnement du système.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du système, voyons la figure 8. Nous appliquons une haute tension sur les plaques du condensateur, produisant un champ électrique extérieur E_x et un champ intérieur au cristal E_i dû à la polarisation. Le champ résultant $E_r = E_x - E_i$ tend vers zéro à cause de la conductivité ionique qui fait augmenter E_i .

Donc $E_r = 0$ après un certain temps.

Au moment où nous envoyons une impulsion sur la grille du thyatron, la tension augmente à travers la lampe à vapeur de mercure, puisque le thyatron conduit. Par conséquent la lampe à vapeur de mercure s'allume, le circuit du condensateur se déchargeant. Ici $E_x = 0$. Maintenant $E_r = -E_i = E_{\text{polarisation}} + E_{\text{ionique}}$. A la suite de la décharge, aussitôt que le courant diminue, le thyatron cesse de conduire parce que la tension est tombée en dessous de la valeur critique pour qu'il conduise, l'inductance limitant le courant venant de la source.

Le circuit recommence un nouveau cycle en se chargeant. La figure 9 représente la synchronisation des impulsions électriques et lumineuses du montage avec une courbe théorique pour le champ intérieur. C'est au moment où la lampe à mercure s'allume que le champ électrique intérieur est à son maximum $E_x = 0$, $E_r = E_i$; ce dernier tendant vers zéro exponentiellement.

Les photoélectrons produits sont aussitôt attirés vers l'intérieur et tombent dans les pièges pour ensuite former de l'argent photolytique.

N.B. Voir l'appendice 1 pour la dérivation de la valeur du champ électrique dû à la polarisation.

D. Avantages et inconvénients de cet appareil.

Un avantage de cet appareil est qu'il est relativement simple et facile à utiliser; toutefois, le fait que la synchronisation entre le champ électrique et la lumière n'est pas réglable est un inconvénient en ce sens qu'il est impossible de faire une étude systématique du processus de décoration des traces ionisantes. De plus, on ne peut pas faire varier la haute tension appliquée au support à cristaux sans changer l'intensité de la lumière émise par la lampe BH-6.

E. Travaux accomplis et discussions.

1) Améliorations apportées à l'appareil.

Avec le peu d'information que nous avions⁽¹¹⁾, le circuit électrique du système a d'abord été monté. Un support à cristaux en plastique a été construit de la façon suivante: deux plaques de quartz ont été placées de manière à former un condensateur. Chacune a été recouverte d'une mince couche d'argent sur sa surface extérieure au condensateur. Le montage était vertical. Ce montage préliminaire a été mis de côté car l'argent s'oxydait en peu de temps.

On a construit un second support devant être utilisé horizontalement. (Voir photographie 1). On a aminci les plaques de quartz de moitié, à $1/32$ de pouce, afin de réduire leur effet d'absorption, puis on les plaqua de chromel, la résistance de la couche étant de 140 ohms.

Quelques essais de décoration sur certains cristaux fournis par le Dr J. Simpson du Conseil National de Recherches donnèrent quelques premiers résultats encourageants. Ceux-ci ont été présentés à la conférence de l'ACFAS, novembre 1966.

La décoration étant lente (plusieurs heures) et peu satisfaisante, on conclut que la transmission de la plaque de quartz était trop faible (8% à $2000 \text{ \AA}$). Un troisième montage, celui de la figure 6, a été réalisé. On peut comparer la transmission dans ces trois cas sur la figure 7.

2) Préparation des cristaux.

Avant de recevoir le lingot de chlorure d'argent acheté à Harshaw, certains cristaux ont été obtenus de diverses sources et nous permirent de faire quelques essais.

Ces cristaux sont coupés avec une scie de bijoutier dans le but de créer des tensions internes. La photographie 2 montre toutes les dislocations résultant de ce traitement. On peut les couper sans causer trop de dislocations en se servant d'une scie munie de fils de nylon rugueux. Il est nécessaire de les mouiller avec une solution de thiosulfate de sodium (5-10%).

Polissage.

Ces cristaux sont polis sur du papier sablé #200, imperméable, à base de carbure de silicium, puis sur du 400 et enfin du 600. On utilise de l'eau comme agent lubrifiant. Le polissage final se fait avec de l'oxyde d'aluminium (0.3 micron) sur une base de paraffine solide. Il est impossible d'obtenir une surface exempte d'égratignures.

On essaya aussi de les traiter dans les différentes solutions qui dissolvent le chlorure d'argent. Les surfaces deviennent rugueuses et opaques. On opta finalement pour la méthode utilisée par C. B. Childs, qui est de polir les cristaux sur une toile Selvyt imbibée de cyanure de potassium dilué à 5%. Cette dernière méthode donne une très belle surface. Plus d'une vingtaine de cristaux ont été ainsi préparés à partir du lingot de la compagnie Harshaw. Il est très important de se souvenir que la qualité de la surface est un des points les plus critiques de la méthode.

Cuisson.

La cuisson d'un cristal à une température proche de son point de fusion pendant plusieurs heures, réduit de beaucoup le nombre des dislocations dans le volume du cristal.

Afin de savoir quelle atmosphère utiliser, quatre cristaux ont été cuits dans des gaz différents, soit: le chlore, l'hélium, l'oxygène et l'azote. La figure 10 donne la courbe des

variations de la température de cuisson en fonction du temps.

Il est surtout très important de diminuer la température lentement.

Cette étude a démontré que les meilleurs milieux sont l'hélium et l'azote. Dans le cristal cuit dans une atmosphère d'oxygène, apparaissent des précipités en forme de grains et de bâtonnets distribués dans le volume. Celui qui est cuit dans une atmosphère de chlore en a une quantité encore plus grande. Ces précipités sont probablement des agglomérations d'argent, des complexes d'argent ou des complexes des impuretés présentes.

N.B. Durant la cuisson, les cristaux ne viennent en contact qu'avec du quartz. Ceci minimise les possibilités d'absorption des impuretés venant du voisinage.

3) Mesures de conductivité.

En vue d'avoir une idée de la quantité d'impuretés polyvalentes présentes dans les cristaux, des mesures de conductivité ont été faites sur les quatre cristaux mentionnés plus haut. Ces mesures étant prises avant et après la cuisson, une analyse de l'influence de cette dernière sur la conductivité est donc possible.

Méthode.

Le cristal est recouvert sur ses deux surfaces les plus grandes, d'une peinture conductrice*. Il est inséré entre deux électrodes qui sont branchées dans un pont** mesurant la conductance G.

La conductivité étant $\sigma = G \frac{t}{A}$.

t: épaisseur du cristal.

A: surface du cristal.

Résultats.

Cristal	Cuit dans:	Conductivité avant la cuisson. $\times 10^{-9} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$	Conductivité après la cuisson. $\times 10^{-9} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
1	Azote	3.0	4.6
2	Hélium	2.2	4.9
3	Oxygène	3.0	9.5
4	Chlore	2.1	15.3

* Silver conducting paint SC 12, Micro-circuits Company,
New Buffalo, Michigan.

** Pont du type 1615-A, de la compagnie General Radio.

N.B. Les mesures de conductivité sont faites à la température
de la pièce ($\approx 25^{\circ}\text{C}$).

La conductivité augmente après la cuisson; ceci est dû à une hausse dans la concentration des vacances responsables pour la conduction dans la région extrinsèque.

Quantité d'ions positifs divalents dans les spécimens.

La conductivité est sensible au nombre de vacances laissées par les ions positifs. Puisque chaque impureté divalente qui se substitue aux atomes d'argent dans le réseau du chlorure d'argent doit apporter avec elle une vacance négative afin de maintenir la neutralité de la charge, la conductivité peut être utilisée pour déterminer le contenu d'impuretés.

La relation d'Einstein donne:

$$\mu/D = (N/n) (e/kT) \quad (1)$$

μ : mobilité;

D: coefficient de diffusion;

N: nombre de points par unité de volume dans le réseau;

n: nombre de lacunes responsables de la diffusion par unité de volume.

k: constante de Boltzmann.

T: température absolue.

Aussi, $\sigma = ne\mu \quad (2)$

D'où, $\sigma = Ne^2 D/kT \quad (3) \text{ Dekker, p. 177.}$

Le coefficient de diffusion*, à la température ambiante, pour le chlorure d'argent avec une concentration d'impuretés divalentes de 1.5×10^{-4} mole de CdCl_2 est de $3.2 \times 10^{-12} \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1(12)}$. En utilisant la relation d'Einstein, on trouve pour la mobilité: $8.23 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{volt} \cdot \text{sec}$. Pour une concentration de 1 ppm de vacances en excès, $\sigma = 3 \times 10^{-9} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Si nous possédons une mesure de la conductivité, nous pouvons déterminer l'excès d'impuretés divalentes.

*des vacances.

Cristal	Conductivité $\times 10^{-9} \text{ } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$	Excès d'impuretés divalentes. ppm
1	3.0	1.0
2	2.2	0.7
3	3.0	1.0
4	2.1	0.7

Les cristaux d'Harshaw sont donc exempts d'une grande concentration d'impuretés divalentes.

4) Décoration de dislocations.

Les photographies 3 et 4 donnent une comparaison entre deux zones d'un cristal. Dans la photo du haut, la partie à gauche ne fut pas exposée à la lumière ultra-violette. La photo du bas permet également une comparaison dans le cas où la zone de gauche est moins décorée que celle de droite.

Dans les photos 5 et 6, le grossissement est suffisant pour montrer les grains individuels. On a ainsi la preuve que les dislocations sont des pièges à électrons plus efficaces que le reste du cristal.

Les photographies 7 à 11 illustrent des réseaux complets de dislocations. Certains sont seulement des déformations dans le cristal; d'autres marquent la limite entre des zones d'orientation un peu différente. On remarque que les cellules forment des quadrilatères. Ceci est une caractéristique du cristal de chlorure d'argent dû aux directions privilégiées des plans de glissement.

La photographie 12 est un peu particulière. Une couche d'argent a été déposée sur la surface d'un cristal par évaporation. Le cristal a ensuite été placé dans l'appareil de décoration. Il est intéressant de remarquer que l'argent s'est propagé de préférence le long des égratignures pour ensuite s'éloigner. Il semble donc que les dislocations forment une voie plus conductrice que le reste du cristal. La photo 13 compare la dimension des grains entre l'émulsion G-5 et le cristal de chlorure d'argent.

5) Décoration de traces de particules.

Des cristaux ont été irradiés par des particules alpha d'une source d'Américium 241. Ces particules devraient donner une trace d'une longueur de 17 microns. Ceci étant très court, il est difficile de distinguer les traces parmi les dislocations et les grains d'argent parsemés dans le cristal. Les photographies 14 et

15 montrent quelques traces qui sont les plus évidentes; la plupart des particules alpha plongent dans le cristal pour un angle presque droit, et par conséquent on ne voit sur une photo qu'un point noir et diffus.

D'autres cristaux ont été irradiés au CERN par des mésons π^- de 1 à 2 Gev ou par des protons de 600 Mev. La photographie 16 illustre une étoile qui a été décorée. Le nombre d'étoiles mises en évidence est restreint. Les cristaux utilisés sont impurs; ainsi il y a développement seulement à l'endroit où par hasard il y a l'impureté nécessaire et en quantité suffisante.

Avec les cristaux d'Harshaw, aucune trace n'a été décorée parce que les cristaux sont trop purs. (Voir conclusion).

CHAPITRE IV

NOUVEL APPAREIL DE DECORATION

A. But.

Un appareil plus perfectionné que le premier a aussi été construit dans le but de faire quelques expériences, entre autres: étudier l'effet des différentes longueurs d'onde; vérifier si la fréquence d'un kilocycle par seconde, utilisée maintenant, est bien la fréquence optimale pour la décoration des cristaux; trouver l'intensité optimum de lumière à utiliser et finalement étudier aussi l'effet de la variation du laps de temps qui s'écoule entre la chute de la tension et l'arrivée de la lumière utile.

B. Plan d'ensemble.

Le plan d'ensemble de l'appareil, figure 11, présente l'agencement des différentes parties du système. On y distingue une source de haute tension, un support à cristaux, un thyatron, un générateur d'impulsions, une lampe à vapeur de mercure et xénon, et un système de synchronisation mécano-photoélectrique relié à un amplificateur.

1. Source de haute tension, support à cristaux, thyatron, et générateur d'impulsions.

Ces quatre composants sont les mêmes que ceux qui ont été décrits dans le chapitre III, mais ils sont utilisés dans un circuit électrique différent.

Voyons le schéma 12. Les plaques du support à cristaux sont chargées par la source de tension, le courant passant par une résistance de 1.2 mégohm. Ces charges électriques retournent au sol quand le thyatron est court-circuité. A ce moment-là, puisque la charge sur les plaques disparaît en moins d'une microseconde, il ne reste à l'intérieur du cristal que le champ électrique dû à la polarisation et à la conduction ionique.

2. Amplificateur.

Il suffit de mentionner que l'amplificateur possède trois étages tel que le dessin 13 l'indique. Il amplifie, avec un gain de dix, le signal venant du phototransistor OCP71. Ce signal résultant sert à déclencher extérieurement le générateur d'impulsions.

3. Lampe à vapeur de mercure et xénon.

a) Caractéristiques.

Cette lampe, du type Hanovia 901 B-1, a une puissance de deux cents watts et fonctionne grâce à une source de tension lui fournissant de vingt à vingt-cinq volts avec un courant maximum de dix ampères. Sa durée de vie moyenne est de

mille heures lorsqu'elle est utilisée d'une façon continue.

L'avantage principal de celle-ci réside dans ses caractéristiques d'émission; elle émet beaucoup plus de photons dans l'ultra-violet que les autres lampes connues. Les données de la figure 14* rendent possible la comparaison des spectres relatifs d'émission de différentes lampes que l'on peut obtenir dans le commerce.

b) Montage.

On remarque à gauche du schéma 16, la lampe à vapeur de mercure-xénon. Elle est accompagnée d'une lentille de focalisation à l'avant ainsi que d'un réflecteur sphérique, à l'arrière. Celui-ci renvoie à son point d'origine, la lumière venant de la source**. Autrement le faisceau pourrait en peu de temps détruire les électrodes de la lampe.

4. Système de synchronisation mécano-photoélectrique.

a) Roue dentée et position des fentes.

La roue dentée, figure 15, est en laiton. Elle mesure 9.54 centimètres de diamètre. Sur sa circonférence sont distribuées à intervalles réguliers, six fentes ayant chacune une largeur d'un millimètre.

* Ces données sont fournies par la compagnie Oriel à laquelle la lampe fut achetée.

** La distance du réflecteur à la lampe est égale au rayon de courbure du miroir sphérique.

Lorsque le moteur qui actionne la roue, tourne à dix mille tours par minute et qu'un faisceau de lumière illumine les fentes, on obtient des impulsions lumineuses ayant une fréquence d'un kilocycle par seconde et une durée de vingt microsecondes.

b) Moteur.

La roue dentée est actionnée à l'aide d'un petit moteur alimenté par une source de tension continue de vingt-sept volts. Ce moteur est de marque Globe Industries Inc., modèle PS 100 à 104-10. Il peut supporter un couple de 2.8 onces-pouce et a une vie moyenne de mille heures. Il peut être utilisé de façon continue. Sa vitesse varie d'environ 1000 à 10,500 t.p.m. en changeant la tension continue appliquée. Ceci permet donc de couvrir une grande gamme de fréquences.

c) Petite lampe et phototransistor.

La figure 16 nous montre aussi un phototransistor, séparé d'une petite source de lumière par la roue dentée. Le phototransistor reçoit les impulsions lumineuses provenant de la petite lampe; celles-ci suivent le circuit du schéma 13.

C. Fonctionnement.

La vue de face, figure 16, montre les rayons de lumière qui sont focalisés sur une fente* réglable de 0-2 mm., en face d'un côté de la roue dentée. Ce faisceau peut continuer de l'autre côté de la roue dentée, pour être réfléchi par un miroir plan circulaire sur la face supérieure du support à cristaux.

* La largeur de la fente est réglable, mais le tout est fixe par rapport à la roue dentée.

La vue de dessus fait voir sur le côté de la roue dentée, symétriquement opposée au faisceau de la lampe au mercure-xénon, la petite lampe qui focalise sur une fente* également réglable. Ce dernier faisceau, en passant par la roue dentée, arrive sur le phototransistor. L'impulsion électrique du phototransistor est amplifiée suffisamment pour déclencher le générateur d'impulsions qui à son tour fait conduire le thyatron à hydrogène. Ainsi les plaques du support à cristaux se déchargent soudainement, ne laissant à l'intérieur du cristal que le champ de polarisation.

Contrairement à la position fixe du faisceau utile, le montage permet de varier la position du phototransistor et de la lampe par rapport à la ligne passant par le faisceau utile et le centre de la roue dentée. Ainsi il est possible de contrôler le temps qui s'écoule entre la chute de la tension extérieure aux plaques du support à cristaux et l'arrivée de la lumière du faisceau utile.

* Cette fente est réglable de deux façons:

- 1) En largeur: 0-2 mm.
- 2) En position: Il est nécessaire pour obtenir la synchronisation voulue de pouvoir déplacer cette fente, selon la circonférence de la roue dentée.

D. Résultats.

Les résultats obtenus jusqu'à présent avec ce nouvel appareil sont le dépôt en quinze minutes d'une colonne d'argent photolytique. Ce dépôt va d'un côté à l'autre du cristal (14 mm) et il est très dense. Il est visible à l'oeil nu.

Pour fins de comparaison, il est à remarquer que dans le travail de Haynes et Shockley, le dépôt d'argent photolytique montré dans le dessin 1 était obtenu en seize heures et plus.

CHAPITRE V

CONCLUSION

Le travail présenté dans ces quelques pages est plutôt un travail d'approche. Le rôle des impuretés dans le processus de la décoration demeure une question embarrassante. Dans une conférence faite à l'Université de Montréal en juin 1967, par le professeur Schopper de Frankfurt, celui-ci a donné les résultats les plus récents obtenus par son groupe. Ils sont les suivants: les cristaux achetés à Harshaw n'étaient pas satisfaisants car l'image latente disparaissait aussitôt qu'elle se formait. Ils fabriquèrent leurs propres cristaux et introduisirent tour à tour différentes impuretés. Ceci donna le résultat suivant: avec 5 ppm de plomb ou 500 ppm de cadmium, la décoration était la meilleure obtenue à présent.

Notre problème à nous aussi était donc que les cristaux achetés à Harshaw étaient trop purs, comme l'indiquent les mesures de la conductivité. (Voir chapitre III - section E-3).

Il était nécessaire de développer des procédés de préparation du chlorure d'argent qui pourraient assurer une bonne décoration de traces et un bon contraste uniformément dans tout le volume du cristal. La compagnie Harshaw a aussi réussi à préparer de bons cristaux qui peuvent maintenant être obtenus dans le commerce.

Le problème le plus important est celui de la sensibilité et de l'étalonnage. Actuellement, à cause de leur faible sensibilité, seule la détection d'ions lourds et de leurs interactions est possible.

En ce qui concerne l'étalonnage, il est nécessaire de trouver des relations entre les caractéristiques des traces individuelles et la nature des particules qui les produisent. Afin d'identifier la particule, deux propriétés peuvent être utilisées: la diffusion et la densité des grains. Le nombre de grains par unité de longueur produits dans le cristal par une particule d'une certaine nature et d'une certaine énergie, ainsi que dans l'émulsion, pourrait mener par comparaison à un étalonnage du détecteur, si l'on possède aussi des mesures de diffusion dans les deux cas.

Malgré plusieurs problèmes, la méthode présente plusieurs aspects très intéressants qui font qu'il vaut la peine de la perfectionner.

À ce stade, il est donc possible de faire le dopage au plomb ou au cadmium, des cristaux achetés à Harshaw, afin d'obtenir une décoration suffisamment raisonnable pour faire des mesures. Ensuite, l'on pourra poursuivre les expériences mentionnées plus haut, avec le nouvel appareil. (Voir chapitre IV). De plus, certaines expériences de physique nucléaire pourraient s'avérer profitables pour calibrer le détecteur.

REFERENCES

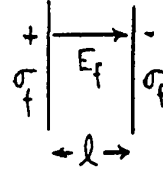
1. R. W. Gurney et N. F. Mott, Roy. Soc. Proc. 164 A, 151 (1938).
2. J. R. Haynes et W. Shockley, Phys. Rev. 82, 935 (1951).
3. J. M. Hedges et J. W. Mitchell, Phil. Mag. 44, 357 (1953).
4. C. B. Childs et L. Slifkin, Phys. Rev. Letters 5, 502 (1960).
5. C. B. Childs et L. Slifkin, Phys. Rev. Letters 2, 354 (1962).
6. F. Seitz, Imperfections in nearly perfect crystals,
(John Wiley and Sons, Inc., New York 1952).
7. F. Seitz, Phys. Rev. 80, 239 (1950).
8. S. Sonoike, J. Phys. Soc. of Japan, 17, 575 (1962).
9. W. C. McGowan Jr., Thèse de doctorat 1965, Chapel Hill,
C. du N.
10. F. Seitz et J. S. Koehler, Solid State Physics, 2, 377 (1956).
11. "Réunion de travail sur l'enregistrement des traces de
particules chargées dans les cristaux". 13-14 mai 1963;
Editeurs: P. Cûer et R. Schmitt, CNRS, Strasbourg (1963).
12. W. D. Compton et R. J. Maurer, J. Phys. Chem. of Solids,
1, 191 (1957).

APPENDICE 1

Champ électrique responsable de la décoration.

CHAMP ELECTRIQUE

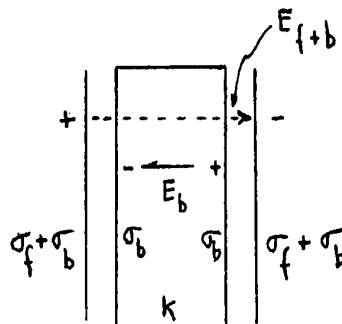
Considérons deux plaques d'un condensateur entre lesquelles on applique une tension V_c . La densité de charges électriques sur la surface est σ_f .



Nous avons par conséquent un champ électrique à l'intérieur:

$$E_f = \frac{\sigma_f}{\epsilon_0} = \frac{V_c}{l}$$

Si nous introduisons entre les plaques, une matière de constante diélectrique K , celle-ci possède à sa surface une densité de charges induites σ_b . Ces charges neutralisent partiellement l'effet des charges extérieures de densité σ_f . La densité réelle de charges à l'extérieur deviendra donc $(\sigma_f + \sigma_b)$ puisque la source de tension peut fournir le courant demandé.



Le champ électrique résultant sera donc:

$$E_r = E_{f+b} - E_b = E_f = \frac{V_c}{d}$$

Si E_b est constant,

$$E_b = \frac{\sigma_b}{\epsilon_0} = \frac{\chi E_f}{\epsilon_0} = \frac{(\epsilon - \epsilon_0)}{\epsilon_0} \frac{V_c}{d}$$

$$E_b = (K - 1) \frac{V_c}{d}$$

χ : susceptibilité électrique.

Quand la tension extérieure est enlevée, le champ électrique à l'intérieur du cristal est donc $(K - 1)$ fois plus grand que le champ électrique entre les plaques, s'il n'y avait pas de diélectrique. Quant à la conductivité ionique, F. Brown, J. Phys. Chem. Solids 4, 203 (1958), a montré que celle-ci pouvait être négligée quand le temps associé avec le phénomène est de l'ordre de celui utilisé dans ce travail.

Densité des charges.

$$E_f = \frac{V_c}{\ell} = \frac{\sigma_f}{\epsilon_0}$$

$$\sigma_f = \epsilon_0 \frac{V_c}{\ell}$$

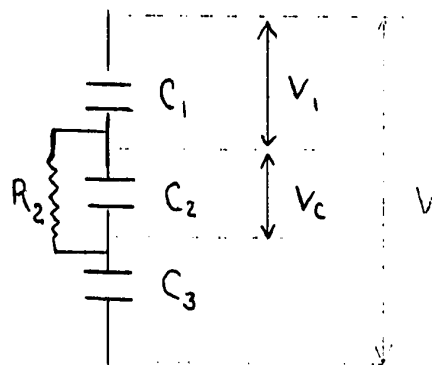
Aussi,

$$E_b = \frac{\sigma_b}{\epsilon_0} = (K - 1) \frac{V_c}{\ell}$$

$$\sigma_b = (K - 1) \epsilon_0 \frac{V_c}{\ell} .$$

Quelle est la tension V_c appliquée à travers le cristal?

Ne supposant rien au départ, nous devons utiliser un circuit équivalent si possible. Le cristal de chlorure d'argent étant un conducteur ionique et non un diélectrique parfait, il est représenté par un condensateur C_2 en parallèle avec une résistance R_2 . Les condensateurs C_1 et C_3 tiennent compte de la capacité introduite par les plaques.



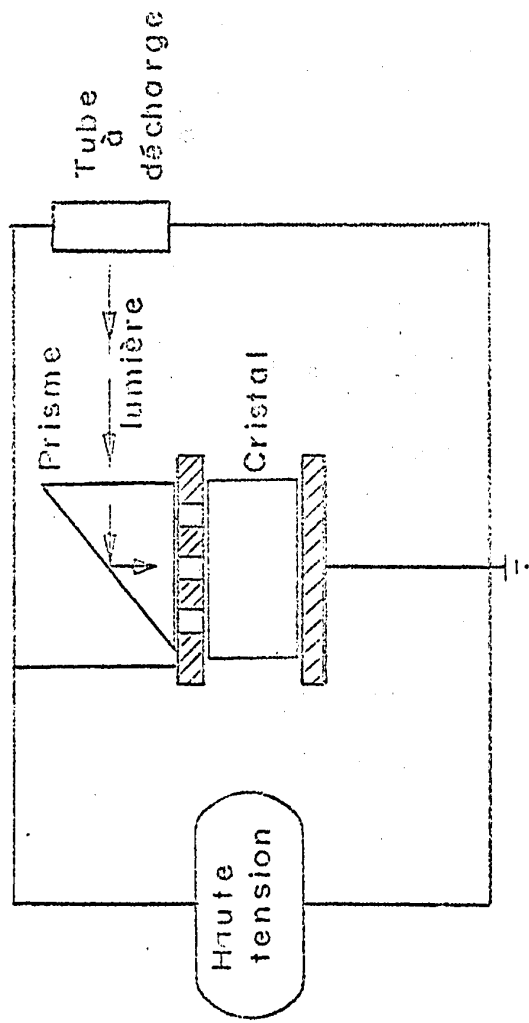
L'impédance totale est

$$Z = Z_1 + Z_3 + Z_2$$

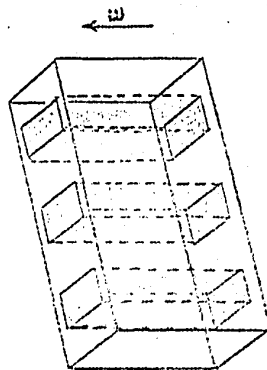
$$Z = X_{c1} + X_{c3} + \frac{1}{\frac{1}{X_{c2}^2} + \frac{1}{R_2^2}}$$

Donc,

$$V_c = \frac{Z_2}{Z} V .$$



Circuit.



Résultat.

Figure 1 : J.R. Haynes et W. Shockley (1951)

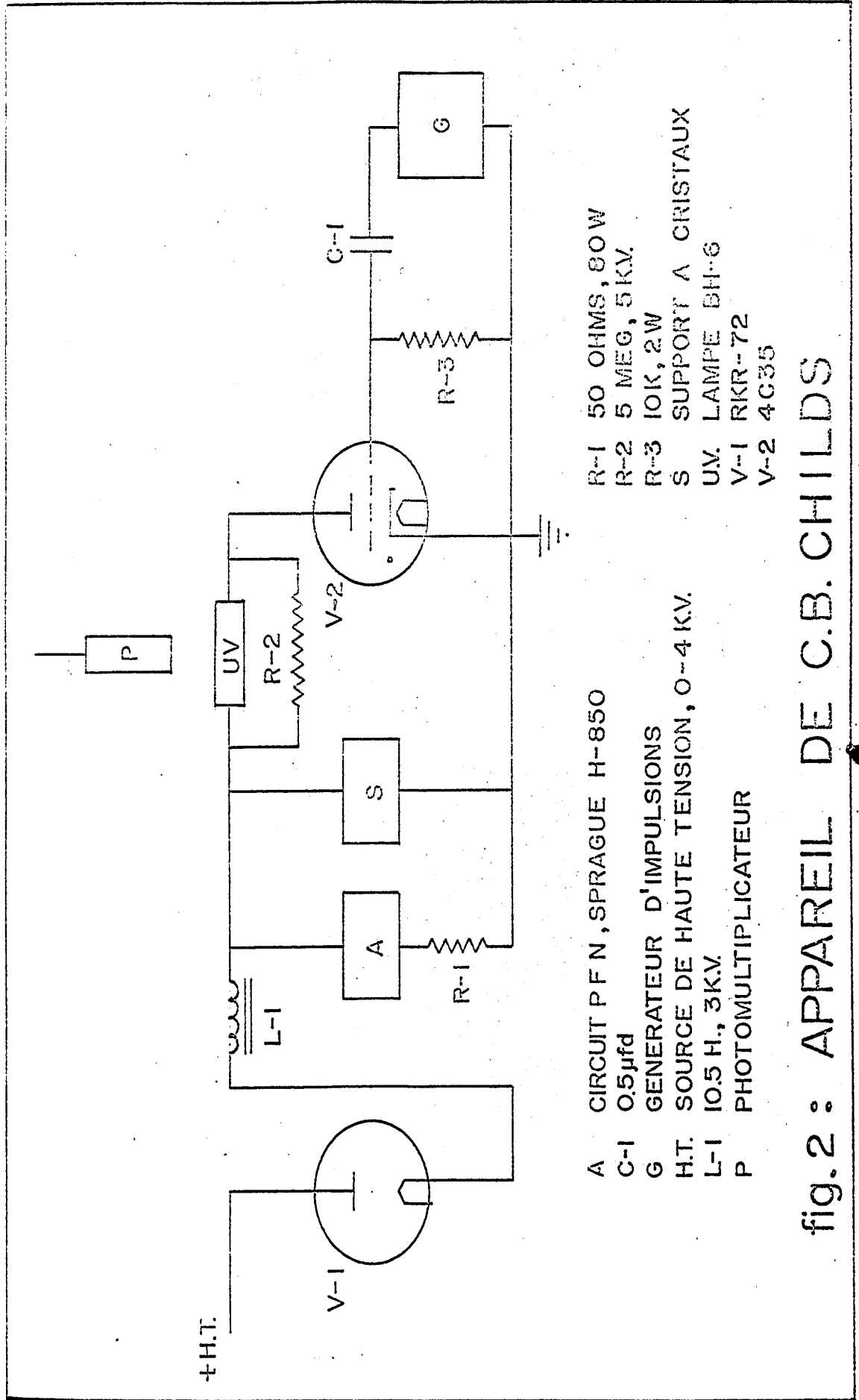
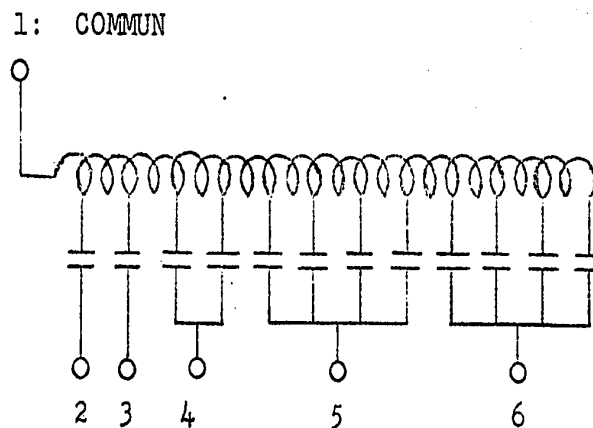


fig.2 : APPAREIL DE C.B. CHILDS



<u>SORTIE</u>	<u>CAPACITE*</u>	<u>DUREE DES IMPULSIONS**</u>	<u>TEMPS DE MONTEE⁺</u>	<u>IMPEDANCE</u>
	$\mu\text{f.}$	$\mu\text{s.}$	$\mu\text{s.}$	ohms
2	0.002591	0.28	0.09	50
3	0.005141	0.52	-	52
4	0.01023	0.96	-	48
5	0.02030	1.95	0.09	51
6	0.03046	2.85	-	52

NOTE: La forme des ondes est telle que ci-haut, lorsque le circuit voit une impédance de 50 ohms.

*La capacité est à 25°C et à 1 kc. p. s.

**La durée des impulsions est mesurée à 70% de l'amplitude maximum.

⁺Le temps de montée est de 10% à 80% de l'amplitude maximum.

FIGURE 3: CIRCUIT P.F.N. H-850 DE SPRAGUE

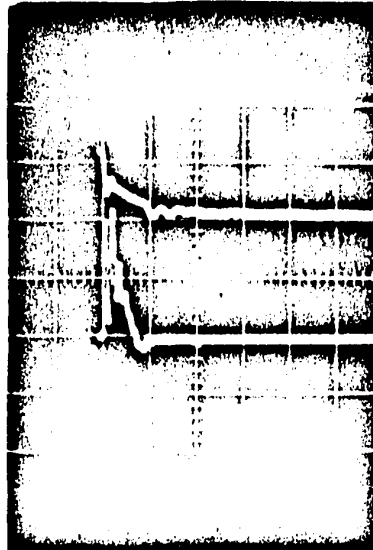


fig.5-A

fig.4

Fig.4: Impulsions résultantes sur la grille du thyatron.
Echelle horizontale: 1 microseconde par cm.
Echelle verticale: 36 volts par cm.

Fig.5-A: Décharge de la haute tension.
Echelle horizontale: 1 microseconde-cm⁻¹.
Echelle verticale: 740 volts par cm.

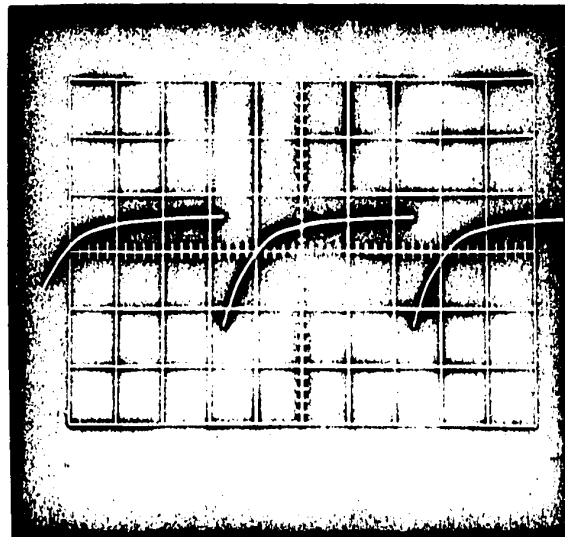


Fig.5-B: Courbe de la haute tension appliquée.
Echelle horizontale: 0.2 milliseconde-cm⁻¹.
Echelle verticale: 1000 volts par cm.

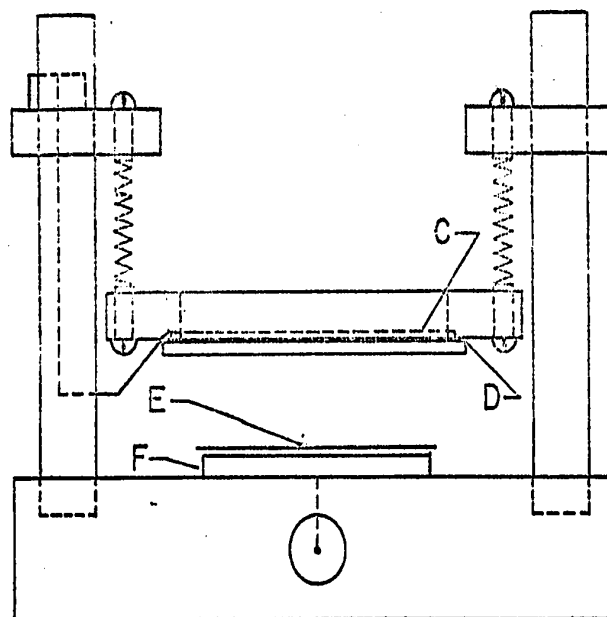
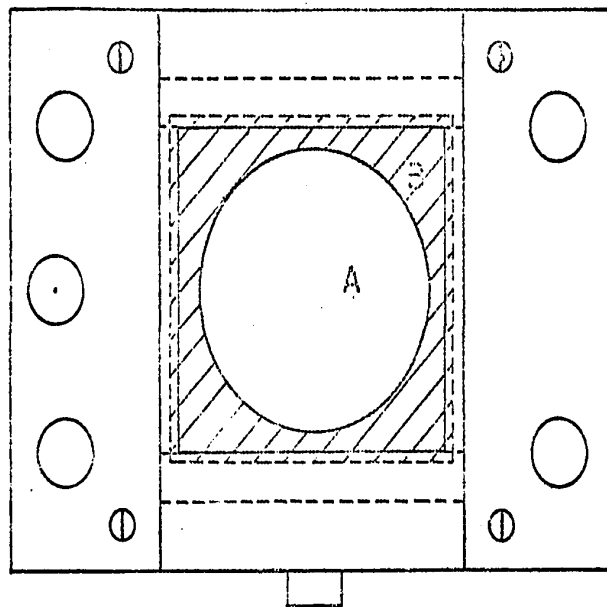


fig. 6 : SUPPORT A CRISTAUX

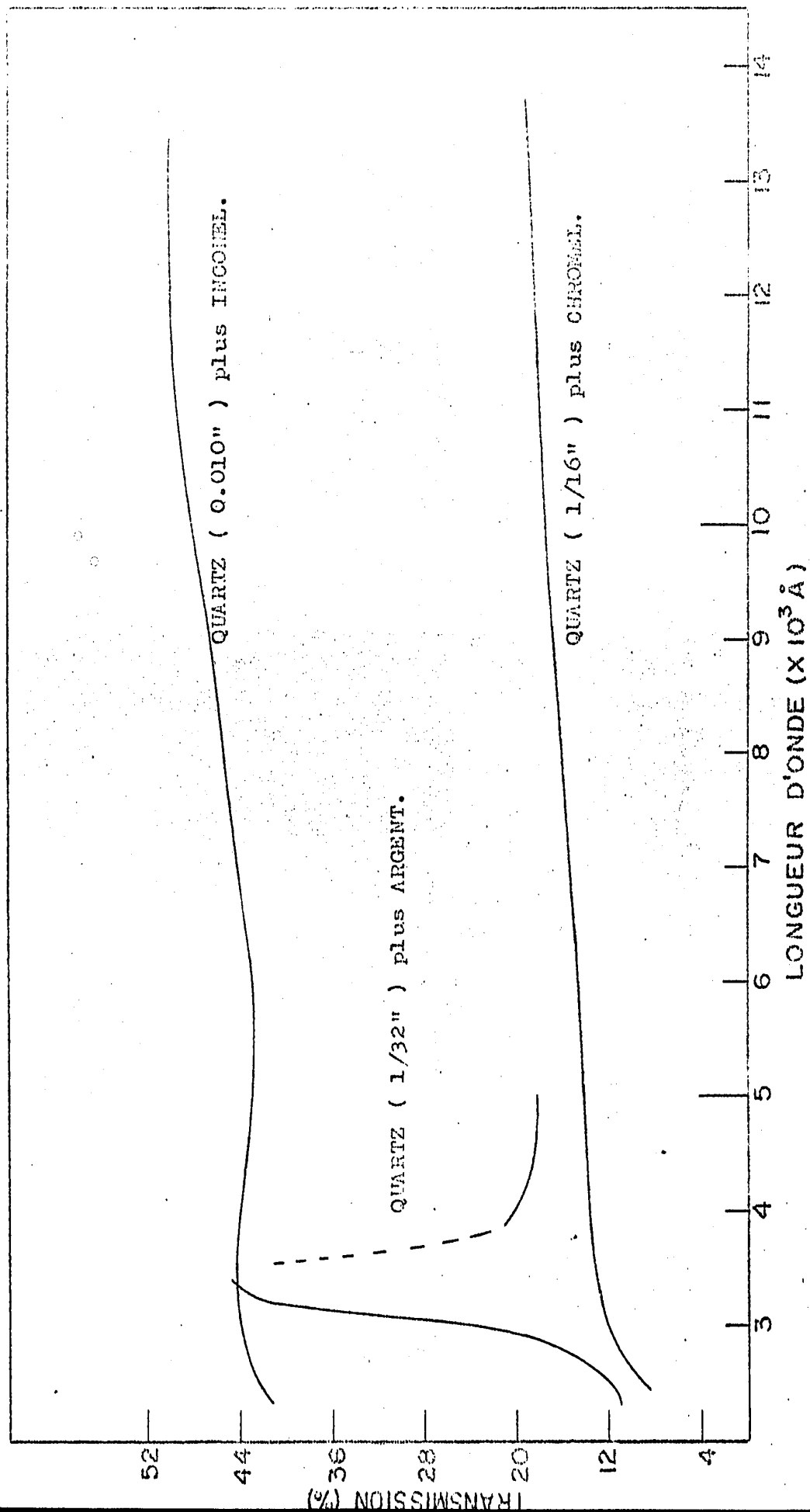
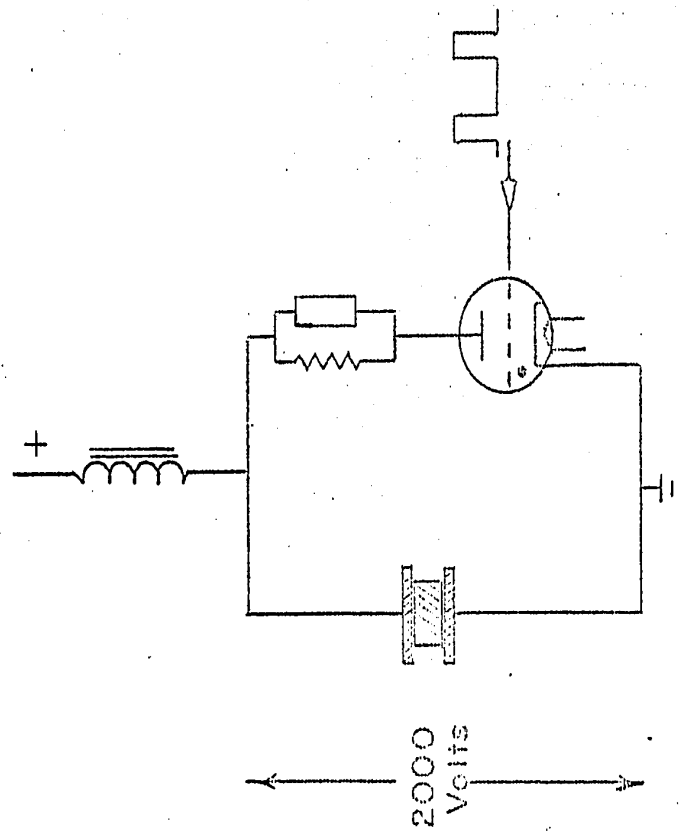


FIGURE 7: TRANSMISSION DU PLATEAU SUPERIEUR



E_x : champ électrique extérieur.

E_i : " " intérieur.

1) $E_i = (E_x - E_i) \rightarrow 0$

2) $E_x = 0$

$E_i = -E_x$

E_i = champ dû à :
polarisation et
conductivité ionique.

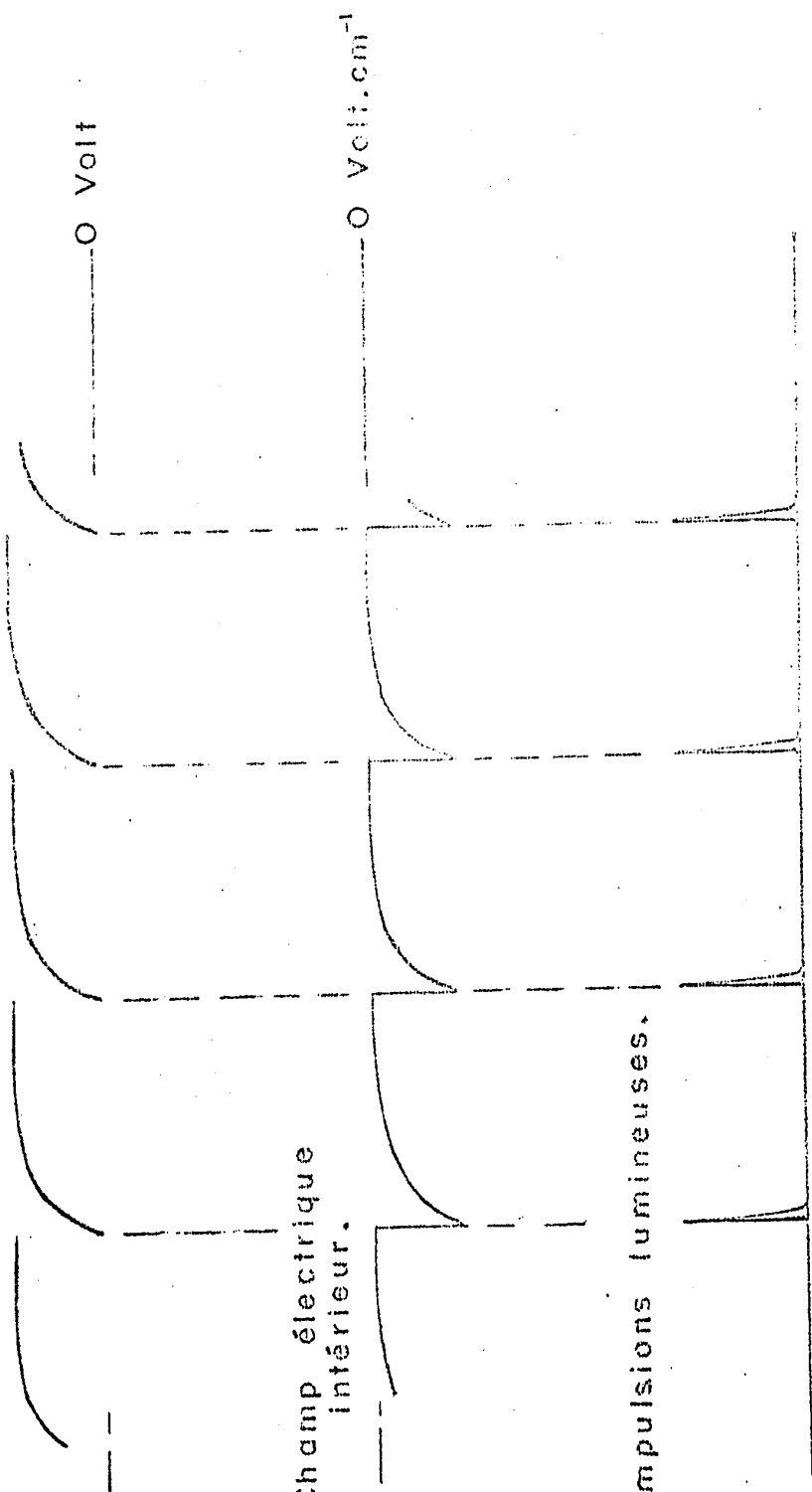
Figure 8 : FONCTIONNEMENT de l'APPAREIL.

Fréquence de répétition: 1 kc.p.s.

Haute tension appliquée.

Champ électrique
intérieur.

Impulsions lumineuses.



SYNCHRONISATION
DES

Figure 9 : IMPULSIONS ELECTRIQUES et LUMINEUSES.

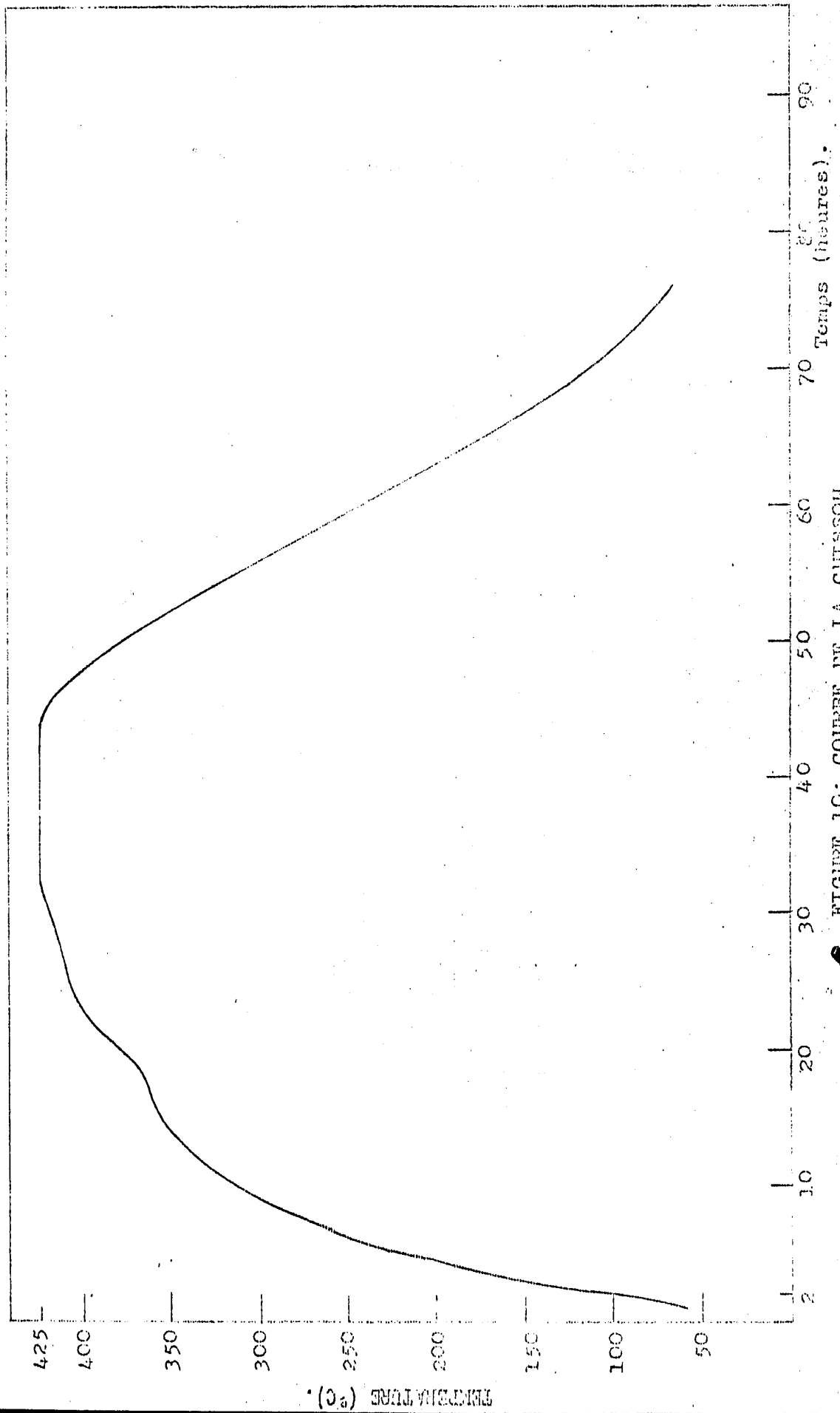


FIGURE 10: COURBE DE LA CUTISSON.

PLAN D'ENSEMBLE DE L'APPAREIL

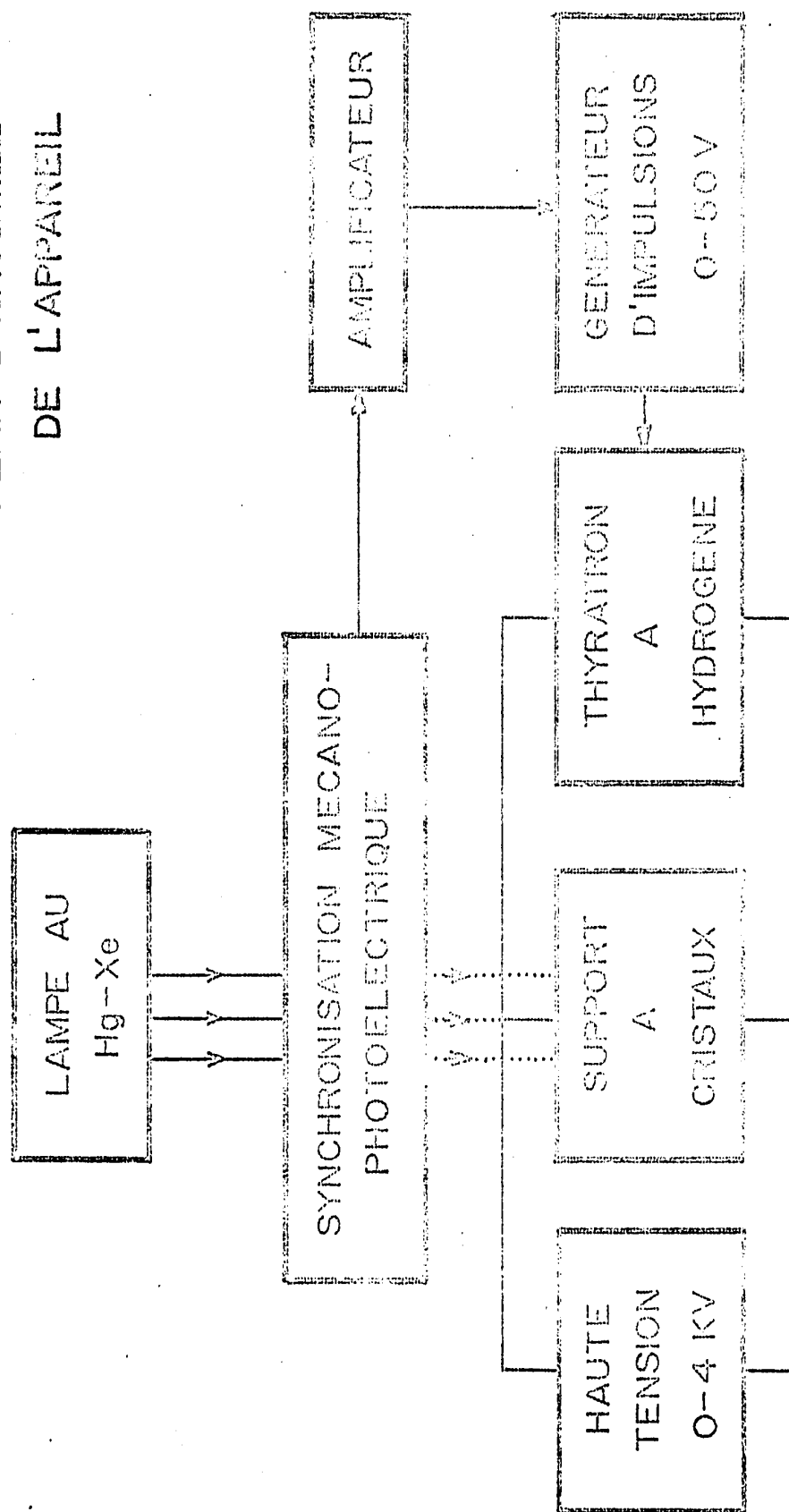


FIGURE II.

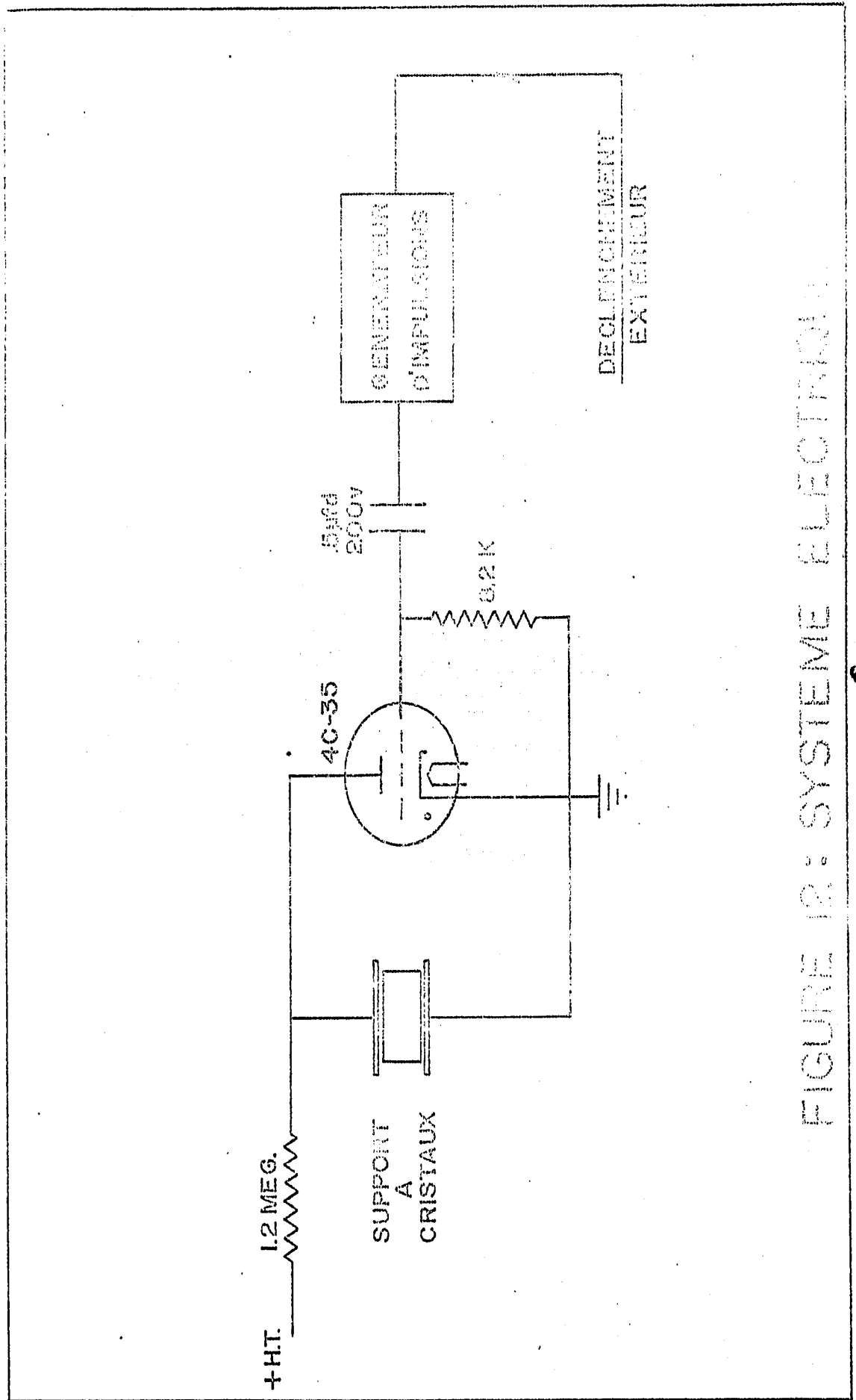


FIGURE 12: SYSTEME ELECTRONIQUE

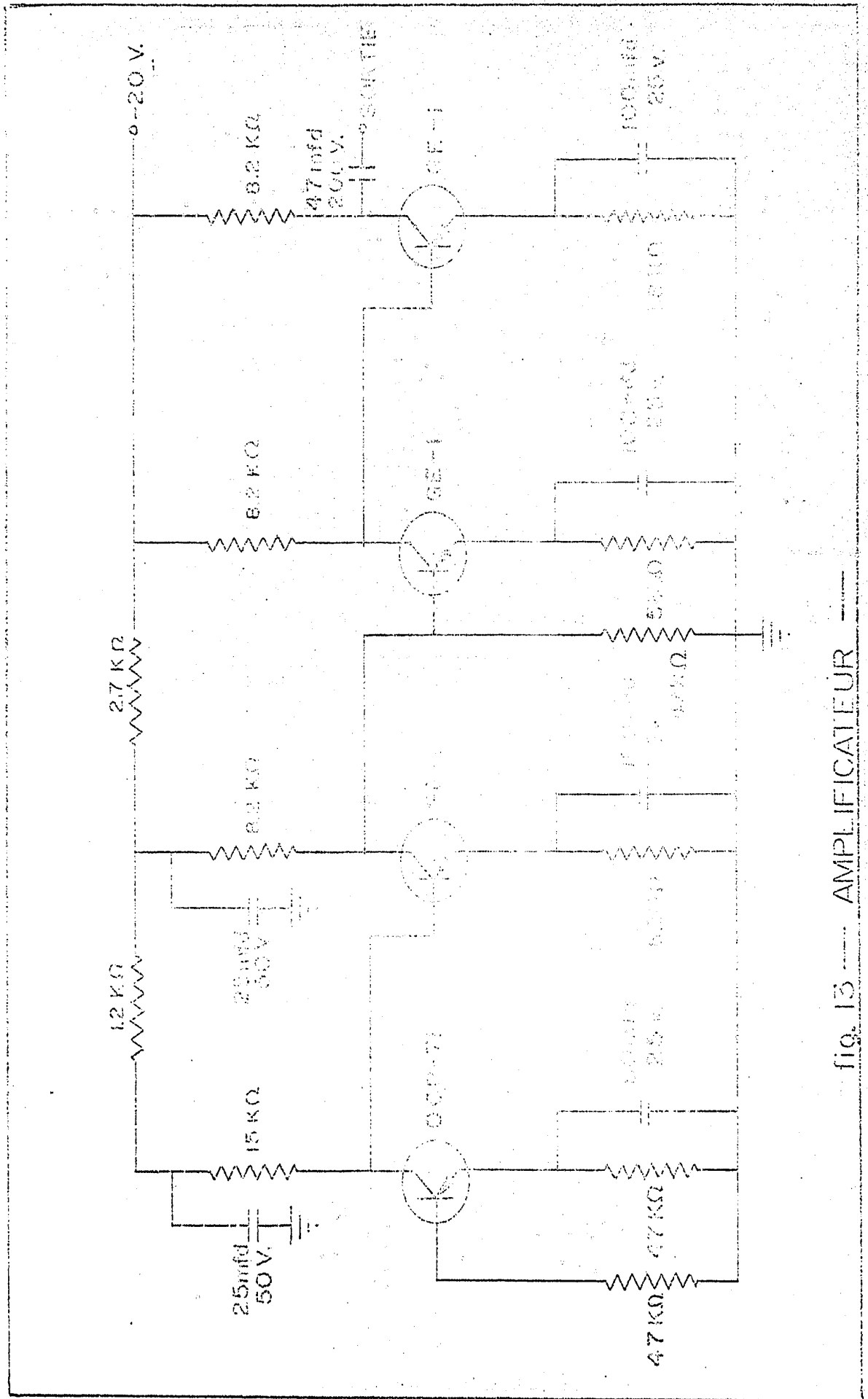


fig. 13 --- AMPLIFICATEUR ---

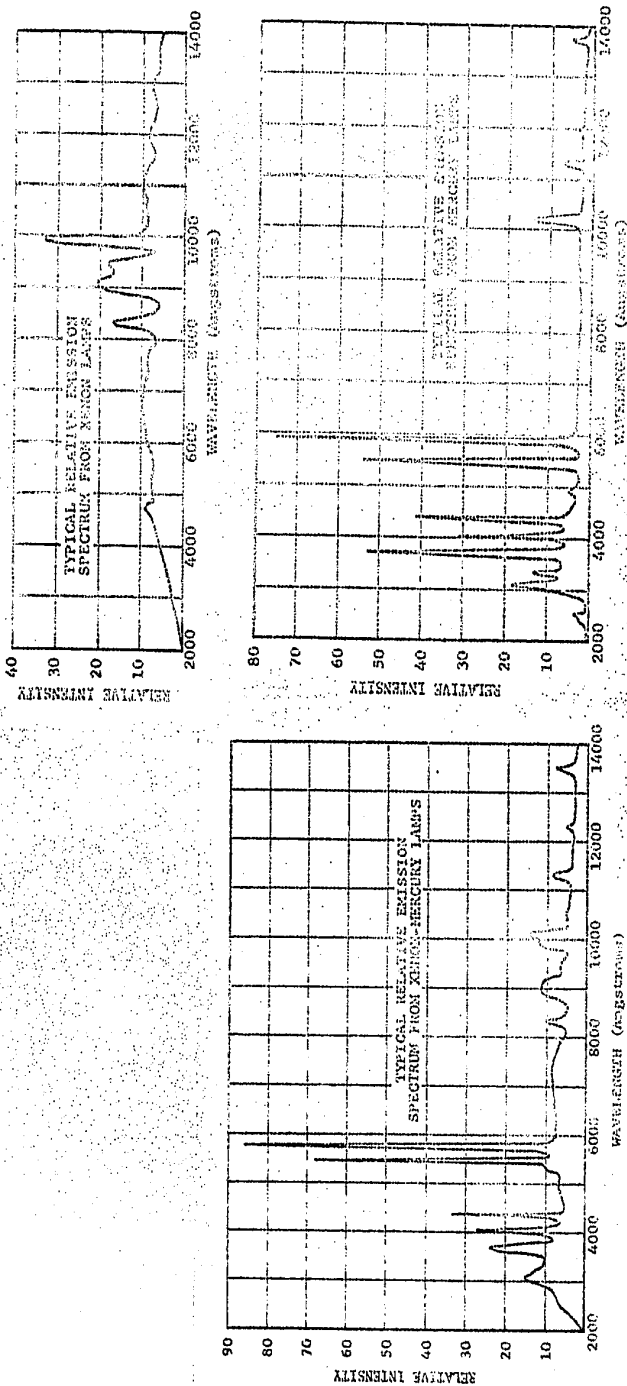


fig.14 SPECTRES RELATIFS D'EMISSION DES DIFFERENTES LAMPES

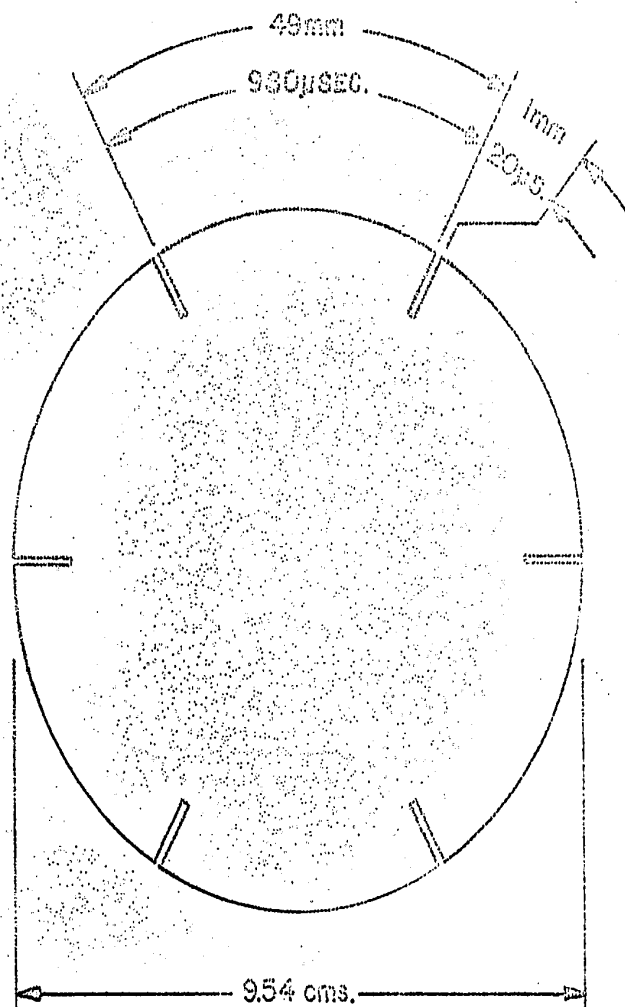


fig.15 : ROUE DENTEE

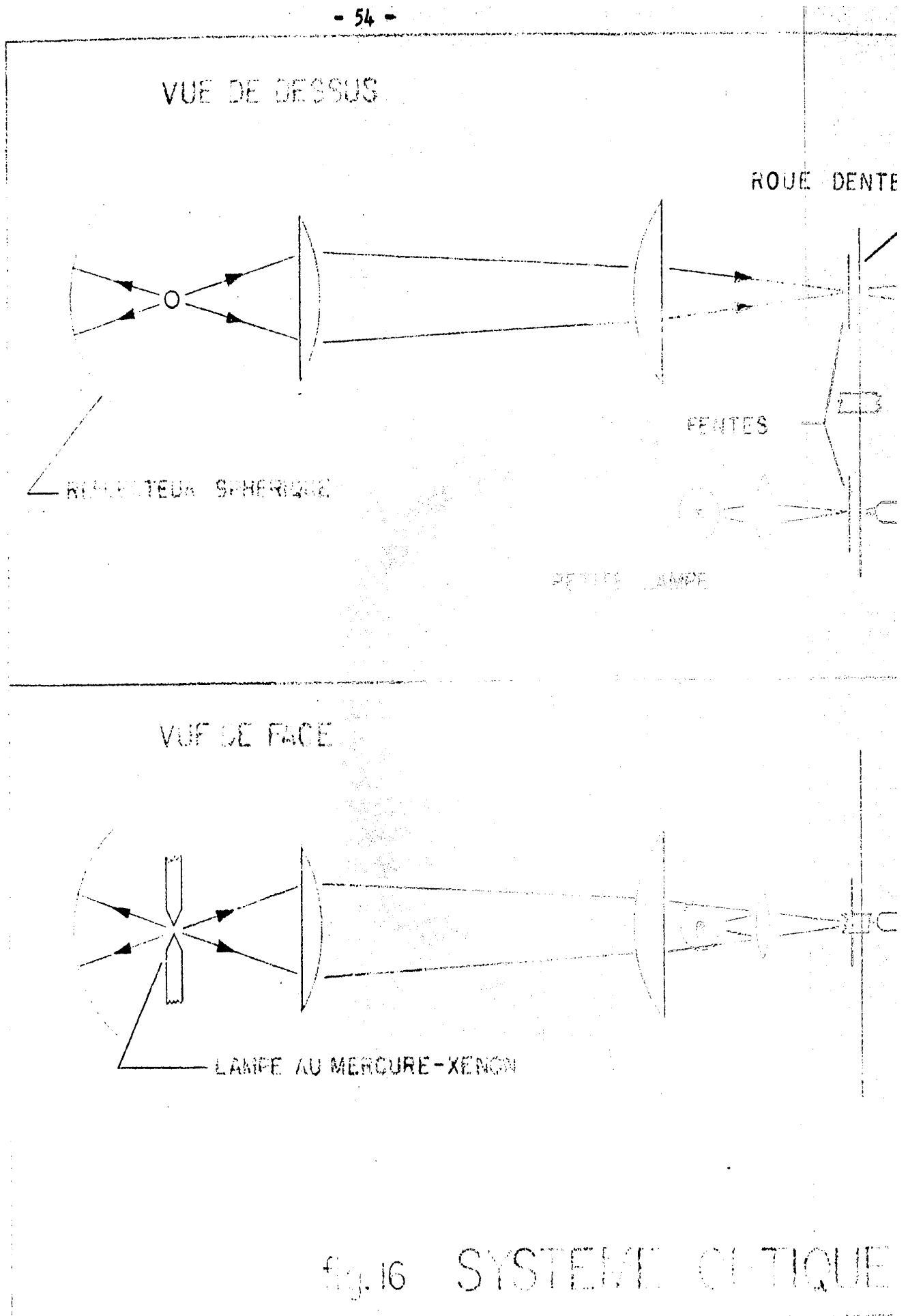
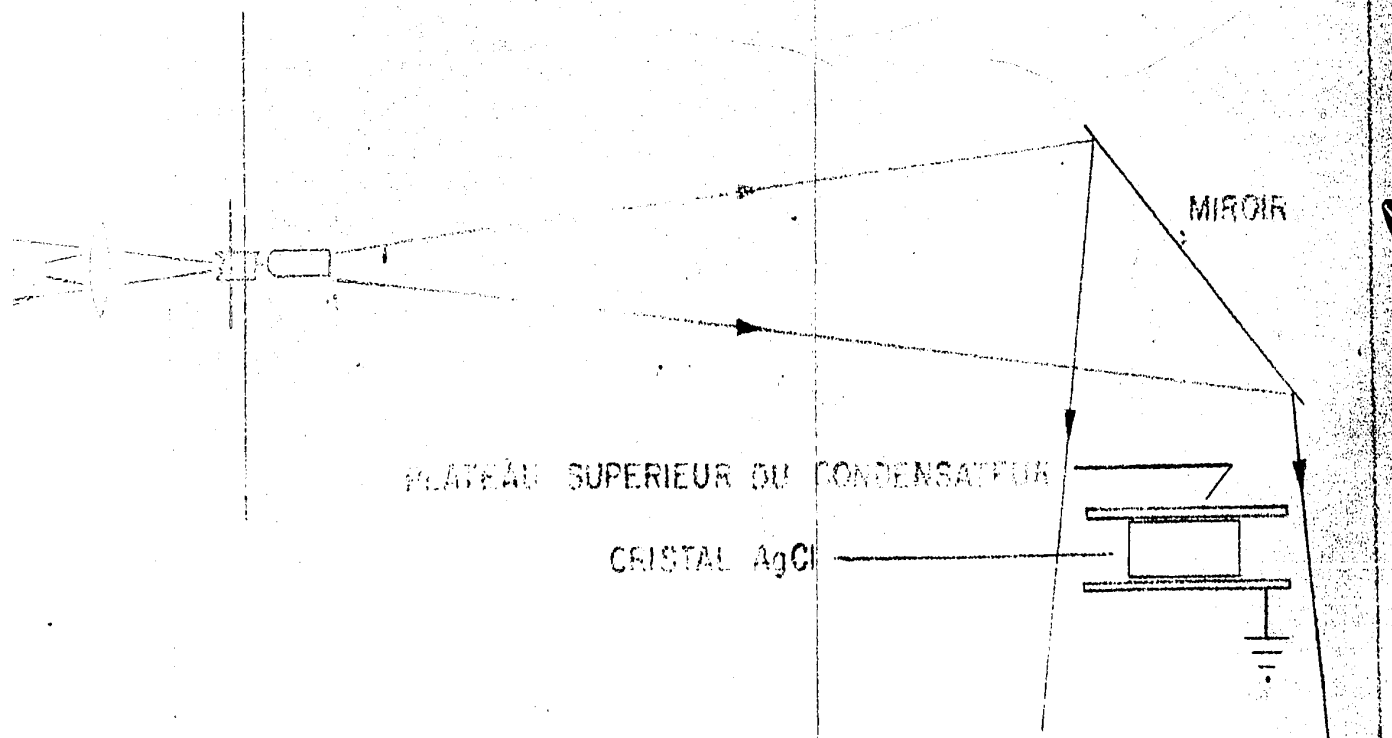
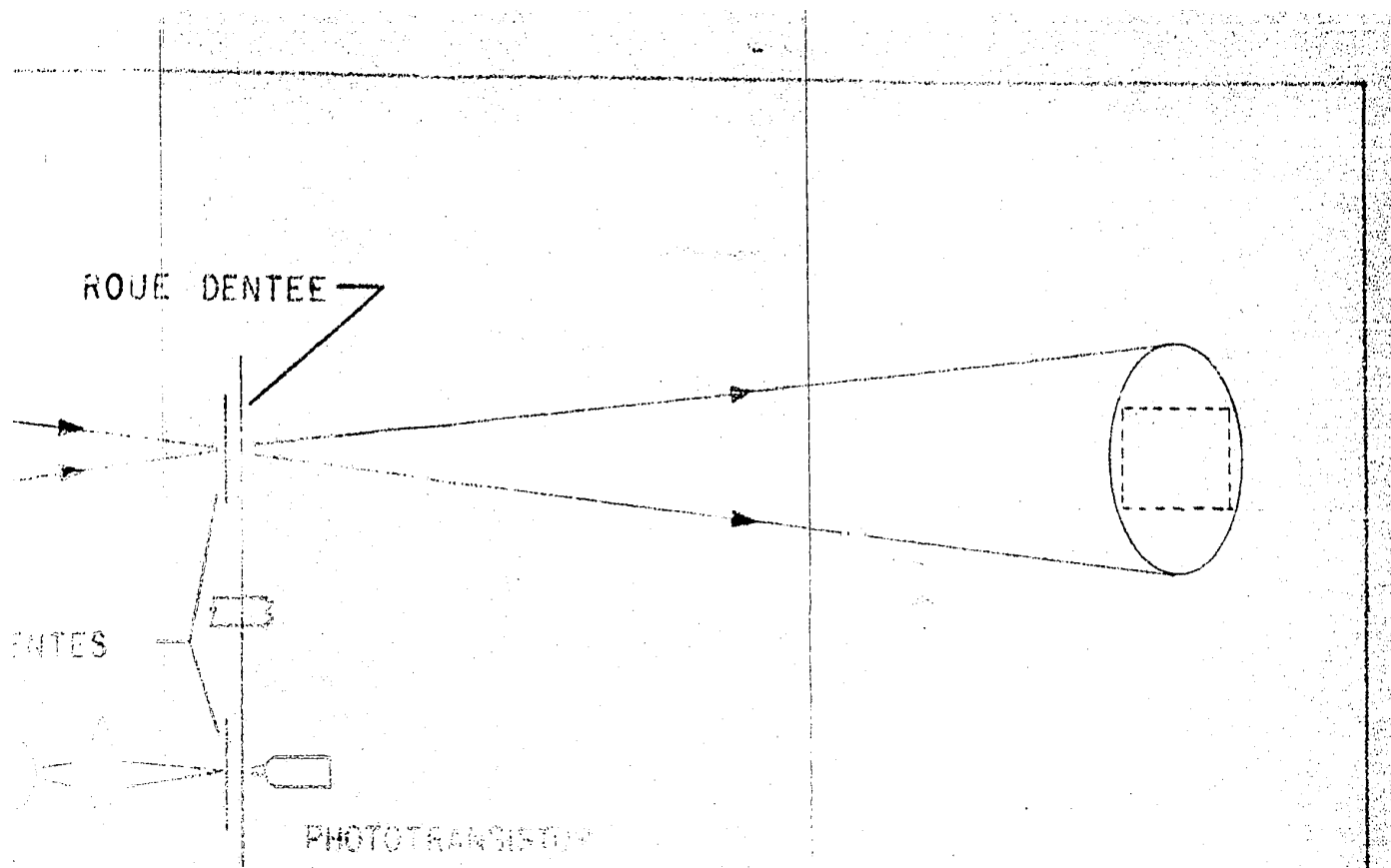
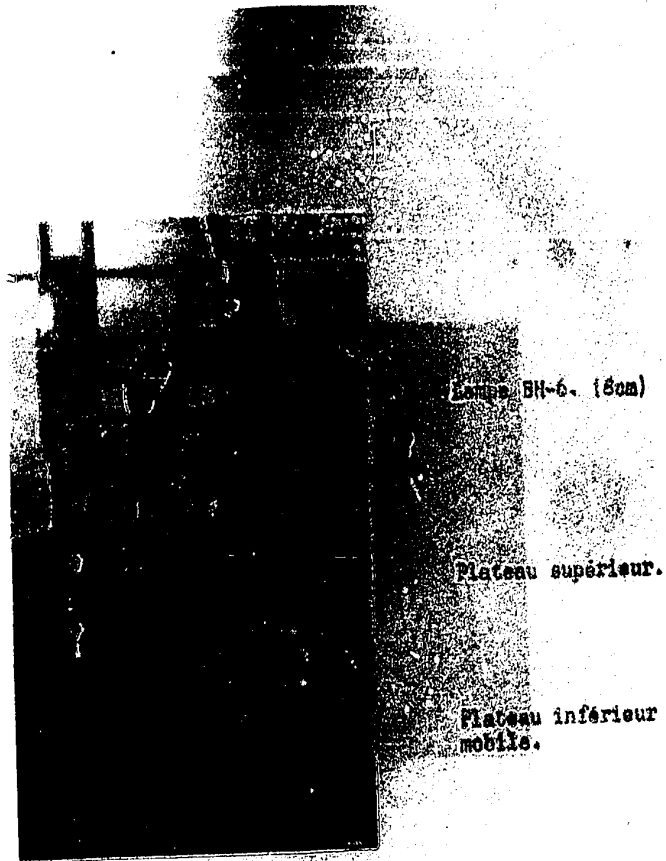


fig. 16 SYSTEME OPTIQUE



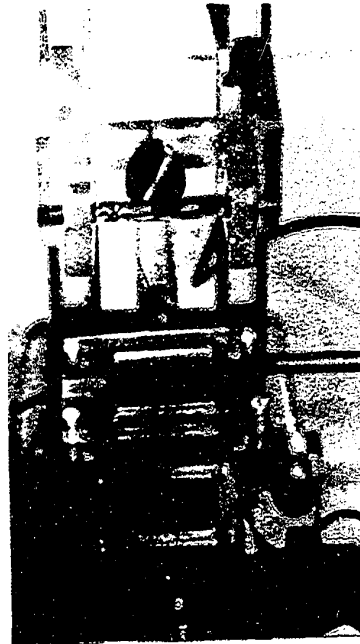
OPTIQUE



Photographie 1: Deuxième montage du support à cristaux.



Photographie 2: Dislocations produites quand le cristal a été coupé.
(Base = 320 μ)



Lampe HH-6. (8cm.)

Plateau supérieur.

Plateau inférieur
mobile.

Photographie 1: Deuxième montage du support à cristaux.

Côté du
cristal.

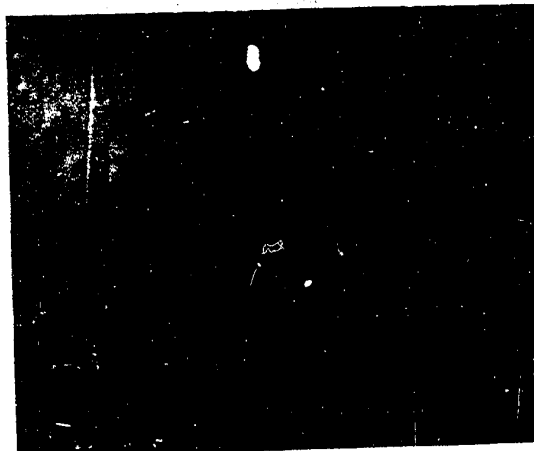


Photographie 2: Dislocations produites quand le cristal est comprimé.
(Grossissement 100x)



Photographie 3: Zone non décorée et zone décorée.

(Base = 800 μ)



Photographie 4: Zone décorée et encore plus décorée.

(Base = 800 μ)



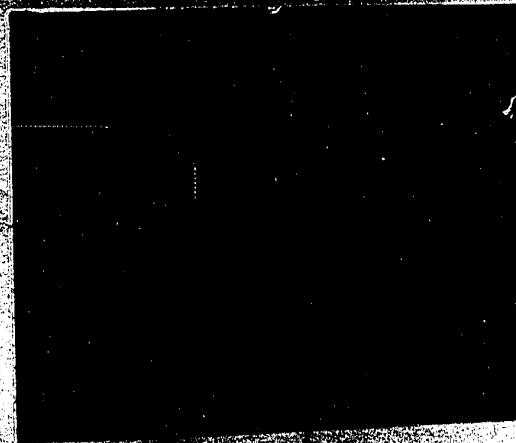
1. La roche est décolorée et est décolorée.
(Base = 200 m)



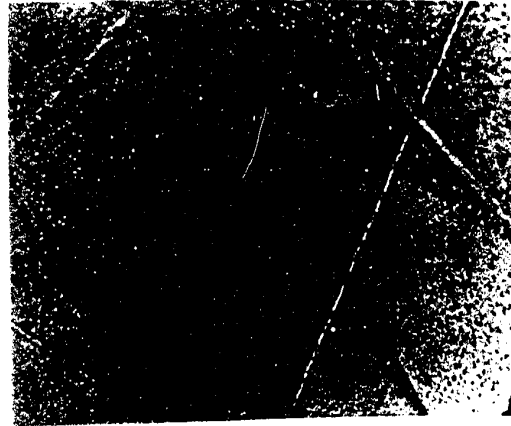
2. La roche est décolorée et est décolorée.
(Base = 200 m)



Photograph 5: [illegible] (Base = 160 μ)



Photograph 6: [illegible] (Base = 160 μ)



Photographie 5: Dislocations en fourche. (Gale 1)

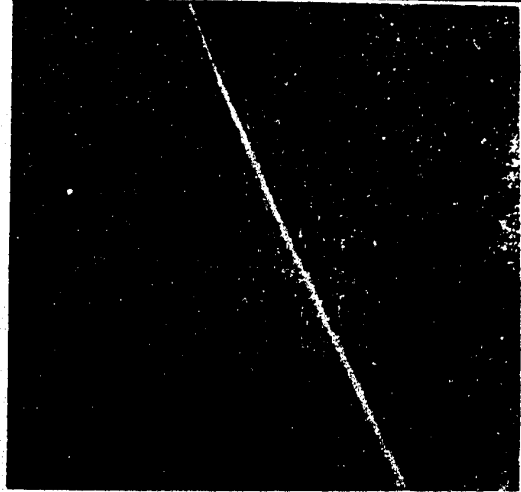


Photographie 6: Autres dislocations. (Gale 1)

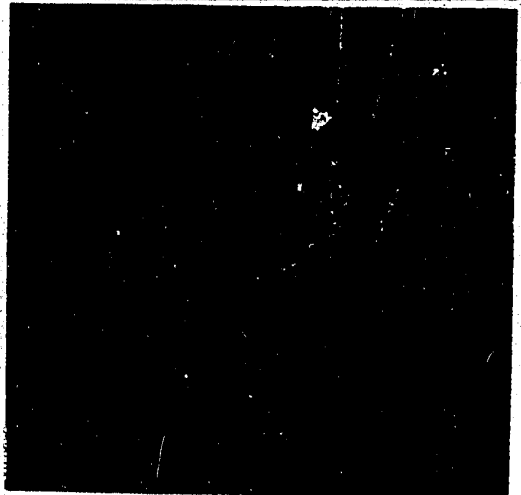
Photographie 7.
Réseau de dislocations.
(800X)



Photographie 8.
Sous-structure. (800X)



Photographie 9.
Autre réseau. (800X)



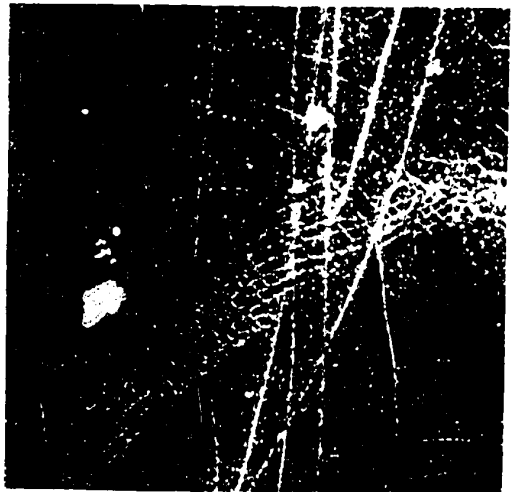
REPRODUCTION



Photomicrograph 1.
Sous-structure. 100x

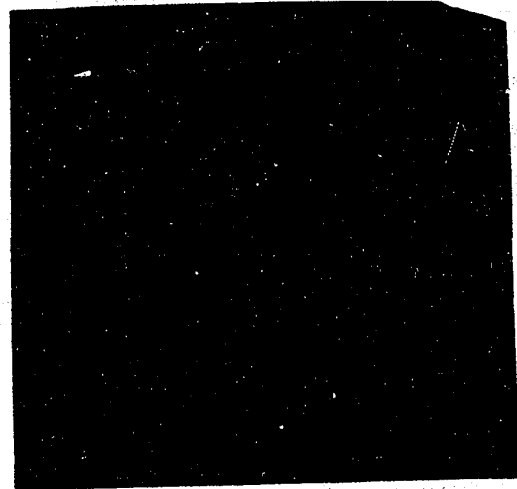


Photomicrograph 2.
Type of structure. 100x



Photographie 10.

Réseau entre deux zones
d'orientation différente.
(600X)



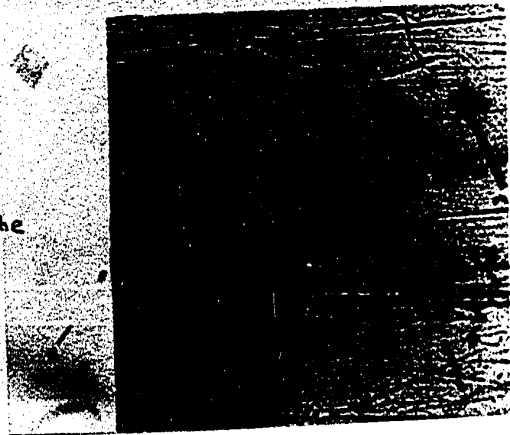
Photographie 11.

Autre réseau marquant
une limite. (450X)



Photographie 12.

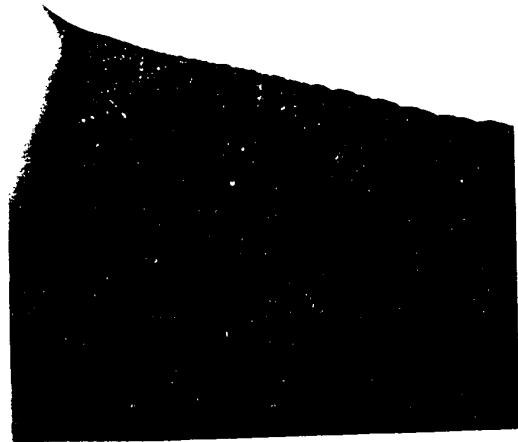
Résultat de la décoration
d'un cristal ayant une couche
d'argent sur sa surface.
(Base = 350μ)



Photographie 10.
 Deux zones aux zones
 de formation différentes.
 (100X)



Photographie 11.
 Entre roses marquant
 une limite. (1450X)

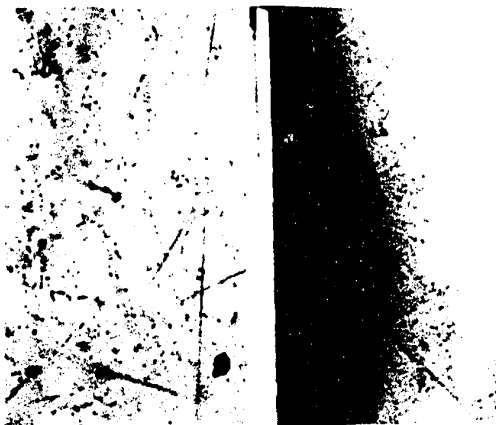


Photographie 12.
 Échantillon de la décoration
 du cristal ayant une cloche
 échantillon sur sa surface.
 (Base = 350µ)



Photographie 13.

Comparaison entre une
émulsion G-5 et le cristal
de chlorure d'argent.
(Base = 160μ)



Photographie 14.

Traces de particules
alpha. (Base = 160μ)



Photographie 15.

Traces de particules
alpha. (Base = 160μ)



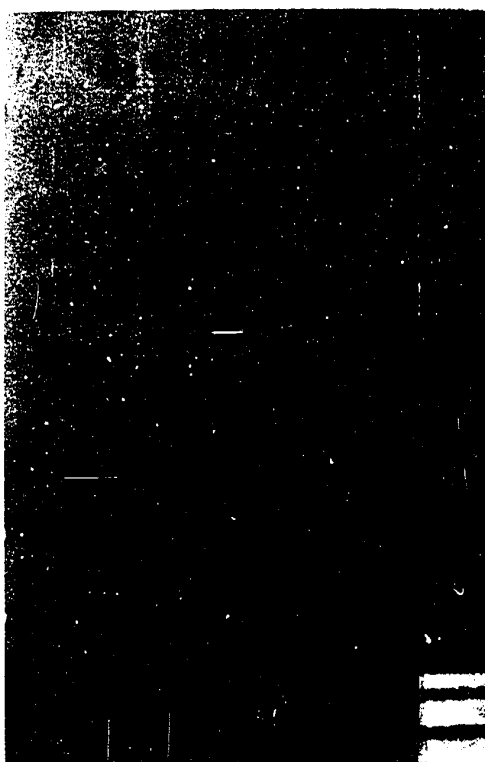


Plaque de la 100
Faces de la plaque
sont en bois.

1000
Plaque de la 1000
sont en bois.



Photographie 16: Une étoile. (1 division=10 μ)



1000

1000

CURRICULUM VITAE

Nom: Denis Paul Demars.

Né à Angers, Québec, Canada, le 8 août 1944.

Etudes

Primaires: Diplômé de l'Ecole du Sacré-Coeur, Angers, 1958.

Secondaires: Immatriculation Senior, Ecole secondaire
St Jean Vianney, Gatineau, Québec, 1961.

Universitaires: Hon. B.Sc. (Physique), Faculté des
Sciences Pures et Appliquées de
l'Université d'Ottawa, 1965.