



**HAL**  
open science

## LE CYCLOTRON DE GRENOBLE

P. Depommier

► **To cite this version:**

P. Depommier. LE CYCLOTRON DE GRENOBLE. Journal de Physique Colloques, 1969, 30 (C2), pp.C2-34-C2-37. 10.1051/jphyscol:1969204 . jpa-00213668

**HAL Id: jpa-00213668**

**<https://hal.science/jpa-00213668>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## LE CYCLOTRON DE GRENOBLE

P. DEPOMMIER

Institut des sciences nucléaires, CEDEX n° 257, 38 Grenoble-gare

**Résumé.** — On présente la situation actuelle du cyclotron à énergie variable de Grenoble (énergie maximale pour les protons : 50 MeV). Après une courte description de la machine et du système de distribution du faisceau, on expose brièvement le programme expérimental projeté.

**Abstract.** — The present state of the Grenoble variable energy cyclotron (maximum energy for protons : 50 MeV) is discussed. After a short description of the machine and beam transport system, a brief account of the planned experimental program is given.

**Introduction.** — La Faculté des Sciences de Grenoble a décidé en 1962 la construction d'un cyclotron isochrone à énergie variable, capable d'accélérer des protons jusqu'à 50 MeV, capable aussi d'accélérer d'autres particules (deutons,  $^3\text{He}$ , alpha et éventuellement ions lourds). La réalisation d'une telle machine a été confiée à la compagnie CSF. Elle est maintenant achevée et le cyclotron vient d'être mis à la disposition des physiciens.

Dans la gamme des accélérateurs français destinés à la physique nucléaire, le cyclotron de Grenoble prolongera le domaine d'énergie couvert par le cyclotron à énergie variable de Saclay et par les Van de Graaff empereurs prévus à Strasbourg et Orsay. A des énergies fixes supérieures se situent le synchro-cyclotron d'Orsay (150 MeV), les possibilités offertes par le synchro-cyclotron du CERN (600 MeV), et encore plus haut les possibilités ouvertes par les synchrotrons (Saturne, CERN).

Le cyclotron de Grenoble va donc constituer pour de nombreuses années sur le plan national un outil de recherche très utile dans le domaine des forces nucléaires et de la structure des noyaux atomiques.

**Le principe du cyclotron isochrone.** — Il est connu depuis longtemps, puisque déjà énoncé par Thomas en 1938 [1]. On sait que la limitation en énergie des cyclotrons classiques est due à la variation relativiste de la masse avec la vitesse :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}}}$$

avec  $\omega$  fréquence de rotation de la particule (égale à la

fréquence de la machine, ou à un de ses sous-multiples),  $r$  rayon de l'orbite de la particule et  $c$  vitesse de la lumière dans le vide.

La condition d'isochronisme :

$$\omega = \frac{qB}{m}$$

avec  $B$  induction magnétique,  $q$  charge de la particule, ne peut plus être réalisée pendant toute la durée du cycle d'accélération avec  $\omega$  et  $B$  constants. Une possibilité, pour rétablir l'isochronisme, consiste à faire varier  $\omega$  au cours de l'accélération : c'est ce que l'on fait dans les synchro-cyclotrons, où un seul paquet de particules peut être accéléré par cycle. L'intensité est faible et le cycle de travail est mauvais. Une autre possibilité consiste à faire varier  $B$  en fonction du rayon  $r$  de l'orbite décrite par la particule, suivant la loi :

$$B = \frac{B_0}{\sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}}};$$

$B_0$  est l'induction au centre.

Mais on sait que les conditions de focalisation axiale exigent que  $B$  diminue légèrement lorsque  $r$  augmente. La variation de  $B$  assurant l'isochronisme a pour résultat la présence de forces défocalisantes axialement. Il faut trouver un moyen de rétablir cette focalisation axiale. Cela peut être obtenu en donnant à l'induction une variation azimutale : la particule traverse successivement des secteurs à induction forte (collines) et à induction faible (vallées). On peut montrer que la particule est soumise en moyenne à des

forces focalisantes et que la condition d'isochronisme est préservée. L'avantage de la méthode est un fonctionnement continu, d'où une amélioration considérable de l'intensité.

**Description du cyclotron de Grenoble.** — On trouvera une description détaillée dans un article de la CSF [2]. On pourra aussi consulter divers rapports de conférences [3] [4]. Limitons-nous ici à quelques généralités :

a) Pour obtenir la variation azimutale désirée, les pièces polaires de l'électro-aimant sont munies de quatre secteurs spiralés (collines). Autour des collines et dans les vallées sont placées des bobines de réglage. La variation radiale de l'induction est obtenue au moyen de bobines circulaires. La carte de champ à réaliser dépend du type de particules à accélérer et de l'énergie ; elle doit être réglable à volonté.

b) Une particularité du cyclotron de Grenoble est l'utilisation de deux dés d'angle  $90^\circ$  environ. Deux modes de fonctionnement sont possibles :

*Mode 1* : les deux dés sont alimentés en opposition de phase. La fréquence de rotation de la particule est égale à la radiofréquence de la machine. Le gain d'énergie par tour est égal à  $4 V_0 \sin \alpha$ .

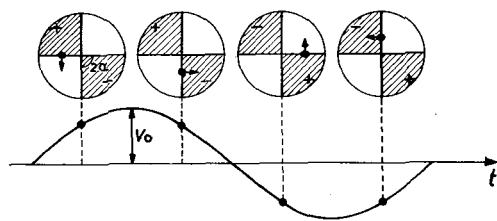


FIG. 1. — Fonctionnement en mode 1. Pour simplifier on a pris  $2\alpha = 90^\circ$ .

*Mode 2* : les deux dés sont alimentés en phase. La fréquence de rotation de la particule est la moitié de la radiofréquence de la machine. Le gain d'énergie par tour est égal à  $4 V_0$ . On peut accélérer deux paquets par tour.

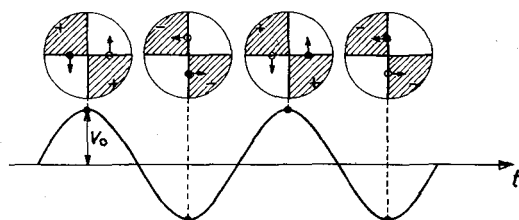


FIG. 2. — Fonctionnement en mode 2.

La figure 3 représente l'énergie atteinte au rayon d'extraction  $R = 0,88$  mètre, en fonction du carré de la radiofréquence, pour les différentes particules et les différents modes d'accélération. On notera les limitations en énergie : pour les protons sur le mode fondamental c'est la radiofréquence qui limite l'énergie maximale. Pour les autres particules c'est en général l'induction qui limite l'énergie maximale.

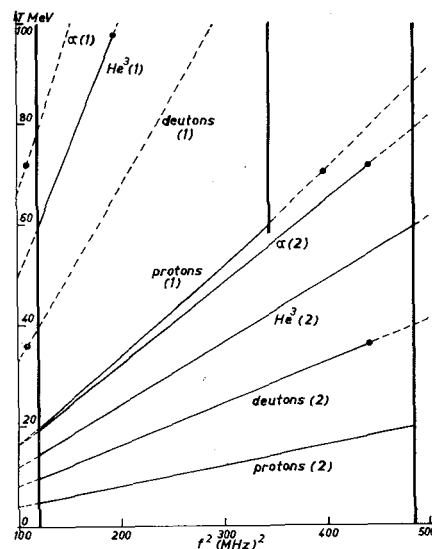


FIG. 3. — Energies des différentes particules au rayon d'extraction. Les lignes verticales représentent les limites imposées par la radiofréquence. Les points représentent les limites imposées par l'induction magnétique.

c) Le système d'extraction se compose d'un déflecteur électrostatique suivi d'un canal magnétique.

d) Le cyclotron de Grenoble fonctionne avec une source d'ions interne, mais il a été prévu d'injecter des ions, polarisés ou non, suivant l'axe vertical de la machine. C'est pourquoi, dès la construction de l'électro-aimant, un trou axial a été percé dans chacune des pièces polaires. L'étude de l'injection axiale est faite par la Faculté des Sciences de Grenoble [5].

e) Par suite d'un accord conclu entre l'Institut des Sciences Nucléaires de Grenoble et le Service de moyennes énergies du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, une source de protons polarisés semblable à celle qui fonctionne au cyclotron de 28 MeV de Saclay a été installée au-dessus du cyclotron de Grenoble. Les particules polarisées seront injectées axialement.

**Les faisceaux.** — Actuellement on peut diriger le faisceau externe du cyclotron vers diverses aires expérimentales (Fig. 4a).

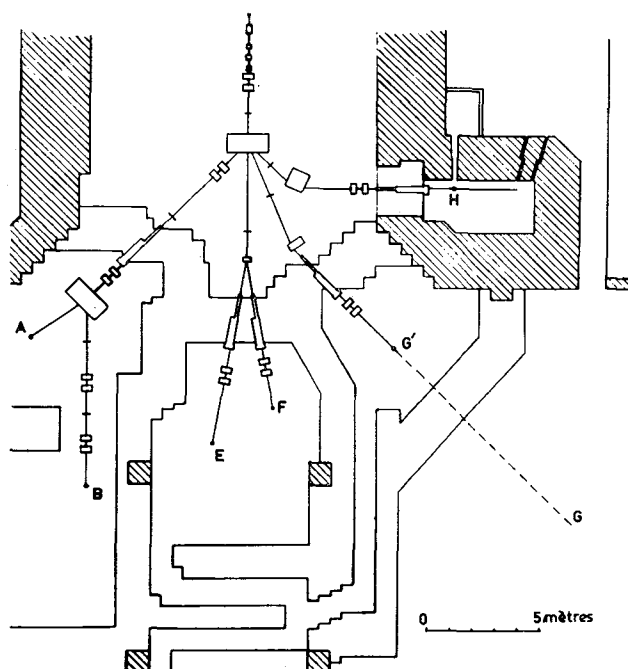


FIG. 4 a. — Etat actuel des faisceaux du cyclotron de Grenoble.

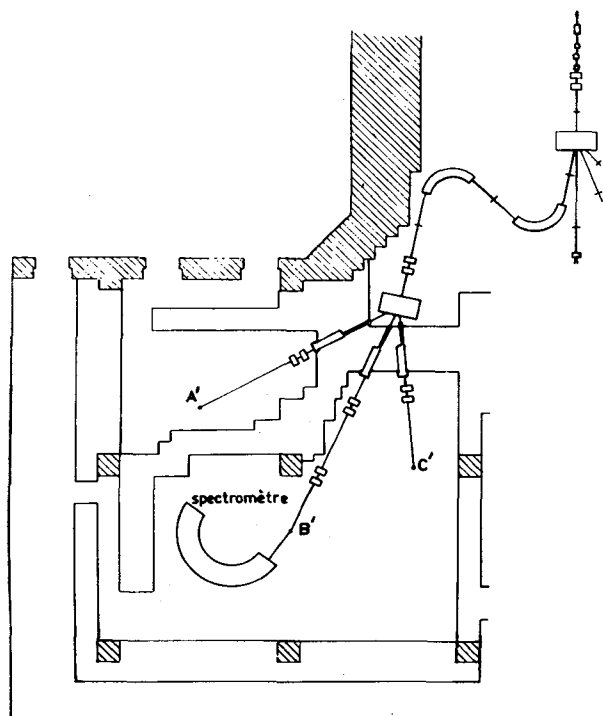


FIG. 4 b. — Projet d'analyse du faisceau au moyen de deux aimants de  $120^\circ$ . On a indiqué la position du spectromètre magnétique pour particules secondaires.

a) En H se trouve une cellule d'irradiation destinée à la production d'isotopes pour des études de spectroscopie nucléaire, ainsi qu'à des irradiations pour les chimistes, biologistes, métallurgistes, physiciens du solide.

b) G est une aire expérimentale située au-dessus d'une fosse de plusieurs mètres de profondeur fermée par un plancher métallique mince, destinée à des mesures de temps-de-vol de neutrons. Il est prévu de produire les neutrons au niveau du point G', qui provisoirement sera l'emplacement d'une chambre à diffusion pour des études de réactions nucléaires avec particules chargées.

c) F est un emplacement destiné à des expériences de spectroscopie  $\gamma$  sur faisceau : réactions  $(p; xn, \gamma)$ ,

d) E est destiné à des expériences avec particules polarisées sur cibles polarisées.

e) En A arrivera un faisceau de résolution moyenne ( $\Delta E/E$  de l'ordre de  $10^{-3}$ ), dans une chambre à diffusion de un mètre de diamètre capable d'une bonne définition des angles, pour des études de réactions nucléaires avec particules chargées. Le faisceau sera également transporté en B où sera installé un autre poste d'expériences pour réactions avec particules chargées.

Dans un avenir proche, la partie gauche de l'installation fera place à un système d'analyse du faisceau ( $\Delta E/E$  de l'ordre de  $2 \times 10^{-4}$ ). Ce système (Fig. 4b) sera composé de deux aimants d'angle de déviation  $120^\circ$ , d'indice nul et à faces d'entrée et de sortie inclinées. Le faisceau de bonne résolution pourra être dirigé vers trois postes A', B' et C'. Sur l'un d'entre eux, B', sera installé un spectromètre magnétique pour particules secondaires avec détection et localisation par chambre à étincelles.

**Programme expérimental.** — La principale utilisation du cyclotron de Grenoble va évidemment concerner la physique nucléaire. Les problèmes suivants seront abordés :

a) Etude de l'interaction nucléon-nucléon à moyenne énergie : détermination des paramètres de l'interaction (déphasages). L'utilisation de faisceaux de protons polarisés et de cibles de protons polarisés permettra d'étendre à des énergies plus élevées les expériences déjà faites à Saclay au cyclotron de 28 MeV. L'utilisation de faisceaux de neutrons, polarisés ou non, permettra de combler des lacunes dans les informations sur la diffusion neutron-proton. Il est aussi possible d'envisager des expériences du type nucléon + nucléon  $\rightarrow$  nucléon + nucléon + photon qui apportent des données sur la diffusion nucléon-nucléon en dehors de la couche de masse, données qui sont en particulier utiles pour aborder le problème à trois corps.

b) Problème à trois corps : par l'étude de réactions nucléon + deutérium, avec particules polarisées ou non.

c) Mécanismes des réactions nucléaires sur noyaux complexes : la connaissance du mécanisme des réactions nucléaires n'est pas seulement intéressante en soi, elle est nécessaire si l'on veut utiliser ces réactions comme un moyen d'étude de la structure des noyaux. On se propose d'examiner en particulier les mécanismes d'excitation multiple, les réactions de transfert de nucléon se faisant avec excitation du cœur, les réactions à plusieurs corps par processus séquentiels.

d) Spectroscopie nucléaire par réactions nucléaires : elle consiste à étudier par exemple les niveaux nucléaires à caractère collectif par diffusion inélastique de diverses particules, les états de particules (ou de quasi-particules) par des réactions de transfert d'un nucléon, comme (p, d), (d, p), (d, t), (d,  $^3\text{He}$ ), etc... ou de réactions de transfert de plusieurs nucléons, comme (p, t), (p,  $^3\text{He}$ ), ( $^3\text{He}$ , p), etc... Ce domaine deviendra intéressant surtout quand on disposera du système d'analyse à haute résolution et du spectromètre magnétique. On pourra séparer des niveaux nucléaires distants d'une dizaine de keV.

e) Spectroscopie nucléaire par l'étude des rayonnements  $\beta$  et surtout  $\gamma$  : des noyaux dont les propriétés sont encore mal connues peuvent être atteints par des réactions du type (p, xn). Le spectre de désexcitation de ces noyaux, étudié en  $\gamma$  grâce à la haute résolution des détecteurs au germanium ainsi qu'en électrons de conversion avec les spectromètres magnétiques de Grenoble, conduira, entre autres informations, au schéma de niveaux.

Ce genre d'expériences peut également se faire directement sur faisceau (pulsé dans le domaine de la microseconde), permettant alors la mise en évidence d'états isomériques.

**Etat actuel du cyclotron et de ses équipements.** — La réception du faisceau extrait a eu lieu en juillet dernier. Le cyclotron a fourni divers faisceaux externes de protons à des énergies comprises entre 19 et 50 MeV. L'intensité du faisceau extrait a atteint quelques micro-ampères à 50 MeV, la limitation étant due à la puissance maximale pouvant être dissipée par le système d'extraction. Le rendement de ce dernier peut

atteindre 60 et même 80 %. Comme l'intensité du faisceau interne peut être poussée jusqu'à 100 micro-ampères, on voit qu'une amélioration du système d'extraction est souhaitable.

Une des principales qualités demandées à un cyclotron de ce type est une grande souplesse dans les changements d'énergie. Les résultats sont satisfaisants. D'autre part des essais d'endurance ont été faits, qui consistaient à faire marcher le cyclotron pendant 24 heures à l'énergie maximale. Très peu d'interruptions ont été enregistrées.

Des essais d'accélération de particules  $\alpha$  ont été faits. A 45 MeV on a pu extraire un faisceau de 0,6 micro-ampère.

Le faisceau peut maintenant être dirigé vers les différentes aires expérimentales et des expériences simples vont pouvoir commencer. La salle de comptage est complètement installée. On y dispose, en plus de l'électronique conventionnelle, d'un bloc-mémoire de 4 096 canaux accompagné de ses périphériques et relié à un calculateur PDP 9 (8 K de mémoire, mots de 18 bits).

La source d'ions polarisés fournie par le centre de Saclay est installée. Dès que le problème de l'injection axiale sera résolu, le cyclotron pourra fournir des faisceaux de protons et de deutons polarisés. Le canal d'injection axiale est construit ainsi que le déflecteur d'injection. Les essais sont en cours.

Les deux aimants d'analyse du faisceau vont bientôt faire l'objet d'un marché. L'étude du spectromètre magnétique pour particules secondaires est à l'étude.

#### Références

- [1] Voir par exemple BRUCK (H.), Accélérateurs de particules. I. N. S. T. N. Saclay. Presses universitaires de France.
- [2] JEAN (R.), AUCOUTURIER (J.) et LEBOUTET (H.), *Annales Radioélectr.* 1966, **21**, n° 84.
- [3] International Conference on Sector-focused cyclotrons and meson factories, CERN, Avril 1963. Rapport CERN 63-19.
- [4] International Conference on isochronous Cyclotrons, Gatlinburg, Tennessee, 1966. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1966, NS-13, n° 4.
- [5] BELMONT (J. L.) et PABOT (J. L.), International Conference on isochronous Cyclotrons, Gatlinburg, Tennessee, 1966, voir [4], p. 191.