

# Valorisation et Transferts de technologie

## **La valorisation: une activité soutenue et une large ouverture**

Le large spectre de compétences réunies au sein du LPSC permet une bonne ouverture du laboratoire en direction d'acteurs des domaines scientifiques et économiques.

Les collaborations utilisent la plupart des outils propres à la valorisation des travaux de recherche: cela va des simples contrats de collaboration de recherche, d'envergure très variable, aux projets soutenus par les structures de valorisation mutualisées (GRAIN 2, Floralis), aux transferts de savoir-faire, aux brevets et aux licences commerciales.

Ces dernières années ont vu se pérenniser les activités traditionnellement pourvoyeuses de valorisation comme les services de prestation en mécanique, les mesures de basse activité, les plasmas ou les sources d'ions, mais progressivement presque tous les domaines techniques du LPSC s'ouvrent à des actions extérieures ou bien sont sollicités par des entreprises et des laboratoires pour leur savoir-faire.

Le laboratoire des basses activités, outre ses liens déjà anciens avec les sociétés impliquées dans les matériaux pour le nucléaire, a rejoint le réseau Becquerel de l'IN2P3. Cela améliore sa visibilité et a permis le financement de nouveaux équipements.

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, THALES), que dans le domaine des matériaux et traitement de surfaces (UGITECH, VALEO) à travers des projets de valorisation (FUI, bourses CIFRE). L'activité du groupe s'est matérialisée par la cession de deux licences non-exclusives à HEF et à SAIREM, et par le dépôt de 4 brevets. Au Service des Sources d'Ions, l'option du développement de micro-sources d'ions (projet GRAVIT I & II) permet l'ouverture de la technique des sources ECR à des domaines nouveaux comme les faisceaux ultra-focalisés (Orsay Physics), l'implantation en grande surface (BODYCOTE, VALEO), et désormais aussi le dépôt des couches minces grâce à une technologie totalement innovante (ILL, cibles de physique).

Le service accélérateurs met à disposition d'un industriel (PMB) des locaux adaptés aux tests de générateurs intenses de rayons X utilisant des accélérateurs linéaires compacts d'électrons.

L'électronique, à travers le projet MASSAR, là aussi soutenu par le pré-incubateur GRAVIT, s'engage dans un projet de nouveau type de convertisseur ADC de grande densité et de grande dynamique dédié, à terme, aux applications dans l'imagerie.

Un gros projet de collaboration de recherche (450 K€) avec l'IRSN/IRFU et utilisant les savoir-faire conjoint des groupes du détecteur MIMAC et sources d'ions a été finalisé en 2013 par la livraison d'une ligne de quenching portable.

L'équipe Développement et Application pour le Médical apporte ses compétences sur un large projet ISI/OSEO, réunissant laboratoires et industriels de l'informatique médicale. L'objectif est la mise au point d'un profileur de faisceau en radiothérapie, dans une géométrie protégée par un brevet LPSC.

Enfin un partenariat avec EDF a été mis en place pour le développement et la validation d'un nouveau capteur NRC (Nivomètre à Rayonnement Cosmique) destiné au renouvellement du parc actuel (40 balises autonomes dans les massifs français). Ce capteur NRC est destiné à la mesure de l'équivalent en eau du manteau neigeux pour estimer les réserves sous forme de neige et optimiser ensuite le remplissage des retenues d'eau au cours de l'année. Le principe du capteur, validé par le LPSC, repose sur la mesure de l'atténuation dans la couche de neige de la partie neutronique du rayonnement cosmique.

En parallèle de ces activités, désormais bien établies, des nouvelles pistes pourraient aussi s'ouvrir autour des physiciens des accélérateurs (accueil d'accélérateurs linéaires à électrons ) ainsi que des possibilités de valorisation des actions faites autour de la boucle à sels fondus (Groupe Réacteurs).

L'année 2013 avec 5 brevets déposés, 1 en cours de dépôt et l'ensemble des projets cités est bien représentatif du dynamisme des actions de valorisation du LPSC.

# Laboratoire de mesure des faibles radioactivités

R. Brissot, M. Heusch, O. Meplan, M. Ramdhane  
Service Détecteurs et Instrumentation

*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.*

## Les activités principales

Chaque année, le laboratoire de mesure des faibles radioactivités (LBA) analyse la radioactivité d'échantillons provenant pour la plupart d'entre eux de trois 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 (zircone, tétrachlorure de zirconium, zircone déhafnié). 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.

Au cours de ces deux dernières années plus de 200 analyses ont été effectuées.

## Amélioration et faits marquants

- Une simulation numérique de l'efficacité de détection des deux détecteurs au germanium a été développée à l'aide de deux codes stochastiques de transport de particules, MCNP d'une part et Geant4 d'autre part. En effet, dans la plupart des cas il n'est pas possible de disposer d'étalons ayant la même géométrie que l'échantillon mesuré. Les résultats obtenus avec ces codes sont associés aux résultats de campagne d'inter-calibration de l'IRSN, sur des échantillons d'activité connue. Cette procédure permet de tenir compte des changements de géométrie des différents échantillons et de tenir compte des variations de l'auto-absorption  $\gamma$  induites par les différences de composition chimique et de densité de l'échantillon.
- L'un des détecteurs de muons cosmiques situé sur la porte d'accès aux germaniums et fonctionnant en mode « veto », a été changé. La technologie basée sur la scintillation liquide a été abandonnée au profit d'un scintillateur solide lu par un photomultiplicateur ; la collection de lumière s'effectue par un cône réfléchissant, selon la technique développée par le Service Détecteurs et Instrumentation pour l'expérience Codalema.
- Le laboratoire de mesure du LPSC a rejoint en 2010 le réseau Becquerel, réseau qui fédère les potentialités de 7 laboratoires de l'IN2P3 (IPNL, IPNO,

CENBG, IPHC, LSM, Subatech et LPSC) dans le domaine des mesures de radioactivité dans l'environnement. Cette structure fédératrice doit améliorer dans le futur la visibilité du laboratoire au plan national. Le réseau a également permis en 2011 d'améliorer la capacité d'analyse du LBA en finançant en partie l'acquisition d'un nouveau détecteur de type BEGE (Broad Energy GERmanium) mieux adapté à la mesure d'échantillons de gros volume et plus performant en terme d'efficacité de détection gamma.



*Fig. 1: Vue du dispositif de mesure entrouvert; sur la gauche le nouveau détecteur de muons et son cône de collection de lumière.*

# Service Électronique

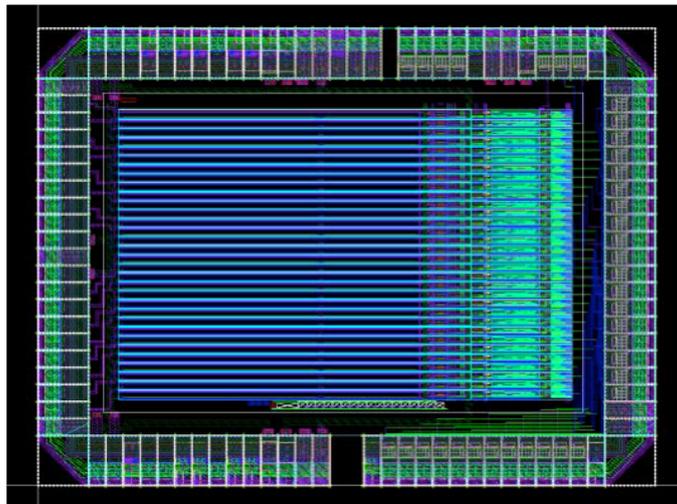
*D. Dzahini, L. Gallin-Martel, F. Rarbi*

## Projet MASSAR

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. Un soutien financier du pré-incubateur GRAVIT a permis de réaliser le premier prototype utilisant ce concept.

L'architecture MASSAR a été déclinée dans une configuration de grande résolution (14 bits), et haut débit 0,5 MSPS/voie; la consommation pour chaque voie est seulement de 500  $\mu$ W.

La technologie MASSAR est particulièrement adaptée pour les nouvelles générations de photodétecteurs 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 premier prototype de 32 voies.



*Fig. 1 : Premier prototype de convertisseur-colonnes de 32 voies MASSAR.*

Les tests de ce circuit ont nécessité la mise en œuvre d'une technique « chip on board » pour réduire la longueur des fils reliant le circuit au boîtier. La figure 2 illustre la comparaison entre cette méthode et celle classique pour la mise en boîtier.

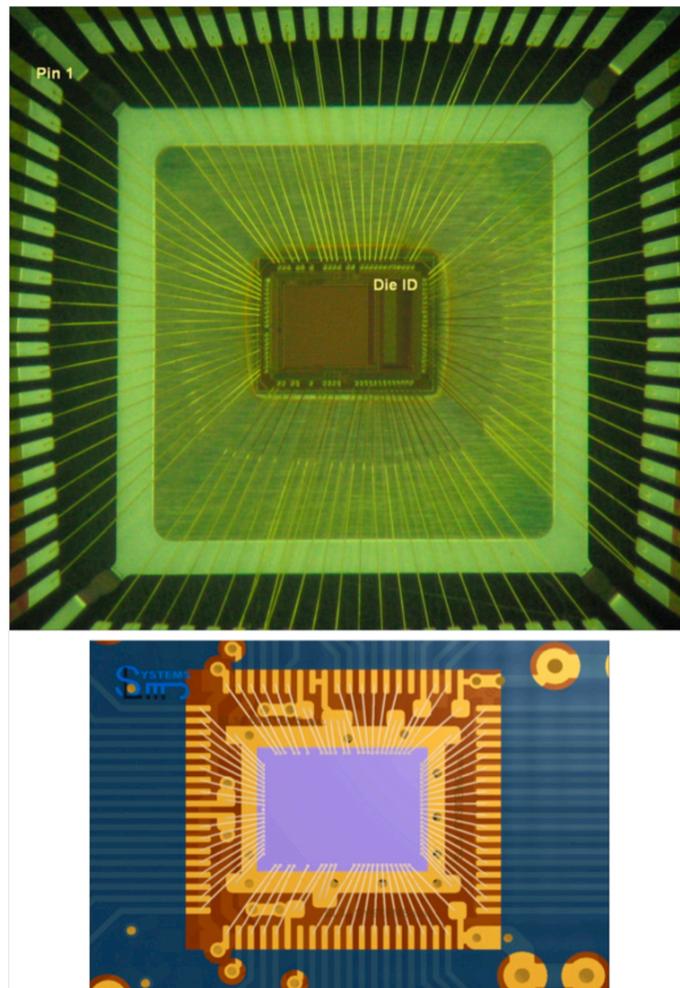


Fig.2: Circuit MASSAR à l'échelle: comparaison des fils de connection («bonding») pour le montage en boîte (en haut) et le montage « Chip On Board » (en bas).

# Service Sources d'ions

T. Lamy, J. Angot, L. Bonny, S. Bouat, J. Jacob, P. Sole, P. Sortais

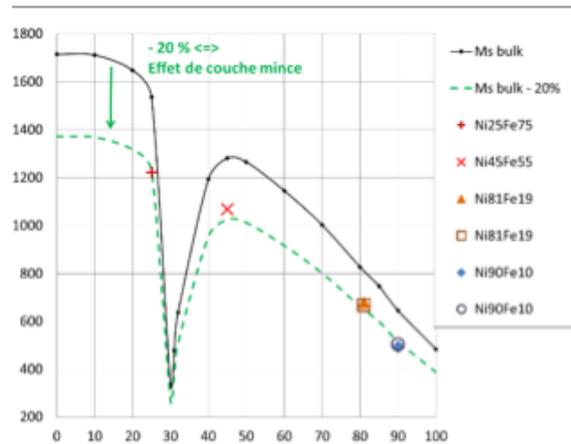
## Machines multi-faisceaux MBS-20 et MBS-6



La machine de dépôt MBS-20 (Fig. ci-contre), fabriquée grâce à un financement GRAVIT en 2011, contient 20 sources d'ions COMIC et peut faire des dépôts d'épaisseur homogène sur de très grandes surfaces. Ces 20 sources peuvent tirer 20 faisceaux d'ions indépendants sur 20 matériaux cibles fixés sur un porte-cible. Dans ce cas c'est une zone de 200 à 300 mm de diamètre qui peut subir le dépôt. Avec l'aide de l'Institut Néel qui nous a permis d'utiliser tout son

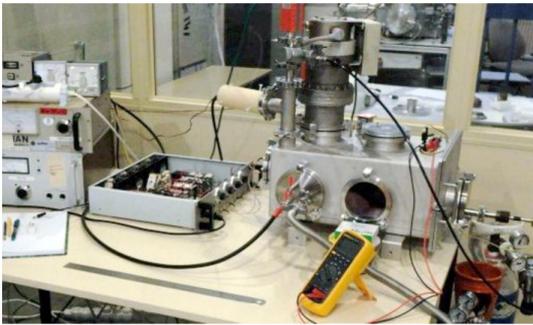
panel de méthodes de caractérisation (Diffraction de rayons X, mesures AFM, mesures supra au PPMS et mesures magnétiques au SQUID-VSM pour les principales), nous avons pu vérifier les bonnes propriétés des matériaux déposés avec cette nouvelle technique dite multi faisceaux :

- Très bon état de surface des couches déposées (rugosité quasi nulle).
- Maîtrise de dépôts supraconducteurs en couches ultrafines : nous avons déposé une couche NbN de 5 nm d'épaisseur qui présente une température critique de 7,15 K ainsi que des multicouches NbN-AlN qui sont actuellement en cours de caractérisation.
- Maîtrise de la composition lors de dépôt d'alliages : la figure ci-contre (from R.M. Bozorth, Ferromagnetism, 1964) présente (courbe noire) l'aimantation à saturation pour les alliages magnétiques de nickel-fer (utilisés dans la fabrication des mémoires magnétiques) en fonction du pourcentage de nickel dans le fer. Dans le cas des couches minces les valeurs sont diminuées de 20% (courbe verte). Nous avons réalisé des dépôts de différentes stœchiométries en réglant l'intensité des faisceaux d'ions sur chaque cible dans le même rapport que pour la composition souhaitée (Ni<sub>25</sub>Fe<sub>75</sub>, Ni<sub>45</sub>Fe<sub>55</sub>, Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>, Ni<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>).



L'image du système en fonctionnement pour les 3 premiers rapports d'intensité est montrée en dessous du graphe. Les aimantations à saturation des échantillons obtenus ont été mesurées et reportées sur le graphe, on constate

un parfait accord entre la courbe théorique et nos points de mesure. Ceci montre que le simple réglage de l'intensité des faisceaux sur les cibles permet de contrôler exactement la stœchiométrie des dépôts obtenus par la machine MBS.



Une seconde machine plus simple, de type « table-top » a été développée avec l'Institut Laue Langevin. Elle est dédiée au fonctionnement en boîte à gants pour des dépôts sur substrats contaminants (Fig. ci-contre). Celle-ci est caractérisée par une très bonne accessibilité du porte-substrat et un environnement technique simplifié (pas de refroidissement, pas de

composant extérieur à l'enceinte à vide à la haute tension, pompage réduit).

Un exemple d'utilisation est le dépôt de platine comme couche d'accroche pour des cibles de physique nucléaire (Fig. ci-contre). Deux sources seulement ont été sollicitées afin de définir une zone de dépôt de 2 par 9 cm quasi uniforme et adaptée à la forme des cibles appelées à recevoir ultérieurement une couche de matériaux transuraniens par voie chimique. Dans le cas de l'utilisation des 6 sources d'ions et cibles simultanément, c'est alors une zone d'environ 10 cm de diamètre qui pourrait être traitée.



# Service Accélérateurs

M. Baylac

## Essais d'accélérateurs industriels au LPSC

Depuis 2012, l'équipe des accélérateurs du LPSC met à disposition des locaux pour les essais de mise en service d'accélérateurs linéaires intenses d'électrons conçus par un industriel (PMB). Ces machines sont dédiées à la génération de hautes doses de rayons X (jusqu'à 30 Gy/min). La mise en œuvre de ces machines requiert donc un important niveau de blindage qui n'est, à l'heure actuelle, pas disponible auprès de la société développant ces accélérateurs.

La casemate du cyclotron de SARA, accélérateur à l'arrêt depuis 1997, fournit des locaux parfaitement adaptés en termes de blindage au fonctionnement de ces accélérateurs intenses. La casemate a été aménagée pour permettre l'installation et la mise en œuvre de ces machines. Depuis, plusieurs machines ont été accueillies pour des essais de mise en service.



Fig. 1 : Accélérateurs linéaires à électrons en tests dans la casemate du cyclotron SARA.

# Groupe Astroparticules

*D. Santos, P. Sortais, J. Médard*

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

*D. Fombaron, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques*

*J.-P. Scordilis, Service Électronique*

## Projet COMIMAC

La détection directe de matière sombre non-baryonique par le projet MIMAC demande la détermination de la part en ionisation de l'énergie du recul nucléaire qui a subi une interaction avec une particule exotique de notre halo galactique. Cette détermination quantitative signifie avoir mesuré ce que l'on appelle le facteur de « quenching » en ionisation (IQF).

Ces mesures se font régulièrement au LPSC depuis 5 ans sur une ligne expérimentale spécialement conçue et développée par le Service des Sources d'Ions du laboratoire.

Afin de pouvoir réaliser ce type de mesures sur les sites expérimentaux du détecteur MIMAC (Modane, Cadarache), le LPSC a développé une ligne de quenching portable (LQP). La LQP permet de produire des faisceaux d'ions et d'électrons à des énergies pouvant atteindre 50 keV. Ce développement a été rendu possible en partie grâce à la miniaturisation des sources ECR (sources COMIC). La LQP a été couplée à une chambre d'ionisation par l'intermédiaire d'une interface adaptée pour l'injection des ions dans le volume de détection et permettant de minimiser le straggling subi par les ions à l'entrée de la chambre. Un filtre de Wien, spécialement dimensionné à la géométrie de la LQP, permet de sélectionner en  $q/m$  les différentes espèces.

Au cours de ces deux dernières années, deux lignes de quenching portables ont été construites au LPSC dont l'une a fait l'objet d'une action de valorisation auprès de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). La première LQP a été livrée et mise en fonctionnement à l'IRSN au cours du mois de mars 2013 tandis que la deuxième est actuellement en cours de validation au LPSC.

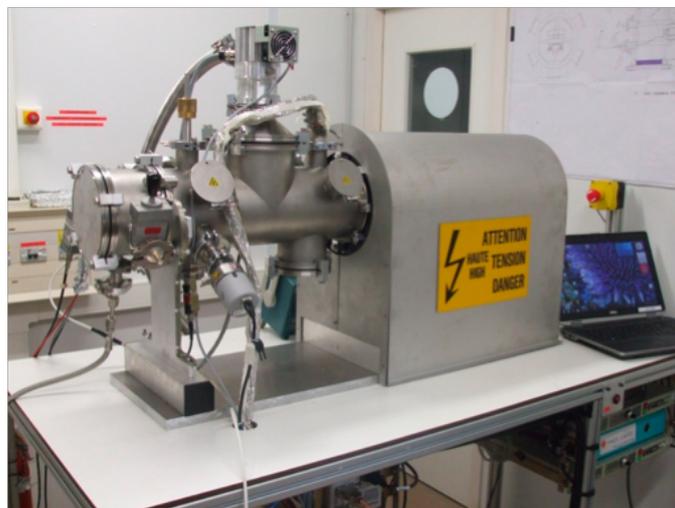


Fig. 1 : Ligne de Quenching Portable (COMIMAC) couplée à une chambre d'ionisation.

# Groupe Développements et Applications pour le Médical

Y. Arnoud, I. Fonteille, M.-L. Gallin-Martel, O. Rossetto  
O. Guillaudin, A. Pelissier, Service Détecteurs et Instrumentation  
B. Boyer, 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 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. Un troisième prototype va être réalisé, permettant une mesure 2D et en temps réel des faisceaux au cours de l'irradiation. Après réduction des données, les signaux de ce détecteur seront transmis en ligne à une console de décision, afin d'arrêter l'irradiation dans le cas où une anomalie serait mise en évidence, par rapport au plan de traitement initialement établi.

Ce projet fait partie d'un programme ISI<sup>1</sup>, financé par la banque publique d'investissement Bpifrance, pour l'augmentation de la sûreté en radiothérapie (projet INSPIRA). Les prototypes développés au LPSC ont fait appel à des technologies innovantes (dépôt de brevet FR N° 11/53254). Un contact avec la société IBA<sup>2</sup> a été établi, en vue d'une commercialisation du produit dans les années à venir.

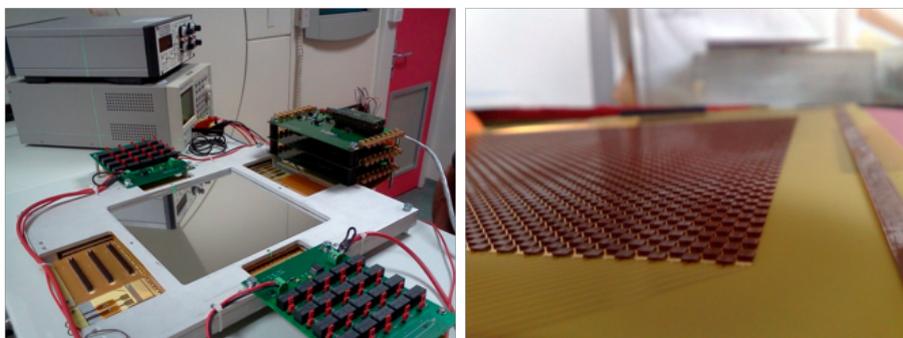


Fig. 1 : (Gauche) Le 2e prototype prêt à enregistrer des données sous le faisceau de radiothérapie. (Droite) Détails sur la structure innovante à base de piliers en polyimide de hauteur 500 µm afin de réduire la diaphonie.

1 Innovation Stratégique Industrielle

2 Ion Beam Applications

# Centre de Recherche Plasmas- Matériaux-Nanostructures

*A. Lacoste, S. Béchu, A. Bès, L. Bonny, M. Coste, H. Le Quoc, J. Pelletier, T. L. Phan, C. Prahoveanu, A. Todoran*

## **Partenariat de valorisation**

La valorisation des activités du groupe se traduit par le transfert, aussi bien au niveau académique qu'au niveau industriel, de 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 Boréal-Plasmas (filiale de HEF). Au niveau industriel, il est à noter l'achat de licences non-exclusives conclu avec SAIREM (2012) et avec HEF (2013) pour différentes familles de brevets CNRS-UJF.

Dans ce contexte de développement de sources plasma micro-onde distribuées, quatre nouveaux brevets ont été déposés en 2013: deux UJF/CNRS, et deux autres TED/UJF/CNRS. Ces deux derniers ont été déposés par TED (Thales Electron Devices) et résultent de la collaboration LPSC-TED mettant à profit des savoir-faire complémentaires (hyperfréquences-TED et plasma-LPSC). Cette collaboration, démarrée en 2007, a été renforcée par une première thèse CIFRE (2009-2011) et se poursuit avec une deuxième thèse CIFRE (2011-2014) et un projet FUI-GMP DLC2 (2012-2015).

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, CAR-NOT-Energies du Futur – thèse 2013-2016). L'expertise du groupe en la matière a également conduit à un contrat avec UGITECH (thèse CIFRE, 2011-2014).

## **Projets ANR Valorisation**

La valorisation des technologies plasma micro-onde développées par le groupe au sein du LPSC a été soutenue par l'ANR Emergence (appel à projet 2010) sous forme de financement du projet APANAGE (2011-2013) portant sur la réalisation d'une chambre de gravure plasma à hautes performances adaptable sur plateformes existantes. Le principal objectif de ce projet stratégique est d'accéder au marché de la micro-électronique.

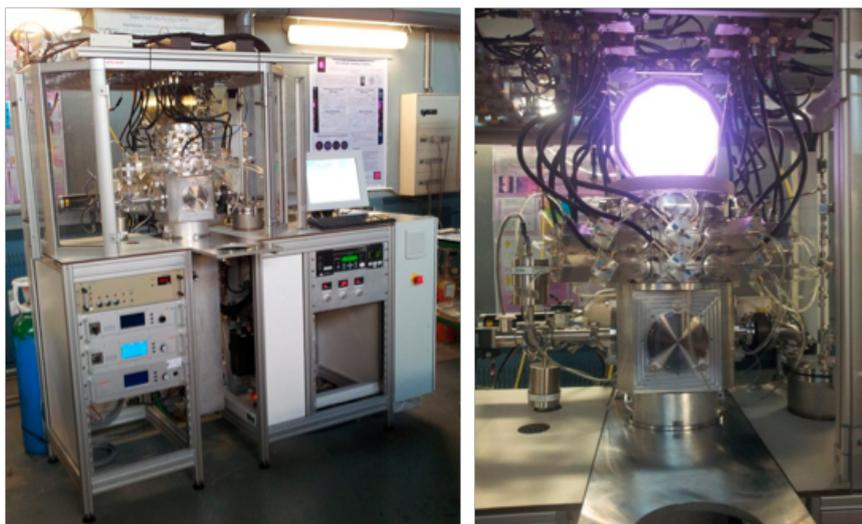


Fig. 1 et 2 : Réacteur conçu et développé au LPSC avec financement ANR Emergence (2011-2013).