

CEA-R 3109

BOURRABIER G.

CONSOLI T.

SLAMA L. -

Sources pulsées intenses d'ions et d'électrons produites par laser.-

Commissariat à l'énergie atomique, Centre d'études nucléaires de Saclay (Essonne), et Compagnie générale de télégraphie sans fil, Centre de recherches, Orsay (Essonne), 1966.-

27 cm, 8 p., 11 fig. h.-c.

CEA-R 3109 - BOURRABIER Guy, CONSOLI Terenzio, SLAMA Lucien

SOURCES PULSEES INTENSES D'IONS ET D'ELECTRONS PRODUITES PAR LASER

Sommaire. - On décrit un dispositif destiné à accélérer la bouffée de plasma produite par focalisation d'un faisceau laser sur une cible solide.

On extrait du plasma les électrons et les ions. Le courant maximum atteint près de 2000 ampères pendant quelques microsecondes.

L'étude de l'effet de la nature de la cible sur les caractéristiques du courant collecté, met en évidence l'importance des conditions initiales (potentiel d'ionisation de la cible, énergie du laser).

1966

21 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R 3109 - BOURRABIER Guy, CONSOLI Terenzio, SLAMA Lucien

INTENSE PULSED SOURCES OF IONS AND ELECTRONS PRODUCED BY LASERS

Summary. - We describe a device for the acceleration of the plasma burst produced by focusing a laser beam into a metal target.

We extract the electrons and the ions from the plasma. The maximum current is around 2000 amperes during few microseconds.

The study of the effect of the kind of the target on the characteristics of the current shows the great importance of the initial conditions that is the ionisation potential of the target and the energy laser.

1966

21 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

**SOURCES PULSEES INTENSES D'IONS ET D'ELECTRONS
PRODUITES PAR LASER**

par

Guy BOURRABIER

Centre de Recherches de la C.S.F., Corbeville

Terenzio CONSOLI, Lucien SLAMA

Commissariat à l'Energie Atomique

Rapport C E A - R 3109

1966

Ba

Services de Physique Appliquée
Service d'Ionique Générale

SOURCES PULSEES INTENSES D'IONS ET D'ELECTRONS
PRODUITES PAR LASER

par

Guy BOURRABIER
Centre de Recherches de la C.S.F. , Corbeville
Terenzio CONSOLI, Lucien SLAMA
Commissariat à l'Energie Atomique

(Rapport PA.IGN/RT. 447 du 9 juin 1966)

*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200,
en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de
la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française,
Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron,
PARIS VIIIème.*

INTRODUCTION :

On sait qu'il est possible d'obtenir à l'aide d'un faisceau laser focalisé sur une cible métallique, un plasma pulsé de forte densité et de température assez élevée /1/.

Il nous a paru intéressant d'essayer de communiquer à cette bouffée de plasma une vitesse dirigée aussi grande que possible en vue, soit d'une injection dans une machine à plasma soit d'une extraction d'ions ou d'électrons. C'est ce deuxième aspect qui sera étudié ici.

ACCELERATION DE LA BOUFFEE DE PLASMA :

L'intérêt d'une accélération préalable du plasma dans la réalisation d'une source d'ions ou d'électrons tient au fait que dans ce cas le courant maximum que l'on peut en extraire est plus grand que celui prévu par la loi de Child et Langmuir /2/.

Nous avons utilisé le dispositif suivant : (voir fig. 1 et 1 bis). Le faisceau laser 40 MW, 30 ns est focalisé à l'aide d'une lentille de courte focale ($f = 20\text{mm}$) sur une cible métallique reliée à la borne - H. T. d'un condensateur rapide (fréquence propre : 1 Mcs). Le retour de masse se fait par une électrode conique qui entoure la cible.

Le plasma est reçu sur un collecteur polarisé positivement ou négativement par un banc de condensateurs de $200\ \mu\text{F} - 10\ \text{KV}$. L'ensemble est sous vide (10^{-4} torr).

Le principe de l'accélération est simple. Les électrons de la bouffée de plasma initialement créée par le laser atteignant l'électrode conique, déchargent le condensateur. Il s'établit un arc en forme de nappe de révolution autour de la cible. Le courant étant à une fréquence de l'ordre du mégacycle, le champ magnétique associé ne pénètre pas dans le plasma

et agit sur lui à la façon d'un piston magnétique qui propulse le plasma vers l'avant, suivant l'axe de l'électrode conique.

Le plasma est alors soumis au champ électrostatique du collecteur qui lui communique une accélération qui devient rapidement prépondérante.

EXTRACTION DES IONS OU DES ELECTRONS :

Le plasma est séparé électrostatiquement à l'aide du collecteur polarisé positivement ou négativement par une batterie de condensateurs dont la tension de charge est variable. Une des populations ionique ou électronique est repoussée à la masse tandis que l'autre donne naissance à un courant qui est mesuré par la différence de potentiel qu'il crée dans la résistance R de $1,65 \Omega$ qui est insérée dans le circuit.

La figure 2 montre le genre d'oscillogramme obtenu à partir desquels on calcule les courants collectés. Cette figure montre que les courants ionique et électronique sont sensiblement égaux.

En faisant varier la tension du collecteur on recueille un courant croissant. La figure 3 montre qu'avec une cible en carbone le courant ionique ou électronique atteint plus de 1500 ampères pour 5000 volts appliqués sur le collecteur, aucun effet de saturation n'étant encore visible. Avec une cible en lithium nous avons dépassé 1750 A d'ions ou d'électrons.

A titre de contrôle nous avons voulu nous assurer que le signal recueilli aux bornes de la résistance de $1,65 \Omega$ était bien dû à des particules incidentes et non à un quelconque parasite électrique. Pour cela nous avons interposé sur le chemin de la bouffée de plasma un champ magnétique perpendiculaire (voir figure 4) et deux sondes situées symétriquement de part et d'autre de l'axe géométrique et terminées toutes deux sur une résistance de 1Ω .

En l'absence de champ magnétique on mesure d'abord le courant collecté lorsque le collecteur est porté à + 500 volts et à - 500 volts

(figure 5). On répète la même mesure, un champ magnétique de 250 gauss étant maintenant appliqué. On constate que le courant collecté diminue, en raison de l'élimination d'une partie des électrons et des ions. Si on mesure simultanément le courant sur les sondes 1 et 2 on constate que ces sondes recueillent un courant de polarité opposée à celle du courant collecteur.

Par ailleurs, l'application du champ magnétique statique renforce considérablement le courant de la sonde 1 si le collecteur est polarisé négativement et le courant de la sonde 2 si le collecteur est polarisé positivement (le facteur de multiplication est de 30 environ). Il faut préciser que sur les oscillogrammes de la figure 5 le signal de la sonde 1 a une polarité inversée, ceci pour avoir plus de clarté dans la présentation des résultats.

On peut donc dire que ce que l'on reçoit sur le collecteur est bien dû à un apport de charges en provenance de la bouffée de plasma.

EFFET DE LA NATURE DE LA CIBLE METALLIQUE SUR LE COURANT COLLECTE :

Les mesures du courant (ionique et électronique) que l'on peut collecter pour différentes tensions de polarisation du collecteur ont été répétées avec des cibles en acier inoxydable, en carbone, en lithium deutérié. Dans tous les cas on recueille un courant compris entre 1500 et 1700 ampères pour 5 KV sur le collecteur (voir figure 6). On constate expérimentalement que le courant recueilli est d'autant plus grand que le potentiel d'ionisation du matériau constituant la cible du laser est plus faible. Ainsi le courant obtenu à partir d'une cible d'acier inoxydable (potentiel d'ionisation du fer = 7,83 volts) est nettement plus fort que celui tiré d'une cible de carbone (potentiel d'ionisation 11,2 volts) alors

que les masses respectives des ions de fer et de carbone auraient imposé un effet inverse si le courant collecté avait principalement été fonction de la post accélération (dynamique ou électrostatique) de la bouffée de plasma créée par le laser. Ceci est d'ailleurs confirmé par les mesures suivantes : pour une même cible laser, le changement de la tension du condensateur d'accélération ou de la géométrie de l'électrode conique apporte peu de modifications au courant collecté (voir figures 7 et 8).

On peut donc dire que le courant collecté dépend principalement de l'énergie contenue dans le faisceau laser, du potentiel de première ionisation du matériau constituant la cible et du potentiel électrostatique du collecteur.

VITESSE DES PARTICULES DU PLASMA :

On a mesuré directement le temps de vol des ions de la bouffée de plasma reçue par le collecteur.

On procède de la façon suivante : (voir figure 9). A l'aide de deux sondes Tektronix haute tension on étudie simultanément les variations de tension du collecteur et de la cible portée au potentiel du condensateur d'accélération. A titre d'exemple on montre un des oscillogrammes obtenus. Le temps de vol s'en déduit aisément, connaissant la distance entre le collecteur et la cible (225 mm).

On a porté sur la figure 10 les variations du temps de vol en fonction de la tension collecteur, pour différentes cibles laser.

On constate que la vitesse des ions est d'autant plus grande que les ions sont plus légers, que la tension collecteur influe sur cette vitesse mais de façon modérée. On remarque aussi que les vitesses ne varient pas entre elles de façon inversement proportionnelle à la racine carrée de la masse des ions, ce qui confirme, une fois de plus,

l'importance des conditions initiales sur tous les phénomènes étudiés ici. Il faut souligner enfin que la précision sur ces mesures est assez mauvaise, l'erreur relative étant comprise entre 10% et 15%.

MESURES THERMIQUES :

Nous avons voulu mesurer directement l'énergie contenue dans la bouffée de plasma par une méthode calorimétrique, afin, entre autres, de recouper les résultats obtenus jusqu'ici.

Nous avons procédé très simplement (voir figure 11) en interposant sur le parcours de la bouffée de plasma une cible en cuivre de 25 mm de diamètre et de 100 microns d'épaisseur sur laquelle est brasée un thermocouple de caractéristiques connues (on mesure à ses bornes une d. d. p. de 40 μV pour une différence de température de 1°C).

A titre d'exemple on a donné figure 11 un oscillogramme obtenu pour une tension d'accélération de 9 KV. On en déduit que l'élévation de température de la cible a été de 12,5°. Comme la masse de la cible est de 0,45 g, la quantité de chaleur déposée par le plasma a été d'environ 2 joules. On peut vérifier que ceci est compatible avec les résultats antérieurs.

On a trouvé en effet que le courant (ionique ou électronique) était de l'ordre de 1200 ampères pendant 30 μs (ceci représente une valeur moyenne alors que sur les courbes on a toujours porté les valeurs crête). On a donc dans chaque bouffée :

$$Q = 1200 \times 30 \times 10^{-6} = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ coulomb}$$

soit :

$$N = \frac{3,6 \times 10^{-2}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2 \times 10^{17} \text{ ions (ou électrons)}$$

Ces particules ont une vitesse moyenne que l'on prend égale au 1/3 de la valeur crête mesurée antérieurement, soit environ $1,5 \cdot 10^4$ m/s.

L'énergie contenue dans la bouffée doit être, dans le cas de la cible laser en acier inoxydable :

$$F = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times \frac{56 \times 2 \cdot 10^{17}}{6 \cdot 10^{23}} \times 10^{-3} (1,5)^2 \cdot 10^8$$

$$E \approx 2 \text{ joules}$$

Les résultats sont donc cohérents et l'on peut dire que le mécanisme décrit permet d'obtenir un courant d'ions ou d'électrons d'environ 10^{17} particules dont la vitesse moyenne est supérieure à quelques 10^6 cm/s.

CONCLUSION :

Nous avons obtenu de façon assez simple des sources pulsées d'ions ou d'électrons de forte intensité. L'expérience a mis en évidence la grande importance des conditions initiales c'est-à-dire de l'énergie contenue dans le faisceau laser. C'est donc sur ce facteur qu'il faudrait agir pour améliorer les performances.

Tel quel, le dispositif décrit pourrait être utilisable dans les machines à plasma et son intérêt augmenterait encore si l'on trouvait un moyen réellement efficace d'accélération de la bouffée de plasma.

REFERENCES :

- /1/ - T. CONSOLI, C. GORMEZANO, L. SLAMA - Mesures des caractéristiques d'un plasma très dense - Conférence Belgrade 1965
- /2/ - R. GELLER : Rapport CEA n° 2898 (1965).

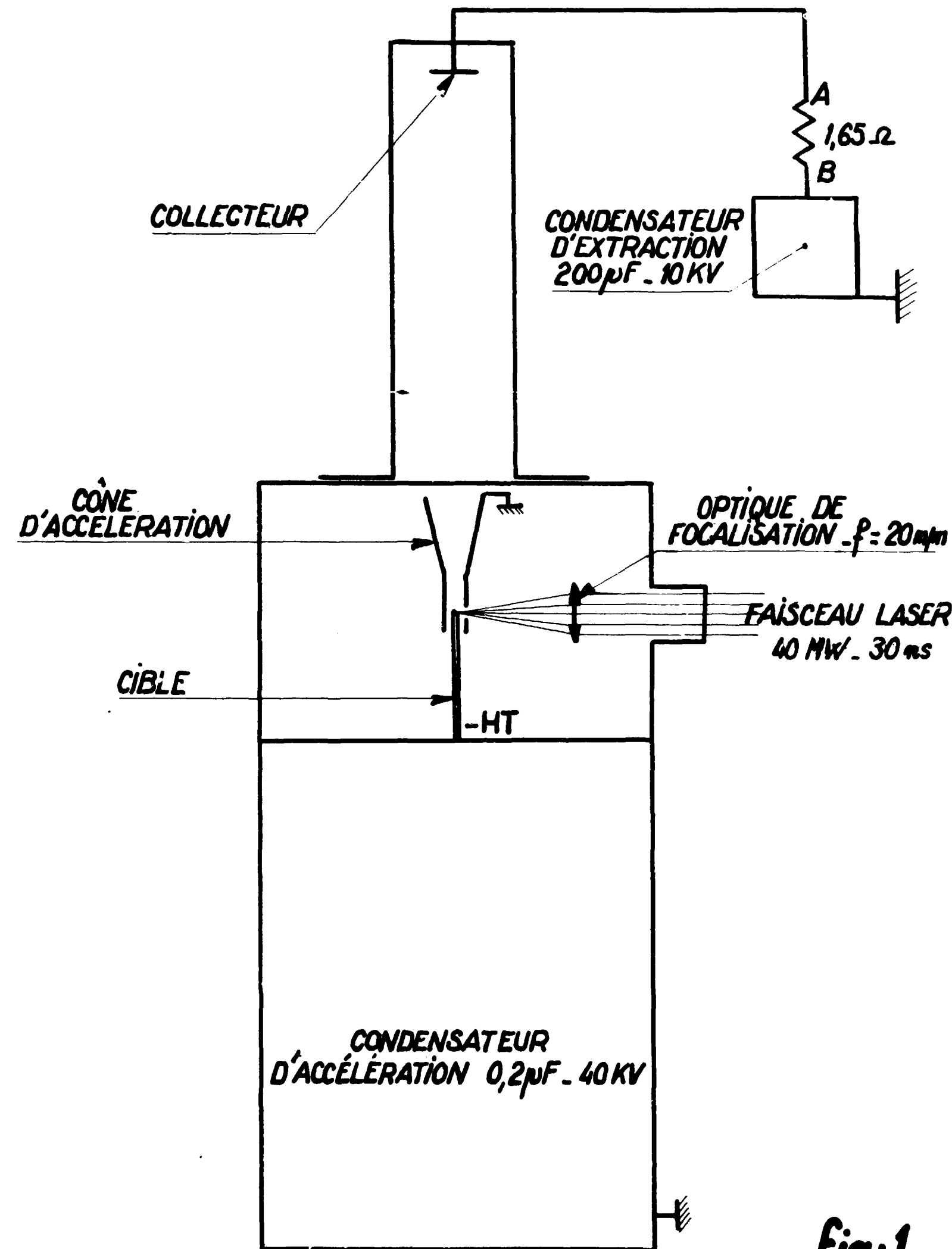
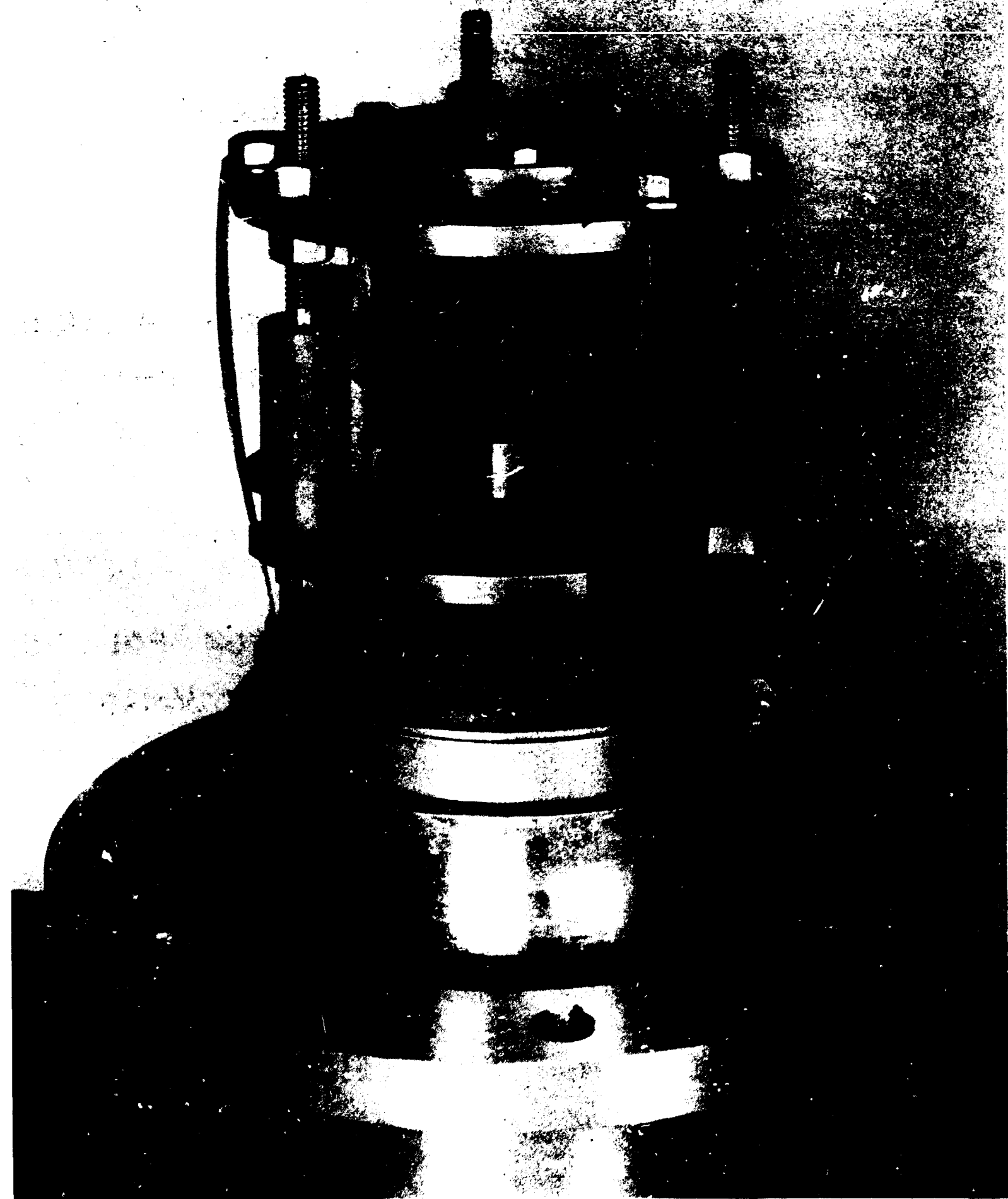
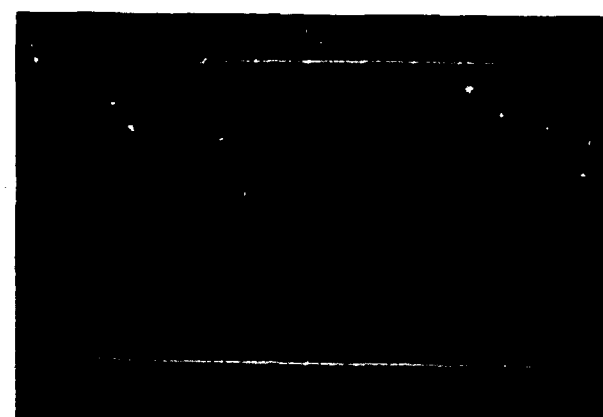


Fig:1

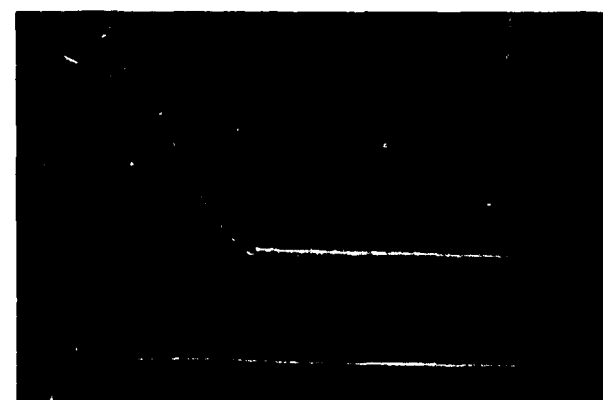


TENSION AUX BORNES DE LA RESISTANCE DE
1,65 ohms

SENSIBILITE VERTICALE : 500 Volts/cm
 ECHELLE DE TEMPS : 10 μ s/cm
 CIBLE EN ACIER INOXYDABLE



COLLECTEUR POLARISE
 A + 3000 Volts



COLLECTEUR POLARISE
 A - 3000 Volts

TRACE SUPERIEUR : SIGNAL COLLECTEUR

TRACE INFERIEUR : IMPULSION LASER

FIG-2

CIBLE CARBONE

TENSION D'ACCELERATION : 10KV

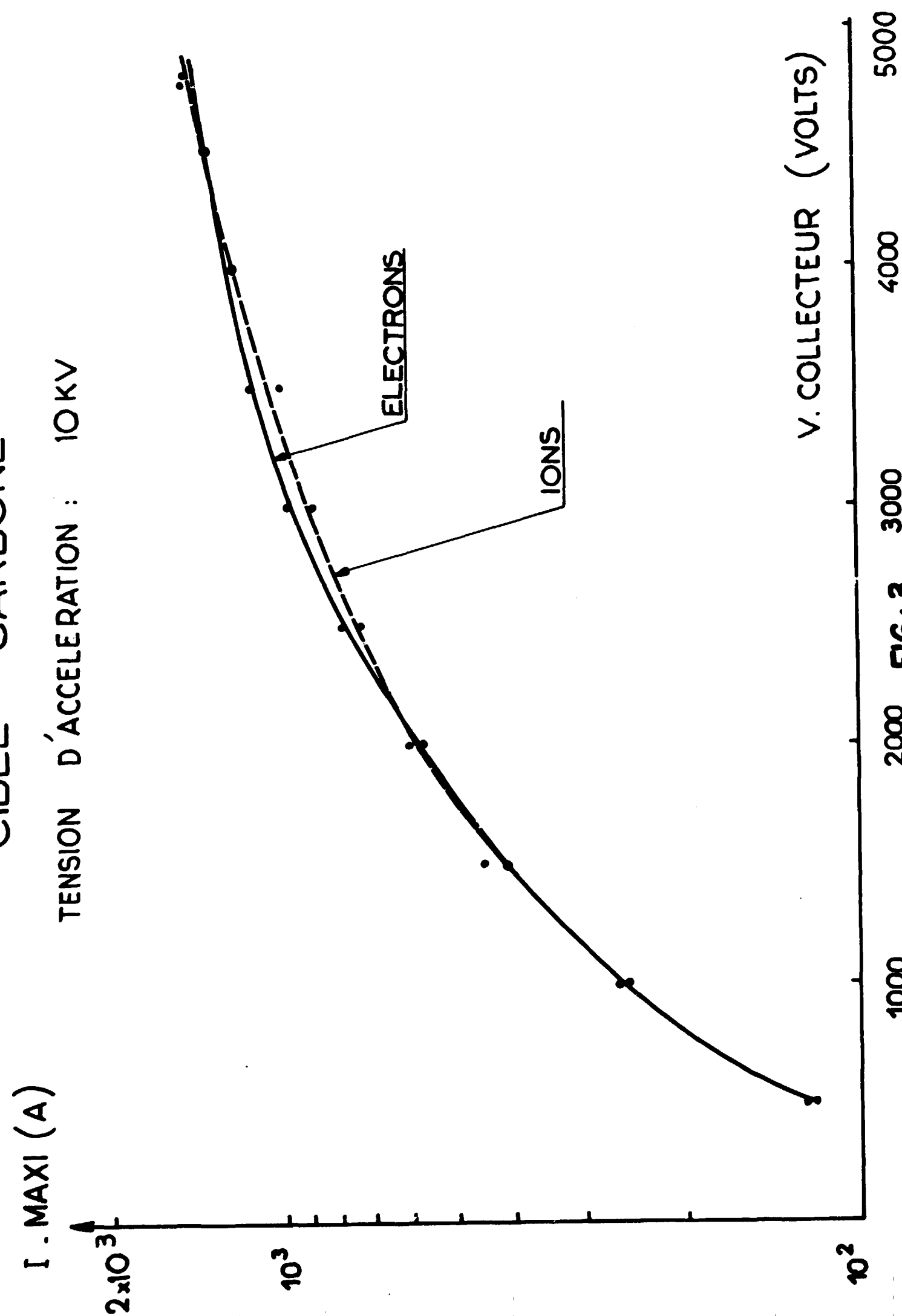


FIG: 3

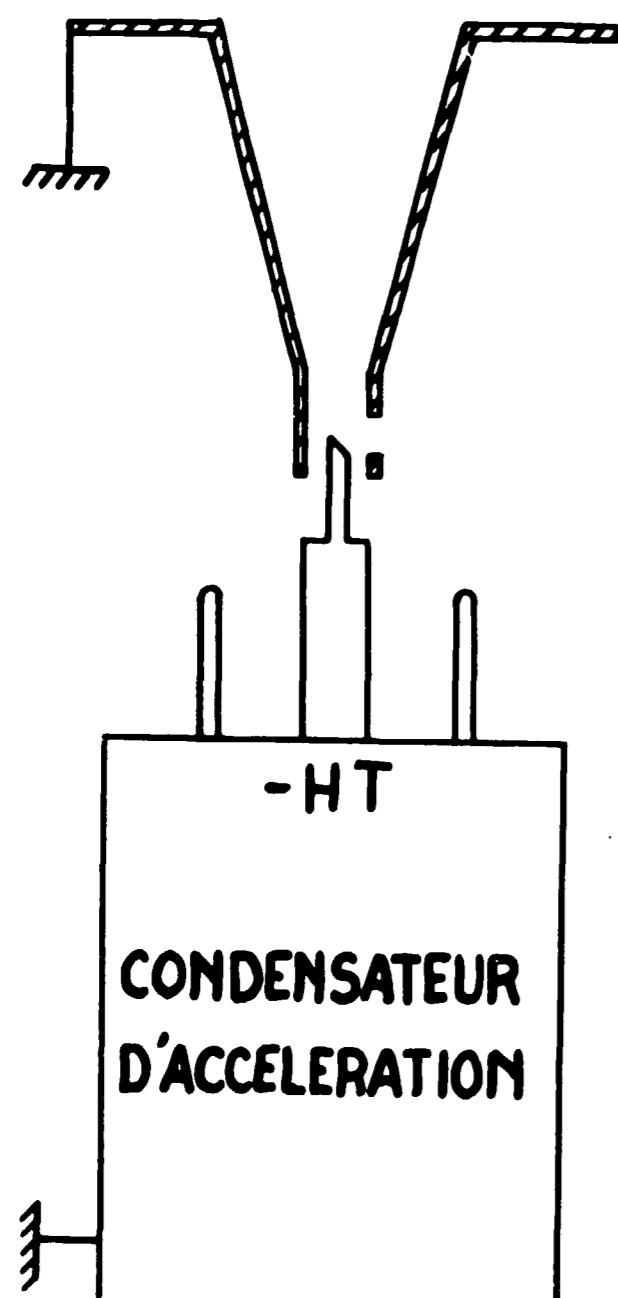
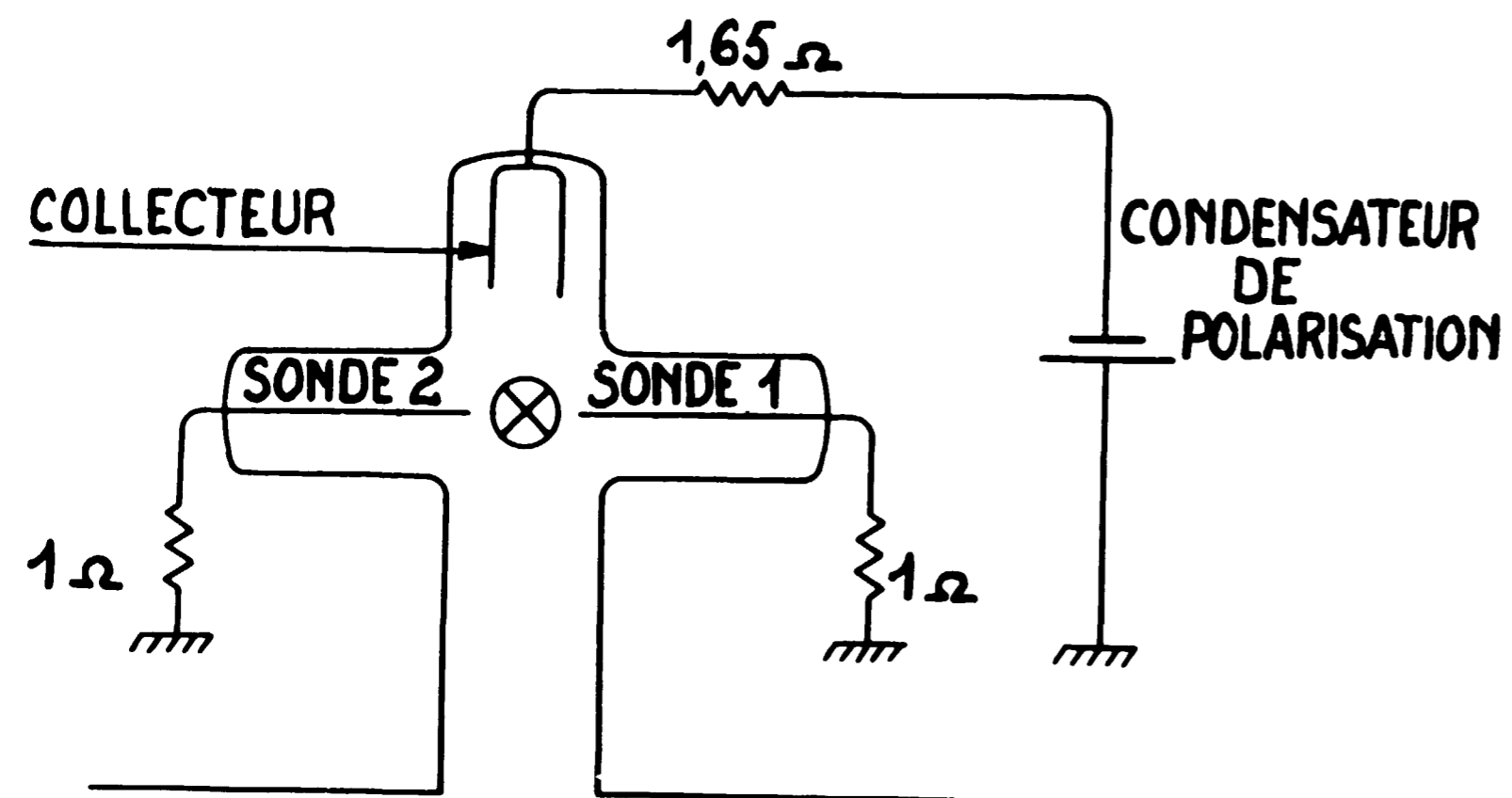


FIG-4

ACTION D'UN CHAMP MAGNETIQUE
PERPENDICULAIRE SUR LE COURANT COLLECTE

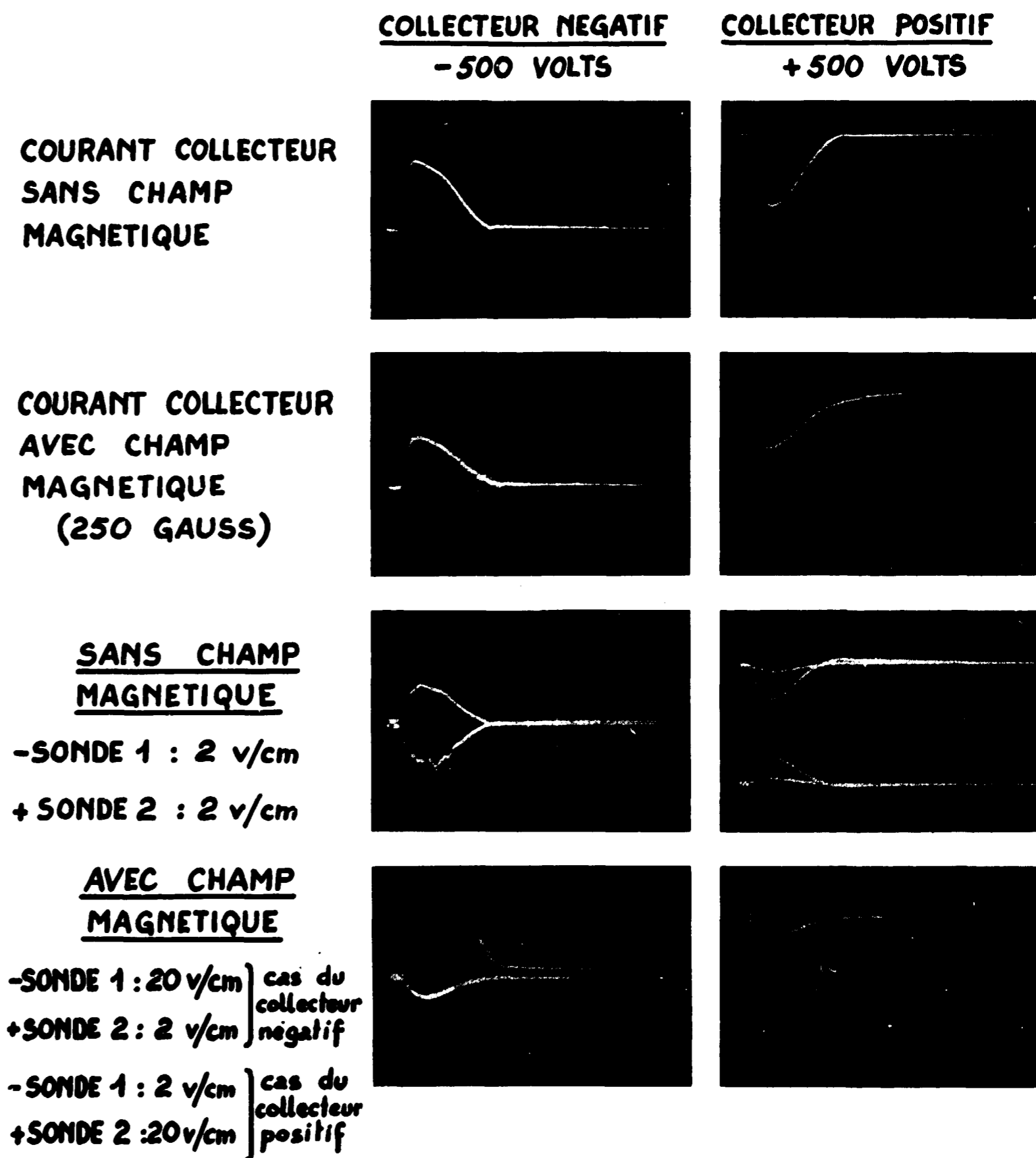


FIG-5

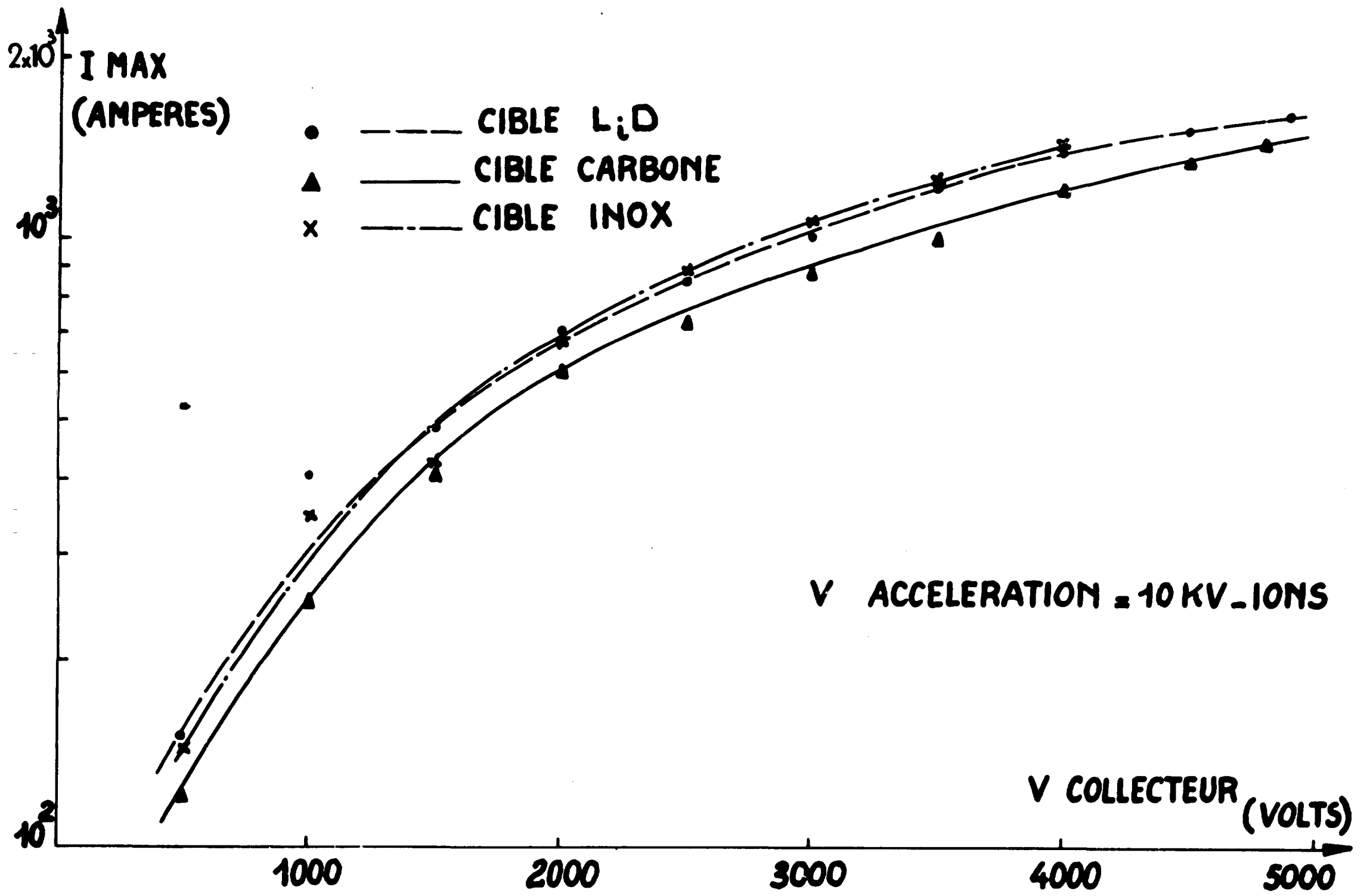


FIG: 6

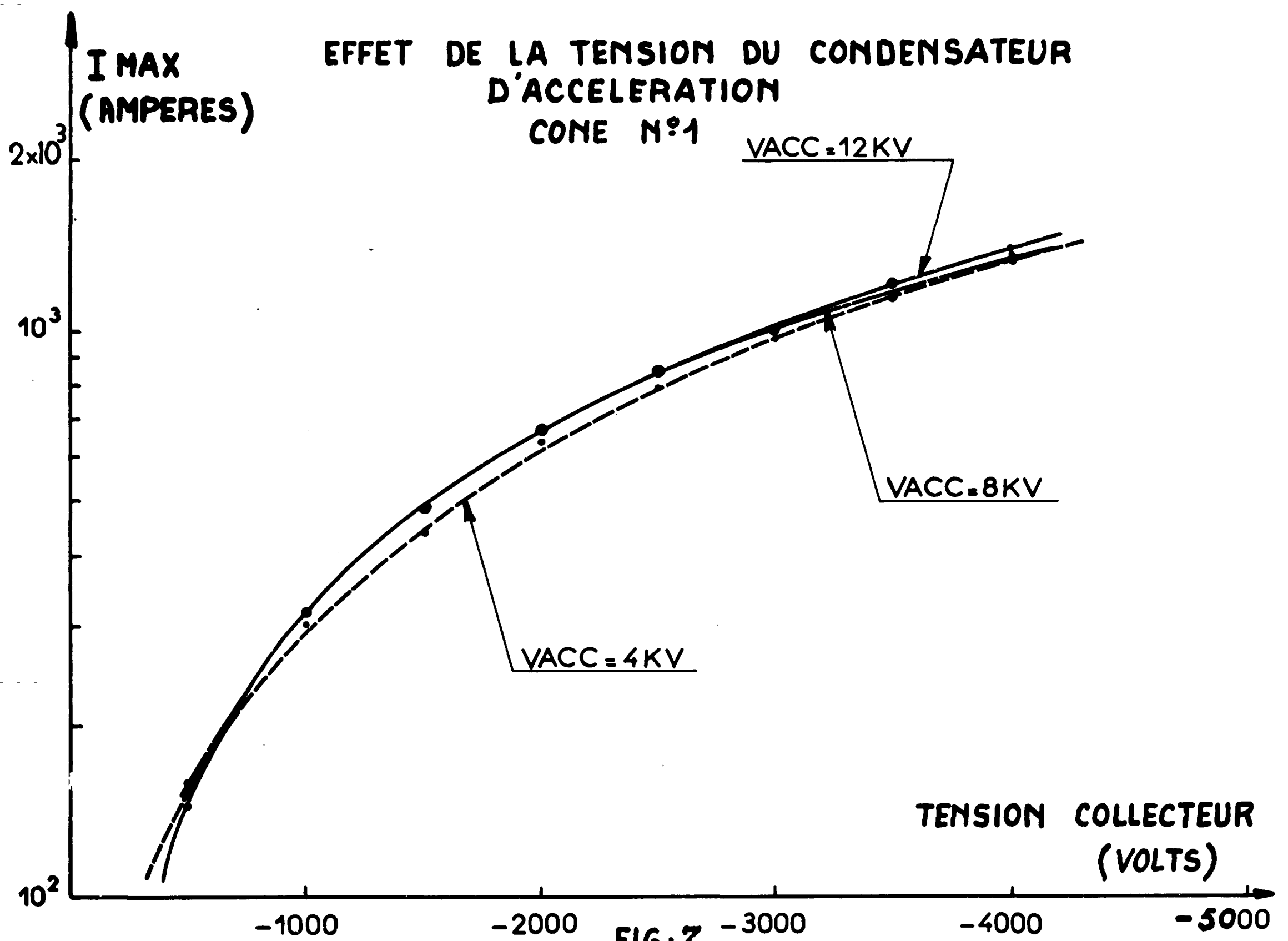


FIG: 7

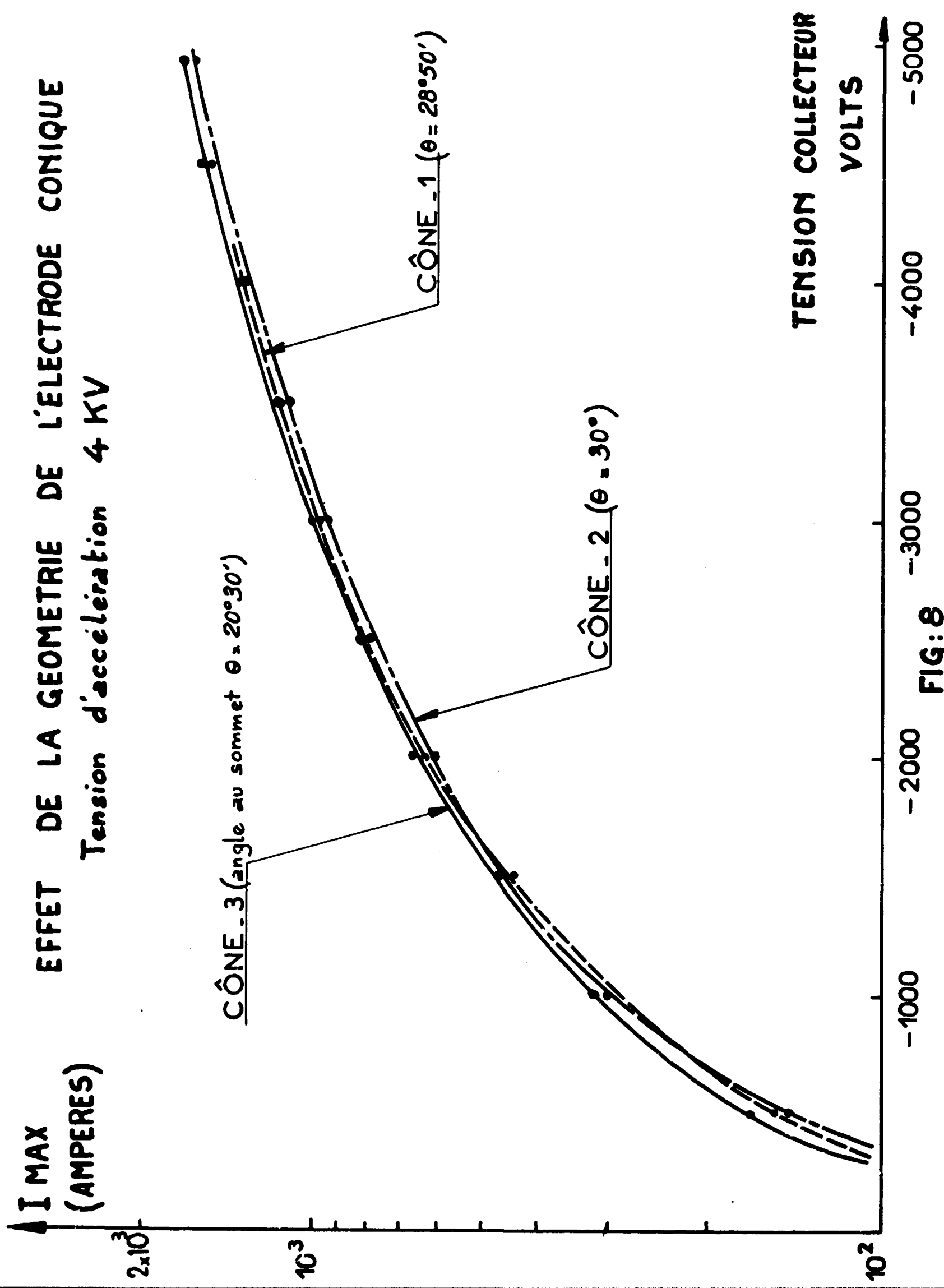
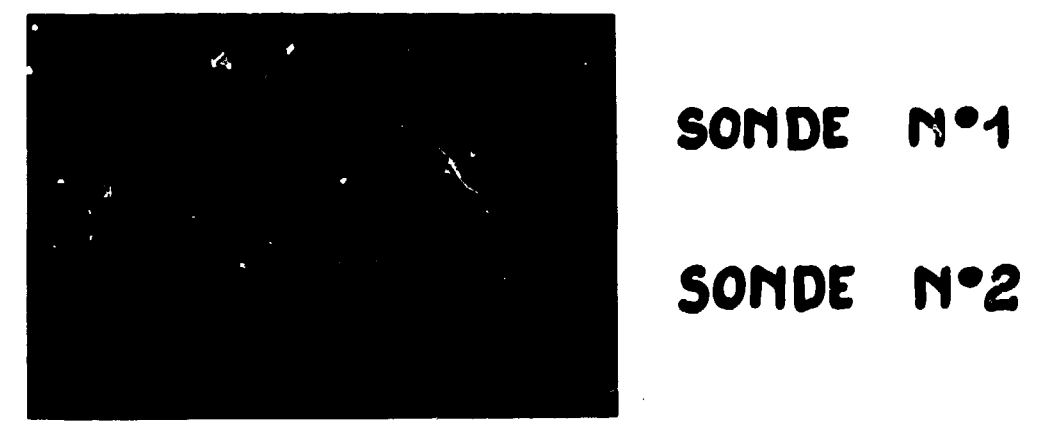
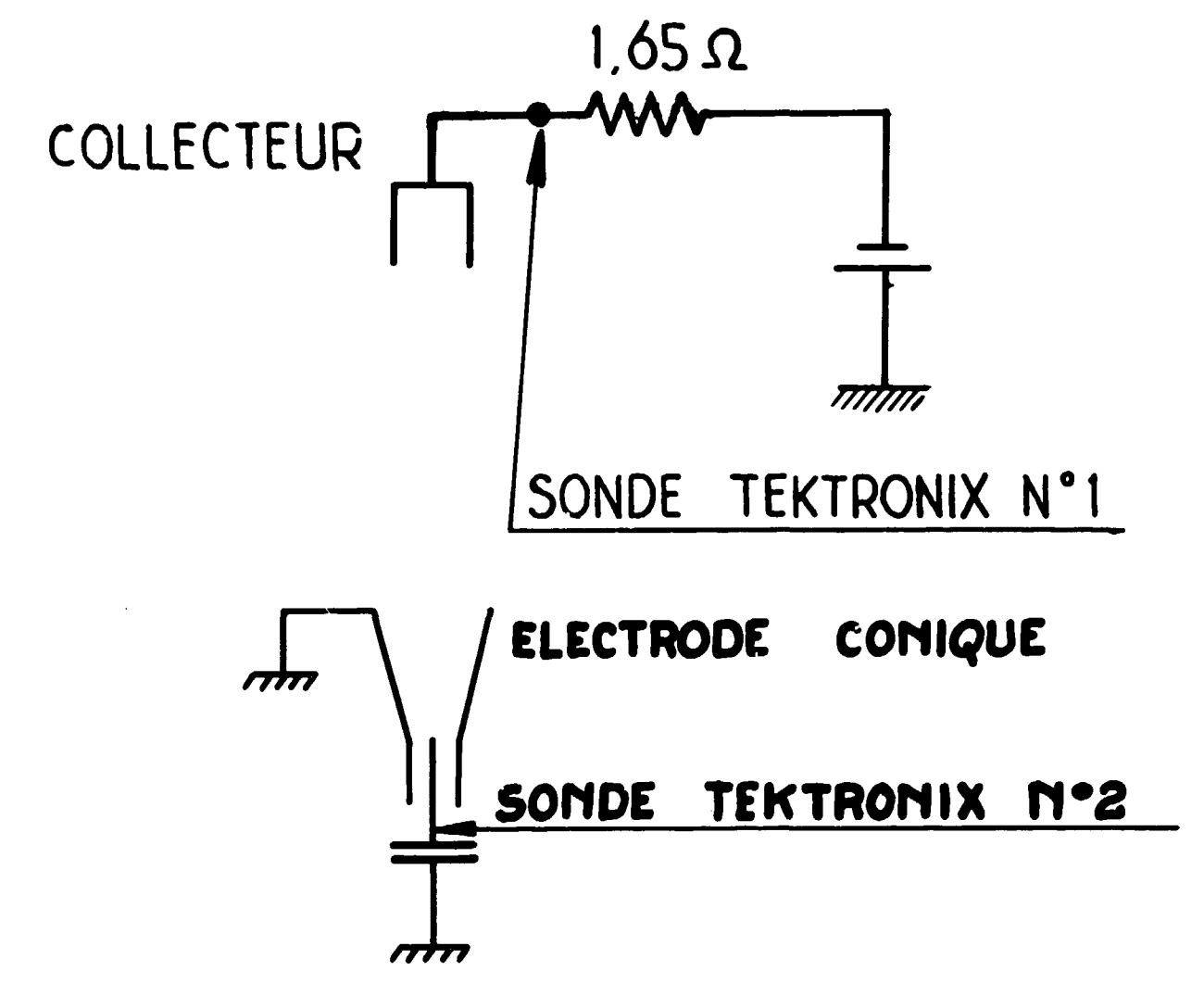


FIG: 8

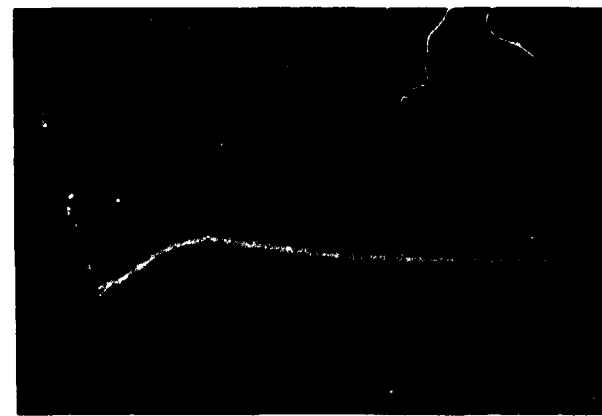
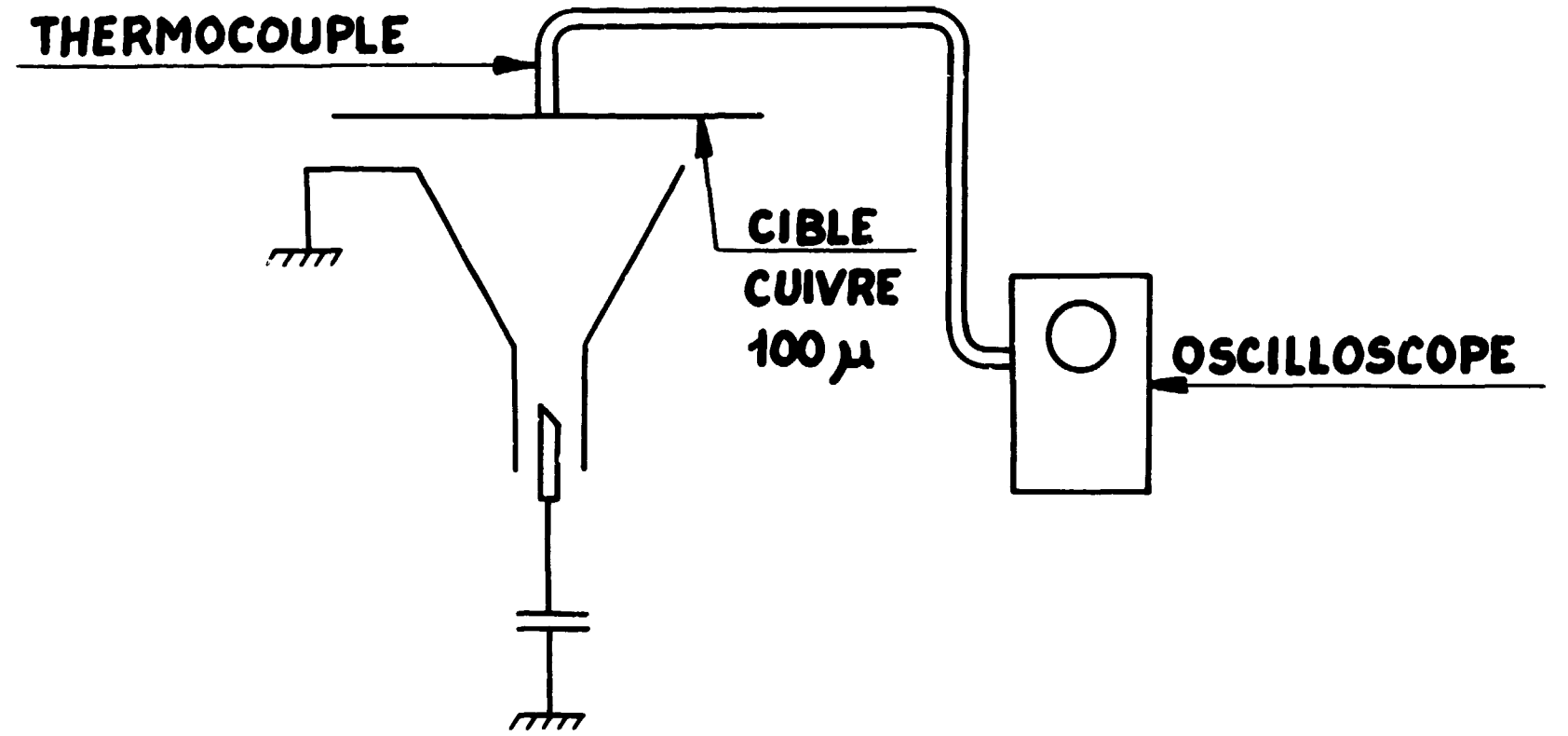
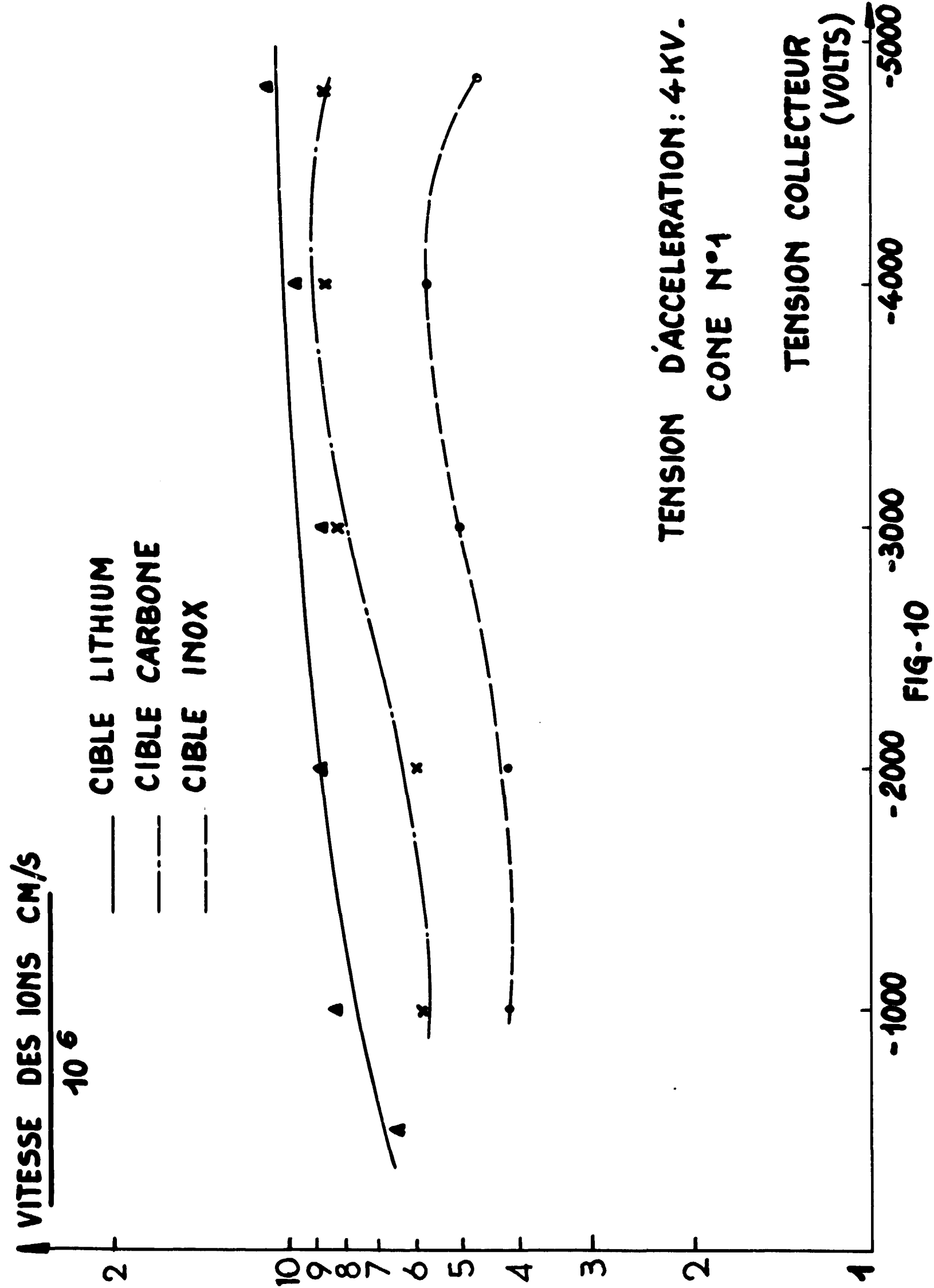
MESURE DU TEMPS DE VOL DES IONS DE LA BOUFFEE DE PLASMA



ECHELLE DE TEMPS : 1 μ s/cm
 CIBLE ACIER INOXYDABLE
 TENSION COLLECTEUR -2000 VOLTS
 TENSION D'ACCELERATION 4000 VOLTS

FIG-9

MESURE THERMIQUE DE L'ENERGIE
CONTENUE DANS LA BOUFFEE DE PLASMA



SENSIBILITE VERTICALE : 1 MV/CM
ECHELLE DE TEMPS : 100μs/CM

FIG - 11