Méthodes permettant d'améliorer la structure en temps du faisceau externe du synchrocyclotron

A. Cabrespine

► To cite this version:

A. Cabrespine. Méthodes permettant d'améliorer la structure en temps du faisceau externe du synchrocyclotron. J. Phys. Radium, 1960, 21 (5), pp.332-337. 10.1051/jphysrad:01960002105033200 . jpa-00236251

HAL Id: jpa-00236251

<https://hal.science/jpa-00236251>

Submitted on 1 Jan 1960

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.

MÉTHODES PERMETTANT D'AMÉLIORER LA STRUCTURE EN TEMPS DU FAISCEAU EXTERNE DU SYNCHROCYCLOTRON

par A. CABRESPINE,

Laboratoire de Physique Nucléaire, Faculté des Sciences, Orsay.

Résumé. — Le but recherché était de modifier la distribution dans le temps du faisceau externe du synchrocyclotron afin d'augmenter le rendement des appareils de mesure des particules. La fréquence de répétition des impulsions a pu être portée de 450 par seconde à 40 000 et il n'y a pratiquement plus de « temps mort ».

Abstract. — The object was to modify the time distribution of the synchrocyclotron external beam in order to increase the yield of particle measurement devices. The pulse repetition frequency was raised from 450 per second to 40 000 per second, and there are practically no more « dead times ».

Pour améliorer les conditions d'utilisation du faisceau externe du synchrocyclotron dans les expériences de Physique nucléaire, nous avons été amené à faire un certain nombre d'expériences permettant d'augmenter le nombre de jets de particules et de modifier leur durée.

Les dispositifs étudiés sur le synchrocyclotron d'Orsay sont utilisables sur tous les synchrocyclotrons à faisceau extrait et leur donnent les avantages des appareils à faisceaux continus, ce qui augmente beaucoup l'intérêt de ces machines.

FIG. 1. — Programme de fréquences principal du synchrocyclotron d'Orsay.

Le synchrocyclotron d'Orsay accélère des protons à 157 MeV à l'aide d'une tension haute fréquence modulée de 20,2 à 25,2 MHz. Cette tension est fournie par un oscillateur de type grille à la masse (fig. 1 de l'exposé de M. Teillac, ci-dessus p. 308). La modulation de fréquence est obtenue grâce à un condensateur rotatif. La courbe de modulation est à peu près parfaitement sinusoïdale et il n'y a pratiquement pas de modulation d'amplitude superposée (fig. 1).

L'extraction du faisceau est obtenue à l'aide d'un dispositif à régénérateur et canal magnétique [1].

Les impulsions de faisceau externe ont une durée d'environ 25 μ s toutes les 2 200 μ s. Le facteur d'utilisation du temps est donc faible (1 % environ), ce qui conduit à de très longues durées d'expériences de physique nucléaire.

À la demande des physiciens utilisant le faisceau externe, nous nous sommes proposé de trouver des méthodes permettant de diminuer la durée des expériences et d'augmenter la précision statistique obtenue. Or, M. Keller, dans son projet d'accélérateur stochastique [2], [3], [4] suggérait justement une méthode comportant l'arrêt du programme principal d'accélération avant la sortie de faisceau et l'emploi d'une électrode auxiliaire pour faire une sortie stochastique sur le synchrocyclotron.

Une première série d'expériences portant sur la modulation d'amplitude du programme principal nous a permis d'augmenter le nombre d'impulsions et de nous rendre compte de l'importance primordiale de la fréquence d'admission des ions et de la fréquence de sortie. Une deuxième série d'expériences avec modulation du programme principal et établissement d'une accélération supplémentaire agissant sur les derniers tours de trajectoires a permis d'atteindre le but visé.

I. Modulation d'amplitude du programme principal. — 1) DESCRIPTION DU DISPOSITIF UTILISÉ.

— Nous avons projeté d'abord d'utiliser le système de modulation par absorption qui avait été employé autrefois en radiodiffusion. Ce dispositif est le seul qui introduise l'amortissement convenable permettant au résonateur coaxial d'avoir la bande passante nécessaire. Des essais sur un modèle réduit de l'autooscillateur ont montré qu'on peut obtenir ainsi une modulation d'amplitude de 0 à 100 % avec une réponse instantanée. Cependant, à cause de sa plus grande facilité de

réalisation, le dispositif qui a été retenu est un modulateur agissant sur la grille de l'oscillateur. La grille est à la masse en H. F. mais on peut modifier sa polarisation au rythme d'une modulation B. F. Ce système présente deux inconvénients : a) le seul type de modulation utilisable est une modulation par tout ou rien, obtenue en appli-

quant des tensions en forme de créneaux négatifs sur la grille. b) Étant donné le grand coefficient de surtension du résonateur, celui-ci ne s'arrête pas instantanément d'osciller quand la lampe est bloquée ; inversement lorsque la lampe est débloquée, la tension monte progressivement sur le « D ». Malgré ces limitations, ce modulateur a été con-

FIG. 2. — Modulateur.

servé car il a l'avantage d'être extérieur à la machine — il a pu être installé dans la salle de commande — et la puissance nécessaire est faible.

Le schéma théorique du modulateur utilisé est représenté figure 2 ; il comprend :

a) *Un dispositif donnant l'origine des phases* : celle-ci est déterminée par le passage du programme principal à la fréquence maximum (25,2 MHz). On a successivement : un étage d'amplification H. F. ; un étage changeur de fréquence avec oscillateur local réglé sur 20 MHz ; un amplificateur de fréquence intermédiaire 5,2 MHz à deux étages, dont le 2^e fonctionnant en limiteur ; un détecteur ; un amplificateur B. F. et un étage « trigger ».

Ce dispositif fonctionne parfaitement mais il est assez compliqué et il a pour inconvénient que toute modification de la bande de fréquences couverte par l'oscillateur du synchrocyclotron exige

un nouveau réglage de l'oscillateur local. Il doit être remplacé ultérieurement par un système beaucoup plus simple à spot et cellule photoélectrique commandé par la rotation des pales du condensateur tournant.

b) *Un déphaseur* réglable permettant de retarder l'impulsion de commande.

c) *Un univibrateur* donnant des créneaux de largeur réglable et suivi d'un étage amplificateur de puissance permet enfin d'appliquer des tensions en créneaux négatifs de 900 volts aux bornes de la résistance de polarisation de grille de 1 500 ohms de l'auto-oscillateur.

2) EXPÉRIENCES. — La figure 1 représente le programme principal H. F. du synchrocyclotron. Avec les réglages habituels l'impulsion de faisceau sort à l'instant t_1 c'est-à-dire au moment où la

valeur instantanée de la fréquence est 20,55 MHz. En réalité l'impulsion durant 25 μ s la fréquence varie d'environ 100 KHz pendant le temps de sortie. Pour simplifier nous appellerons fréquence de sortie fs sa valeur moyenne pendant la sortie de l'impulsion. Un deuxième passage à la valeur fs se produit à l'instant t_2 .

a) Si l'on empêche l'impulsion de sortir à l'instant t_1 en arrêtant la H. F. à ce moment-là, l'impulsion sort alors à l'instant t_2 . Si la coupure du programme H. F. partage l'impulsion normale en 2, il sort alors 2 impulsions l'une en t_1 l'autre en t_2 .

FIG. 3. — a. Impulsions normales.
b. Programme de fréquence principal.
c. Impulsions dédoublées..
d. Programme permettant d'obtenir les impulsions dédoublées.

FIG. 4. — a. Programme donnant 4 impulsions principales.
b. Impulsions de faisceau quadruplées.
c. Programme donnant des triplets d'impulsions.
d. Impulsions triplées.

On a $t_2 - t_1 = 250 \mu$ s et on a vérifié que le déplacement d'ensemble du programme de fréquences vers les fréquences plus élevées diminue cet écart et qu'au contraire le déplacement vers les fréquences plus basses l'augmente.

La figure 3 montre les impulsions observées à l'oscillographe grâce à un cristal d'iodure de sodium placé devant un photomultiplicateur. Le balayage est déclenché par le marqueur de phase et l'échelle des temps est indiquée. La première vue montre les

impulsions normales et la deuxième les impulsions dédoublées et la H. F. modulée correspondante.

b) On peut obtenir 3 impulsions en plaçant la coupure dans une phase convenable et en lui donnant une durée de 80 à 170 μ s. La 3^e impulsion apparaît alors entre les deux déjà vues. Cette impulsion supplémentaire est due au phénomène transitoire se produisant lorsque l'oscillateur est débloqué (fig. 4).

c) En augmentant la largeur de la coupure du programme H. F. jusqu'à 350 μ s on peut obtenir 4 impulsions principales et quelques autres plus faibles. Ces impulsions sont réparties sur plus de 600 μ s (fig. 4). Ce dispositif a été utilisé pendant plusieurs semaines, il demande une grande précision de la phase de la coupure par rapport à l'impulsion normale.

d) Si la coupure du programme H. F. est faite après la sortie de l'impulsion normale rien ne se produit sauf si l'on atteint la fréquence d'admission des ions, cas dans lequel le faisceau est arrêté.

e) Enfin, en bloquant l'oscillateur H. F. de façon à encadrer t_1 et t_2 par une coupure d'au moins 350 μ s le faisceau ne sort plus de la chambre mais le faisceau interne reste le même. Par ce procédé un faisceau peut être stocké près du rayon de sortie [5], [6].

f) Nous avons essayé aussi de déterminer l'influence de la forme de la variation de fréquence sur la largeur de l'impulsion. En diminuant l'induction on provoque une translation de fs vers les fréquences plus basses et vers la région où la pente de la courbe de modulation diminue. On note alors un élargissement de l'impulsion jusqu'au double de sa durée normale. En continuant à baisser l'induction cette largeur diminue à nouveau puis le faisceau ne sort plus. Le courant normal dans les bobines de l'électro-aimant étant de 642 A, c'est pour un courant de 632 A que l'impulsion est la plus large. Ceci se justifie par le fait que dans ce cas l'intervalle de fréquence de sortie de 100 KHz s'étend sur une durée beaucoup plus grande que dans le réglage normal.

3) CONCLUSIONS. — a) Il est possible d'améliorer la structure en temps du faisceau externe en agissant seulement sur la modulation de l'oscillateur.

b) La fréquence d'admission des ions et la fréquence de sortie ont toutes deux une importance primordiale.

c) Il est possible d'empêcher le faisceau de sortir par modulation du programme H. F.

II. Programme auxiliaire d'accélération. — A) DESCRIPTION DU DISPOSITIF UTILISÉ. — a) Une électrode auxiliaire d'accélération en forme de C a été introduite dans la chambre d'accélération comme indiqué sur la figure 5. L'étendue angu-

laire (52 degrés) de ce « C » a été déterminée par la place restant disponible dans la chambre. Dans ces conditions la tension effective d'accélération est à peu près la moitié de la tension appliquée de

FIG. 5. — Synchrocyclotron d'Orsay. Plan de la chambre d'accélération après introduction de l'électrode auxiliaire.

sorte que le gain maximum à chaque tour est égal à la tension appliquée. La largeur et la position de cette électrode ont été choisies en tenant compte de l'amplitude des oscillations radiales et du tracé des dernières trajectoires (M. Verster [1])

Une tension H. F. peut être appliquée à l'électrode grâce à une connexion au travers d'un isolateur en quartz. Il est à noter que le « C » repose dans la chambre sur des bâtons de quartz les tensions appliquées étant assez faibles.

b) Un résonateur à tubes coaxiaux terminés par un court-circuit permet d'appliquer la tension H. F. sur le « C ». La bande de fréquence maximum que nous avons prévue est de 500 KHz ce qui impose un coefficient de surtension relativement faible du résonateur. L'amortissement convenable a été obtenu simplement en prenant comme tube intérieur du système coaxial un tube en acier (tube d'eau de 24 mm de diamètre). Un autre tube placé à l'intérieur de celui-ci permet d'assurer le refroidissement par circulation d'eau. Le choix du tube en acier est justifié par le fait que la résistance H. F. d'un conducteur cylindrique de diamètre D (cm) est :

$$R = (2/D) \sqrt{\rho_{\text{p.u.f}}/10^9} \quad \text{ohm par cm de longueur}$$

elle est donc proportionnelle à la racine carrée du produit de sa perméabilité magnétique μ par sa résistivité ρ ce qui incite lorsqu'on veut des résistances élevées à choisir des métaux magnétiques.

La transmission de l'énergie H. F. au résonateur est faite grâce à un câble coaxial de 75Ω (GM 75) débitant sur une boucle de couplage ramenant l'impédance caractéristique du câble.

FIG. 6. — Générateur H. F. auxiliaire. Lc, self d'arrêt H. F. ; Cd, découplage, 1 000 à 2 000 pF.

c) *Un générateur H. F.* pouvant débiter une puissance de 3 kW alimente le câble coaxial. C'est un appareil à amplificateur dont le schéma de principe est donné figure 6, il comprend : une lampe EL34 montée en oscillateur doubleur de fréquence modulée par une lampe à réactance EL86 de 20,5 à 21 MHz ; un 1^{er} étage intermédiaire avec un tube EL34 ; un 2^e étage intermédiaire avec un tube 813 ; l'étage de puissance équipé d'une tétrode Philips à refroidissement par eau : QBW5/3 500. La modulation de fréquence est obtenue en commandant la grille de la lampe à réactance ; les différents circuits H. F. sont très amortis de façon à obtenir la bande passante cherchée allant de 20,5 à 21 MHz.

Remarques. — Un montage auto-oscillateur modulé par ferrites est en cours d'étude. La bande passante peut être réduite à une centaine de KHz mais nous avons préféré conserver la possibilité de pouvoir faire varier dans d'assez grandes limites l'excursion de fréquence pour faire des expériences.

B) EXPÉRIENCES. — a) Si on applique simultanément le programme principal de fréquence et le programme auxiliaire le fonctionnement n'est pratiquement pas perturbé, les impulsions sortent toujours toutes les 2 200 μ s.

FIG. 7. — a. Programme principal de HF
b. Impulsions synchrones à 10 000 Hz
c. Impulsions synchrones à 10 000 Hz
d. Impulsions synchrones à 30 000 Hz.

b) Si on se place par contre dans le cas où par modulation grille on bloque l'oscillateur de façon que le faisceau ne puisse pas sortir de la chambre d'accélération et qu'on applique simultanément le programme auxiliaire on peut obtenir alors des régimes synchrocyclotroniques à fréquence élevée

ou des régimes stochastiques. Dans tous les cas les impulsions sont réparties sur toute la période de 2 200 μ s. La photographie de la figure 7 montre des impulsions de faisceau sortant en régime synchrocyclotronique à 10 000 Hz, 20 000 Hz et 30 000 Hz. L'influence des différents paramètres a été étudiée au cours d'un certain nombre d'essais, d'autres expériences sont actuellement projetées.

1. *Influence de la phase de la coupure du programme principal.* — Quand on déplace cette coupure dans le sens des avances de phase on observe d'abord un fonctionnement synchrocyclotronique (jusqu'à 25-30 kHz au moins) puis la sortie des impulsions de faisceau devient de plus en plus probabiliste.

L'intensité du faisceau, mesurée à l'aide d'une chambre à ionisation proportionnelle et d'un intégrateur, est de 50 % de sa valeur sans modulation, quand la phase de la coupure fait apparaître la multiplication des impulsions. Elle s'abaisse ensuite progressivement quand on avance la phase de la coupure. On se contente d'un rendement de 20 à 25 % correspondant à une modulation d'intensité négligeable pendant la période de 2 200 μ s.

2. *Influence de la largeur de la coupure.* — Au minimum la coupure doit encadrer les 2 fréquences fs, l'augmentation de cette largeur n'a pas d'intérêt de sorte qu'en réalisation définitive son réglage pourra être fixe.

3. *Influence de l'excursion de fréquence du programme auxiliaire.* — On note un fonctionnement satisfaisant du dispositif pour des excursions plus faibles que 500 KHz mais pour des excursions de quelques dizaines de KHz le rendement baisse beaucoup et s'annule lorsqu'on est à fréquence fixe. Dans ces expériences l'excursion de fréquence va de 20,55 MHz jusqu'à une fréquence supérieure qui a pour valeur minimum celle qui correspond à la coupure du programme principal. Pratiquement une excursion de l'ordre de 2 à 300 KHz est suffisante, ce sont les conditions de stabilité qui seront déterminantes.

4. *Influence de la tension H. F.* — L'influence de l'amplitude de la tension H. F. d'accélération a été étudiée, on trouve une tension optimum pour un régime donné. Ceci nous a amené à choisir une tension sur l'électrode auxiliaire de 3 à 4 kV efficaces.

5. *Influence de la fréquence de modulation.* — Quand on augmente la fréquence de modulation on observe un rétrécissement de la zone de fonctionnement en synchrocyclotron ce qui s'explique par le fait que le synchronisme est alors plus vite perdu par les particules. Pour des fréquences supérieures à 80 KHz dans les conditions de l'expérience ($V_{H.F.} = 3$ kV eff., $F = 0,5$ MHz) il n'y a presque plus de particules qui sortent. Pratiquement la fréquence retenue est de 30 à 40 KHz.

6. *Influence de la forme de la modulation.* — Un

essai de modulation de fréquence du programme auxiliaire par une tension en dents de scie a été fait, d'autres formes de modulation vont être essayées pour élargir les impulsions et essayer d'arriver à une sortie parfaitement continue.

7. *Influence de la pression dans la chambre d'accélération.* — Comme on pouvait s'y attendre les plus grosses intensités moyennes sont obtenues avec des pressions dans la chambre aussi faibles que possible ce qui s'explique par l'allongement de la durée de vie moyenne des particules stockées sur les dernières trajectoires.

8. *Influence du régime de fonctionnement de la source d'ions.* — Les conditions de fonctionnement de la source d'ions qui sont bonnes pour le faisceau normal, le sont également avec le nouveau dispositif. En particulier une intensité moyenne de faisceau particulièrement stable a été obtenue avec

la source à cathode froide alimentée en impulsions de 100 μ s.

C) CONCLUSIONS. — Les différentes expériences faites jusqu'à présent ne nous ont pas permis d'obtenir un faisceau véritablement continu, mais les fréquences de répétition des jets d'impulsions sont telles, que le facteur d'utilisation a pu être multiplié par plus de 20. Le fait que les impulsions de faisceau semblent avoir une durée qui dépend du temps pendant lequel on se trouve dans le domaine de fréquences de sortie de 100 KHz incite à augmenter ce temps, c'est-à-dire à employer des formes particulières de modulation.

Nous remercions MM. Keller et Dick ainsi que M. Verster pour les conseils et encouragements qu'ils ont bien voulu nous donner.

BIBLIOGRAPHIE

[1] VERSTER (M. F.), Symposium C. E. R. N., 1956, 153 ;
<i>Revue Technique Philips</i> , à paraître.	[4] KELLER (R.), Int. Conf. on high energy accelerators
and instrumentation, C. E. R. N., 1959, 187.
[2] KELLER (R.) et SCHMITTER (K. H.), C. E. R. N., 1958,
58, 13.	[5] CRAWFORD (F. S.) Jr, and WARREN FENTON STUBBINS,
U. C. R. L., 1956, 3463.
[3] KELLER (R.), DICK (L.), FIDECARO (M.), C. R., 1959,
248, 3154.	[6] SYMON (K. R.) and SESSLER (A. M.), Symposium
C. E. R. N., 1956, 44.
-