

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire

Simulation des Performances du Lasertron

A. DUBROVIN et J.P. COULON

U.E.R
de
l'Université Paris-Sud



**Institut National
de Physique Nucléaire
et
de Physique des Particules**

Table des matières

1 Introduction	Page 1
2 Préliminaires, cadre de la simulation	Page 1
2.1 Constantes	Page 1
2.2 Modèles de charge d'espace	Page 2
2.3 Exemples de temps C.P.U.	Page 2
2.4 Limitation de la charge extractible	Page 2
2.5 Effet de la forme du pulse laser	Page 3
2.6 Champ magnétique de focalisation	Page 4
2.7 Pas d'itération en temps	Page 4
3 Passages 3 et 6 GHz	Page 5
3.1 Guide de lecture des figures	Page 5
3.2 Interprétation	Page 6
3.2-1 Géométrie optimale	Page 6
3.2-2 Influence de la HT statique	Page 6
3.2-3 Comparaison 6 GHz / 3 GHz	Page 7
3.2-4 Simulation avec vitesse initiale non nulle	Page 8
3.2-5 Modèle "D"	Page 8
3.2-6 Tableaux comparatifs : 25 MW et 70 % de rendement	Page 9
3.2-7 Réactualisation des caractéristiques initiales de la maquette Lasertron	Page 10
4 Conclusion	Page 11
5 Remerciements	Page 11
6 Figures	Page 12

1 Introduction.

Ce rapport présente une étude simulative comparative du Lasertzon à des conditions de fréquence et d'émission diverses, en vue d'établir des critères de choix pour les étapes expérimentales à venir.

Le programme RING utilisé pour ces simulations est une version évoluée de celle présentée dans un précédent rapport *. Elle conserve tous les acquis qui y sont décrits auxquels s'ajoutent principalement le traitement self consistant de la zone d'extraction H.F. et la possibilité de varier les conditions initiales en vue de décrire de manière plus réaliste l'éclairement laser et l'extraction des électrons de la cathode.

Néanmoins, les géométries retenues utilisent des cathodes planes, ou courbes ; les cathodes à pointes, ainsi que l'incorporation de multiples cavités de sortie et de la charge d'espace entre paquets successifs, feront l'objet d'un rapport ultérieur.

2 Préliminaires, cadre de travail.

2.1 Constantes de la simulation.

Nous avons dans un premier temps cherché à illustrer la dépendance des résultats en fonction de quelques paramètres de la simulation.

A ce titre, se plaçant dans un cas de figure qui assure aux "électrons" (anneaux) de ne jamais rencontrer de parois, diverses exécutions ont été faites en ne modifiant que le nombre de ceux-ci.

Un écart maximum de l'ordre de 1 % a été observé sur le rendement :

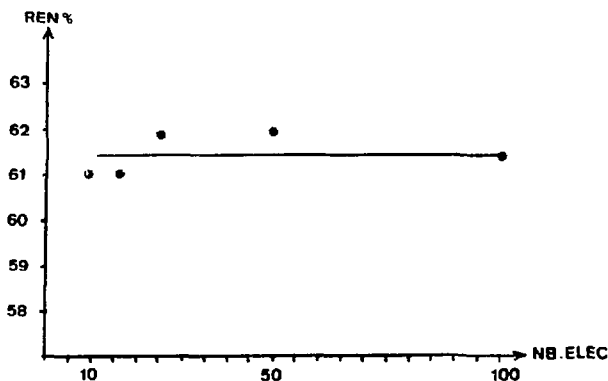


fig.A rendement en fonction du nombre d'électrons pris en compte dans la simulation (3 GHz)

* A ring model of the Lasertzon : P.J. TALLERICO and J.P. COULON. LAL/RT/87-ORSAY

En deçà de 5 électrons, le rendement diverge fortement selon les cas.

La grande uniformité des résultats nous a permis de travailler avec 25 électrons excepté pour l'obtention de sorties graphiques de qualité.

Ce critère de simulation est important pour RING en terme de temps de calcul, car contrairement aux programmes utilisant un maillage (MASK, Parade...), le nombre d'opérations effectuées dans le calcul de la charge d'espace varie comme le carré du nombre d'électrons (N) au lieu de N ou N Log N.

2.2 Modèle de charge d'espace.

La charge d'espace n'a été évaluée pour ces exécutions à partir du modèle simplifié appelé "2 D" qui utilise des approximations par zone du champ créée par un anneau source. Toutes les expressions y sont analytiques et simples, au contraire du modèle "Fonctions de Green" qui utilise les fonctions de Bessel associées aux anneaux, les tabule, puis les interpole.

L'erreur induite par la simplicité du modèle "2 D" se situe entre 0.5 à 1 % sur le rendement, comparé au modèle plus exact précité, mais le gain en temps peut atteindre un facteur 2.

2.3 Exemples de temps C.P.U.

A titre d'exemple, à 6 GHz pour une self-consistance atteinte en 3 itérations (cas courant), des champs d'espace canon et cavité décrits par des fichiers de type Hermannsfeldt et Superfish, l'option "2 D" de charge d'espace, et un pas d'itération en temps de 0.5 psec, on obtient des temps C.P.U. de passage entier de RING de l'ordre de :

5 → 10 minutes pour 25 électrons

45 → 60 minutes pour 100 électrons

Mais il est possible de faire un "premier passage" relativement correct en ordre de grandeur avec 7 à 10 électrons, par exemple en 2 minutes....

2.4 Limitation de la charge extraite.

Pour une configuration géométrique donnée, la nature discontinue du faisceau à la cathode limite la charge qu'il est possible d'en extraire. Ce phénomène est différent de celui de "saturation de charge d'espace" rencontré à l'émission cathodique continue.

Il peut être explicité sommairement comme suit :

lors de l'illumination de la cathode par le laser, les électrons excités subissent l'effet de 2 champs électriques contraires ; le champ statique accélérateur, et le champ de répulsion (charge d'espace) qu'exerce sur lui les électrons précédemment éjectés. Dans le cas où les électrons sont éjectés avec une vitesse initiale quasi-nulle, le faisceau met un temps important, comparé à la période, pour s'éloigner de quelques millimètres. On assiste alors à une accumulation de charges très lentes au proche voisinage de la cathode, et si le laser est suffisamment puissant pour qu'avant la fin de son illumination il y ait assez de charges extraites pour créer un champ répulsif sur la cathode égal en intensité au champ accélérateur, tout électron candidat à l'émission, c'est à dire excité, n'a plus de raison de quitter le réseau de la cathode. RING, dans ces conditions, émet tout de même des électrons mais ils se voient refoulés vers la cathode au pas suivant par un champ devenu globalement répulsif, et restent disponibles tant que le laser est en action.

Il apparaît donc une notion de charge maximale extractible fonction du champ accélérateur moyen sur la cathode (une cathode courbe a un champ moyen plus faible qu'une cathode plane) et du temps que va mettre le laser pour extraire cette charge maximale ; en effet, si ce temps augmente, les électrons déjà émis peuvent s'écarter d'autant plus de la cathode et en diminuant par la même leur répulsion sur les candidats, permettre l'extraction d'un supplément de charge. (cf. fig.B)

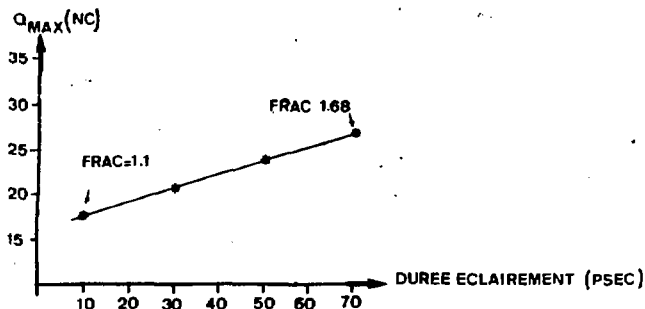


fig.B. évolution de la charge maximale extractible en fonction de la durée du pulse laser (modèle C, 6 GHz)

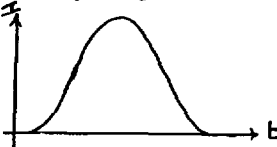
Dans les figures du chapitre 3 est indiquée comme charge maximale, celle obtenue pour des éclaircissements de l'ordre du dixième de la période, sachant que les durées d'éclaircissement supérieures sont données à titre indicatif, étant donnée la chute du rendement qu'elles induisent.

Il est à noter que ces effets n'ont pas été pris en compte dans les comptes-rendus du projet lasertron du SLAC *

2.5 Effet de la forme de l'impulsion laser.

L'intensité réelle de l'impulsion laser se présente globalement sous la forme d'une gaussienne. Afin de suivre cette réalité physique, RING a été aménagé de manière à pouvoir simuler toute sorte d'enveloppe laser en traduisant l'intensité variable du flux photonique en terme d'émission différée des anneaux.

Ainsi, par exemple, une impulsion gaussienne :



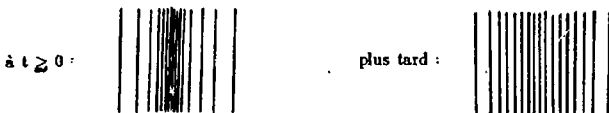
est simulée par des anneaux de répartition spatiale :



Différentes exécutions effectuées à 3 et 6 GHz montrent que l'effet de l'enveloppe n'est pas critique pour des cas de figures compris entre le rectangle et le triangle (figure 18), la durée de l'éclaircissement étant constante.

* J.J. Welch SLAC-PUB-3977 may 1986

Le rendement est modifié pour moins de 1 %, à l'avantage évident du cas triangulaire, puisque le paquet, plus ramassé, interagit mieux avec la cavité HF. Le faible gain peut s'expliquer par la plus forte répulsion entre les anneaux du centre du paquet qui tend à lisser leur répartition spatiale :



On peut espérer de meilleurs résultats avec un paquet gaussien très effilé, mais celui-ci n'aura alors plus de réalité objective.

2.6 Champ magnétique de focalisation.

Les champs magnétiques de focalisation choisis pour nos simulations l'ont été de sorte à assurer un diamètre de faisceau ≈ 0.7 fois celui du passage de la cavité de sortie, et ce, sans garantir un rayon constant au delà, alors que le fort ralentissement des électrons rend d'autant plus rapide l'explosion du faisceau sous l'effet de la charge d'espace.

A titre d'exemple, pour un champ annoncé de 2800 gauss, il faut atteindre des valeurs d'environ 3500 gauss pour que les électrons puissent atteindre la zone du collecteur sans heurter le tube de glissement placé après la cavité de sortie. A ce titre, il sera bon dans l'avenir de prévoir pour celui-ci un angle d'ouverture aussi élevé que possible.

2.7 Pas d'itération en temps

Nous avons choisi des pas tels que $\Delta t \approx \frac{T(\text{période})}{360}$ (1 degré de la phase en temps). C'est à dire 0.5 psec pour 6 GHz et 1 psec pour 3 GHz.

Afin d'évaluer sommairement l'effet du pas, nous avons pris un cas de figure du modèle A (3 GHz), et l'avons traité pour différentes valeurs :

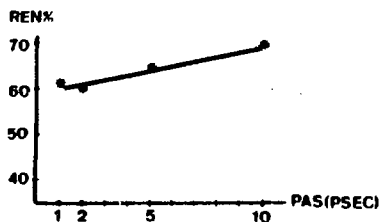


fig.C effet du pas en temps sur le rendement (modèle A, 3 GHz)

on voit que jusqu'à $\Delta t \simeq 5$ psec, les résultats restent cohérents, au delà, la très forte accélération, la vitesse v_p induite par le champ magnétique de la focalisation... induisent une dynamicité trop élevée pour la discrétisation des calculs.

3 Passages 3 et 6 GHz. Figures

3.1 Guide de lecture des figures.

Les premières décrivent les géométries qui ont été choisies. Viennent ensuite les courbes de rendement et puissance HF de sortie. Il est important de noter que pour chaque point de ces courbes, la résistance shunt (R_s) de la cavité de sortie a été évaluée de sorte à retrouver entre les becs la tension qui optimise l'interaction avec le faisceau, cette tension ne dépendant pas du nombre d'électrons accélérés, (donc du courant faisceau), mais uniquement de leur énergie.

Nous avons cependant tracé à 6 GHz les courbes correspondantes à une cavité donnée dont la résistance shunt a été choisie de sorte à avoir une interaction optimale pour une puissance faisceau de 33 MW (figure 10).

Lexique :

R. cath : rayon cathode (mm).

REN : rendement.

PHF (MW) : puissance HF disponible dans la cavité.

B : champ magnétique de focalisation (cf. 2.5).

Pfaisc : puissance faisceau.

Eacc : champ canon accélérateur (constant).

E(gap) : champ moyen entre les becs de la cavité (sinusoïdal).

Qmax : charge maximale extractible (cf. 2.3).

imp laser : durée du pulse laser en picosecondes.

Pour finir, sont présentées quelques sorties graphiques de RING.

Les variables sont explicites, hormis peut-être :

- Fraction : C'est la fraction de la charge maximale permise si l'émission se faisait dans un temps infiniment court (cf. 2.3).

- " i faisceau " est l'intensité du faisceau moyennée sur la période.

- " i pulse " est l'intensité dans le paquet tel que $i \text{ pulse} = " i \text{ faisceau} " * \text{période} / \text{durée éclaînement}$.

- " il induit " est la première harmonique du courant moyen dans la cavité, tel que $V_{\text{gap}} = R_{\text{s.shunt}} * i_l$ ($Z = R$ pour une cavité de sortie).

- B_{ϕ} est le champ magnétique induit par la relativité (transformations de Lorentz des champs). L'unité de B est le gauss.

- Les étoiles correspondent à des électrons ayant percuté une paroi.

3.2 Interprétation des figures.

3.2-1 Géométrie optimale.

Il apparaît immédiatement à la confrontation des résultats des modèles C et E, F* (figures 14, 15, 16) que la géométrie plane (C) présente les avantages suivants :

- les équipotentielles sont faiblement courbées, en conséquence $E_z = \frac{dV}{dz}$ est élevé au niveau de la cathode, et il s'ensuit que la charge extractible est maximale (pour une tension et un rayon de la cathode donnés).

- Cette planéité assure par ailleurs une déformation longitudinale minimale du paquet d'électrons, ce qui garantit une meilleure interaction dans le gap HF, d'où un meilleur rendement.

Les géométries E et F avaient été retenues pour leur focalisation radiale électrostatique par Wehnelt permettant l'emploi de champs magnétiques de focalisation moins intenses, le modèle F devant minimiser l'effet du gradient de champ E_z selon le rayon par sa cathode de type Pierce.

Malheureusement, la focalisation nécessitée par un lasertron sans compression de faisceau semble plus critique au niveau du gap HF qu'à celui du canon, le faisceau explosant très vite suite au fort ralentissement qu'il y subit et les champs B à la cathode utilisés dans le modèle plat C : (environ 1500 gauss) ne posent pas de problème de réalisation.

Par ailleurs, l'écart initial des électrons dans le modèle F nous fait perdre l'acquis d'une meilleure courbure des tranches d'électrons.

Pour toutes ces raisons, notre choix devra se porter sur une géométrie aussi plane que possible.

3.2-2 Influence de la HT statique

On observe que le rendement et la puissance maximale augmentent fortement en fonction de cette tension d'accélération.

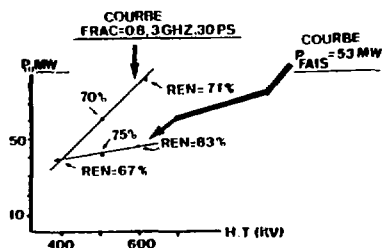


fig.D puissance HF et rendement en fonction de la tension d'accélération pour une puissance faisceau et une fraction de charge maximale extractible données

* la distance cathode-anode des modèles E et F (33 mm), comparée aux 24 mm du modèle C a été choisie de sorte à obtenir un champ local comparable au niveau des anodes. Les modèles E et F à 24 mm auraient un bien meilleur rendement, mais toujours inférieur à celui du modèle C pour les raisons exposées ci dessus.

Cela est directement dû au moindre temps passé à faible vitesse au voisinage de la cathode, alors que la charge d'espace y est maximale, et que s'y exerce une attraction notable des charges images sur les électrons (ces charges images traduisant le champ nul et normal à la surface).

Les limites inhérentes à ce champ d'accélération sont d'ordre technologique. Nous y reviendrons au chapitre suivant.

3.2-3 Comparaison 6 GHz / 3 GHz. (modèle C / modèle A)

Pour :

- des dimensions à 3 GHz environ doubles de celles à 6 GHz.
- 400 KV.
- 30 psec d'éclairement.
- même puissance faisceau.

le rendement est meilleur à 6 GHz de quelques %, malgré la densité de charge qui est 6 fois moindre à 3 GHz pour un même courant, la répulsion entre électrons étant alors plus faible car l'interaction est plus efficace dans la cavité HF et le temps de vol moins long. Cependant, en diminuant à 3 GHz le rayon cathode et celui du tube d'accès à la cavité de sortie (modèle B), de sorte à avoir une densité plus élevée que pour le modèle A mais toujours inférieure à celle du modèle C, on obtient des rendements comparables à ceux du 6 GHz, et si l'on augmente la tension statique de sorte à avoir un champ d'accélération semblable à celui du modèle C (modèle A bis), les performances sont cette fois meilleures qu'à 6 GHz.

Par ailleurs, doubler la fréquence génère d'autres difficultés :

- La puissance maximale faisceau est plus faible.
- Pour un éclaircissement luser de 60 psec, le rendement chute de 10 % à 3 GHz (modèle A), 5 % (modèle B), et de 25 % à 6 GHz (modèle C), l'écart augmentant fortement au delà de 60 psec.

On observe donc que la largeur du pulse luser est environ 2 à 5 fois plus critique à 6 GHz qu'à 3 GHz.

- Les densités plus faibles aux basses fréquences, pour une même puissance HF, permettent d'utiliser des champs magnétiques de focalisation 2 fois moins intenses (sommairement : 1500 G au lieu de 3000)

- Les tensions d'accélération et au niveau de la cavité HF sont elles aussi 2 fois moindres à 3 GHz pour des objectifs identiques sur le rendement.

Faisabilité pratique des tensions et résistances shunt des modèles simulés :

Dans une cavité d'extraction HF klystron de 6 GHz, les ordres de grandeur courants sont :

$$\begin{cases} \frac{R}{Q} \simeq 160 \\ Q \simeq 30 \end{cases} \rightarrow R \simeq 3k\Omega$$

Les valeurs retenues dans la simulation vont de 4 à 17 K Ω pour le modèle A et de 8 à 30 K Ω pour le modèle C. Nous sommes un peu au dessus des valeurs indicatives, notamment pour les faibles puissances (forte résistance shunt). Il semble toutefois que nous puissions approcher ces valeurs au prix d'une assez forte dissipation.

En ce qui concerne les tensions entre les becs du gap HF, elle produisent des champs supérieurs au champ d'accélération, étant donné le faible espace d'interaction, et les valeurs maximales relevées à 6 GHz sont à peu près 4 à 5 fois plus élevées que les limites technologiques

atteintes à ce jour en régime continu. Or, notre laser actuel (mai 1987) délivre des trains d'impulsions d'une durée de ≈ 20 nsec, avec une fréquence de répétition de 10 Hz.

Nous sommes donc en régime pulsé à très faible cycle utile, ce qui doit nous placer, en terme de tension au niveau des becs, dans des domaines de (nette) faisabilité.

Il est à noter qu'il est aussi possible de distribuer la tension HF sur 2 cavités de sorties (cette proposition sera prochainement abordée par RING), et que la tension d'accélération, étant statique, ne bénéficie pas du caractère pulsé du régime, les valeurs retenues (10^7 à $1.6 \cdot 10^7$ V/m) étant très critiques (limite technologique), surtout à 6 GHz.

3.2-4 Simulation avec vitesse initiale non nulle.

Il était intéressant d'estimer l'influence d'une vitesse initiale sur le début de l'accélération, l'énergie $h\nu$ du laser pouvant être par exemple de 3 eV pour une barrière de potentiel d'extraction des électrons de 2 eV.

2 cas ont été simulés :

- 1 eV selon z et 0.087 eV selon r (fig. 19), ceci pour tous les électrons.
- 1 eV selon z et alternativement + et - 0.57 eV selon r (cf. fig. 20) afin de simuler sommairement l'aspect aléatoire de l'émission.

Les résultats montrent un effet insignifiant de ces conditions initiales (quelques dixièmes de pourcent). Dans les 2 cas ceci s'explique par le rapport d'échelle existant entre la vitesse des électrons aux environs de l'anode (environ 0.7 c) et celle associée à 1 eV : $5.8 \cdot 10^5$ msec⁻¹ soit un rapport de 10^3 (figures 22 et 24).

Il est toutefois possible qu'à l'extraction de la charge critique (cf. 2.4), cette vitesse initiale permette de repousser quelque peu les limites, mais nous ne nous sommes pas penchés sur cette éventualité sachant que dans ces conditions le rendement est déplorable et qu'il suffit d'augmenter le rayon d'émission cathodique pour avoir la même puissance faisceau sans saturation due à la charge d'espace.

3.2-5 Modèle D.

Ce modèle disposant d'un rayon cathode supérieur à celui du modèle C, la puissance faisceau maximale est donc supérieure (environ 60 MW), par ailleurs, le rayon du tube HF gagnant 2 mm, l'interaction est plus faible et se produit sur une plus grande longueur, ce qui donne des rendements à peu près 5 % inférieurs à ceux du modèle C.

La grande similitude d'échelle des résultats nous a amené à ne pas surcharger le rapport par des courbes supplémentaires.

3.2-0 Tableaux comparatifs.

1) Rendement pour 25 MW, (400 KV).

400KV
↓

MODELE	RENDEMENT ,LASER30 PSEC	-- .LASER 60 PSEC
A-BIS SLAC 600KV 3GHZ	80 %	77 %
A SLAC 16MM 3 GHZ	71	61
B SLAC 11MM 3GHZ	75	70
C SERA PLAT 6 GHZ	72	= 40%, LIMITED D'EXTRACTION
E SERA WEH. 6GHZ	IMPOSSIBLE D'AVOIR 25 MW	(← A FORTIORI)

2 Puissance HF délivrée pour un rendement de 70 % (400 KV).

400KV
↓

MODELE	PHF .LASER30 PSEC	PHF .LASER 60 PSEC
A-BIS SLAC 600KV 3GHZ	93 MW	90MW
A SLAC 16MM 3 GHZ	28	3
B SLAC 11MM 3GHZ	31	24
C SERA PLAT 6 GHZ	28	IMPOSSIBLE D'AVOIR 70%
E SERA WEH. 6GHZ	6	(† A FORTIORI)

3.2-7 Réactualisation des caractéristiques initiales de la maquette du Lasertron.

Les valeurs choisies avant simulation (1986) étaient :

1. Fréquence HF	6 GHz
2. Puissance crête	25 MW
Largeur d'impulsion	250 ns
Taux de répétition	50 Hz
3. Puissance faisceau	33 MW
4. Intensité moyenne	133 A
5. Intensité crête	1.33 kA
6. Tension accélératrice	250 KV
7. Rendement	75 %
8. Charge/micro impulsion	4.10^{-8} Cb
9. Surface photocathode	6 cm ²
10. Distance cathode-anode	3.3 cm
11. E_{max} sur photocathode	7.5 MV/m

Nous pouvons déjà dire que le champ HT est insuffisant pour obtenir 75 % avec la cathode et le courant choisis.

Le modèle C nous donne pour 25 MW et un éclaircissement laser de 35 psec :

3.	36 MW
4.	90 A
5.	429 A
6.	400 KV
7.	70 %
8.	15 nC
9.	1.13 cm ²
10.	2.4 cm
11.	16 MV/m

Champ de focalisation de 3 KGauss

Champ entre les becs de la cavité HF : 85 MV/m

Résistance shunt $\approx 6 K\Omega$

$\frac{R}{Q} = 100$

4 Conclusion

Nous retiendrons principalement de ces simulations que la géométrie plane est optimale pour le lasertron, que les contraintes de focalisation, de claquage dans les zones HF et canon, et la sensibilité à la durée de l'impulsion laser augmentent avec la fréquence du système de manières relativement diverses, le laser ayant un rôle très critique à 6 GHz.

Nous avons mis aussi en évidence une limite induite par la charge d'espace sur la puissance extractible à la cathode (2.4) différente de celle rencontrée pour les faisceaux continus.

En définitive, nous dirons que la simulation par anneaux de RING nous donne bon espoir quant aux ambitions de cette source HF tout en nous plaçant dans des domaines de faisabilité difficiles mais acceptables en ordre de grandeur.

5 Remerciements

Les auteurs remercient vivement J. LE DUFF et J. PEREZ Y JORBA pour les conseils et l'encouragement constant qu'ils leur ont prodigués. Ils remercient également M^{me} E. FENEON pour le soin apporté à la présentation de ce rapport.

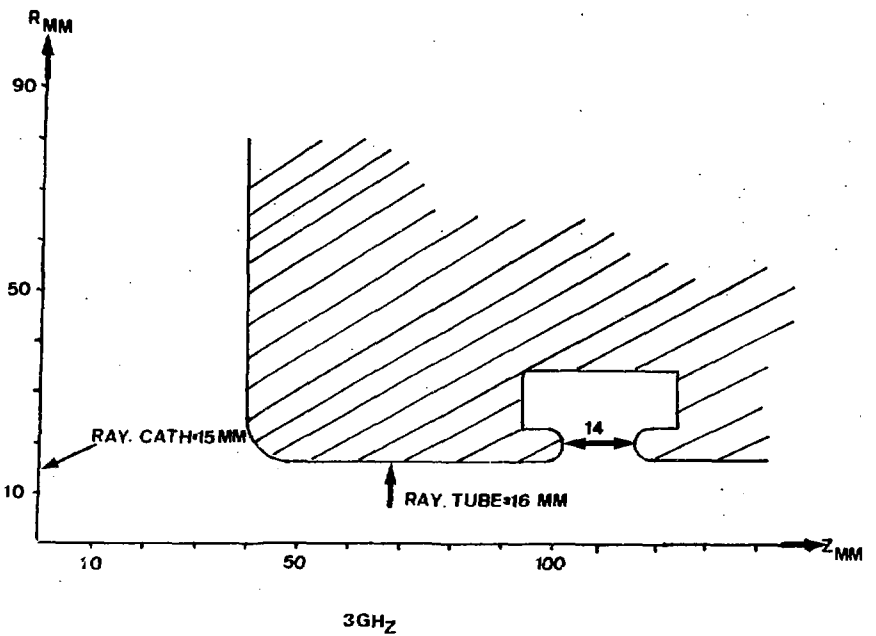


FIG.1 MODELE A ET A-BIS

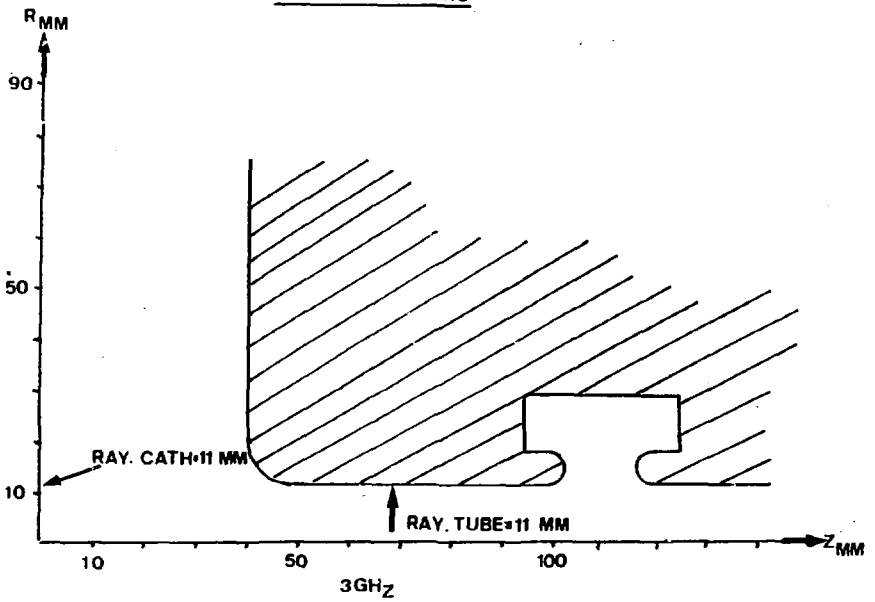


FIG.2 MODELE B

MODELES 3 GH₂

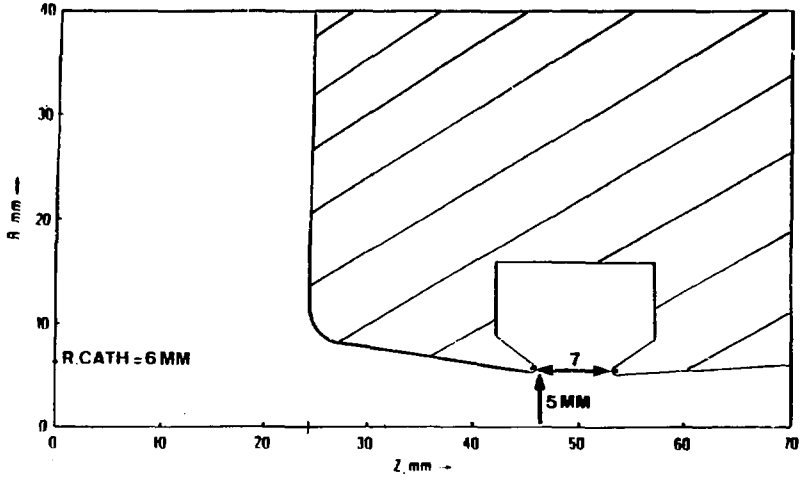


FIG.3 MOD.C

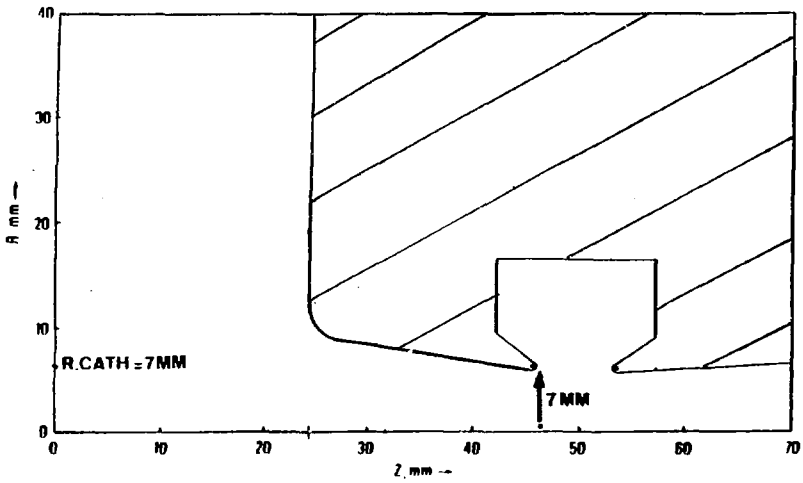


FIG.4 MOD.D

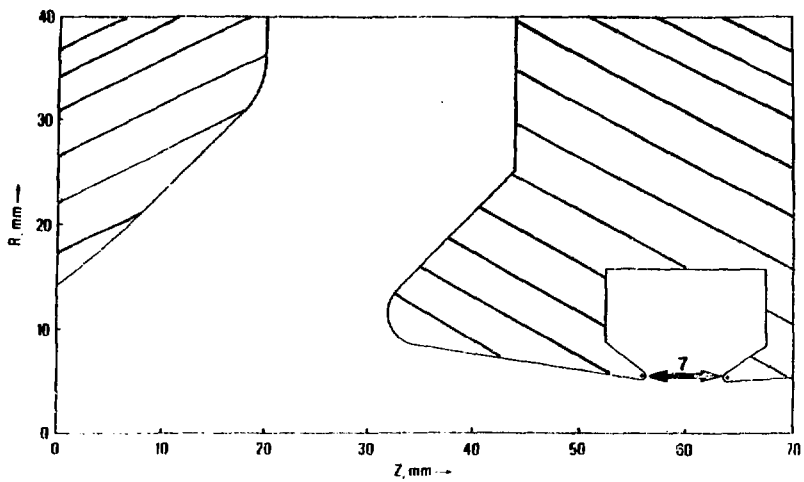


FIG.5 MODE

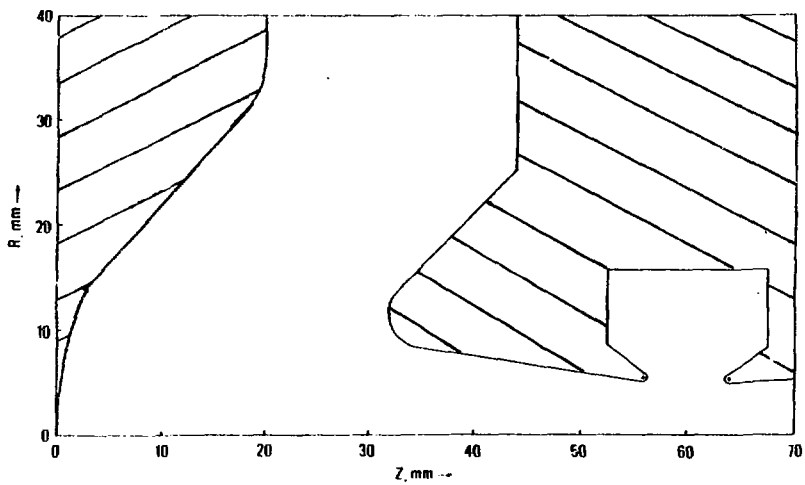


FIG.6 MOD.F

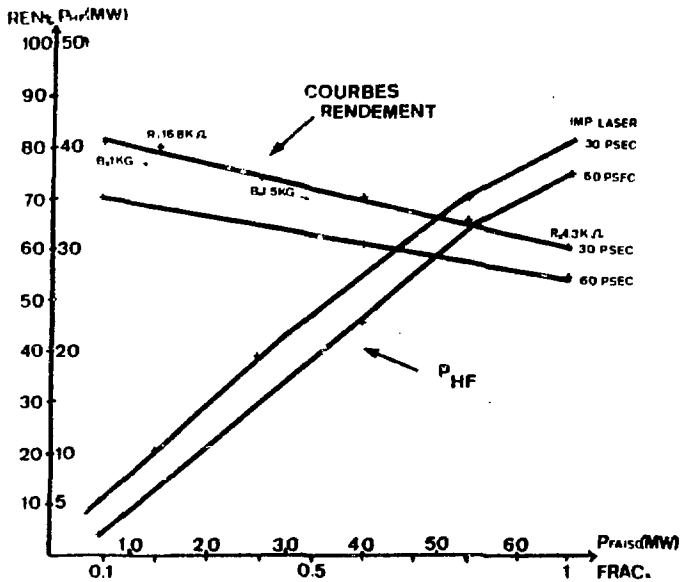


FIG.7

CANON ET CAVITE SLAC 3GHZ.400KV

R(SHUNT) OPTIMISÉ POUR $E(\text{GAP}) = 4.2 \cdot 10^7 \text{ V/M}$
 R. CATH = 5MM
 $E_{\text{ACC}} = 10^7 \text{ V/M}$
 MODELE A
 $Q_{\text{MAX}} = 65 \text{ NC}$

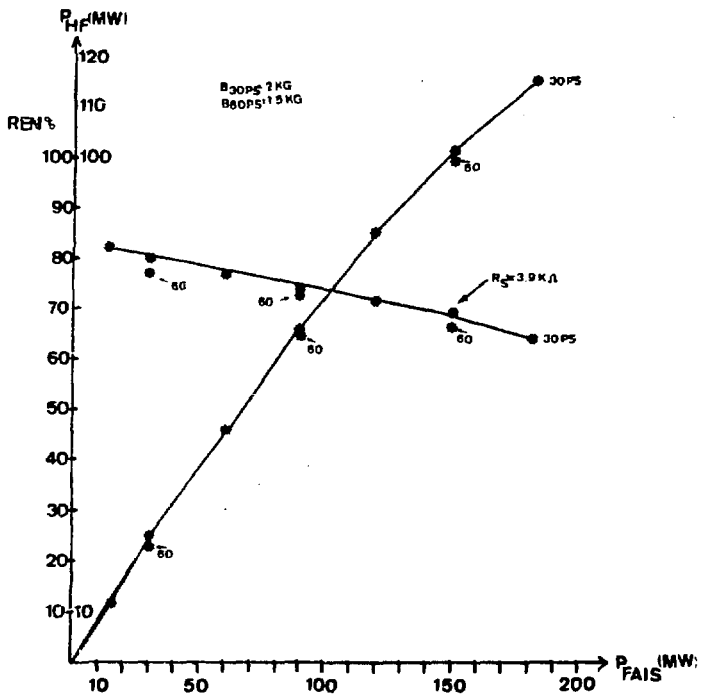


FIG. 8

CANON ET CAVITE SLAC 3GHZ.600KV

R (SHUNT) OPTIMISÉ POUR $E(GAP) = 64 \cdot 10^7 \text{ V/M}$

R CATH = 15 MM

$E_{ACC} = 1.5 \cdot 10^7 \text{ V/M}$

MODELE A bis

$Q_{MAX} = 95 \text{ NC}$

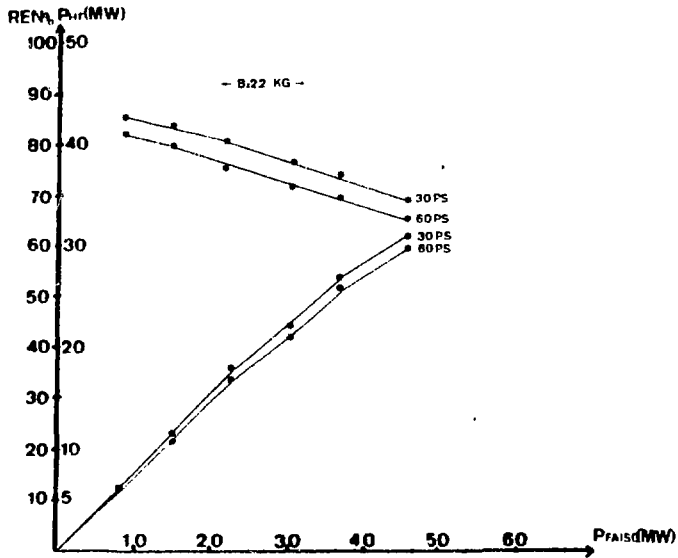


FIG.9

CANON ET CAVITE SLAC 3GHZ,400 KV

R(SHUNT) OPTIMISÉ POUR $E(\text{GAP}) = 3.7 \cdot 10^7 \text{ V/M}$
 R. CATH = 11 MM
 $E_{\text{ACC}} = 10^7 \text{ V/M}$
 MODELE B
 $Q_{\text{MAX}} = 35 \text{ NC}$

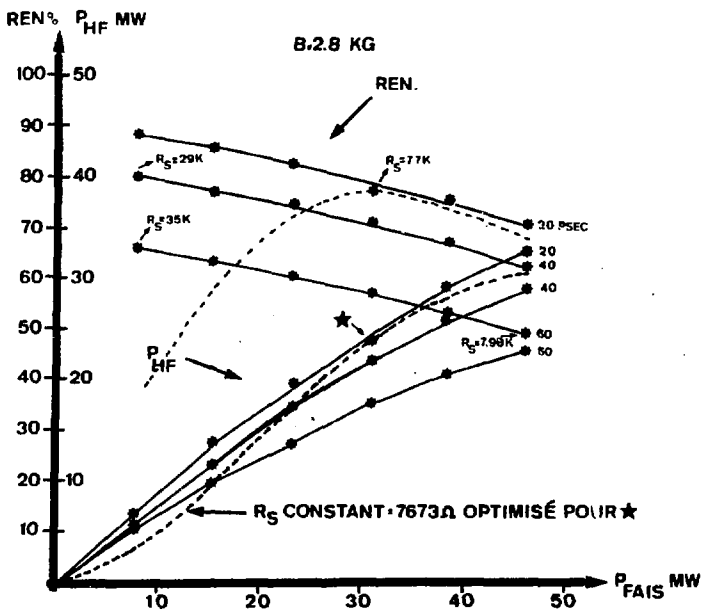


FIG. 10

CANON ET CAVITE SERA 6 GHZ.400 KV

R(SHUNT) OPTIMISÉ POUR $E(GAP) = 85 \cdot 10^7$ V/M

R. CATH = 6 MM

$E_{ACC} = 1.6 \cdot 10^7$ V/M

MODELEC

$Q_{MAX} = 20$ NC

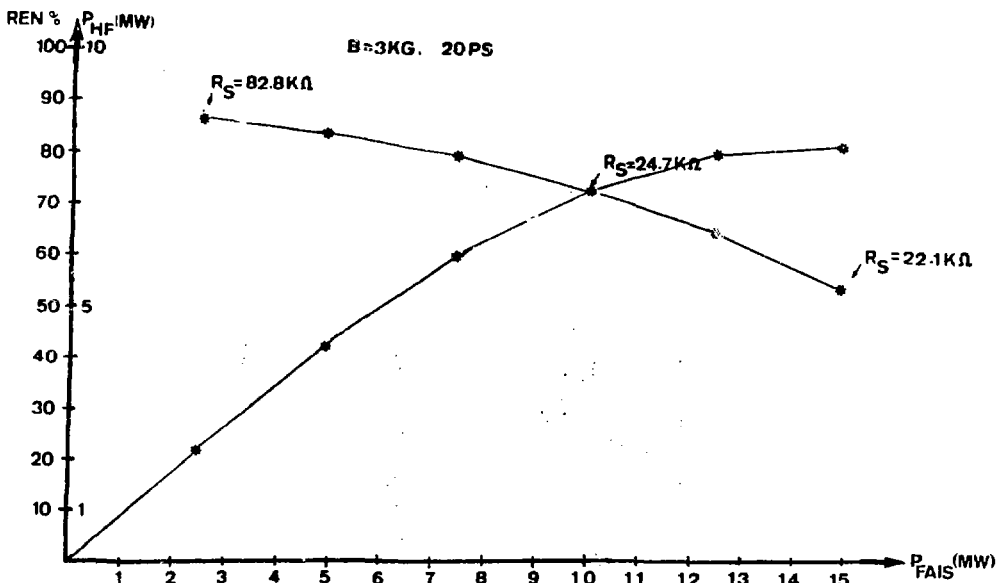


FIG.11

CANON ET CAVITE SERA 6GHZ.400 KV

R(SHUNT) OPTIMISÉ POUR $E(\text{GAP}) = 85 \cdot 10^7 \text{ V/M}$
 R CATH = 6 MM
 $E_{ACC} = 1.2 \cdot 10^7 \text{ V/M}$
 MODELE E
 $Q_{MAX} = 5 \text{ NC}$

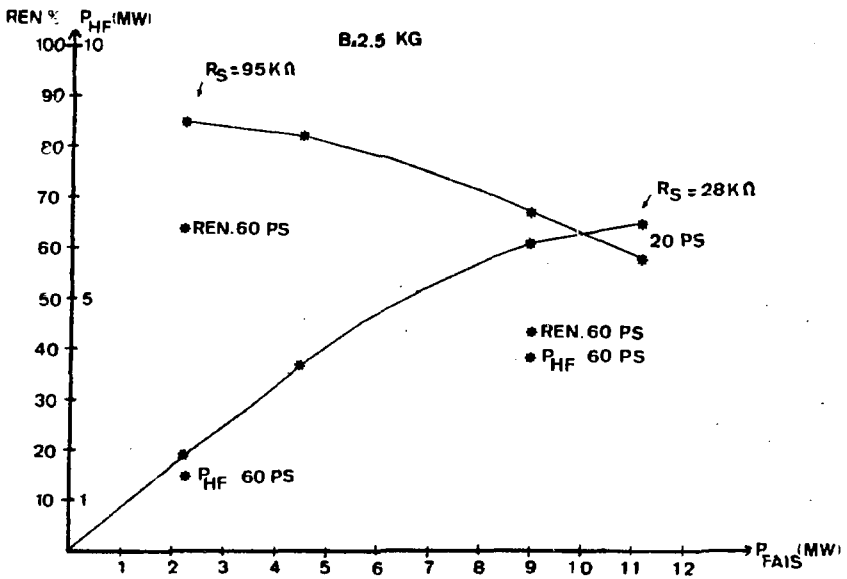



FIG. 12 CANON ET CAVITE SERA 6 GHZ.400 KV

R (SHUNT) OPTIMISÉ POUR $E(GAP) = 85 \cdot 10^7 V/M$
 R CATH = 6 MM
 $E_{ACC} = 1.2 \cdot 10^7 V/M$
 MODELE F
 $Q_{MAX} = 4.5 NC$

LASERTRON SERA - L.A.I - ORSAY

date : 6-MAR-1987 14:50:48

CANON ET METHODES :		SORTIE H.F. :	
<i faisceau> = 33.49A	fraction = 0.20	R/Q = 100.0 Ohms	
periode = 350.0psec	freq. = 2.857 Chz	Fo = 2.857 Chz	
tension = 400.00 Kv	perv. = 4.19 microPerv	res.shunt = 17157.6 Ohms	
champ E stat.= herm.	cha.d'esp.canon = 20	Vgqg = 600000.0 V	
champ B stat.= br. reg	cha.d'esp.HF = 20	phil = -0.004	
champ HF = superfish		<i induit> = 34.97 A	
LASER :		PUISSANCE DISPO. = 10490.92 Kw	
i pulse : 293.03 A		RENDEMENT HF = 78.32 %	
duree d'eclairment : 40.0 psec			
forme du pulse laser : experience :			

temps (psec) = 100 200 300 400 500 600 700

Bmax,Bmin= 1500.00 750.00 (stat.)
 Bmax,Bmin= 82.15 -84.06 (stat.)
 Bplmax,Bplmin= 0.00 -71.26 (c.e)
 Br(tring) --- Br - Bplc ---
 esc. 745

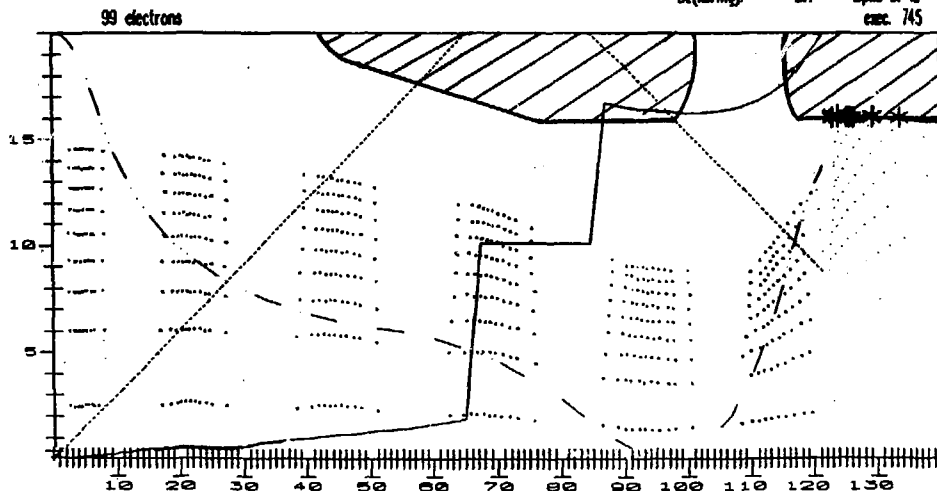


FIG.13 MODA

LASERTRON SERA - L.A.L - ORSAY

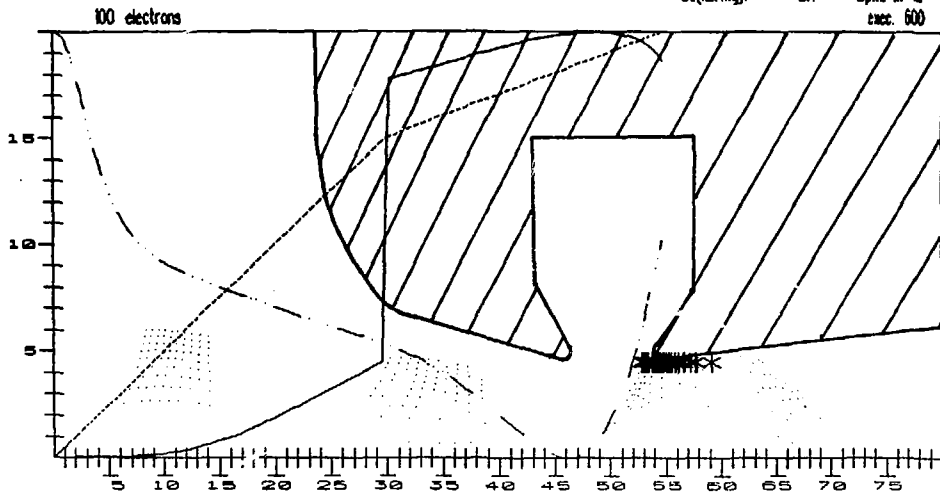
date Dessin : 25-APR-1987 18:38:16
l. cpu Ring (sec) : 29610

CANON : <i faisceau> = 76.98A ; fraction = 0.80 periode = 167.1 psec ; freq. = 5.986 Ghz tension = 400.00 Kv ; perv. = 9.62 microPerv		SORTIE H.F. : R/Q = 100.0 Ohms Fo = 5.986 Ghz res.shunt = 7573.0 Ohms Vgap = 600000.0 V phil = -0.007 <il induit> = 79.23 A	
MODELES : champ E stat. = herm. ; cha.d'esp.canon = 2D champ B stat. = br. req ; cha.d'esp.HF = 2D champ HF = superfish		LASER : i pulse : 642.96 A ; charge du paquet : 12.9 nC duree d'eclairement : 20.0 psec forme du pulse laser : rectangle : <input type="checkbox"/>	
		PUISSANCE DISPO. = 23768.07 Kw RENDEMENT HF = 77.19 %	

temps (psec) = 10 20 30 40


Bzmax,Bzmin= 3492.81 500.00 (stat.)
 Brmax,Brmin= -35.94 -146.15 (stat.)
 Bpimax,Bpimin= 0.00 -100.16 (c.e)
 Bz(nbring): --- Br: - Bp(c) ...
 trac. 600

FIG.14 MOD.C



LASERTRON SERA - L.A.I - ORSAY

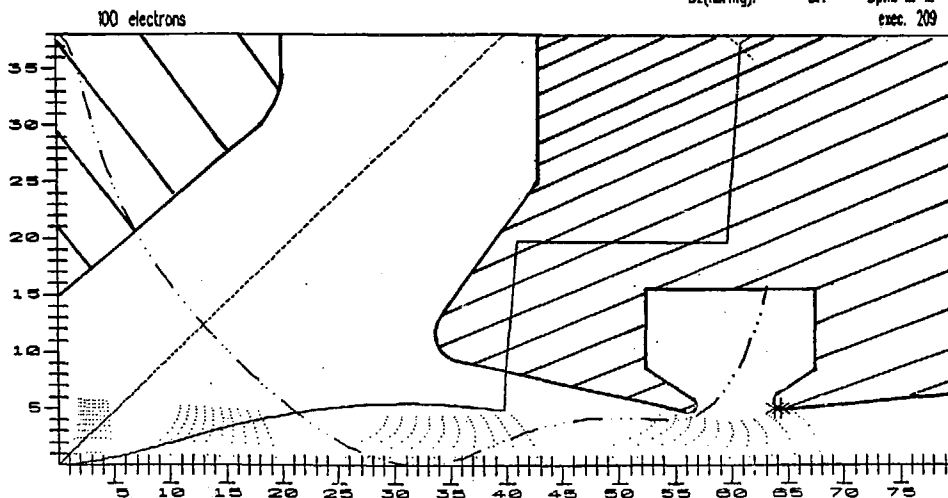
date Dessin : 4-MAY-1987 15:3105
 l. cp.: Ring (sec) : 3890.7

CANON :		SORTIE H.F. :	
<i faisceau> = 24.96A	fraction = 0.80	R/Q = 100.0 Ohms	
periode = 167.1 psec	freq. = 5.986 Ghz	Fo = 5.986 Ghz	
tension = 400.00 Kv	perv. = 3.12 microPerv	res.shunt = 24744.2 Ohms	
MODELES :		Vgap = 600000.0 V	
champ E stat.= herm.	cha.d"esp.canon = 2D	phil = -0.003	
champ B stat.= br. reg	cha.d"esp.HF = 2D	<il induit> = 24.25 A	
champ HF = superfish			
LASER :		PUISSANCE DISPO. = 7274.38 Kw	
i pulse : 208.48 A	charge du paquet : 4.2nC	RENDEMENT HF = 72.86 %	
duree d"eclairment : 20.0 psec			
forme du pulse laser : rectangle :			

temps (psec)= 100. 200. 300. 400.

Bzmax,Bzmin= 3000.00 1500.00 (stat.)
 Brmax,Brmin= 90.99 -109.61 (stat.)
 Bpimax,Bpimin= 0.00 -24.44 (c.e)
 Bz(nbring); --- Br: - Bpht: ---
 exec. 209

FIG.15 MOD. E



LASERTRON SERA - L.A.L - ORSAY

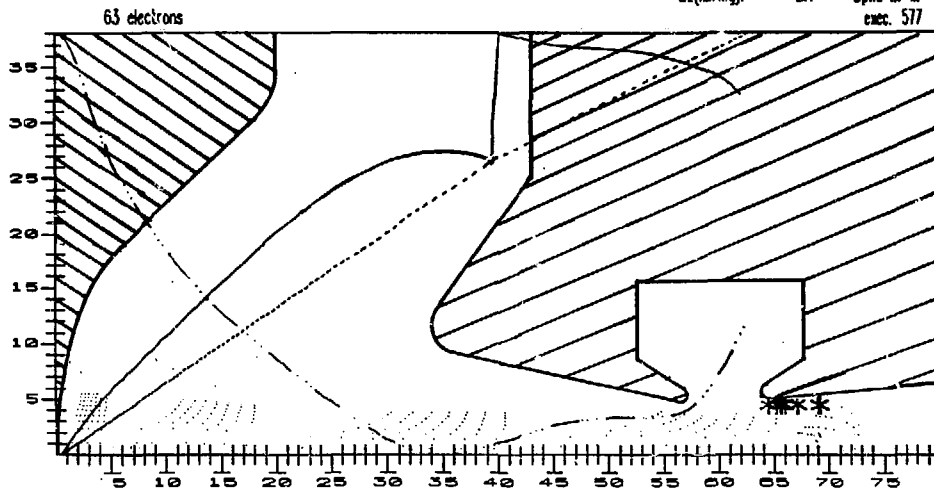
date Dessin : 15-APR-1987 15:46:30
 L. cpu Ring (sec) : 15858

CANON :		SORTIE H.F :	
<i faisceau> = 22.27A	fraction = 0.80	R/Q = 100.0 Ohms	
periode = 167.1 psec	freq. = 5.986 Ghz	Fo = 5.986 Ghz	
tension = 400.00 Kv	perv. = 2.78 microPerv	res.shunt = 29807.3 Ohms	
MODELES :		Vgap = 600000.0 V	
champ E stat.= herm.	cha.d"esp.canon = 2D	phil = 0.004	
champ B stat.= br. reg	cha.d"esp.HF = 2D	<i1 induit> = 20.13 A	
champ HF = superfish			
LASER :		PUISSANCE DISPO. = 6038.75 Kw	
i pulse : 185.99 A	charge du paquet : 3.7nC	RENDEMENT HF = 67.80 %	
duree d'eclairement : 20.0 psec			
forme du pulse laser : rectangle :	<input type="checkbox"/>		

temps (psec) = 100. 200. 300. 400. 500.

Bzmax,Bzmin= 328.67 1016.01 (stat.)
 Brmax,Brmin= -54.86 -109.28 (stat.)
 Bpimax,Bpimin= 0.00 -22.90 (c.e)
 Bz(nbring): --- Br: - Bpib: ---
 enc. 577

FIG.16 MOD.F



P (10E-23 Kgm.Sec-1 per elec.)

courbe $P_2(z)$

date : 15-APR-1987 E4824

temps = 150. 300. 450.

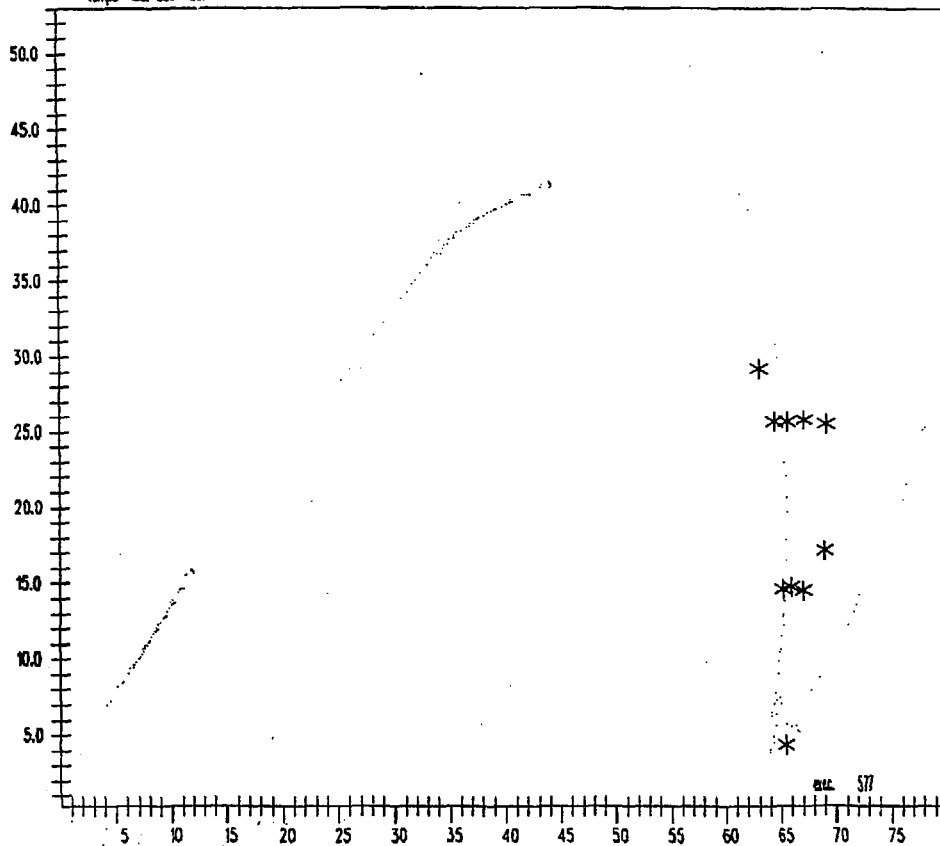

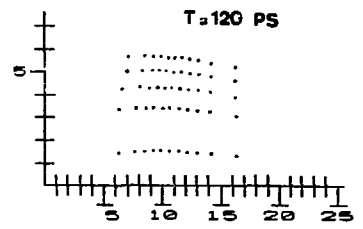


FIG.17 MOD F

LASERTRON SERA - L.A.L - ORSAY


date Dessin : 23-APR-1987 17:43:12
t. cpu Ring (sec) : 1300.2

CANON :		SORTIE H.F. :	
<i faisceau> = 57.73A	fraction = 0.60	R/Q = 100.0 Ohms	
periode = 167.1 psec	freq. = 5.986 Ghz	Fo = 5.986 Ghz	
tension = 400.00 Kv	perv. = 7.22 microPerv	res.shunt = 11149.7 Ohms	
MODELES :		Vgap = 600000.0 V	
champ E stat. = herm.	cha.d"esp.canon = 2D	phil = -0.005	
champ B stat. = br. reg	cha.d"esp.HF = 2D	<i1 induit> = 53.81 A	
champ HF = superfish		PUISSANCE DISPO. = 16143.67 Kw	
LASER :		RENDEMENT HF = 69.91 %	
i pulse : 241.11 A	charge du paquet : 9.6nC		
duree d"eclairment : 40.0 psec			
forme du pulse laser : triangle			



LASERTRON SERA - L.A.L - ORSAY

date Dessin : 23-APR-1987 17:08:19
t. cpu Ring (sec) : 16.0

CANON :		SORTIE H.F. :	
<i faisceau> = 57.73A	fraction = 0.60	R/Q = 100.0 Ohms	
periode = 167.1 psec	freq. = 5.986 Ghz	Fo = 5.986 Ghz	
tension = 400.00 Kv	perv. = 7.22 microPerv	res.shunt = 11356.1 Ohms	
MODELES :		Vgap = 600000.0 V	
champ E stat. = herm.	cha.d"esp.canon = 2D	phil = -0.002	
champ B stat. = br. reg	cha.d"esp.HF = 2D	<i1 induit> = 52.84 A	
champ HF = superfish		PUISSANCE DISPO. = 15850.50 Kw	
LASER :		RENDEMENT HF = 68.64 %	
i pulse : 241.11 A	charge du paquet : 9.6nC		
duree d"eclairment : 40.0 psec			
forme du pulse laser : rectangle			

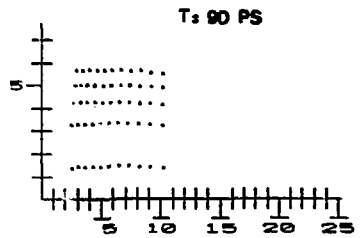


FIG.18 MOD.C EFFET DE LA FORME DE L'INTENSITE LUMINEUSE

LASERTRON SERA - L.A.L - ORSAY

date Dessin : 28-APR-1987 10:54:54
L. cpu Ring (sec) : 30216

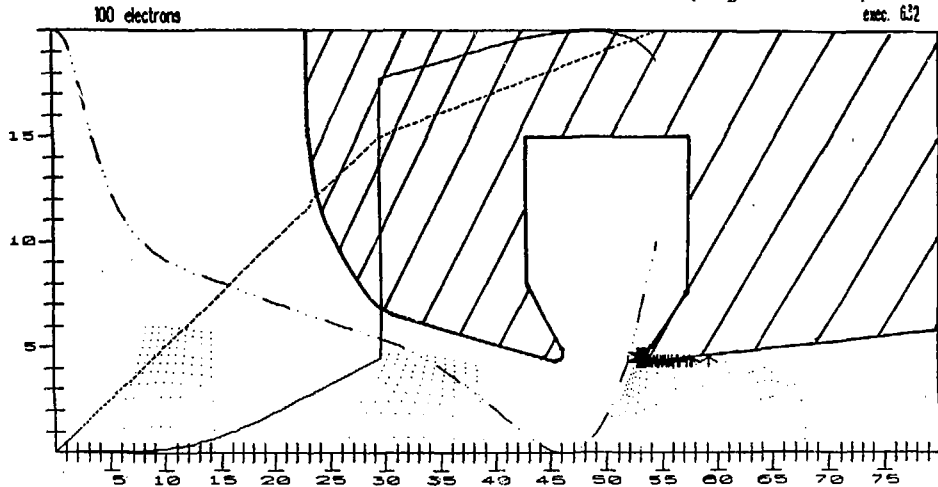
CANON :		SORTIE H.F. :	
<i faisceau> = 76.98 A	fraction = 0.80	R/Q = 100.0 Ohms	
periode = 167.1 psec	freq. = 5.986 Ghz	Fo = 5.986 Ghz	
tension = 400.00 Kv	perv. = 9.62 microPerv	res.shunt = 7555.7 Ohms	
MODELES :		Vgap = 600000.0 V	
champ E stat. = herm.	chad. esp. canon = 2D	phi1 = -0.007	
champ B stat. = br. reg	chad. esp HF = 2D	<i1 induit> = 79.41 A	
char.p HF = superfish			
LASER :		PUISSANCE DISPO. = 23822.47 Kw	
i pulse : 642.96 A	charge du paquet : 12.9 nC	RENDEMENT HF = 77.37 %	
duree d'eclairement : 20.0 psec			
forme du pulse laser : rectangle			

temps (psec) = 10. 20. 30. 40.

Bzmax, Bzmin = 3493.35 1500.00 (stat.)
 Brmax, Brmin = -35.86 -146.16 (stat.)
 Bphimax, Bphimin = 0.00 -100.82 (c.e.)
 Bz(nbring) : --- Br : --- Bphi : ---
 enc. 632

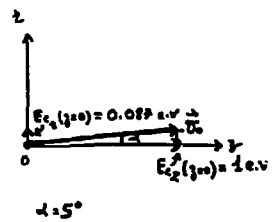
FIG. 19

MOD. C



PASSAGE AVEC ENERGIE INITIALE
NON NULLE (A LA CATHODE) :

POUR TOUS LES ANNEAUX :



LASERTRON SERA - L.A.L - ORSAY

date Dessin : 28-APR-1987 12:56:56
 l. cpu Ring (sec) : 2857.9

CANON :		SORTIE H.F. :	
<i faisceau> = 76.98A	fraction = 0.80	R/Q = 100.0 Ohms	
periode = 167.1 psec	freq. = 5.986 Ghz	Fo = 5.986 Ghz	
tension = 400.00 Kv	perv. = 9.62 microPerv	res.shunt = 7556.6 Ohms	
MODELES :		Vgap = 600000.0 V	
champ E stat. = herm.	cha.d'esp.canon = 2D	phil = -0.007	
champ B stat. = br. reg	cha.d'esp.HF = 2D	<i1 induit> = 79.40 A	
champ HF = superfish		PUISSANCE DISPO. = 23819.72 Kw	
LASER :		RENDEMENT HF = 77.36 %	
i pulse : 642.96 A	charge du paquet : 12.9 nC		
duree d'eclairement : 20.0 psec			
forme du pulse laser : rectangle			

Lemps (psec) = 10. 20. 30. 40.

Bzmax,Bzmin = 3493.31 1500.00 (stat.)
 Brmax,Brmin = -35.86 -146.15 (stat.)
 Bp1max,Bp1min = 0.00 -100.84 (ce)
 Bz(nbring) : --- Br : - Bp1: ---
 cmt: 633

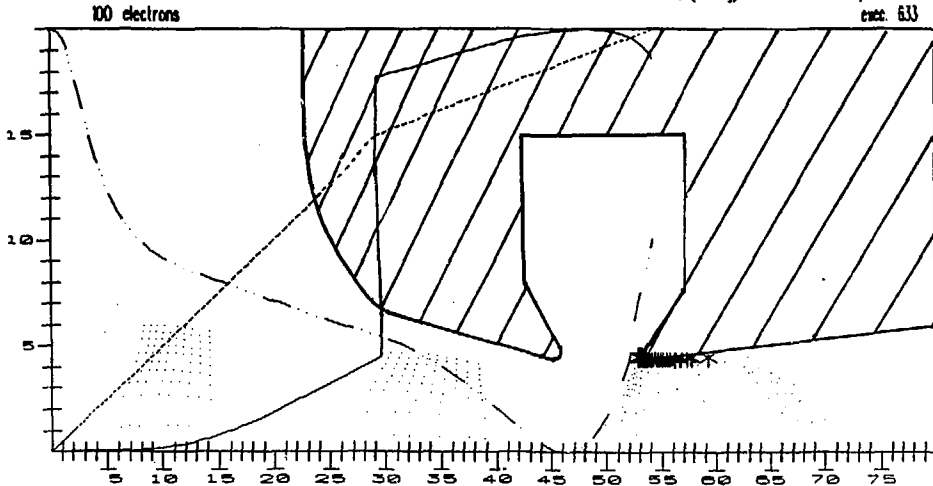
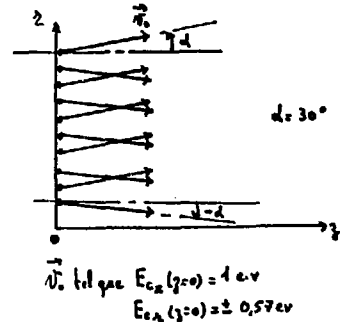


FIG. 20(-24) :

MOD. C

PASSAGE AVEC ENERGIE INITIALE
 NON NULLE (A LA CATHODE) :

POUR UNE TRANCHE D'ANNEAUX :



P (0K-23 Kgm.Sec-1 per elec.)

courbe $P_2(z)$

date : 28-APR-1987 13:08:47

temps = 11. 30. 45. 60. 75. 90. 105. 120. 135. 150. 165. 180. 195. 210. 225. 240. 255. 270. 285. 300. 315. 330. 345. 360. 375. 390. 405. 420.

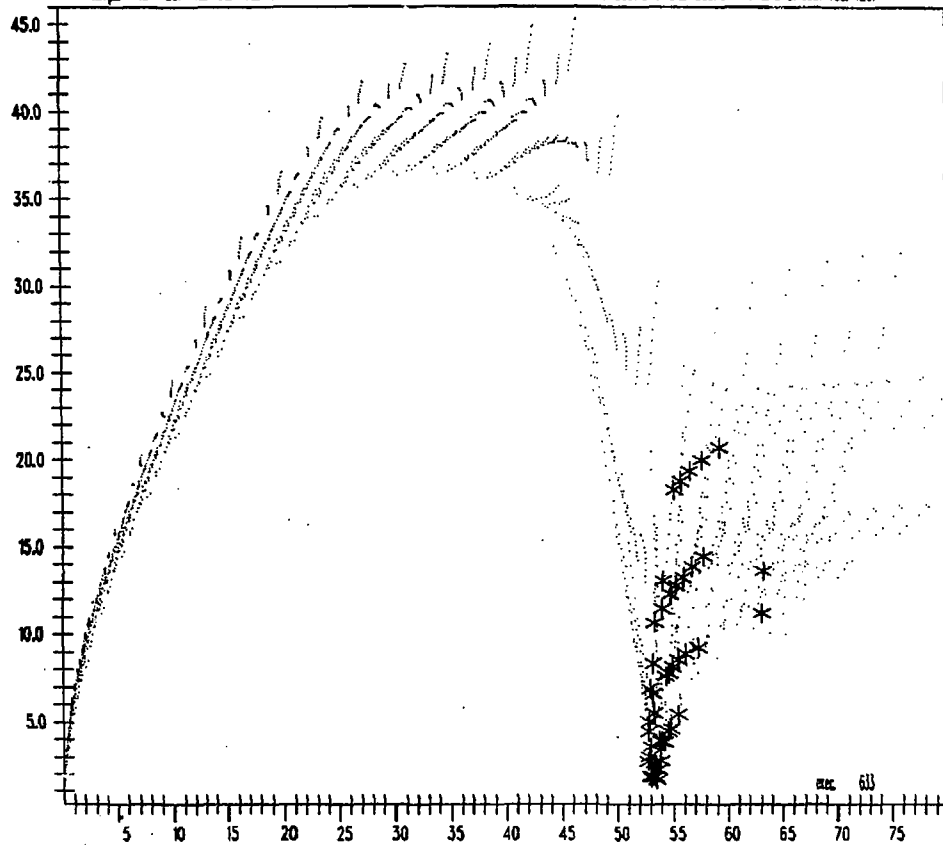


FIG. 21

ENC 613

P (DC-23 Kgm.Sec-1 per elec.)

courbe $P_z(z)$

date : 28-APR-887 130150

Temps: ft.

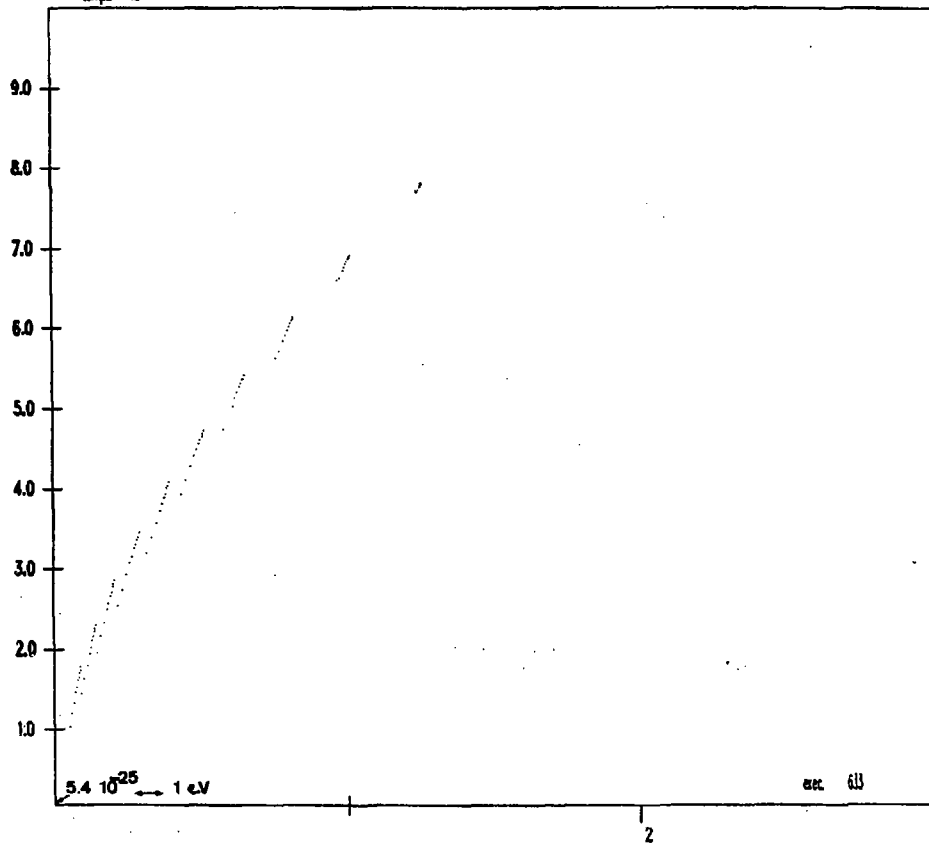


FIG. 22

ZOOM

acc 613

P (DE-23 Kgm/Sec-1 per elec)

count of $P_T(\%)$

date : 28-APR-1987 11:06:06

temps = 11. 30. 45. 60. 75. 90. 105. 120. 135. 150. 165. 180. 195. 210. 225. 240. 255. 270. 285. 300. 315. 330. 345. 360. 375. 390. 405. 420.

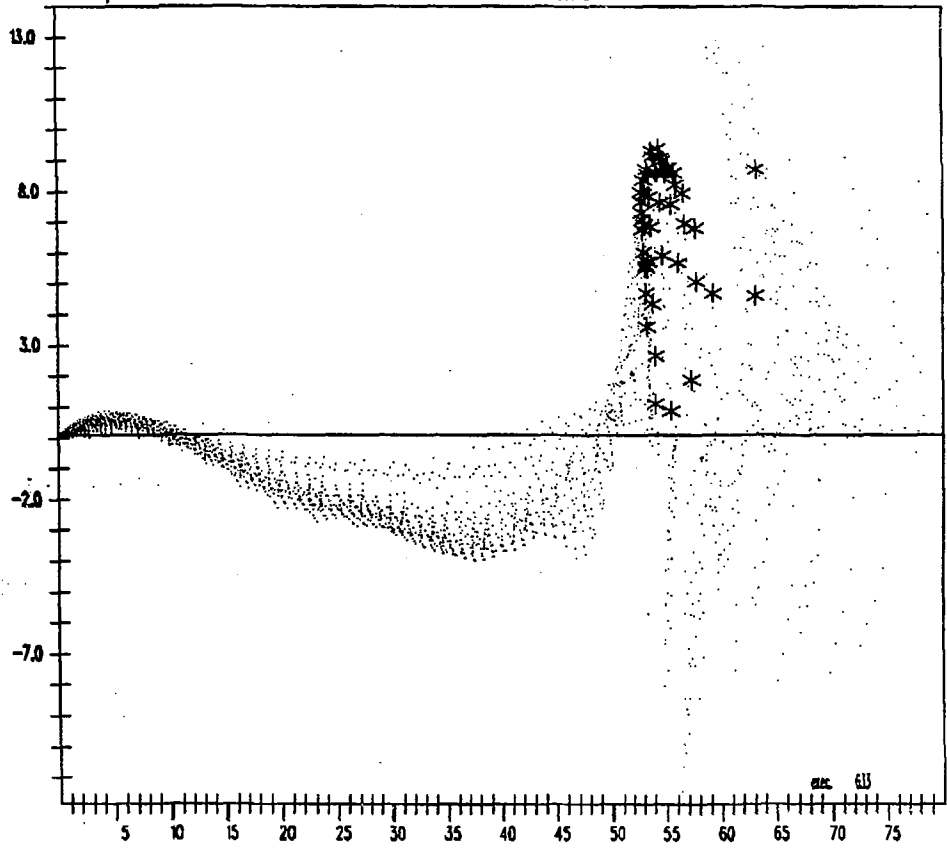


FIG.23

P (DE-23 Kpa.Sec-1 par elec.)

courbe $P_T(z)$

date : 28-APR-1987 130330

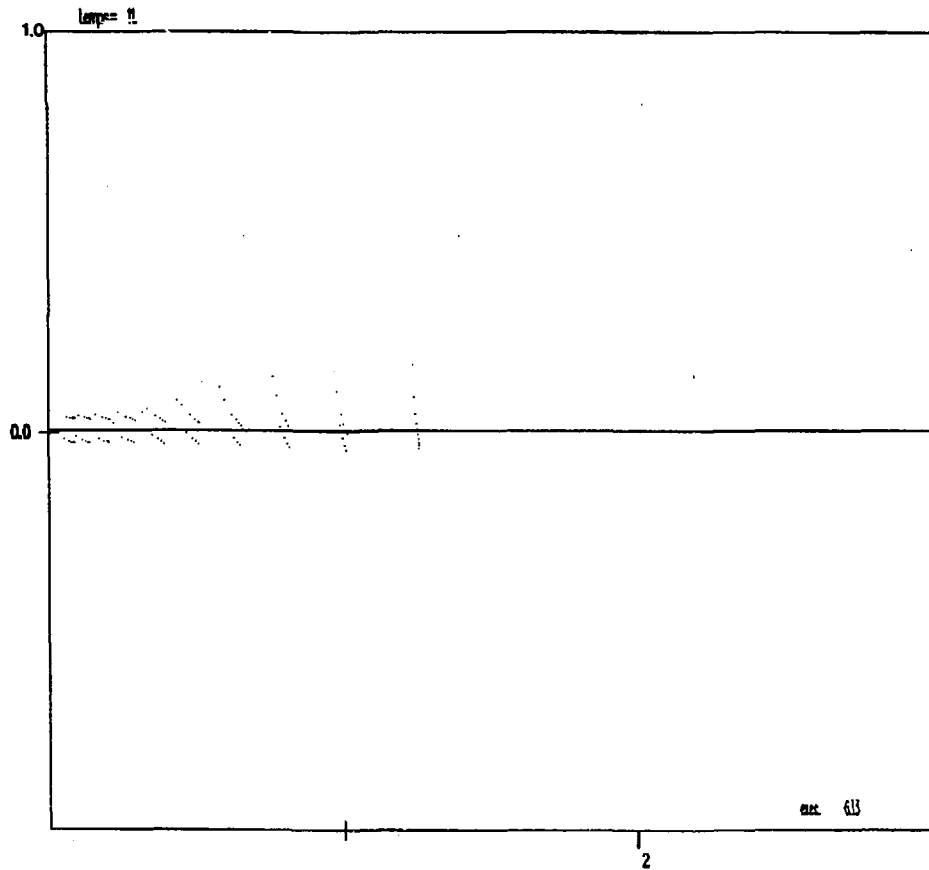


FIG.24

ZOOM