



Accélérateurs et Sources d'ions

Depuis le rapport précédent, les activités des deux services Accélérateurs et Sources d'ions se sont diversifiées, les collaborations tant en France qu'internationales sont plus nombreuses.

Les domaines d'interventions sont multiples : physique des réacteurs, des hautes énergies, des ions radioactifs, oncologie, électronique. Cela n'a pas empêché les deux groupes de participer à des projets communs comme SPIRAL 2, la Hadronthérapie...

Pour le SSI, le fait marquant a été sans conteste l'installation des deux bancs de sources dans le nouveau hall aménagé à l'emplacement des aires d'expériences de SARA.

La source PHOENIX 28 GHz équipée d'un nouveau gyrotron a montré la pertinence de l'accroissement en fréquence pour les sources ECR, pour les ions Pb^{25+} de forte intensité destinés au LHC au CERN. Pour les projets concernant les ions radioactifs, le multiplicateur de charge PHOENIX booster a été installé à TRIUMF au Canada, sur ISOLDE au CERN, le banc du laboratoire est destiné aux études pour le projet SPIRAL. Dans ce même cadre, le service développe des sources pour les ions « légers » du faisceau primaire.

Le service accélérateur a poursuivi ses activités sur les générateurs de neutrons pulsés. GENEPI 1 à Cadarache a permis, c'est une première, de contrôler le réacteur MASURCA tandis que GENEPI 2 vient de démarrer au LPSC pour les premières expériences sur PEREN.

La récente orientation du service dans le domaine de la radiofréquence des accélérateurs, commencée en collaboration avec le CEA pour IPHI et les protons de haute intensité se poursuit avec les coupleurs des cavités supraconductrices du linac de SPIRAL 2, les projets de cavité à température normale pour les accélérateurs de protons pulsés de haute intensité (HIPPI) au CERN.

Dans le domaine de la dynamique de faisceau, le service contribue à SPIRAL 2 et collabore avec THOMSON pour des canons à électrons des tubes de télévision.

Pour le projet ETOILE d'hadronthérapie par ions carbone, les activités se poursuivent et portent sur des études complémentaires (scénario industriel, bras isocentrique, organisation) en l'attente de décision.

Accélérateurs

► Projet ETOILE d'hadronthérapie par ions carbone

J.-M. De Conto, J. Collot. Collaboration Université Claude Bernard Lyon 1/Université Joseph Fourier/IN2P3/CEA-DSM

An expertise of the european projects is under way to optimize the collaborations around the Rhône-Alpes hadrontherapy project. They will be followed by additionnal technical studies.

Ce centre de traitement des tumeurs cancéreuses sera basé sur un synchrotron accélérant les ions carbonés jusqu'à une énergie finale de 400 MeV/uma, ce qui correspond à une pénétration de 27 cm dans les tissus. Trois salles de traitement sont prévues, avec, en option pour l'une d'elles, une tête rotative isocentrique. Le budget du centre est de 88 M€ hors taxes (prix novembre 2001) pour le scénario avec tête rotative. L'année 2001 s'était terminée par la présentation de l'avant-projet sommaire aux autorités régionales.

ETOILE présente de nombreux points communs avec les projets allemand (Heidelberg) et italien (Pavie) en termes de sous-ensembles. L'injecteur est commun, le synchrotron est celui adopté par les Italiens, la distribution du faisceau aux salles est voisine du système allemand, par exemple.

Un groupe d'expertise UCBL/CEA/ESRF/IN2P3/IPNL a été mis en place courant 2003. Sa principale mission est d'analyser les projets d'Heidelberg et Pavie, notamment au niveau du synchrotron, de façon à guider, du point de vue technique, les futures décisions de collaboration qui devraient être prises rapidement par la direction du projet. L'objectif est de bénéficier au maximum des études détaillées déjà menées par les autres projets en termes de délais, de coûts et de dossiers d'appels d'offre. La seconde mission, prévue pour 2004, portera sur des études techniques complémentaires et l'aide à la définition de l'organisation de la future équipe projet.

► SPIRAL

Service Accélérateur, SSI, SERM. Collaborations IPNO, CEA/DSM/SACM, CEA/DIF/DPTA/SP2A, GANIL.

LPSC is involved in SPIRAL2 project, for ion sources, RF couplers design, beam dynamics and project coordination.

Durant l'année 2003, le LPSC a apporté une contribution à l'avant-projet détaillé (APD) de SPIRAL 2, au niveau des sources (deutons, ions légers, transformation d'état de charge « $1+/n+$ »), de la dynamique de faisceau, des coupleurs de puissance pour les cavités supraconductrices ainsi qu'au niveau de la coordination de la section « accélérateur » du projet.

Accélérateur : Dynamique de Faisceau pour SPIRAL2

J.-M. De Conto, E. Froidefond. Collaborations CEA/DSM/SACM, GANIL, IPNO

High Energy Beam Transport design, as well as interaction with residual gas have been studied. The design of a density uniformization system has been made.

La contribution du LPSC porte sur la définition des lignes de distribution du faisceau primaire, et notamment dans le cas des deutons de 40 MeV à 5 mA moyens. La simu-

lution particulière a permis de valider les structures proposées par le GANIL. L'étude du grossissement d'émittance ainsi que de l'échange de charge a montré que ces phénomènes sont négligeables dans l'accélérateur linéaire supraconducteur (là où les pertes deviennent inacceptables). D'autre part, une structure basée sur des éléments de focalisation non-linéaires (octupôles) a été proposée pour uniformiser la distribution de puissance sur la cible (dans le plan vertical uniquement).

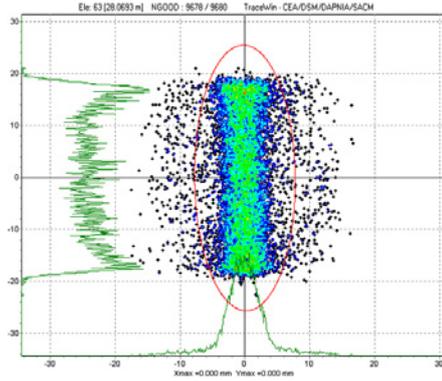


Figure 1 : Distribution du faisceau sur la cible, uniformisée en vertical. La cible tourne selon un axe vertical et le dépôt de puissance est alors homogène dans les deux dimensions.

Coupleurs de puissance des cavités supraconductrices de SPIRAL 2

M. Fruneau, J.-M. De Conto, A. Garrigue, Y. Gomez-Martinez, E. Vernay, F. Vezzu
Collaboration P. Balleyguier (CEA/DIF/DPTA/SP2A Bruyères le Chatel)

RF power couplers for the superconducting linac of Spiral 2 are under development. RF and thermal calculations for the 88 MHz, quarter-wave resonators have been made. Issues of the critical points of the coupler design have been studied.

Les coupleurs servent à transférer la puissance RF des amplificateurs aux cavités accélératrices supraconductrices des cryomodules de l'accélérateur de deutons. Ils doivent assurer ce transfert depuis la température ambiante jusqu'à 4 K et l'étanchéité entre le vide de l'accélérateur et l'atmosphère. De plus, ils peuvent éventuellement permettre un couplage variable pour une bonne adaptation de l'amplificateur aux cavités en fonction de la tension d'accélération demandée et de l'intensité du faisceau.

Dans une première étape, les coupleurs ont été prévus pour des cavités demi-onde à 176 MHz, puis pour des cavités quart d'onde à 88 MHz.

L'étude initiale, inspirée de celle de TESLA, basée dans notre cas sur l'utilisation d'une seule fenêtre cylindrique en alumine à température ambiante, assurant l'étanchéité entre l'atmosphère et le vide, a été reprise pour satisfaire ces nouvelles conditions. Le conducteur central en cuivre est à la température ambiante et son enfoncement variable dans le résonateur modifie le couplage. Un soufflet sur le conducteur externe permet le déplacement du conducteur central du coupleur et du connecteur RF. Le conducteur externe et le soufflet sont en acier inoxydable cuivré électrochimiquement.

Les études RF sur le couplage ont été menées simultanément au LPSC avec le logiciel HFSS et à Bruyères le Chatel avec le logiciel MAFIA. À partir de ces calculs, les études thermiques aux conditions maximum de puissance ont montré que la température de l'extrémité d'antenne pouvait atteindre 330 K. Des études préliminaires, dans une géométrie cylindrique ont montré que le risque de multipactor pouvait être exclu. Après concertation avec des entreprises pour la partie mécanique et pour le cuivrage, les processus de fabrication et les tests préliminaires ont été définis pour la réalisation des éléments les plus critiques d'un premier coupleur prototype courant 2004. Des tests en puissance sont prévus début 2005 sur un banc qui devra être étudié et financé.

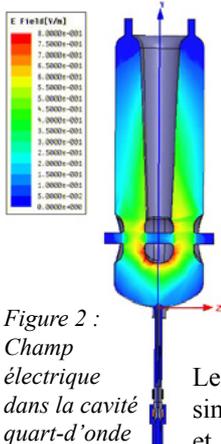


Figure 2 : Champ électrique dans la cavité quart-d'onde à 88 MHz.

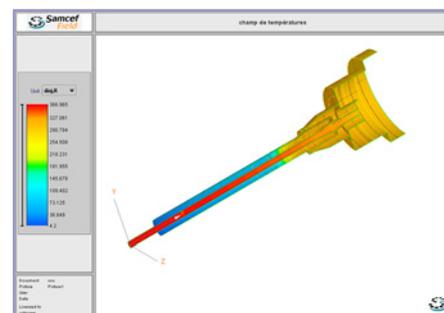


Figure 3 : Températures dans le coupleur.

► Accélérateurs de protons pulsés de haute intensité

M. Fruneau, J.-M. De Conto, Y. Gomez-Martinez. Collaboration CEA/CERN/IAP-FU/IN2P3/INFN/RAL/GSI

LPSC participates to the HIPPI Joint Research Activity, within the 6th European Framework Programme, in the RF and beam dynamics domains.

L'année 2003 a vu la mise en place de l'activité associée (Joint Research Activity) HIPPI (High Power Pulsed Proton Injector) dans le cadre du 6^e PCRD, et qui se déroulera sur cinq ans. Le LPSC aura pour charge la coordination du lot de travaux (Work Package) numéro 2 portant sur les structures accélératrices à température ambiante. Les contributions scientifiques prévues portent sur la conception d'un nouveau type de cavité, pour lequel une thèse est prévue, une contribution à la suite des études commencées sur le DTL d'IPHI, les coupleurs pour cavités supraconductrices, et la dynamique de faisceau.

► Collaboration avec Thomson Tubes and Displays

J.-M. De Conto, R. Poux (stagiaire DESS), Thomson Tubes and Displays (Genlis)

An industrial collaboration has been set up with Thomson Tubes and Displays for modelling and optimizing electrons guns for television tubes.

Une collaboration a été entreprise autour de la modélisation des canons à électrons de tubes image de télévision. En 2002, une formation à l'optique électronique a été donnée aux ingénieurs de Thomson à Genlis (Côte d'Or). En 2003, un stage de DESS a porté sur la modélisation de la zone de formation du faisceau, qui intègre la thermique de la cathode (énergie initiale des électrons), la charge d'espace longitudinale et transverse (qui caractérise le courant extrait) et la focalisation des premières électrodes. Ce premier modèle, qui a permis de définir les conditions initiales du faisceau, et de reproduire les mesures, devra être étendu au canon complet, et jusqu'à l'écran. Cette étude demandera la modélisation d'éléments complexes (lentilles multi-faisceau) et devra intégrer les non-linéarités. Cette collaboration sera basée sur une thèse CIFRE et un accord de collaboration.

► IPHI : tests en puissance de la maquette du DTL

*M. Fruneau, J.-M. Carreta, J.-M. De Conto, A. Fontenille, E. Froidefond, M.-L. Lombard, D. Marchand, R. Micoud, G. Pétryszyn, M. Planet, J.-C. Ravel, SREM, P. Balleyguier^a, G. Congretel^a, P.-E. Bernaudin^b, R. Hajdas^c, E. Montesinos^c, M. Vretenar^c
Collaborations ^aCEA/DIF/DPTA/SP2A Bruyères le Chatel, ^bCEA/DAPNIA/SACM Saclay, ^cCERN/AB/RF*

High power tests of the short DTL model have been done in a test vault at CERN Geneva. The model has been built by the CEA and the 50 kW 352 MHz amplifier has been provided by the CERN. The LPSC was in charge of the installation, data logging and RF control and measurements. After power conditioning, 43 kW were delivered to the cavity. Accelerating voltage measurements by the end point of the X rays proved to be effective up to 30 kW.

Introduction

Le projet IPHI (Injecteur de Protons de Haute Intensité) est un projet CEA-IN2P3/CNRS concernant la partie basse énergie pour des accélérateurs de protons, pouvant atteindre 1 GeV, plusieurs dizaines de mA continus, dans le cadre de plusieurs applications : réacteurs commandés par accélérateurs, incinérateurs, sources de spallation, production d'ions exotiques.

Dans cet ensemble, un accélérateur linéaire à 352 MHz de type DTL (Drift Tube Linac) amène le faisceau de 5 MeV à 11 MeV. Il comporte 51 tubes de glissement. Une maquette comportant 3 tubes de glissement équipés de quadripôles a été réalisée par le CEA pour valider les solutions techniques retenues pour le DTL à partir d'essais en puissance RF en continu sans faisceau : acier inoxydable cuivré intérieurement et extérieurement, répartition des circuits de refroidissement, joints RF.

Un tube de glissement vide et deux tubes de glissement équipés de modèles différents de quadripôles (à conducteurs creux et à conducteurs pleins) ont servi à comparer ces deux technologies.

Après des essais à basse puissance à Saclay, la maquette a été testée, sur une place-test aménagée dans le hall du CERN/PS équipée d'un générateur 50 kW à tétrode.

Dans le cadre d'un accord entre le CEA, l'IN2P3 et le CERN, le LPSC a eu la charge de l'implantation au CERN, de réalisation de la partie RF à bas niveau, des mesures des tensions accélératrices, de l'acquisition des paramètres RF et thermiques et des mesures de déplacement des tubes de glissement. Conjointement avec le groupe du CEA, le LPSC a participé à la campagne de mesures

Installation

Le LPSC a étudié et réalisé l'implantation au CERN de la maquette : supports, raccordements aux fenêtres et guides 352 MHz, outillages de manutention et centrage des tubes de glissement, circuits de refroidissement, construction de la casemate et de la porte blindée, câblages, intégration des mesures de déplacement et de tension.

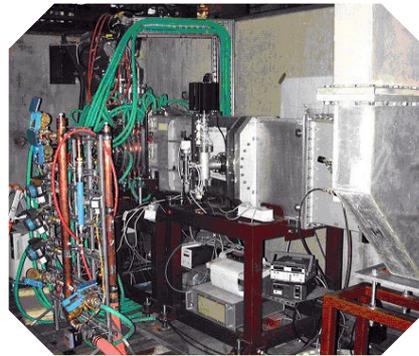


Figure 4 :
La maquette
du DTL dans
la place-test
au CERN.

Acquisition

Le système d'acquisition des mesures réalisé sous Labview et contrôlé par PC, a permis la mesure des températures par thermocouples de tous les points critiques de la maquette, des paramètres RF (fréquence, niveaux et puissances), des débits hydrauliques ainsi que des tensions et courants des quadripôles. Il a été très utile dans la vérification des puissances et dans la validation des solutions retenues pour le refroidissement de la cavité et des quadripôles.

RF bas niveau

Les régulations d'accord de fréquence, de niveau, les mesures RF et les dispositifs de pulsation pour le conditionnement en puissance de la cavité ont été testés sur une maquette simple (pill-box) à bas niveau au laboratoire. Cet ensemble a ensuite été inséré dans la chaîne de puissance au CERN.

Campagne de mesures

Après mise en place et tests sous vide à 300 W de la maquette et contrôle des asservissements, l'amplificateur 50 kW préalablement remis en service et testé sur charge à eau a été raccordé à la maquette. La montée en puissance en pulsé à 40 kW puis le passage progressif en continu ont pu être faits après reprise de l'étanchéité et de la géométrie d'un des tubes de glissements. Les essais en puissance ont permis de valider la tenue en tension des tubes accélérateurs, la technologie de la maquette et de retenir la technologie des quadripôles à conducteurs pleins.

Mesure des tensions accélératrices

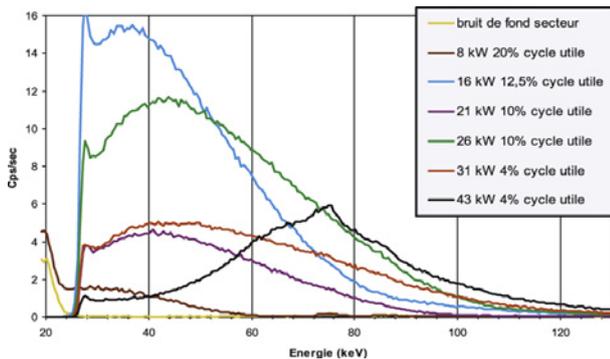


Figure 5 : mesure des tensions par l'énergie maxi des X.

Indépendamment des prises de tension étalonées du résonateur, une mesure par détecteurs Germanium de l'énergie maximum des rayons X émis dans les espaces accélérateurs a permis la mesure directe des tensions accélératrices et de contrôler les paramètres RF de la cavité. À moins de 30 kW de puissance crête, les mesures de tensions sont bien exploitables et montrent la pertinence de la méthode. Cependant au-delà, le flux de rayons X est trop important pour la détection. Une collimation et un blindage réduisent ce taux mais entraînent la production de rayonnement de freinage qui dégrade la linéarité. L'éloignement

du détecteur qui aurait permis de pallier cet inconvénient n'a pas été possible en raison des dimensions réduites de la casemate.

Mesures de déplacement des tubes de glissement

Compte tenu des très hautes intensités à accélérer (jusqu'à 100 mA moyens), la focalisation dans le DTL est très forte avec des ouvertures très réduites. Ceci conduit à des tolérances d'alignement d'axes magnétiques de l'ordre de cinq centièmes de millimètre. La marge tolérée pour les déformations dues aux dilatations d'origine thermique est donc d'environ 3 centièmes. Un dispositif optique classique de mesure n'a pu être mis en œuvre (impossibilité de positionner des mires en matériau isolant dans des zones de champ électrique). Le LPSC a proposé et développé un système interférométrique simple. À l'aide d'un faisceau laser, on mesure la variation de position verticale d'un fil conducteur horizontal situé dans les tubes de glissement. Cette méthode a permis de montrer que les déformations restaient dans les tolérances. Un système de mesure magnétique « à froid » basé sur un fil tendu resterait à développer pour aligner les axes magnétiques lors du montage du DTL.

GENEPI

M. Fruneau, S. Albrand, J.-M. Carretta, J.-M. De Conto, A. Fontenille, E. Froidefond, A. Garrigue, M.-L. Lombard, M. Luffroy, D. Marchand, R. Micoud, S. Muggéo, A. Patti, G. Pétryszyn, M. Planet, J.-C. Ravel, J.-P. Richaud, J.-P. Scordillis, C. Vescovi, C. Konte et le groupe de physique des réacteurs
 Collaborations CEA-Cadarache, SPEX/LER et SPEX/LPE

GENEPI 1 has been moved from Grenoble to the MASURCA reactor in Cadarache. The first coupling with a deuterium target to the reactor in 2001 has been followed by experiments with tritium targets in November 2002 in the scope of the MUSE experimental program on accelerator driven reactors. The accelerator is now operated by the MASURCA team with remote supervision from Grenoble. Experiments with deep modulation of the beam pulse frequency required modifications of the electronics to prevent the fall of the safety rods.

GENEPI 2 has been built at the LPSC and is running since the end of 2003. Like GENEPI 1 it is a pulsed 250 keV deuteron accelerator devoted to production of neutrons for the PEREN project. The beam may be focused on two target positions located either in a light material block (Carbon or Teflon) or lead block already used with GENEPI 1. Major differences concern the beam optics and neutron production monitoring by silicon detectors in line of sight of the target.

● GENEPI 1

Introduction

À partir de la fin 2001, l'accélérateur GENEPI 1 a été exploité sur le réacteur MASURCA à Cadarache dans le cadre du programme MUSE, première expérience d'une installation dédiée à l'étude des réacteurs pilotés par accélérateurs dans le cadre du GDR GEDEPEON (précédemment GEDEON).

GENEPI (GÉNérateur de NEutrons Pulsés Intense) accélère des deutons à 250 keV qui produisent des impulsions de neutrons (600 ns à mi-hauteur) sur une cible deutérée ou tritiée au cœur du réacteur expérimental MASURCA. Il a été conçu, construit, qualifié puis exploité au LPSC de 1996 à 1999.

Après sa mise en place à Cadarache au premier semestre 2000, les autorités de sûreté ont autorisé une mise en service par étapes ainsi que les modifications de chargement du réacteur pour aboutir en novembre 2001 au premier couplage avec le réacteur légèrement sous-critique et une cible deutérée (MUSE 4). Le programme expérimental commencé avec le couplage avec cible deutérée en configuration SC0/1086 cellules s'est poursuivi avec cible tritiée en configuration SC0/1108 cellules en novembre 2002.

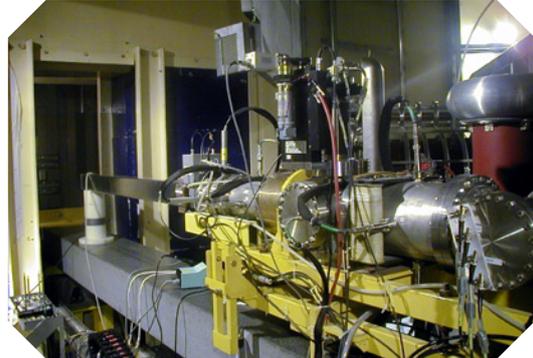


Figure 6 : GENEPI 1 dans le local accélérateur, avant la rentrée dans le cœur de MASURCA. (Courtoisie CEA Cadarache)

Fonctionnement

Depuis la première mise en service, les seules interventions notables ont été un changement de filament et des joints du duoplasmatron, le remplacement d'une pompe turbomoléculaire et d'une carte électronique de commande.

Dès le redémarrage à Cadarache, l'intensité crête au bout de doigt de gant est de 50 mA et la largeur à mi-hauteur, confirmée par la détection des particules diffusées est de 500 ns. Ceci correspond à un courant moyen de 30 μ A à la fréquence de 1 kHz.

Exploitation

L'équipe de Cadarache, après une période de formation, a désormais la charge de l'exploitation de GENEPI. La télésurveillance depuis le LPSC a permis le suivi de l'accélérateur et, à plusieurs reprises, le diagnostic d'incidents de fonctionnement, réduisant ainsi les interventions directes.

Modulation de fréquence

L'intensité du faisceau et donc la production de neutrons peuvent être contrôlées en modifiant les paramètres de la source, mais la méthode privilégiée est le contrôle de la fréquence des impulsions qui conserve leur forme. Pour les études sur les neutrons retardés du réacteur, la fréquence doit varier entre deux valeurs extrêmes (typiquement 300 Hz et 4 kHz). Ceci est fait via une entrée de modulation sur le tiroir de commande. Alors que la décroissance de la fréquence est sans contrainte, le tiroir en limite la montée qui doit se faire avec des temps de doublement plus longs que celui des neutrons dans le réacteur pour éviter la chute des barres de sécurité. De plus, la pente de montée du courant moyen sur cible (dérivée logarithmique) est surveillée ; une sécurité agit préventivement en remettant la fréquence à sa valeur minimum, en cas de fausse manœuvre ou à la suite de claquages, lors de remontées rapides du courant de faisceau.

● GENEPI 2

Construction

La construction d'un deuxième générateur de neutrons pulsés, GENEPI 2, destiné aux expériences au LPSC pour le projet PEREN a été décidée en novembre 2001, les premières grosses commandes ont été passées dès la fin 2001. La majeure partie des études a eu lieu en 2002 parallèlement aux premiers lancements en fabrication. Le premier montage du duoplasmatron a été suivi par les premiers tests début 2003. Le premier faisceau à 200 keV à la sortie du tube accélérateur a été obtenu en mars et sur la cible en position finale en septembre. Les massifs de graphite et de plomb sont en place et les premières expériences avec une cible deutérée ont débuté dès décembre.

Pour réduire les délais de fabrication et les temps de développement, GENEPI 2 est une adaptation de GENEPI 1 au cahier des charges demandé par la physique : mêmes caractéristiques générales du faisceau : deutons pulsés à 250 keV, impulsion crête de 50 mA,

durée d'impulsion meilleure que 500 ns. Les modifications essentielles ont concerné les deux positions de la cible, la première à l'emplacement de deux massifs « légers » de graphite ou de téflon, la deuxième dans le massif de plomb précédemment utilisé pour GENEPI 1.

L'utilisation des mêmes équipements permet également une meilleure utilisation des équipements et pièces de rechange.

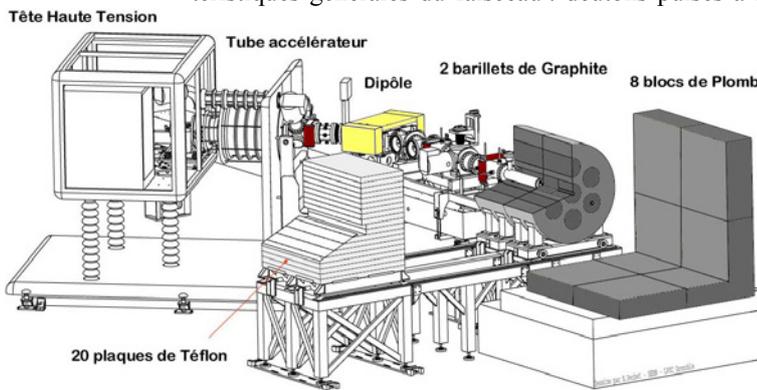


Figure 7 : Vue schématique de GENEPI 2, avec le doigt de gant court dans le bloc de graphite.

Mécanique

GENEPI 2 a repris l'emplacement de GENEPI 1 dans l'alvéole A et réutilisé la même tête haute tension ainsi que la poutre en granit support de la voie de faisceau.

Après l'aimant de déviation, des quadrupôles électrostatiques assurent une focalisation à l'emplacement des massifs « légers » ou au cœur du massif de plomb. Des chariots permettent de mettre en place l'empilement des plaques de téflon ou les deux cylindres du massif de graphite. Comme précédemment, le massif de plomb est constitué de huit blocs de 8 tonnes chacun. Deux pontes de 1 tonne et 500 kg permettent la manutention des éléments de l'accélérateur et des blocs « légers ».

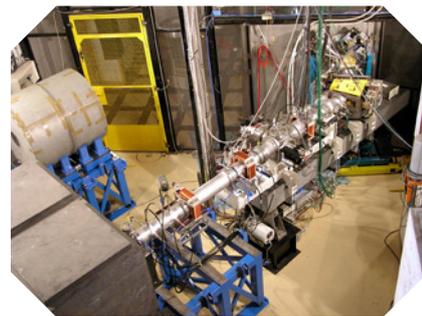


Figure 8 : GENEPI 2 avec cible dans le massif de plomb ; les barillets graphite sont à l'arrière-plan.

Optique de transport

L'optique de transport de GENEPI 1 a été recalculée pour amener le faisceau aux deux points cibles prévus. Dans chaque cas, le dernier quadrupôle est situé à 1 m environ de la cible. On a veillé à la normalisation technologique de ces quadrupôles. Des séries de mesure de profils et d'émittances ont été réalisées aux deux emplacements des cibles et à des points intermédiaires : sortie du tube accélérateur et sortie de l'aimant. Les premières mesures de transmission sont bonnes, des calculs complémentaires devront être faits pour l'améliorer et mieux maîtriser la forme du faisceau sur la cible.

Détection

Le monitoring de la production de neutrons est assuré par la détection des particules alphas de la réaction d-T ou des protons produits avec la même intensité que la réaction d-d. Le détecteur silicium est en vue directe de la cible neutronigène, il est monté directement sur le doigt de gant de la cible. Le rapport particules détectées/neutrons est simplement calculé à partir de la géométrie de la détection et est bien reproductible.

Durée de l'impulsion

Une première série d'essais a permis de réduire la durée de l'impulsion de faisceau en agissant sur l'impulsion d'arc du duoplasmatron. La ligne à décharge LC qui définit la durée de l'impulsion d'arc a été remplacée par des câbles coaxiaux 50Ω en parallèle pour une meilleure adaptation d'impédance à l'arc. On a également ajusté leur longueur pour modifier la durée de l'arc. Des largeurs inférieures à 400 ns ont été obtenus avec 6 câbles de 40 m sans réduction de l'intensité crête.

De plus, un « court-circuiteur » d'arc, en cours de développement permet d'améliorer le front descendant.

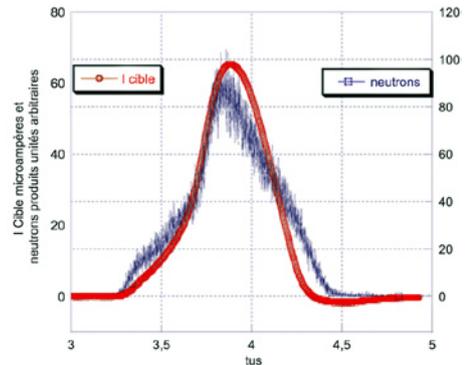


Figure 9 : Réduction de la largeur de l'impulsion de faisceau avec 6 câbles de 40 m.

Sources d'ions

*P. Sortais, J.-L. Bouly, J.-C. Curdy, R. Geller, T. Lamy, P. Sole, T. Thuillier,
J.-L. Vieux-Rochaz, D. Voulot, C. Fourel*

The Ion Source Service has opened a new experimental hall for the ion source development. Two fully equipped beam lines have been installed for high current and charge breeding tests. On the high current beam line pulsed lead ions current up to 0.6 mAe of lead 25 times ionized have been obtained. High CW intensity, Q/A 1/3, ion currents will be developed for the SPIRAL II project. The charge breeding beam line is equipped with two ECR ions sources. The first one, called MicroPHOENIX produces singly charged ions at low or high currents. Beams up to 5 mAe of Deuteron or 8 mAe of H^+ have been obtained at 40 kV. This source is also used for injection of low intensity beams into the PHOENIX booster source where the charge state is breed up to the Q/A suitable for post acceleration purpose and with efficiency up to 6 % per charge state. This source is now used at TRIUMF (Canada) and ISOLDE (CERN) for experiments with radioactive ions. A strong work of beam characterization is now underway for the implantation of PHOENIX on the future SPIRAL II accelerator at GANIL.

► Un nouveau laboratoire



Figure 1 : La ligne PHOENIX 28 GHz.

Grâce au soutien des programmes immobiliers du CNRS, le réaménagement des aires expérimentales de SARA a pu se faire au bénéfice du Service des Sources d'Ions. Les travaux de génie civil ont eu lieu durant l'année 2001-2002 et un gros travail de réinstallation des lignes de faisceaux a pu commencer. Après révision, les alimentations électriques des deux bancs du SSI ont été regroupées au sous-sol, ce qui a permis

de rationaliser toute la distribution de puissance et de prendre en compte les problèmes de CEM.

Sur les lignes de faisceaux, de nombreux éléments ont été améliorés : les châssis, leurs alignements, les systèmes de contrôle et la qualité du câblage. La mise en place de ces nouveaux bancs a été l'occasion d'installer deux équipements majeurs, l'émetteur à gyrotron 28 GHz « russe » sur le banc fort courant et l'aimant à 120° de l'ex voie C de SARA sur le banc 1+/n+. Des émittancemètres compacts permettant de caractériser systématiquement les faisceaux pour les applications accélérateurs vont être installés sur les deux bancs.

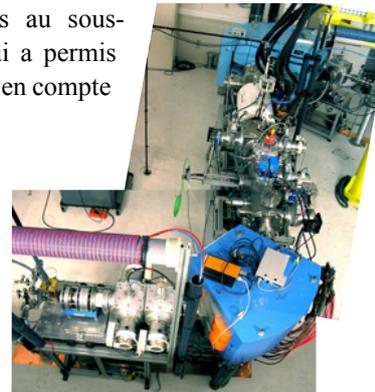


Figure 2 : La ligne PHOENIX « Booster » 1+/n+.

► PHOENIX 28 GHz : Développement forts courants/ fortes charges pour cyclotrons et synchrotrons

Dans le cadre du contrat CERN/GSI/CEA/LPSC, la mise en œuvre de la source PHOENIX 28 GHz a été faite de manière à explorer la possibilité de produire des faisceaux de plomb pulsés 25 fois ionisés dans le domaine du milliampère, en vue de leur application sur l'injecteur du LHC pour les expériences en ions lourds. Des expériences préliminaires, menées en 2001 avaient produit des faisceaux de Xénon, plus faciles à produire que ceux de plomb. Courant 2002 un nombre restreint de tests avec le plomb ont pu être menés à bien malgré de grosses lacunes de fiabilité de l'émetteur à gyrotron prêté par le CEA-G. Un test très satisfaisant a permis d'atteindre des intensités de 0,6 mA électrique crête de plomb 25 fois ionisés, extraits à la tension de 55 kV, ce qui constitue une première tant du point de vue de l'intensité que de la tension d'extraction sur une source ECR d'ions multichargés.

Les années 2002-2003 ont été consacrées, d'une part au remplacement de l'émetteur à gyrotron par un ensemble 28 GHz acheté clés en main en Russie (société GYCOM, Nizhny Novgorod) et d'autre part au déménagement de la ligne de faisceau dans le nouveau hall expérimental. L'achat du gyrotron a fait l'objet d'un appel d'offre international, suivi de mesures de réception en usine puis d'une installation par les spécialistes russes au LPSC. L'ensemble du nouvel émetteur a donc été livré dans les temps et avec les caractéristiques prévues.

Le nouveau banc a fourni ses premiers faisceaux fin 2003 et est donc prêt pour une nouvelle série de mesures en ions lourds pour le CERN ou SPIRAL II.

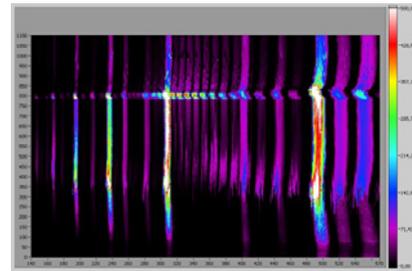


Figure 3 : Spectre en états de charge et en temps, des ions plomb multichargés extraits de PHOENIX 28 GHz : La série de pics sur la ligne horizontale correspond au déconfinement brutal du plasma à l'interruption du chauffage hyperfréquence du plasma (« afterglow »).

► PHOENIX Booster : Un multiplicateur de charge pour les projets d'ions radioactifs en ligne

En 2001-2002 de nombreux tests ont été faits sur l'ancien banc 1+ /n+ dans le cadre du contrat LPSC/TRIUMF (Canada) dans le but de caractériser des faisceaux 1+ issus de sources de production des casemates d'ISAC (le système d'accélération en ligne de TRIUMF). La réussite de ces tests a décidé TRIUMF à s'équiper d'une source PHOENIX « Booster » pour l'augmentation de charge des ions radioactifs.

Un nouveau corps de source a été construit par la société Pantechnik sur les plans du SSI et livré au printemps 2003, puis des tests préliminaires « hors-ligne » ont eu lieu à TRIUMF à l'automne 2003 avec l'aide d'un ingénieur du SSI.

La nouvelle source MicroPHOENIX 10 GHz « universelle » a été installée à la place de MicroGAN 1+. Elle peut fonctionner à très haute tension d'extraction et de surcroît produire des ions multichargés à haute intensité. Dans un premier temps, elle a fourni les faisceaux de deutons haute intensité pour SPIRAL II, mais par la suite elle devrait nous permettre d'effectuer des tests d'injection haute intensité et des tests d'accumulation de charges.

Un nouvel aimant 120° à grande acceptation et grande sélectivité sur la ligne n+, va permettre de caractériser avec précision les impuretés produites par les sources qui pourraient dégrader la pureté des faisceaux d'ions radioactifs destinés à la post accélération.

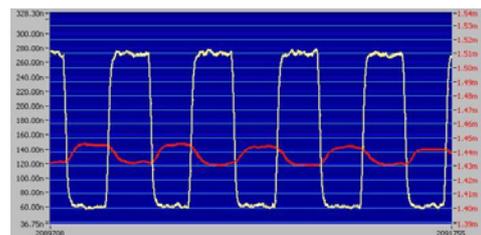


Figure 4 : En blanc : Variation du courant d'ions Ag^{19+} de 60 à 280 nA avec et sans injection d'ions primaires Ag^{1+} .

Les premiers tests $1+/n+$ ont eu lieu à l'automne 2003 et ont rapidement confirmé les efficacités de multiplication en charge allant jusqu'à 6 % sur des ions comme Ag^{1+} « boosté » en Ag^{19+} .

Une troisième source PHOENIX « booster » acquise par le laboratoire de DARESBURY a été installée sur le séparateur d'isotope en ligne ISOLDE au CERN, dans le cadre du 5^e PCRD. Des tests préliminaires sont en cours pour évaluer la multiplication de charges avec des ions radioactifs issus de la source de production.

► SPIRAL 2

Dans le cadre du projet SPIRAL 2 le SSI a engagé de nombreux développements pour les différentes sources prévues.

Les faisceaux de deutons et d'ions de Q/A 1/3 concernent les injecteurs de l'accélérateur linéaire, la caractérisation d'un « booster » de charge concerne l'injection de faisceaux hautement radioactifs dans le post accélérateur CIME.

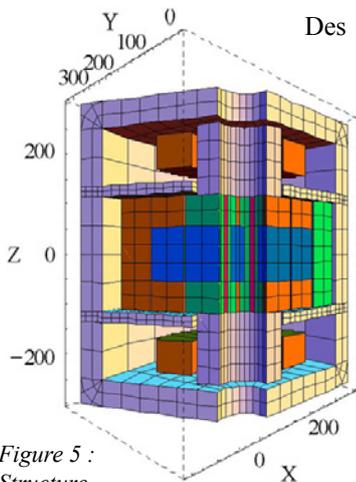


Figure 5 : Structure magnétique de la source PHOENIX HTS.

Des études préliminaires sur la source compacte à aimants permanents, MICROPHOENIX 10 GHz, initialement injecteur universel pour PHOENIX « Booster », ont montré qu'il était possible de produire un faisceau nominal de deutons en termes d'intensité et d'émission. Ces résultats montrent que des sources dites « d'ions lourds » peuvent aussi délivrer des faisceaux hautes intensités d'ions « légers » sans modification de leur environnement.

Une source de type PHOENIX a été retenue comme injecteur de faisceaux intenses au Q/A 1/3, à la tension de 60 kV. La version actuelle, en bobines classiques et dans un fonctionnement préliminaire à 28 ou 18 GHz, devra fournir 1 mA électrique d' $^{18}\text{O}^{6+}$ et 0,3 mA électrique d' $^{36}\text{Ar}^{12+}$ en mode continu. Dans un second temps une version améliorée (PHOENIX HTS) utilisant des bobines supraconductrices à haute température (27 K) a été développée et est en cours de réalisation, elle devra « upgrader » les intensités d'Argon jusqu'à 1 mAe.

Une campagne de mesures va débuter en 2004 sur le nouveau banc de test au laboratoire afin de définir les caractéristiques d'injections nécessaires pour les faisceaux radioactifs $1+$ en provenance de la casemate de production en vue de la multiplication de leur état de charge. Des échanges approfondis sont en cours avec le groupe projet afin d'intégrer les contraintes de faisceologie et de sûreté nucléaire dans un seul et même système de production d'ions radioactifs.

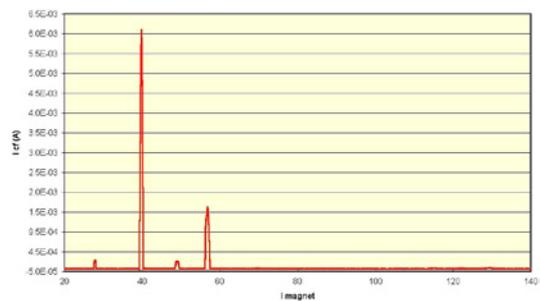


Figure 6 : Spectre de la source Micro PHOENIX 10 GHz en deutons.