

**Plateformes technologiques,
Valorisation,
Transfert de technologies**

La plateforme neutronique GENEPI2

M. Baylac, P. Boge, T. Cabanel, E. Froidefond, E. Labussière, R. Micoud, S. Rey, F. Villa (Pôle Accélérateurs et Sources d'Ions)

J. Bouvier, J.-P. Scordilis, D. Tourres (Service Électronique)

G. Dargaud (Service Informatique)

C. Fourel, J. Giraud, le personnel de l'atelier de fabrication (Service Études et Réalisations Mécaniques)

M. Heusch (Service Détecteurs et Instrumentation)

W. Regairaz (Service Sécurité et Radioprotection)

A. Billebaud, O. Meplan (Groupe Physique des Réacteurs)

M. Ramdhane (Groupe Structure Nucléaire)

The accelerator-based neutron source GENEPI2 under operation at LPSC delivers 2.5 MeV or 14 MeV neutrons. GENEPI2 is a part of the PEREN platform: it was built for research on innovative reactor concepts. Recently new types of experiments were performed on this facility. A major upgrade is now undergoing to improve reliability and optimize the neutron flux.

GENEPI2 fait partie du volet neutronique de la plateforme PEREN du laboratoire. Cet accélérateur électrostatique produit des neutrons de 14 MeV ou 2,5 MeV par impact de deutons sur une cible de Tritium ou de Deutérium. En opération depuis 2003, GENEPI2 a été conçu et exploité pour les études menées au LPSC sur les réacteurs innovants. Dans la période 2014-2015, d'une part la plateforme a été fiabilisée et améliorée grâce à une jouvence du système de contrôle-commande et d'autre part, la communauté d'utilisateurs a été élargie et l'activité de valorisation a démarré.

Modifications de l'accélérateur

L'année 2014 a été consacrée à la préparation et à la mise en place d'un nouveau système de contrôle-commande (hardware et software) ainsi que des modules de sécurité de l'installation. Le système de communication entre le poste de pilotage et les composants de l'accélérateur est géré par 11 modules électroniques et un logiciel de pilotage, sur la base des développements effectués par les services électronique et informatique pour la machine GENEPI-3C. Ce nouveau système améliore l'ergonomie et la fiabilité du pilotage tout en apportant de nouvelles fonctionnalités pour le suivi des performances de la machine.

Parallèlement, les études préliminaires à des modifications importantes de l'installation, prévues en 2016, ont été menées. Il s'agit du remplacement de la source pulsée d'ions actuelle, de type duoplasmatron, par une source continue ECR, ce qui impose également le changement du dipôle de déviation. Cette amélioration vise à élargir la plage des intensités des faisceaux de deutons (500-1000 μ A), augmenter le flux de neutrons produits et sa disponibilité. Cela a nécessité études et réalisations (mécanique, électronique et contrôle-commande) pour adapter ces nouveaux éléments à la structure existante.

Des nouvelles activités scientifiques

Plusieurs campagnes ont ensuite été effectuées sur GENEPI2 : tests de détecteurs diamants mono et poly-cristallins dédiés au suivi des faisceaux de hadronthérapie (projet MONODIAM par le groupe PHYS-MED), installation et mise en service d'un nouveau moniteur pour mesurer le flux de neutrons de 14 MeV (LPC Caen et groupe Physique des Réacteurs) et irradiations de composants microélectroniques.

En effet, depuis fin 2013, une collaboration a été initiée avec une équipe du laboratoire TIMA¹ sur les mesures de fiabilité de circuits intégrés sous irradiations de neutrons. Ces expériences ont comme but de tester des circuits pour des applications spatiales ou pour certaines applications terrestres critiques. Pendant la période 2014-15, 6 campagnes de tests ont été menées sur GENEPI2 qui ont généré plusieurs articles scientifiques et présentations en conférences internationales dans le domaine (NSREC, RADECS).

Les moniteurs de neutrons pour le suivi du flux sont normalisés périodiquement grâce à des mesures d'activation caractérisées par le Laboratoire de Mesure des Basses Activités du LPSC.

¹ Techniques de l'Informatique et de la Microélectronique pour l'Architecture des systèmes intégrés, laboratoire CNRS-UGA, UMR 5159

L'activité de valorisation comme plateforme d'irradiation

L'activité de valorisation de GENEPI2 a commencé et s'est renforcée au cours de l'année 2015. La collaboration avec l'équipe TIMA a montré la pertinence des caractéristiques de GENEPI2 pour le test de circuits électroniques et la participation aux conférences a permis de faire connaître l'installation, notamment à des acteurs de la microélectronique régionaux et nationaux. Depuis, la plateforme a accueilli des tests d'irradiation de PME grenobloises (EASII-IC, IROC) ainsi que de grandes entreprises (Nuclétudes, Airbus). Le pôle assure le pilotage de l'accélérateur et le support pour la logistique des irradiations. Le volume total du temps dédié à cette activité s'élève à environ 30 jours de faisceau pour l'année 2015.

Pour en savoir plus

- » *Accelerator-based neutron irradiation of integrated circuits at GENEPI2 (France), F. Villa et al., 2014 IEEE Radiation Effects Data Workshop Record, pp. 53-57, Nuclear and Space Radiation Effects Conference (NSREC2014), Jul 2014*
- » *Grenoble large scale facilities for advances characterization of microelectronics devices, J. Beaucour et al., 2015 IEEE proceeding, 15th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS) pp.1-4, 2015*

Plateforme sels fondus

V. Ghetta (Groupe Physique des Réacteurs)

J. Menu, J. Giraud, J.-C. Malacour, S. Roni (Service Études et Réalisations Mécaniques)

M. Heusch, O. Zimmermann (Service Détecteurs et Instrumentation)

P. Cavalli, E. Lagorio (Service Électronique)

The experimental molten salt laboratory is composed of several set-up, a group of three well equipped glove boxes under controlled atmosphere, a molten salt loop (FFFER project) dedicated to experimental work on on-line cleaning technics by bubbling for the reactor MSFR and an under construction new set-up dedicated to fundamental aspects of thermo-hydraulic phenomena (SWATH project). The projects are supported by work on water and plexiglass mock-up and are associated with numerical simulations.

Missions et organisation

Cette plateforme est dédiée aux expérimentations mettant en jeu des composés de type fluorures à l'état liquide ou solide sous atmosphère de gaz neutre. Les travaux s'appuient sur des simulations numériques effectuées dans le groupe de Physique des Réacteurs ou le Service Mécanique.

La plateforme est dédiée à :

- L'élaboration et mise en forme de mélanges de différents fluorures (LiF, NaF, KF, CaF₂, ZrF₄...).
- La construction de dispositifs mettant en jeu des fluorures liquides (milieu statique ou dynamique), il s'agit principalement des installations FFFER (Forced Fluoride Flow for Experimental Research) et SWATH (Salt at Walls : THERmal exchanges).
- La construction des maquettes d'écoulement en eau correspondantes.

Fait marquant

Tests de la boucle FFFER.



Illustrations : Boucle FFFER ; boîtes à gants ; implantation prévue de SWATH ; maquette de l'installation SWATH.

Le nœud de grille du LPSC

S. Crépe-Renaudin (Groupe ATLAS)

B. Bouterin, C. Biscarat, C. Gondrand (Service Informatique)

The LPSC grid node was created in 2008 to contribute to data processing and analysis of the ATLAS and ALICE Large Hadron Collider (LHC) experiments as a Tier-3 of the worldwide LHC Computing Grid (WLCG). Since then, the site CPU and storage capacities have been multiplied by more than a factor ten. The site has moreover demonstrated its ability to deliver a high quality of service to the LHC experiments so that it has been accepted by WLCG as a Tier-2 site in 2011 and is integrated in the LHCONE network since 2013. On top of the LHC activities, the site has been opened to other scientific fields from LPSC as well as other local or international ones.

Contexte

Le nœud de grille du LPSC a été mis en place en 2008 pour répondre à la demande du groupe ATLAS du LPSC de participer au traitement des données de l'expérience ATLAS auprès du Large Hadron Collider (LHC). Dans un premier temps, le site a été ouvert aux expériences ATLAS et ALICE du LHC auxquelles participe le LPSC. Le LPSC a ainsi rejoint la grille de calcul du LHC, WLCG¹, en tant que site de niveau Tier-3. À l'été 2011, la collaboration WLCG a validé le passage au niveau Tier-2 du nœud du laboratoire.

Les capacités de calcul et de stockage du site ont régulièrement augmenté et le site a fait la preuve de sa fiabilité et de son efficacité. Avec le démarrage des prises de données des détecteurs du LHC en 2010, les expériences ATLAS et ALICE ont déjà produit des centaines de pétaoctets de données qui ont été traitées, distribuées et qui sont analysées grâce à la grille de calcul. Le site du LPSC a participé à cet effort depuis sa création.

Parallèlement aux développements des activités « grille » autour du LHC, le site s'est progressivement ouvert à d'autres acteurs en lien avec des activités de recherche du LPSC ou des activités locales et régionales. Ces activités hors LHC représentent moins de 10% de la puissance de calcul délivrée par le site, elles sont dotées d'un espace de stockage spécifique sous iRods pour la plupart d'entre-elles.

Le nœud de grille du LPSC

Infrastructure

Le nœud de grille du LPSC se trouve dans la salle informatique du laboratoire, qui permet l'hébergement de huit baies 42 U avec une puissance électrique disponible de 120 kW. La salle dispose d'un onduleur (30 kVA) pour les services critiques et d'un système de refroidissement par « free cooling » particulièrement fiable, d'une puissance de 100 kW.

Le nœud de grille occupe aujourd'hui cinq des huit baies disponibles dans la salle informatique du LPSC. Sa capacité de calcul est constituée de 67 serveurs, correspondant à 740 cœurs d'une puissance totale de 13275 HEP-SPEC06².

Quant au stockage, 22 serveurs offrent une capacité de 1 Po utilisable sous le DPM³, soit 1,7 Po brut. Les évolutions de la puissance de calcul et de stockage depuis 2008 sont représentées sur la figure 1 (page suivante). Les achats effectués fin 2015 ne sont pas pris en compte sur cette figure.

Pour les activités de grille hors LHC, deux serveurs de stockage iRods ont été mis en place dans la période 2011-2013 pour les applications qui n'utilisent pas DPM. Ils offrent une capacité utilisable de 48 To.



¹ Worldwide LHC Computing Grid

² <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/FIOgroup/TsiBenchHEPSPEC>

³ Disk Pool Manager, <https://svnweb.cern.ch/trac/lcgdm/wiki/Dpm>

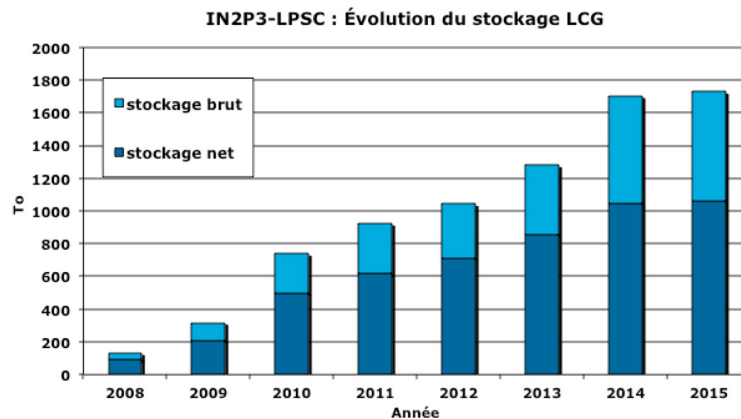


Fig. 1 : Évolution de la capacité de calcul et de stockage du nœud de grille du LPSC (en bleu foncé, la capacité utilisable telle que vue par DPM). Les matériels installés au dernier trimestre 2015 ne sont pas pris en compte.

Les services de grille disponibles au LPSC sont répartis sur une architecture virtualisée basée sur trois serveurs VMWARE ESX. Cette architecture a été mise en place fin 2013. Le Tier-2 du LPSC dispose d'un BDII¹ pour le site, de deux CREAM-CE², de plusieurs UI³, d'une VOBOX, d'un serveur DPM et d'un serveur XRootD. Les configurations de l'ensemble des services sont déployées via Quattor⁴.

L'ensemble de la grille est surveillé via le serveur NAGIOS du LPSC.

Le réseau

Le cœur du réseau local est basé sur deux commutateurs CISCO NEXUS 5010 dotés de 40 ports à 10 Gbits/s. Le LPSC étant situé sur le polygone scientifique de Grenoble, la connexion à RENATER, dont le point de présence est sur le campus de Saint-Martin-d'Hères, se fait via le réseau métropolitain Metro-net. Fin septembre 2012, le réseau du LPSC est passé de 1 à 5 Gbits/s. Par la suite un VLAN dédié a été obtenu pour la grille de calcul qui a permis d'atteindre un taux de transfert de 10 Gbits/s. Ceci a permis de connecter le nœud de grille du LPSC au réseau LHCONe qui donne des accès privilégiés aux autres sites de WLCG.

Le personnel

Les activités du LPSC étant structurées sous forme de projet, la plateforme technique du Tier-2 du LPSC est dotée d'une responsable scientifique, S. Crépe-Renaudin et d'une responsable technique, C. Gondrand. Parmi les membres du service informatique qui permettent le bon fonctionnement du site, on notera que trois ingénieurs travaillent quotidiennement sur le projet pour l'équivalent d'un temps plein. L'activité principale du site étant le calcul LHC, un physicien pour chacun des groupes LHC du laboratoire fait le lien entre le site et les besoins des groupes ALICE et ATLAS.

Les activités du site

Le site du LPSC est principalement utilisé pour le calcul LHC. Les premières Organisations Virtuelles (VO) à y être installées ont donc été, outre les VO Ops et dteam permettant de tester le bon fonctionnement du site, les VO ATLAS et ALICE. Les activités grille de ces deux expériences sont décrites dans le chapitre §1.1 de ce rapport.

Le site s'est ouvert à d'autres disciplines, qu'elles soient nationales (VO France-Grille, et formation France-Grille) régionales (VO Rhône-Alpes, EUMED pour les pays méditerranéens), ou qu'elles correspondent à des besoins d'équipes de recherche du LPSC (VO MURE dédiée à la simulation de réacteur nucléaire, VO Biomed pour l'imagerie médicale).

¹ Database Information Index, <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/EGEE/BDII>

² Computing Elements

³ User Interface

⁴ <http://quattor.sourceforge.net>

Une collaboration s'est engagée autour des grilles de calcul et de l'informatique verte entre le service informatique du LPSC et le groupement de laboratoire pour le calcul intensif CIMENT¹. CIMENT vise au développement de projets de calcul de type méso-centre au sein des universités grenobloises. Les thématiques scientifiques de CIMENT regroupent des domaines variés tels que la climatologie, la chimie, éloignés de ceux du LPSC. CIMENT a déployé une grille de calcul exploitée via le framework CIGRI qui permet de fédérer plusieurs sites. Sur cette grille les sites sont exploités en mode opportuniste, permettant ainsi de maximiser l'utilisation des ressources.

Pendant la période 2014-2015 le LPSC a eu plusieurs projets qui ont bénéficié des ressources de la grille CIMENT dans ce mode. Ainsi il a été possible d'utiliser jusqu'à 1200 cœurs en simultané sur des courtes périodes et plus de 400 cœurs en moyenne sur une période de deux mois. L'objectif principal de la collaboration entre le LPSC et CIMENT est de créer une synergie entre le nœud EGI du LPSC et la grille CIMENT et de fournir aux utilisateurs de nouvelles ressources. En 2013, la capacité de calcul de CIMENT est passée de 3500 à 5700 cœurs grâce à l'acquisition d'un ordinateur haute performance (HPC) ce qui ouvre des perspectives de développement importantes pour le LPSC.

L'évolution de l'utilisation du site du LPSC en termes de CPU depuis sa création est montrée sur la figure 2. Comme il a été déjà mentionné, la figure indique clairement que le site est majoritairement utilisé par les expériences LHC, ATLAS et ALICE.

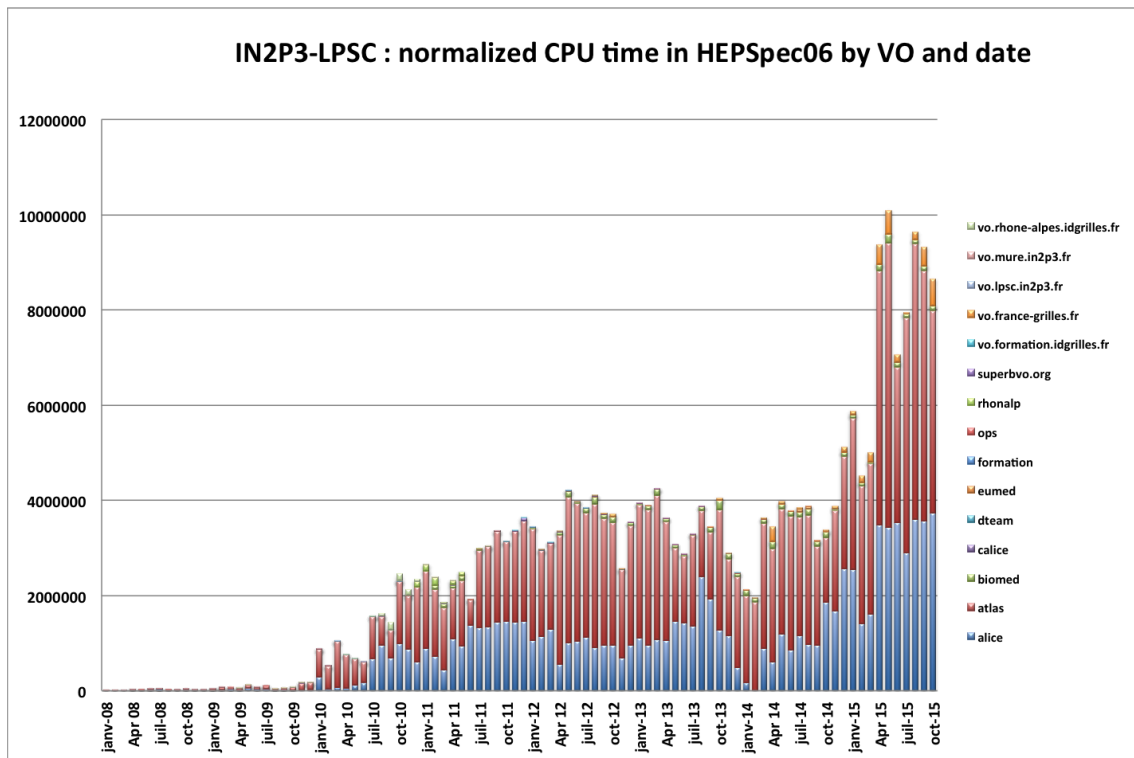


Fig. 2 : Évolution mois par mois du temps de calcul normalisé utilisé par les différentes VO supportées par le LPSC depuis la mise en production du site jusqu'à octobre 2015.

La contribution du site du LPSC relative à celle de l'ensemble des Tier-2 de LCG France a atteint 6% en 2015 pour la partie CPU. Coté stockage la contribution du LPSC se maintient autour de 7-8%.

Le service informatique a aussi eu l'opportunité de développer une expertise sur les techniques de « Cloud computing », ceci dans le cadre d'un stage d'une année au laboratoire d'une étudiante de thèse en informatique. Les techniques de Cloud sont bien établies dans le grand public, elles sont toutefois émergentes dans la communauté scientifique et nous découvrons peu à peu quels sont leurs bénéfices. Après avoir déployé une infrastructure de cloud, le LPSC a intégré le workflow d'ATLAS et a fait des tests de performances en comparant les tâches de la grille et celles du cloud. Ce travail a été mené à la fois dans le cadre du groupe de travail sur les clouds de France-Grilles et de l'expérience ATLAS.

¹ Calcul Intensif / Modélisation / Expérimentation Numérique et Technologique, <https://ciment.ujf-grenoble.fr>

Perspectives

Depuis son passage Tier-2 en 2011, le LPSC a réussi à maintenir une bonne fiabilité conforme aux exigences pour cette catégorie comme le montre la figure 3. Il a également tenu ses engagements en termes de ressources de calcul et de stockage.

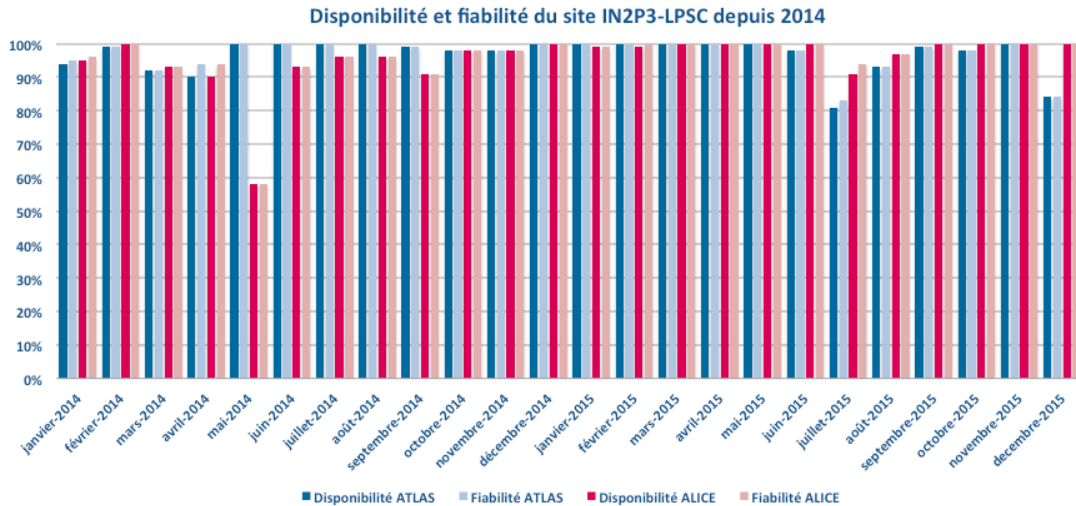


Fig 3 : Disponibilité et fiabilité du site IN2P3-LPSC de janvier 2014 à décembre 2015 pour les VO LHC.

Le LHC a terminé sa première phase de prises de données début 2013. Après une pause de 18 mois il a délivré à nouveau à partir de juin 2015 des collisions aux expériences mais à plus grande énergie. Les activités grille ont augmenté en conséquence et les demandes des expériences vont croissantes dans les années qui viennent avec une accumulation de données de plus en plus importante. Le site ne pourra accompagner cette croissance que si des financements autres que ceux de WLCG sont trouvés, ceux-ci ne permettant que de renouveler une partie du matériel obsolète.

Les autres enjeux concernent notre capacité à suivre les évolutions technologiques telles que l'arrivée des fédérations de stockage ou du Cloud qui entrent maintenant dans les modèles de calcul des expériences et à suivre les évolutions rapides du middleware de la grille EGI.

De juillet 2014 à juillet 2015, le LPSC a eu l'opportunité d'accueillir une étudiante de Thèse Informatique pour mettre en place une ressource de Cloud au LPSC avec l'objectif de simplification des opérations des sites.

La collaboration avec CIMENT va se poursuivre avec un développement pour l'expérience ATLAS qui concerne des calculs d'erreurs systématiques pour la recherche de nouvelles particules.

Enfin les années à venir devraient voir le début des développements dans le cadre de l'Equipex BEDOFIH¹ pour le portage de leur application sur la grille.

Pour en savoir plus

» <http://lpsc.in2p3.fr/index.php/fr/services/informatique/in2p3-lpsc-noeud-de-grille>

¹ <http://www.upmf-grenoble.fr/equipex-bedofih-155109.htm>

PLATEFORME IAP3

S. Béchu, A. Bès, L. Bonny, A. Lacoste, R. Maurau

E. Perbet, S. Roni, S. Roudier (Service Études et Réalisations Mécaniques)

G. Marcotte, D. Toures (Service Électronique)

The International Platform for Advanced Plasma Processing (IAP3) includes plasma equipments devoted to three objectives: 1) Education: technical courses for initial and continuous training ; 2) Research: interface between laboratories for pluridisciplinary research such as co-tutorial PhD, research projects, national and international partnerships ; 3) Transfer of Technology: interface with industrial R&D laboratories in order to promote the plasma technologies and plasma processing.

Le CRPMN poursuit et élargit ses activités de valorisation en partenariat avec des industriels, aussi bien dans le domaine du développement de sources plasma micro-onde (IREIS, TED Electron Devices), que dans le domaine des matériaux et traitement de surfaces (Ugitech, Valeo) à travers des projets de valorisation (FUI, bourses CIFRE). Depuis 2012, deux sociétés exploitent 4 brevets CNRS-UGA pour la fabrication de sources plasma et des équipements dédiés aux procédés en films minces.

Plateforme

La Plateforme Internationale des Procédés Plasma Avancés (IAP3) a pour vocation la formation par la recherche (thèses, post-doctorants) ou continue (FC annuelle ou Ateliers conjointement organisés avec les réseaux des Plasmas Froids et des Technologies du Vide), et elle assure l'interface, d'une part, entre les laboratoires pour la recherche interdisciplinaire et, d'autre part, entre le milieu académique et industriel pour la valorisation et le transfert technologique.

La plateforme IAP3 est labellisée par la MRCT¹ (au titre de ses 22 réseaux de compétences) et recensée par l'Institut Carnot - Énergies du Futur, Filière Eco-énergie. Elle comporte des techniques de caractérisation des plasmas, des équipements plasma micro-onde couvrant un domaine opératoire étendu en pression (de 0,1 mTorr à 100 Torrs) et en puissance (jusqu'à 6 kW, continu et/ou pulsé), et des systèmes de contrôle de température lors des procédés (-100 à 800 °C). Plus précisément, la plate-forme dispose de :

- Deux réacteurs pour des dépôts par pulvérisation réactive assistée par plasma micro-onde pour la synthèse de matériaux en films minces.
- Un réacteur de dépôt par CVD assistée par plasma (PECVD) pour la synthèse de matériaux.
- Un réacteur de gravure PECVD à très basse pression et à pression intermédiaire.

De nombreuses techniques de caractérisation (électrique, optique, laser, électromagnétique) permettent le contrôle et la qualification des procédés mis en œuvre sur ces équipements.

L'accès à ces installations est réglementé au travers d'une charte d'utilisation co-signée par le CNRS, l'UJF (UGA) et la MRCT, et les études sont effectuées sous forme de prestations académiques ou industrielles.

En plus de son utilisation pour la Formation Continue et des ateliers organisés dans le cadre du Réseau CNRS Plasma froids, plusieurs actions ont été menées sur les équipements de la plate-forme pendant la période 2014-2015. On peut mentionner :

- Réalisation des films minces Al/MgH₂ sur substrat de Cu pour les batteries à Li, Institut de Chimie et des Matériaux Paris Est (ICMPE), 94320 Thiais.
- Gravure isotrope à grande vitesse du diamant monocristallin pour détecteurs de rayonnement haute énergie ; ESRF – ISSD Division Détecteurs.
- Qualification d'un plasma produit par du rayonnement X pour les atténuateurs à gaz ; ESRF – ISSD – AAD (Advance Analysis and Modelling Division).
- Dépôt en multicouches pour Détecteurs de neutrons à base de bore ; LPSC (GRANIT) et ESRF.
- Dépôt de contacts métalliques sur diamants mono et microcristallins ; LPSC (MonoDiam HE et MoniDiam).
- Dépôt sur Si d'alliage Ni/Cr/Fe pour la simulation du chauffage des détecteurs à Si ; LPSC et LAPP (Annecy).

¹ Missions Ressources et Compétences Technologiques UPS 2274

- Dépôt d'alliages en simple ou en multicouches sur plots thermoélectriques (TE), Valeo, 92000 La Verrière.
- Test d'applicateurs d'onde coaxiaux à différentes fréquences pour des applications aux dépôts à très basse pression ; IERIS, TED (cf. projet FUI-GMP DLC2).
- Test de faisabilité de croissance de diamant microcristallin ; TED, CEA-LIST.
- Test de gravure sur verre ; Saint Gobain.

Ces études ont en partie conduit à des projets applicatifs et de valorisation avec des financements CIFRE et de personnel contractuel, ou bien ouvrent de nouvelles perspectives en termes de projets et d'applications.



Fig. 1 : Réacteur de gravure et de dépôt PECVD équipé de 25 coupleurs d'onde (sources plasma unitaires).

Valorisation et transfert technologique

La valorisation des activités du groupe se traduit également par le transfert, aussi bien au niveau académique qu'au niveau industriel, de la technologie basée sur des sources plasma étudiées et développées au LPSC. Au niveau académique, plusieurs laboratoires (LSPM Villetaneuse, LPCI Le Mans, Laplace Toulouse, Université de Patras Grèce), se sont dotés de réacteurs équipés de ce type de sources commercialisées par HEF (licence non-exclusive de brevets CNRS-UJF, FR 06 05238, FR 06 06 680, FR 08 57392). Depuis 2012, SAIREM (licence non-exclusive de brevets FR 02 06837, FR 08 57392) développe des équipements en vue de leur commercialisation.

La technologie plasma micro-onde développée au sein du LPSC a été également retenue comme technologie potentielle pour la production industrielle de DLC (Diamond-Like Carbon) pour des applications tribologiques en vue de la diminution de la consommation des voitures. À ce titre, le groupe est partenaire au projet FUI-GMP DLC2 (2012-2015) qui regroupe plusieurs industriels tels que HEF, Renault, Peugeot, TED et deux PME.

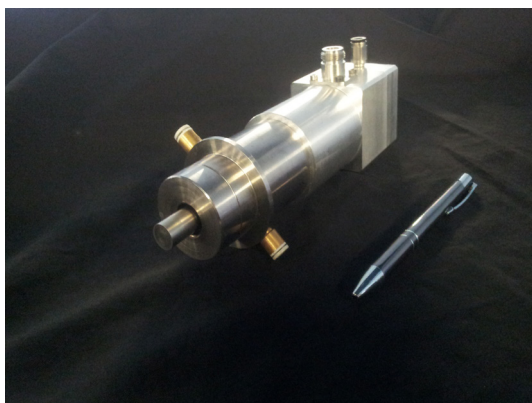


Fig. 2 : Coupleur d'onde (source plasma unitaire) développé dans le cadre du projet FUI.



Fig. 3 : Électronique de commande réalisé au LPSC en collaboration avec le Service Électronique.

Un autre volet important de l'activité de valorisation du groupe porte sur l'une des principales applications de ces technologies qui est celle d'élaboration de matériaux en couches minces et de traitement de surface. Les contrats avec différents partenaires permettent de valoriser la technique de co-pulvérisation assistée par plasma (réactif ou non) pour la réalisation des matériaux complexes à composition ou à fonctionnalité bien définies (Valeo – thèse 2012-2015, CARNOT-Énergies du Futur – 2013-2016). L'expertise du groupe en la matière a également conduit à deux contrats avec Ugitech (thèses CIFRE, 2011-2014 et 2015-2018).

L'activité de valorisation du groupe est accompagnée par le Service Mécanique pour la réalisation des prototypes d'applicateurs d'onde ou des pièces intégrées sur les réacteurs. Le Service Électronique a réalisé l'électronique de commande d'un dispositif de caractérisation des plasmas.

Laboratoire de mesures de Basse Activités

M. Heusch, O. Méplan, M. Ramdhane

The low-level radioactivity measurement facility of the LPSC laboratory performs analysis of gamma emitters on various types of samples, solids or liquids, for the needs of industrial clients, for fundamental research and environmental survey. In 2015 the LBA was accredited for radioactivity measurements in the "soil" matrices by the Nuclear Safety Authority (ASN) for a period of 5 years.

La plateforme

Le Laboratoire de mesures de Basse Activité (LBA) fait partie du Réseau Becquerel, plateforme nationale d'analyse alternative de la radioactivité de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS. Le laboratoire possède 2 détecteurs germanium hyper pur (HPGe) bas bruit : les mesures de radioactivité sont donc des mesures par spectrométrie γ .

Les mesures faites au LBA sont dites de basses activités car elles ne concernent que des échantillons peu actifs (de l'ordre de la radioactivité naturelle). C'est pourquoi une attention particulière est apportée au dispositif afin de limiter les sources de bruit radiologique (rayonnement cosmique et radioactivité naturelle). Il est donc placé au sous-sol du LPSC (~5 m équivalent eau) afin de diminuer le bruit lié au rayonnement cosmique (suppression des p, e-, atténuation des muons et neutrons). Les détecteurs sont entourés de vétos (scintillateurs) interdisant le comptage lors du passage d'un muon cosmique. Ces vétos forment un cube dont chaque surface fait environ 2 m².

Pour limiter l'accumulation du radon, l'air de la pièce est pompé directement sur le toit du bâtiment (h ~9 m), filtré sur des filtres anti-poussières puis des filtres haute efficacité à charbon actif. L'air est alors injecté dans la salle de mesure.

Chaque année, le LBA analyse la radioactivité d'échantillons provenant pour la plupart d'entre eux de quatre origines distinctes :

L'industrie nucléaire et tout particulièrement la métallurgie du zirconium, des produits miniers au métal purifié, en passant par toutes les étapes de la chimie d'élaboration (zircon, tétrachlorure de zirconium, zircon déshafnié). La sélectivité chimique, spécifique de chaque étape du processus industriel, rend l'interprétation des spectres gamma particulièrement délicate, car elle détruit l'équilibre séculaire des chaînes radioactives naturelles.

Mesure de la teneur en radioéléments des matériaux de construction pour le compte des industriels et des centres de recherche du bâtiment.

Surveillance radiologique des nappes phréatiques aux environs immédiats des centres de stockage des déchets miniers, tests de lixiviation du radium sur ces mêmes déchets, avant stockage définitif.

Enfin, des mesures plus liées à la recherche fondamentale comme la caractérisation de matériaux bas bruit pour la réalisation de détecteurs (STEREO, MIMAC...), ou la mesure de flux lors d'irradiation (GENEPI, expériences FLUOLE...)

Au cours de ces deux dernières années plus de 300 analyses ont été effectuées ; en particulier nous avons obtenu 2 contrats importants avec le CEA Cadarache pour les expériences FLUOLE, mobilisant l'installation pendant 1 an à temps plein.

Fait marquant

Le LBA s'inscrit dans une démarche qualité depuis 2 ans. La rédaction d'un manuel qualité, des divers modes opératoires et procédures de traçabilité a été effectuée avec l'aide de P. de Lamberterie. Cette démarche nous a permis d'obtenir les Agréments de mesures de radioactivités dans les matrices « sol » délivrés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour une durée de 5 ans (Agréments 2_09, 2_10, 2_11, 2_12 et 2_17 pour la mesure de l'uranium du thorium et leurs descendants). Ces agréments permettent de pérenniser certains clients et de répondre à la demande de clients potentiels.



Fig. 1 : Vue du dispositif de mesure entrouvert : les 2 châteaux de plomb protégeant les détecteurs sont visibles à l'intérieur des véto cosmiques.

Booster de charge du projet SPES

J. Angot, L. Bonny, J. Jacob, T. Lamy, P. Sole, T. Thuillier

G. Frêche, C. Le Tulle, S. Roudier, J. Giraud (Service Études et Réalisations Mécaniques / SERM)

J.-P. Scordilis, E. Tourba (Service Électronique)

Laboratori Nazionali di Legnaro - INFN, Italy

In the frame of the SPES project (LNL, Legnaro), the LPSC was selected to provide the charge breeder. This ion source was delivered in November 2015.

Le LPSC a la charge de fournir l'amplificateur d'état de charge (booster) pour le projet SPES porté par le Laboratoire National de Legnaro (LNL). Les études ont démarré en juillet 2014 par la conception mécanique de la source d'ions. Dans le but de garantir ses performances, le booster a été défini avec une configuration la plus proche possible de la version existante du LPSC. Les travaux du SERM se sont poursuivis avec la conception du châssis mobile, du circuit de refroidissement et enfin des systèmes d'électrodes d'injection et d'extraction. En parallèle, le Pôle Accélérateurs et Sources d'ions a assemblé le booster de charges à l'automne 2014 et l'a installé sur le banc de tests du booster LPSC. L'isolation haute tension (HT) et l'étanchéité au vide ont été vérifiées et le champ magnétique axial mesuré. Quatre semaines de tests réalisées conjointement avec le responsable du projet au LNL ont permis la validation des performances de cette source. Elle a ensuite été montée sur son châssis mobile avec tous les équipements (Fig. 1), à l'exception du système d'extraction du faisceau d'ions, composé d'électrodes et d'isolants électriques (en cours de réalisation).

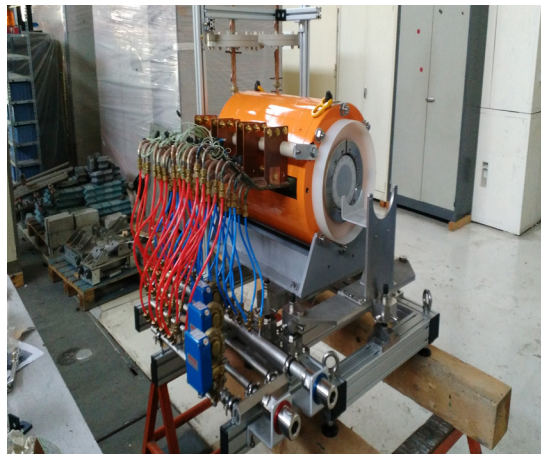


Fig. 1 : Booster de charge SPES sur son châssis mobile.

Le pôle a également pris en charge le développement d'une baie haute tension contenant les équipements placés au potentiel de la source, ainsi que la définition du panneau de distribution de gaz et des équipements HT. Le système de sécurité et de contrôle-commande a été développé par le LNL. Le Service Électronique du LPSC a réalisé l'assemblage et le câblage des éléments de la baie.

Conformément au planning, l'ensemble des équipements a été expédié à Legnaro en novembre 2015, une chambre à plasma de remplacement ainsi que le système d'extraction restant à livrer.

SDI - Valorisation : projet CMCF

R. Faure, M. Migliore, J.-F. Muraz, P. Stassi, O. Zimmermann

Dans le cadre d'un contrat de valorisation, le Service Détecteurs et Instrumentation (SDI) réalise pour le compte du Laboratoire de Dosimétrie des Rayonnements Ionisants (LDRI) de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) la modernisation, l'uniformisation et la transportabilité d'une baie de mesure de courants faibles d'ionisation. Conformément au contrat, une première baie sera livrée en septembre 2016. En fonction de la qualité de réalisation de cette première prestation, le LDRI envisage d'étendre ce contrat pour la fourniture de deux autres ensembles.



Fig. 1 : Vue d'ensemble de la baie de mesure de courant faible produite par le SDI.

Groupe Développements et Applications pour le Médical

Y. Arnoud, B. Boyer, M.-L. Gallin-Martel, O. Rossetto R. Delorme, R. Fabbro
A. Pelissier (Service Détecteurs et Instrumentation)
L. Gallin-Martel (Service Électronique)

Profileur pour la mesure en ligne des faisceaux de radiothérapie

La mise en œuvre de nouvelles techniques d'irradiation en radiothérapie comme le masquage dynamique du faisceau (Intensity Modulated RadioTherapy, et Volumetric Modulated ArcTherapy) permet un dépôt de dose plus précis au niveau des tissus à traiter, tout en préservant les organes à risques. Ces techniques nécessitent la mise en place de nouveaux systèmes de contrôle, qui ne sont pas actuellement présents sur les machines commerciales.

Un partenariat avec le service de radiothérapie du CHU de Grenoble a été initié pour le développement d'un profileur de faisceau. Des mesures régulières sous les faisceaux des accélérateurs médicaux du CHU ont dès à présent permis de mesurer localement la forme du faisceau, et l'évolution temporelle de ses caractéristiques, à l'aide de deux prototypes développés au LPSC. L'électronique analogique et numérique nécessaire à la lecture des signaux a été développée spécifiquement par le Service Électronique, alors que le Service Détecteurs et Instrumentation a assuré l'intégration des éléments issus de la phase de R&D.

À la suite de ces développements et des mesures de validation, un upgrade du détecteur incluant un nouveau système d'acquisition pour couvrir l'intégralité des faisceaux cliniques a été réalisé. Le système permet une mesure 2D en temps réel des faisceaux au cours de l'irradiation. Les données sur la forme et l'intensité du faisceau de photons seront ensuite intégrées dans un programme de simulation de dépôt de dose dans le patient (TPS), afin de vérifier que la dose délivrée est bien conforme à la dose prescrite. Si le cumul des irradiations passées qui ont été enregistrées dévie des objectifs thérapeutiques, une adaptation des traitements à venir pourrait être proposée.

Ces prototypes développés au LPSC ont fait appel à des technologies innovantes (dépôt de brevet FR N°11/53254). La validation des performances en utilisation clinique aura lieu sur des accélérateurs de dernière génération avec un partenariat au CH de Chambéry. Des démarches sont en cours auprès de la SATT pour financer un logiciel de contrôle du détecteur et de monitoring des données. L'ensemble détecteur et logiciel formera le premier maillon pour le montage d'une startup.

Au final, ce détecteur sera un des éléments clés pour la dosimétrie in-vivo en radiothérapie à intensité modulée, dont la mise en place est demandée par l'IRSN.

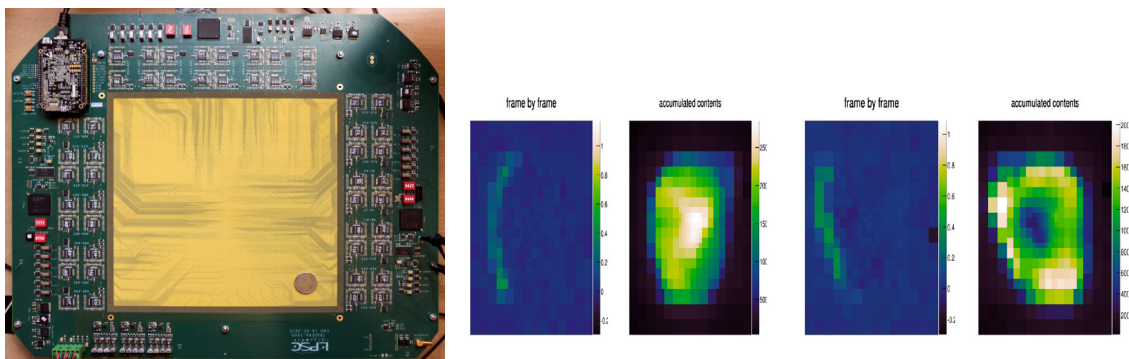


Fig. 1 : Gauche : Tradera 1600 voies. Centre : Image à l'instant t. Droite : Image cumulée sur l'ensemble de l'irradiation.

Service Électronique : projet MASSAR

D. Dzahini, L. Gallin Martel, F. Rarbi

MASSAR est une nouvelle architecture de convertisseur analogique numérique pour les chaînes de lecture comportant plusieurs centaines voire des milliers de voies à traiter en parallèle. Cette architecture a été brevetée. Le soutien financier du pré-incubateur GRAVIT et ensuite de la SATT Linksiium ont permis de réaliser les premiers prototypes utilisant ce concept.

L'architecture MASSAR a été déclinée dans une configuration de grande résolution (14 bits), et de haut débit 0,2 MSPS/voie ; la consommation pour chaque voie est seulement de 200 μ W.

La technologie MASSAR est particulièrement adaptée pour les nouvelles générations de photo-détecteurs denses et de très haute résolution, les bolomètres infrarouges et jusqu'aux nouveaux imageurs grand public comme les DSC (Digital Still Camera). La figure 1 montre le deuxième prototype de 32 voies réalisé pour des bolomètres infrarouges.

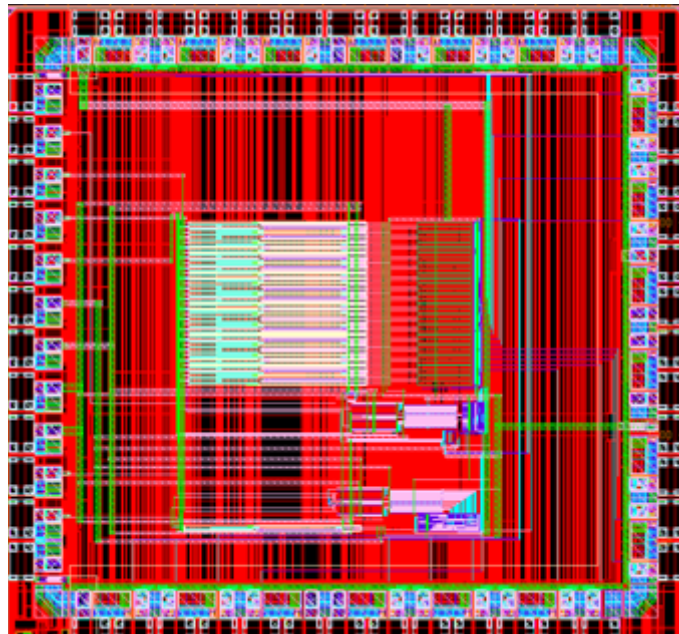


Fig. 1 : Deuxième prototype de matrice de convertisseur-colonnes de 32 voies MASSAR.

Groupe MIMAC : Projet de valorisation MIMAC-FastN

D. Santos, N. Sauzet

O. Guillaudin, J.-F. Muraz, M. Marton (Service Détecteurs et Instrumentation)

G. Bosson, J. Bouvier (Service Électronique)

T. Descombes (Service Informatique)

Le projet de valorisation MIMAC FastN a pour objectif d'adapter un système initialement développé au LPSC dans le cadre du projet MIMAC pour effectuer la détection directionnelle de matière noire non baryonique, en un détecteur directionnel portable de neutrons rapides dans la plage d'énergie 10 keV - 10 MeV. Ce détecteur doit être capable de détecter la présence d'un émetteur de neutrons, de le localiser, et de fournir son spectre en énergie.

Au cours de l'année 2014, le Labex Enigmass nous a permis d'avoir un poste IR-Valorisation qui nous a beaucoup aidé à faire avancer notre projet de détecteur directionnel de neutrons rapides.

Au cours de l'année 2015, ce projet a été retenu dans le cadre du programme de Prématuration de la DIRE du CNRS.

Dans ce contexte :

- Le design d'un démonstrateur avec un gaz neutre et non-inflammable a été réalisé, sur la base de l'analyse des données d'expériences avec des sources de neutrons et d'une expérience avec la réaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ effectuée à Legnaro. Ce démonstrateur est en cours de fabrication.
- Un cahier des charges pour un logiciel d'acquisition et de traitement a été établi ; ce logiciel est actuellement en cours de développement.
- Une analyse de la propriété intellectuelle a statué sur la non-brevetabilité du produit, et sur la nécessité d'effectuer une protection de savoir-faire.
- Une pré-étude de marché a été effectuée, qui a permis de valider l'intérêt de 4 secteurs d'activité (médical, sécurité intérieure, radioprotection et physique nucléaire) et de dresser un premier panorama de la concurrence et de clients potentiels.

Création d'une startup : Polygon Physics

T. Lamy, P. Sortais



In 2008, the ion source team developed a high efficiency miniaturized 2.45 GHz Electron Cyclotron Resonance Ion Source, able to produce intense ion or electron beams with a low emittance. The technological environment of the source being very simple and its electrical consumption extremely low, this led to the possibility to integrate numerous ion sources in machines of industrial interest. To commercialize these equipment, the Polygon Physics Startup has been created by the end of 2014.

La miniaturisation extrême des sources d'ions à la résonance cyclotronique électronique (2,45 GHz) a été réalisée au LPSC par l'optimisation de l'ensemble de leurs paramètres de fonctionnement (champ magnétique, couplage micro-onde, champ électrique d'extraction). Une source, telle que celle montrée figure 1, peut produire avec une puissance micro-onde inférieure à 20 W des faisceaux d'ions monochargés réglables en divergence avec une intensité atteignant 700 μA et une énergie de 20 keV. La simplicité des technologies utilisées ainsi que la faible consommation électrique ont ouvert la possibilité d'installer un grand nombre de sources d'ions dans des machines d'intérêt industriel. Le laboratoire a tout d'abord conçu et construit une machine de sputtering dotée de 20 sources d'ions, qui permet de réaliser des couches minces complexes de très hautes qualités. Le LPSC a ensuite construit un prototype d'irradiation ionique produisant un faisceau de 15 cm de haut par 2,5 cm de large pour un industriel français. Deux ingénieurs de recherche de l'équipe Sources d'ions ont alors créé une startup, fin 2014, afin de répondre aux attentes du marché. La startup est hébergée au LPSC et a un effectif de 5 personnes. Elle commercialise des sources unitaires pour générer des faisceaux d'ions ou d'électrons, des machines d'irradiation, et elle développe ses activités dans le domaine des couches minces à haute valeur ajoutée.

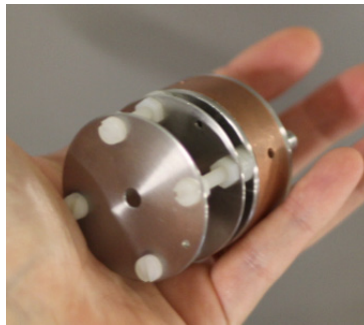


Fig. 1 : Source d'ions ou d'électrons optimisée.

Pour en savoir plus

» Brevets :

“Low-power gaseous plasma source”, P. Sortais, T. Lamy, WO2009FR51986 20091016, 22.04.2010

“Device and method for ion beam sputtering”, P. Sortais, T. Lamy, WO2012107674, 16.08.2012

» <http://polygonphysics.com/>

