

# Actions d'incitation

## *Incentive actions*

### 1. Détermination de la constante de Boltzmann par méthode spectroscopique

*Laboratoire de physique des lasers (LPL) – UMR CNRS 7538 – Université de Paris 13 – Villetaneuse.*

Il s'agit de mesurer la constante de Boltzmann avec une incertitude d'au plus  $10^{-6}$  en valeur relative (actuellement l'incertitude relative retenue dans Codata est de  $1,7 \cdot 10^{-6}$ ) afin de fournir ces valeurs au CIPM pour que la CGPM de 2011 puisse prendre en compte ces données et modifier la définition du kelvin à partir de cette constante fondamentale. La mesure sera effectuée par méthode spectroscopique : mesure de l'absorption à  $10,6 \mu\text{m}$  d'un gaz moléculaire (ammoniac) à faible pression, maintenu à une température proche de celle du point triple de l'eau.

Cette étude fait suite à un précédent contrat qui a démontré la faisabilité de la méthode. Il s'agit ici d'améliorer les moyens et les conditions de mesure ainsi que le traitement des données avec pour objectif d'atteindre une incertitude relative de  $10^{-6}$ . Ce projet est mené en collaboration avec le laboratoire de thermométrie du LNE-INM et le programme a été établi sur une durée de 4 ans.

### 2. Évaluation des performances de l'activation neutronique en tant que méthode de référence en métrologie chimique

*Laboratoire Pierre Süe (LPS) – UMR 9956 CEA-CNRS – CEA-Saclay – Gif-sur-Yvette.*

Ce programme s'inscrit dans la démarche des laboratoires de métrologie pour rechercher des méthodes primaires. Cette étude vise à évaluer les performances de l'activation neutronique en tant que méthode de référence pour la détermination de métaux et métalloïdes. Pour cela, elle sera comparée à la dilution isotopique (DI) mise en œuvre avec l'ICP/MS (*Inductively Coupled Plasma / Mass Spectrometry*), méthode classique et courante des laboratoires nationaux de métrologie. Il est particulièrement intéressant d'évaluer l'activation neutronique dans des matrices environnementales. Des échantillons de sols et de sédiments seront analysés par les deux techniques et une analyse statistique des résultats sera effectuée. L'étude devrait permettre de déterminer les conditions optimales et le domaine d'application de la

technique si celle-ci présente des caractéristiques métrologiques performantes.

### 3. Fabrication de pompe à électrons de type R pour la réalisation d'un étalon quantique de courant continu

*Laboratoire de Photonique et Nanostructure (LPN) – Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Marcoussis.*

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet de réalisation d'un étalon quantique de courant électrique basé sur l'effet tunnel à un électron SET (*Single Electron Tunneling*). Associé aux effets Josephson et Hall quantique, qui reproduisent respectivement le volt et l'ohm, cet étalon de courant permettra à terme de refermer le triangle métrologique. Ainsi, l'année 2006 constitue la quatrième phase de la collaboration entre le CNRS-LPN et LNE/CMSI.

La première phase, débutée en 2003, avait pour objectif la fabrication de dispositif à un électron (SET). Elle a permis, tout d'abord, de mettre au point les procédés technologiques permettant de réaliser des jonctions nanométriques par la technique de métallisation sous différents angles à travers un masque suspendu réalisé sur une bicouche PMMA/MAA. Les premiers exemplaires des dispositifs SET ont pu ainsi être réalisés. Par la suite, les caractérisations électriques effectuées au LNE-CMSI ont validé le processus de fabrication des SETs et ont permis l'ajustement des paramètres des jonctions (résistances et capacités). Ensuite, les premières pompes à électron de type R ont été réalisées par l'ajout de part et d'autre des SETs de résistances de chrome de  $50 \text{ k}\Omega$  en série permettant de diminuer l'effet tunnel concomitant. Ces pompes présentaient alors des tailles de jonctions de l'ordre de la centaine de nanomètres ne permettant pas d'avoir des températures de blocage de Coulomb importantes. La taille des jonctions étant liée au recouvrement entre les deux dépôts d'aluminium, un nouveau masque réalisé sur une bicouche de PMMA/LOR a été employé. Des tailles de jonctions de  $30 \text{ nm} \times 30 \text{ nm}$  ont alors été obtenues. En outre, la technique de réalisation des résistances de chrome a été validée en réalisant des mesures de l'effet concomitant. Des marches de courant ont alors été observées jusqu'à des fréquences de  $20 \text{ MHz}$  avec les pompes produites.

L'objet de la quatrième phase est de poursuivre le travail engagé sur les pompes à électron de type R pour obtenir des dispositifs plus performants permettant d'obtenir un fonctionnement métrologique pour des fréquences de pompage et des tensions de seuil plus importantes.

#### **4. Mise au point de résistances coaxiales calculables par dépôts de couches ultra minces – Étude du contrôle et de la stabilisation des résistances**

*Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Matériaux, les Procédés et les Surfaces (LERMPS) – Université de Technologie de Belfort-Montbéliard – Belfort.*

Cette étude est la poursuite d'une collaboration entre le LERMPS et le LNE pour élaborer des résistances calculables en déposant sur un substrat cylindrique en céramique un film métallique de quelques nanomètres d'épaisseur. Cette étude s'inscrit plus globalement dans l'objectif de la détermination de la constante de von Klitzing  $R_K$  à laquelle les résistances calculables participent. L'objectif est de produire des résistances présentant des valeurs de 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 20 k $\Omega$  et 40 k $\Omega$  avec une grande stabilité. Pour cela, le dépôt des films métalliques s'effectue au moyen de la technique de pulvérisation cathodique magnétron avec un contrôle *in-situ* de leur croissance. Ainsi, l'épaisseur des films métalliques est mesurée avec une balance à quartz dont la fréquence de résonance dépend de la masse de l'ensemble « quartz + dépôt ». En outre, les travaux précédents ont montré que la résistance des films présentait une dérive temporelle importante. Pour stabiliser cette valeur, plusieurs possibilités sont testées : ajout d'un dépôt isolant supplémentaire, traitement thermique, dopage en éléments étrangers *in situ*. Une fois que ce problème sera résolu, la réalisation de nouvelles résistances stables et présentant les valeurs nominales souhaitaient pourra être envisagée.

#### **5. Développement d'un détecteur pour les émetteurs $\beta$ , permettant de réaliser des mesures avec une efficacité de détection proche de l'unité**

*Laboratoire Kirchoff-Institut für Physik – Universität Ruprecht-Karls de Heidelberg – Allemagne.*

Les émetteurs  $\beta$  présentent un intérêt majeur pour le domaine de la santé : ils sont en effet particulièrement utilisés pour les diagnostics et traitements de cancers. Une telle utilisation requiert donc la mise à disposition aux personnels hospitaliers, de données nucléaires précises, ainsi que d'étalons assurant conjointement la sécurité des patients et l'efficacité des traitements.

Ces rayonnements ionisants sont actuellement détectés, soit par voie de scintillation liquide, soit par voie d'ionisation (*via* les chambres de même nom). Une fois les mesures réalisées, les résultats sont ensuite analysés par calculs informatiques. Cependant, les modèles informatiques existants à ce jour présentent d'importants écarts entre eux, qui peuvent d'ailleurs aller jusqu'à plus de 20 %. En conséquence, il s'avère indispensable de développer des dispositifs de détection, qui permettraient dans un premier temps de comparer les simulations aux résultats expérimentaux, et à terme, de valider la modélisation la plus performante.

La faisabilité d'un tel système de détection, couplant un absorbeur métallique à un senseur magnétique ayant été précédemment démontré dans le cadre de travaux de collaboration entre le KIP et le LNE-LNHB. Ce dernier présente les avantages de pouvoir réaliser des détections dans un angle solide de  $4\pi$ , avec une bonne linéarité de détection et une efficacité de détection proche de l'unité, tout cela sur une large gamme d'énergie allant jusqu'à plus de 1 MeV. Le présent contrat a donc pour objectif de développer le process de fabrication d'un tel détecteur intégré  $4\pi$ - $\beta$ , puis de réaliser le premier prototype. Ce dernier permettra ensuite au LNE-LNHB de mesurer précisément des spectres en énergie d'émetteurs  $\beta$ .