

CERN/MPS/LIN 70-7

Réédition 1973

ESSAI D'UN MODELE DE TUBE ACCELERATEUR A PROTONS 1,4 MeV
A FORT GRADIENT D'ACCELERATION (76 kV/cm max.) *

J. Huguenin, G. Visconti

* Rapport soumis au 4ème Symposium International sur les Décharges et l'Isolement Electrique dans le Vide, Waterloo, Canada. Septembre 1970.

ESSAI D'UN MODELE DE TUBE ACCELERATEUR A PROTONS 1,4 MeV
A FORT GRADIENT D'ACCELERATION (76 kV/cm max.)

J. Huguenin, G. Visconti

Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
Genève, Suisse

1. Introduction

A la suite de la proposition faite en 1967 (Refs. 1, 2) d'augmenter l'énergie du préinjecteur du synchrotron à protons du CERN, une période d'étude fut décidée afin de clarifier les aspects théoriques, optiques et technologiques. Les conclusions en sont présentées dans un avant-projet (Ref. 3) (Fig. 1) paru en mars 1970.

Le présent rapport décrit un aspect particulier de cette recherche, soit les essais à 1,2 MV (essai Berthe) d'un modèle de tube accélérateur à fort gradient d'accélération, effectués dans le cadre d'une collaboration avec l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPN).

2. Essai Berthe, Généralité et Buts

Le tube accélérateur du projet, par la combinaison des forts gradients ($E_{\max} = 76$ kV/cm, $E_{\text{moyen}} = 64$ kV/cm) et de la tension d'accélération envisagés (1,4 MV), était la partie du projet nécessitant une étude expérimentale approfondie afin d'évaluer les possibilités de tenue haute tension dans le vide et de reconnaître certains problèmes importants associés, tels que nouveaux systèmes de pompage, subdivision du potentiel, blindage des porcelaines. Dans le cadre de la collaboration citée plus haut, l'IPN a construit un hall d'essai en polyester expansé abritant l'expérience (Fig. 4) (Ref. 3), a mis à disposition un générateur HT 1,5 MV, l'a programmé en tension. Son personnel fournit une aide appréciable au cours des essais. Le CERN apporte le dispositif expérimental (Figs. 2 et 3) et son expérience dans la construction et l'exploitation des tubes accélérateurs. L'IPN souhaite en effet pour son projet d'accélérateur linéaire d'ions lourds (Ref. 4) un tube de 1 MeV utilisant les techniques du préinjecteur actuel du CERN (conception très propre, électrodes de titane, techniques de collage particulières) (Ref. 5).

Les buts de l'essai Berthe sont les suivants :

1. Etude de la tenue HT dans le vide de deux électrodes de titane allié de 250 mm de diamètre, en fonction de la distance, base de dimensionnement de toute structure future. Les résultats de cette étude sont présentés sous la Ref. 6.
2. Etude de la tenue HT d'un groupe de 5 électrodes (anode, cathode, 3 électrodes intermédiaires avec un trou pour le faisceau) simulant une structure accélératrice de type Pierce (Fig. 5), calculée pour une densité de courant de 150 mA/cm². Etude de toute autre structure et loi de champ désirées.
3. Etude de la tenue des parois (blindage intérieur en titane allié, porcelaines) du tube pré-injecteur actuel.
4. Etude d'un système de répartition de potentiel capable de tenir un champ moyen de ~ 12 kV/cm et étude de l'influence de sa résistivité sur la tenue du tube.

3. Dispositif expérimental

Les électrodes d'alliage de titane à essayer sont placées (Fig. 5) à l'intérieur d'un tube accélérateur de type CERN (\varnothing 500 mm) dont la longueur a été portée de 14 à 18 sections (1200 mm). Des électrodes de blindage classiques protègent les parois du tube. Seuls les anneaux anticorona de titane sont d'un diamètre plus fort dans la région centrale étant donné les très forts champs cathodiques dans cette région (~ 180 kV/cm).

L'anode et la cathode (mobiles) sont des cylindres de 600 mm de longueur et de 250 mm de diamètre portés par une tige filetée se mouvant à l'intérieur d'un tombac (bellow). Une distance de 265 mm est normalement fixée pour un essai à 1,4 MV, mais elle peut être ajustée à volonté sans couper le vide. Les électrodes intermédiaires simulant la loi

d'accélération Pierce dont les champs sont indiqués sur la Fig. 5 sont affinées à l'extrême au centre pour s'approcher au maximum de l'équipotentielle théorique. Elles ont un trou central de 25 mm de diamètre et s'arrêtent vers l'extérieur à un diamètre de 250 mm, laissant un espace de pompage important pour les dégazages des électrodes en formation (ainsi que pour le débit d'hydrogène de la source à protons du tube définitif). Trois barres ovalisées relient les électrodes à leurs supports respectifs qui sont simultanément les électrodes de blindage des porcelaines. La répartition de tension est assurée par une résistance liquide circulant de type Saclay, pouvant écouler un courant de 100 à 400 μA sous 1,2 MV, la résistivité du liquide allant de $2,5 \cdot 10^8$ à $10^9 \Omega\text{cm}$. Des éclateurs de protection limitent la tension par section à environ 120 kV. Le pompage se fait à l'aide de deux pompes turbomoléculaires Pfeiffer TVP 2000 m^3/h en série avec un groupe primaire largement dimensionné (pompe à palettes + pompe Roots 55 m^3/h). Des vannes à tiroir permettent d'isoler les pompes du tank à vide de grand volume supportant le tube (Fig. 2). Les joints utilisés sont en général en Viton étuvé ou des joints métalliques. Un vide limite voisin de 10^{-7} mmHg est obtenu au niveau des vannes.

Pour les essais au-dessus de 850 kV, l'ensemble ci-dessus est placé dans une enceinte isolante remplie de hexafluore de soufre (SF_6) à la pression atmosphérique. 2 cônes métalliques raccordent le tube à l'électrode HT supérieure et à la masse, tandis que des anneaux anticorona extérieurs répartissent la tension dans l'air et sont raccordés à une chaîne résistive. Les champs longitudinaux sont de 12,5 kV/cm le long du tube et de 3,9 kV/cm le long de l'enceinte pour une tension de 1,4 MV (Fig. 2). La Fig. 1 de la Ref. 6 montre le dispositif d'essai sans l'enceinte isolante, ainsi que l'intérieur métallisé de la coupole en polyester dans laquelle les essais ont eu lieu, le générateur HT 1,5 MV, le circuit HT et l'analyseur de pressions résiduelles.

4. Méthodes de mesure et procédé d'essai

Lorsque la pression est descendue à quelques 10^{-7} mmHg, la haute tension est appliquée automatiquement selon un programme qui permet de varier la vitesse de montée de 1 à 600 kV/heure. Ce système, conçu en circuits logiques par l'IPN (Ref. 7), permet également de mesurer le taux de perte de formation et d'effectuer à volonté des plateaux de durée quelconque à des tensions choisies d'avance. 2 enregistreurs Texas 4 canaux à trace continue mesurent le programme de tension, la tension, la pression secondaire et primaire, le courant de la cathode de titane ainsi que divers autres courants (chaîne de résistance liquide, dernière électrode de blindage, électrode de suppression d'électrons, etc.). Le rayonnement gamma est contrôlé en divers endroits par des chambres à ionisation et des films.

Un analyseur de pressions résiduelles (Riber QM.) enregistre l'état du système de vide avant, pendant et après la mise sous tension en balayage rapide (oscillographe) pendant les microdécharges ou lent (enregistreur papier).

5. Résultats généraux

1. Le tube accélérateur muni de la structure Pierce a tenu sans difficulté 1230 kV (tension limitée actuellement par la distance aux parois de la cage Faraday, et qui sera prochainement augmentée), avec un courant de cathode inférieur à 0,01 μA , un faible taux de claquage, et ceci après une vitesse de formation importante (600 kV/h jusqu'à 1 MV, 50+ 200 kV/h au-delà de 1 MV). Des conditions plus sévères, créées en rapprochant l'anode et la cathode pour obtenir des champs de 80 kV/cm dans les deux gaps extrêmes, soit sur la moitié de la tension totale de 1,2 MV, n'ont pas détérioré la tenue. Des essais de durée ont ensuite eu lieu à 1150 kV, au taux de 16 à 24 heures par jour. Les résultats en ont été les suivants : Taux de claquage : 3 par heure; Courant de cathode continu : = 0,01 μA ; Rayonnement à 10 mètres : = 0,1 mR/h; Perte de formation : 2 à 10 kV/h

2. Tenue des parois : pendant tous les essais, le courant entre les blindages de titane a été négligeable, inférieur à 10^{-8} A après formation. Quant aux porcelaines et sous réserve d'une dernière inspection visuelle lors du prochain démontage, leur tenue a été bonne. Le type de tube CERN a d'ailleurs été commercialisé par HVEC en vue de la fourniture à Heidelberg de plusieurs exemplaires pour son linac à ions lourds.

3. Répartition de potentiel à l'aide d'une résistance liquide type Saclay (Ref. 10) : l'influence de la résistivité sur la tenue du tube n'a pas été mesurée encore systématiquement. Pourtant un léger coefficient de tension constaté n'a pas provoqué d'effet gênant.

4. Influence du système de pompage : malgré la qualité des résultats déjà obtenus, un phénomène récemment observé permet d'entrevoir des améliorations importantes : lorsque les 2 vannes pendulaires sont fermées tout courant cathode de formation disparaît immédiatement ainsi que les dégazages; la tension peut être montée très rapidement au-dessus du point déjà atteint (600 kV/h); toute perte de formation semble en même temps disparaître. Cet effet ne peut pas être dû à une augmentation de la pression, celle-ci restant voisine de 1 à $5 \cdot 10^{-7}$ pendant la courte fermeture des vannes. Après réouverture, le courant réapparaît en quelques secondes. Les hypothèses de pressions résiduelles néfastes provenant des pompes, de la vanne en état ouvert, ou d'une interaction entre les ions de haute énergie provenant du tube et frappant le rotor de la pompe sont actuellement l'objet d'investigations. Aucune

différence essentielle entre les spectres n'a pu être décelée jusqu'alors, vannes ouvertes, sans haute tension. Le même contrôle doit être encore fait avec haute tension. Un piège à azote vient d'être monté (juin 1970) au-dessus d'une des 2 vannes.

6. Conclusions

Deux facteurs géométriques du tube accélérateur essayé comportaient un risque de tenue HT. Cependant :

1. l'extrême affinement des électrodes Pierce en leur centre introduites après une discussion avec B. Emigh (Ref. 8) n'a pas eu de conséquence néfaste tout en permettant une excellente définition des équipotentielles du champ Pierce.
2. la suspension des électrodes intermédiaires par 3 barres au lieu de la solution classique d'une tôle perforée, par la large conductance de pompage qu'elle était censée garantir pour éliminer l'hydrogène d'une source et les gaz de formation HT, aurait pu créer de graves difficultés d'effet de charge électronique (electron loading effect) même en l'absence de faisceau (Ref. 9). Il est capital de constater que l'emploi d'une technologie avancée (système à vide d'une grande propreté et emploi d'électrodes de titane) a fourni la solution à un problème très important. L'avantage en simplicité de construction est évident (pas de dispositif suppresseur d'électrons à prévoir, comme aimants, etc.) tout en maintenant la grande conductance de pompage requise.

En résumé la tenue du modèle de tube accélérateur a été concluante et permet d'envisager la réalisation de structures accélératrices à fort gradient à des tensions élevées, sous réserve que des essais avec faisceau de protons confirment ce résultat. L'emploi de pompes turbomoléculaires de grande dimension s'est révélé satisfaisant. L'espoir de performance HT encore nettement accrues existe si le phénomène lié à la fermeture des vannes est clarifié.

7. Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes citées dans notre deuxième rapport à cette Conférence dont certaines ont oeuvré efficacement pendant plusieurs années, se dépensant sans compter pour faire aboutir cette recherche dans les délais impartis.

Références

1. J. Huguenin, U. Tallgren, M. Weiss.
Proposal for a Study of a Higher Energy Preinjector for the PS.
MPS/Int. LIN 67-3 (distribué seulement comme brouillon).

2. J. Huguenin, U. Tallgren, M. Weiss.
Preliminary Study of a Higher Energy Preinjector for the CERN PS.
Brookhaven 1968 Proton Linear Accelerator Conf.
3. J. Roux, J. Martin.
Construction d'un hall hémisphérique pour essais THT à l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon.
LYCEN/6943. Septembre 1969.
4. A. Chabert, Tran Duc Tien, G. Voisin.
Heavy Ion Linear Accelerator. Project of Lyon.
Int. Conf. on Nuclear Reactions induced by Heavy Ions, Heidelberg, July 1969.
5. J. Huguenin et al.
The New 500 KeV Single Gap Preinjector Tube for the CERN PS Linac.
Proceedings of 2nd Int. Symp. on Insulation of High Voltages in Vacuum, Boston 1966. page 259.
6. J. Huguenin, G. Visconti, R. Salin, B. Desforges R. Dubois, R. El-Bez, J. Knott.
Essai à 1,4 MV de la tenue dans le vide d'électrodes de titane allié en fonction de la distance.
Cette Conférence.
7. L. Poizat.
Note interne IPN Lyon.
8. B. Emigh. LAMPF, Los Alamos
Communication privée.
9. P. Lapostolle, A. Septier.
Linear Accelerators, North Holland Pub. Co.
page 864, paragraphe 4.3.9 : Electron Loading in High-Energy Tubes
10. P. Bernard, Saclay
Note interne.

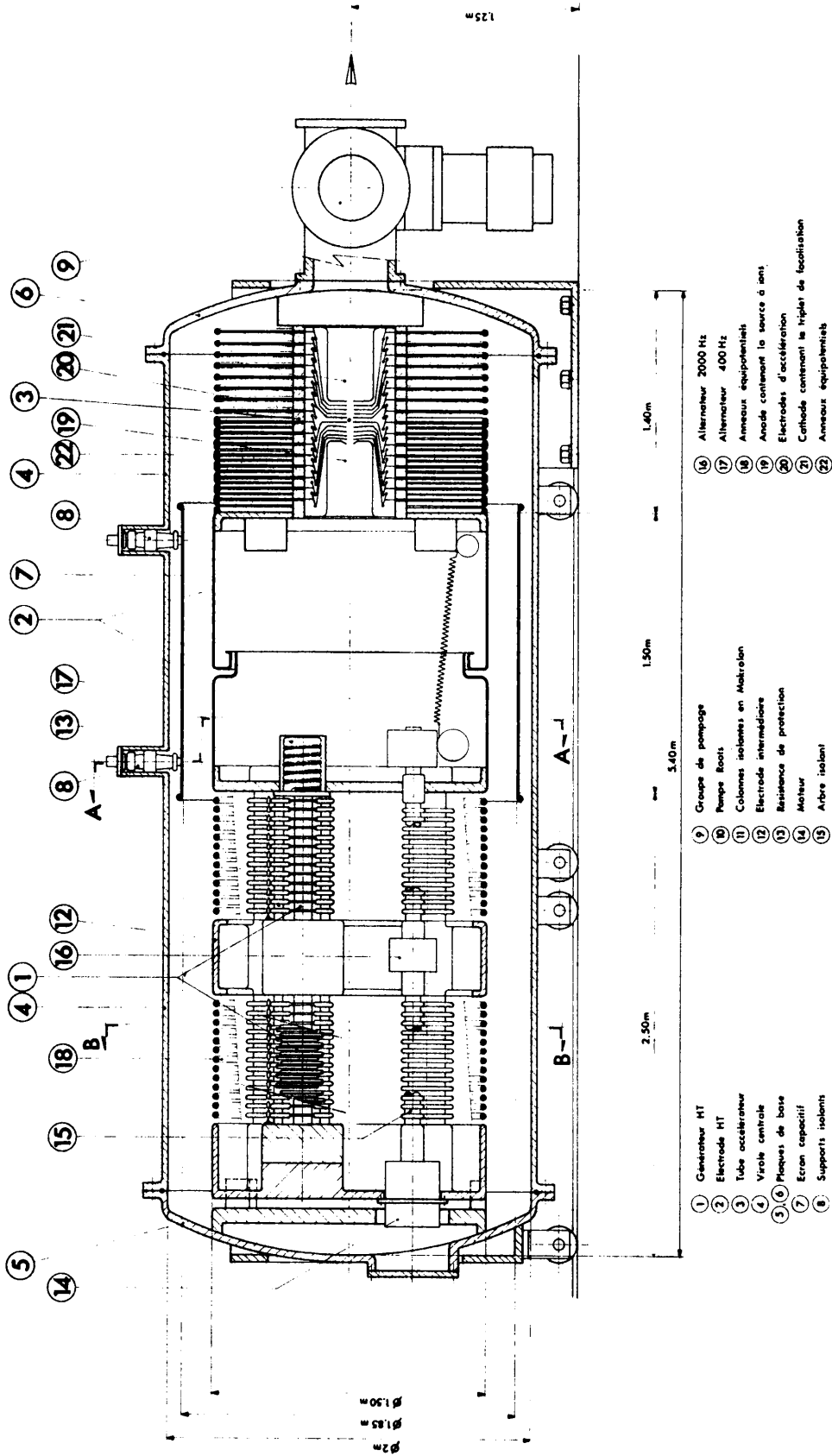


Fig. 1 Coupe longitudinale de l'avant-projet de préinjecteur 1.4 MeV du CERN-PS

(établi en collaboration avec SACLAY)

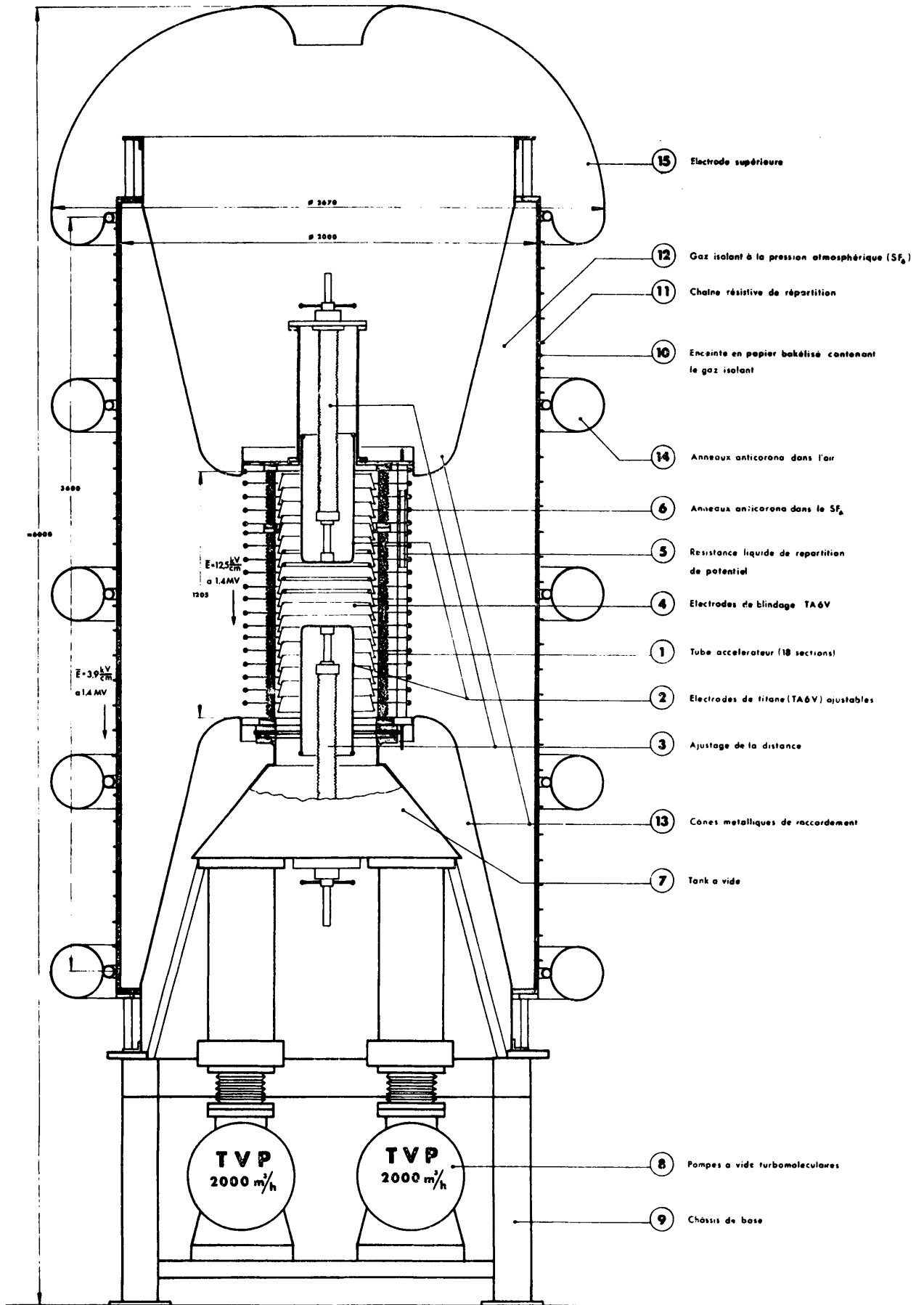


Fig. 2 Essai Berthe - Coupe du dispositif d'essai

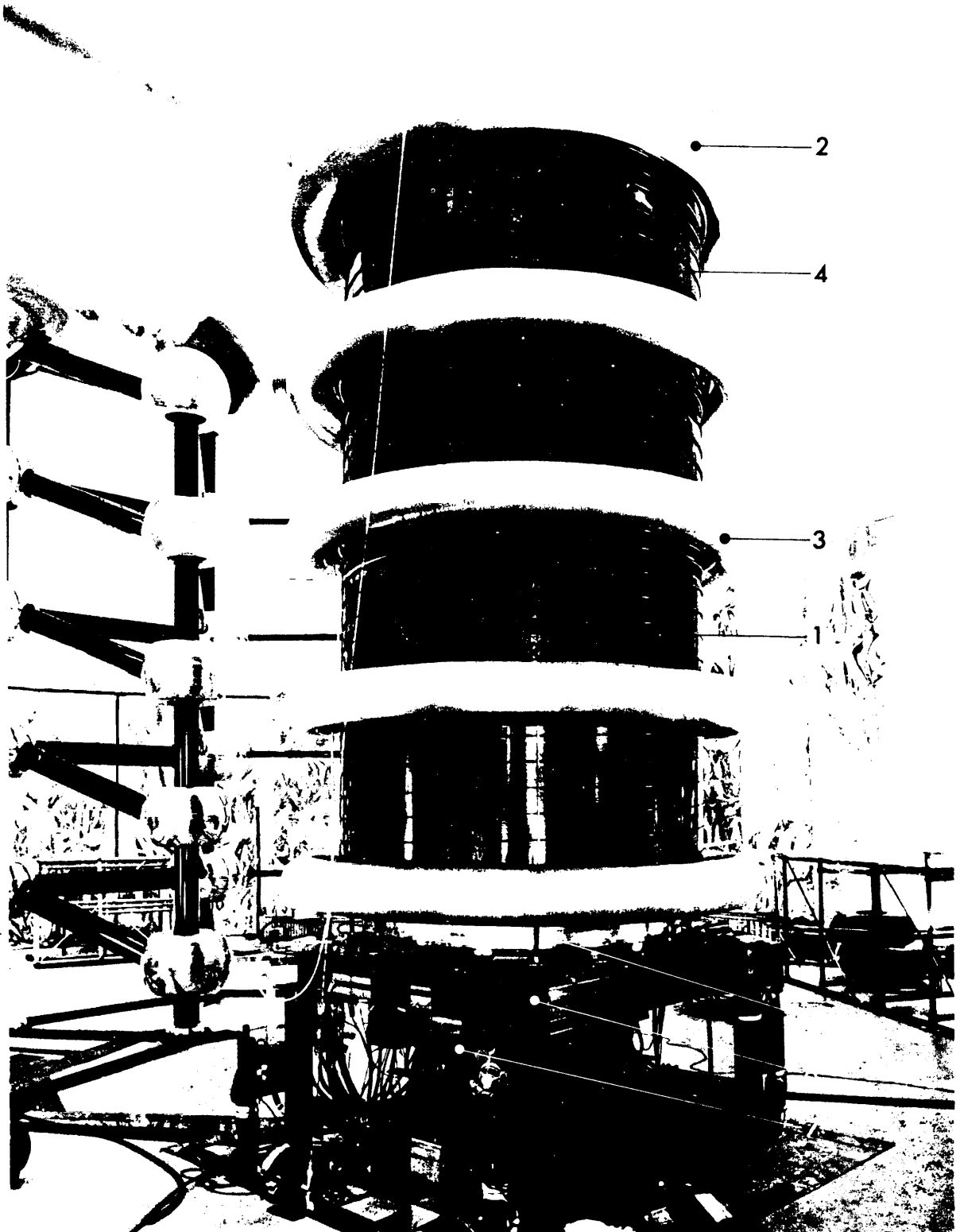


Fig. 3 Essai Berthe - Dispositif d'essai complètement monté

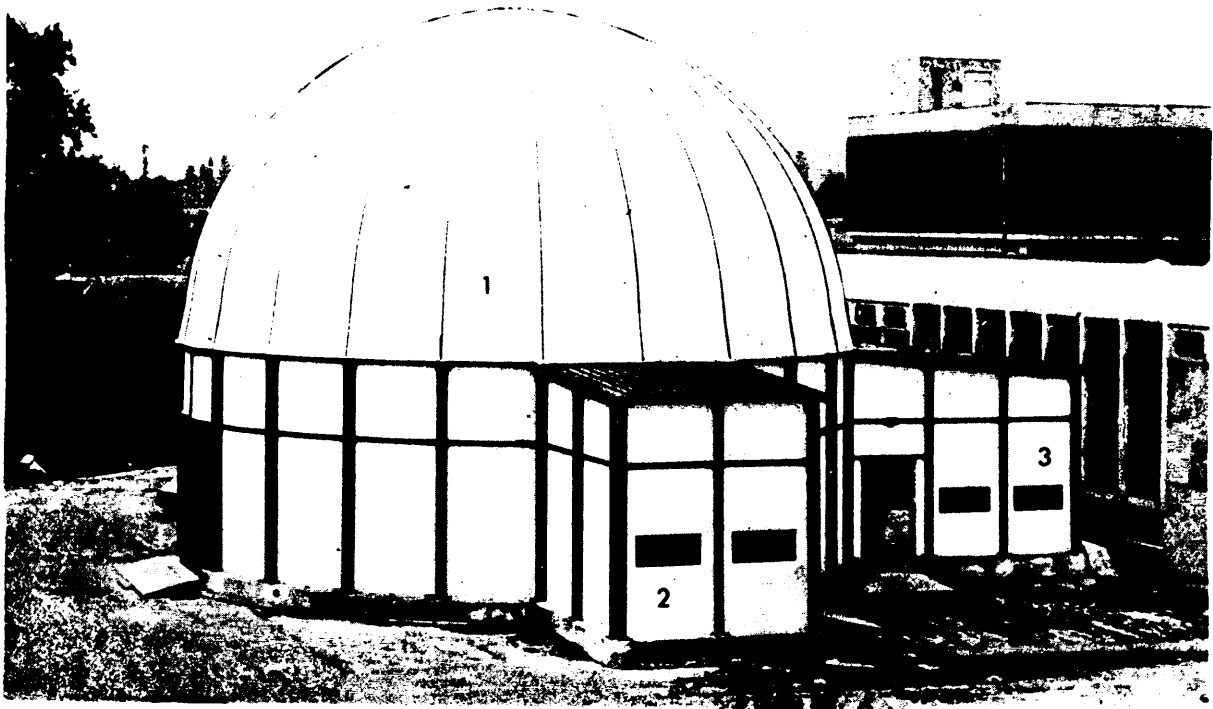


Fig. 4 Essai Berthe - Hall d'essai HT construit par l'IPN de Lyon

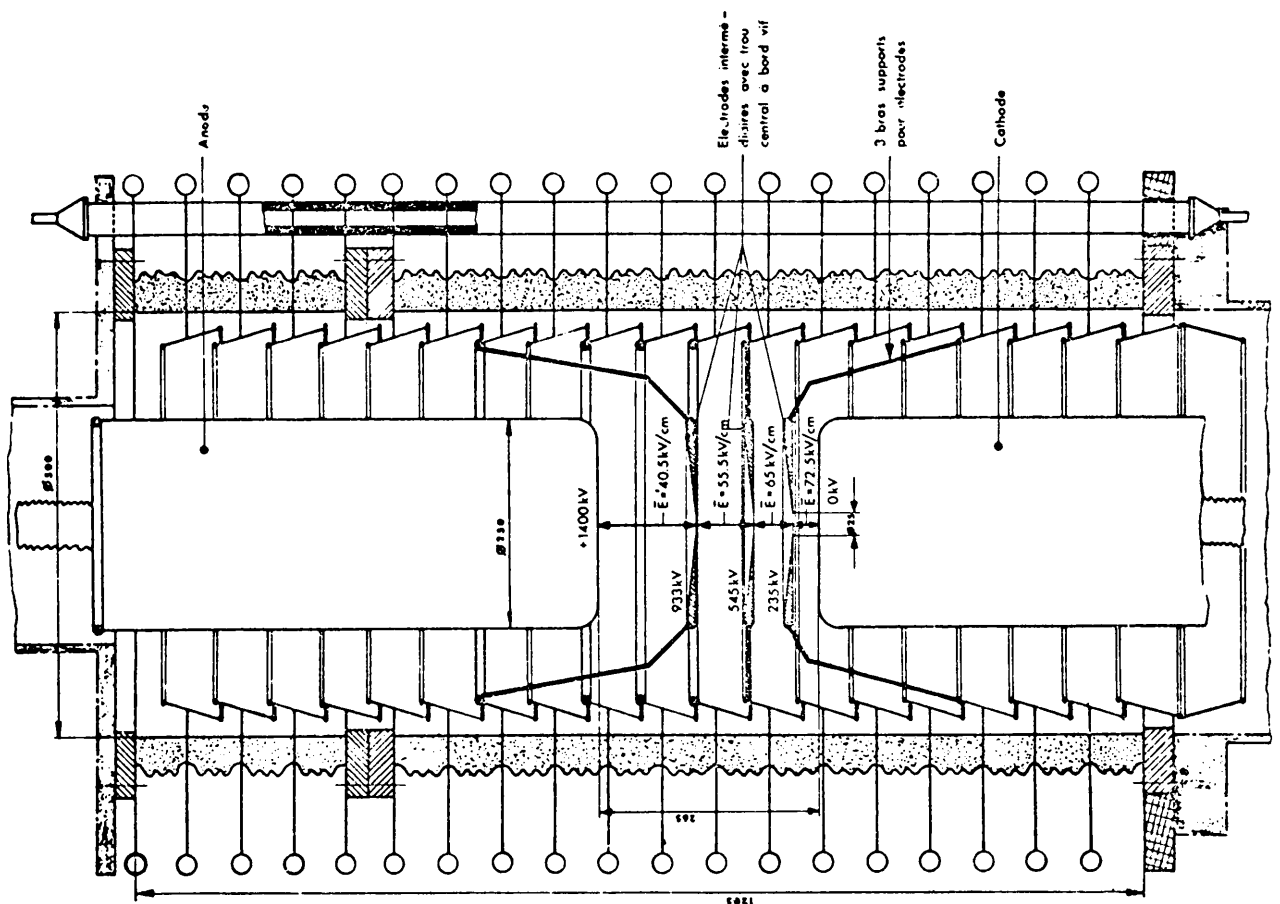


Fig. 5 Essai Berthe - Prototype d'essai HT à 1.4 MeV d'une structure accélératrice de type Pierce