**Contribution aux exercices de prospective 2020-2030**

***Contribution to the 2020-2030 prospective reflection***

**Sciences Nucléaires et Vivant**

*Nuclear Science and Health*

**Description détaillée de la contribution**

*Detailed description of contribution*

**Titre : Caméra Compton pour l’imagerie diagnostique**

Prénom et nom de l’auteur principal ou correspondant : Jean-Pierre Cussonneau

Affiliation de de l’auteur principal ou correspondant : Subatech

E-mail de l’auteur principal ou correspondant :  [jean-pierre.cussonneau@subatech.in2p3.fr](mailto:e.testa@ipnl.in2p3.fr)

Prénoms, noms et affiliations des co-auteurs :

SUBATECH : Jean-Pierre Cussonneau

IP2I : Etienne Testa

LPSC : Denis Dauvergne

CPPM : Christian Morel

(Participants possibles hors IN2P3 : Jean Michel Létang, Voichita Maxim et David Sarrut : CREATIS)

*First, lastname and affiliation of co-authors :*

Résumé (600 caractères max., incluant les espaces) :

Depuis les années 2000, des développements instrumentaux et des études par simulations Monte Carlo ont mis en évidence le potentiel des caméras Compton pour l’imagerie diagnostique. Les avancées technologiques conduisent aujourd’hui de plus en plus de groupes de recherche à s’intéresser à cette modalité d’imagerie. Au sein de l’IN2P3, 2 prototypes de caméras sont en cours de développement : le système Xémis développé pour détecter en coïncidence les 3 photons émis par le scandium 44 (SUBATECH) et la caméra CLaRyS (IP2I, CPPM, LPSC, CREATIS).

Thématique : axe2/ défis en instrumentation et imagerie

**Indiquer les objectifs scientifiques (2 pages max. avec figures)**

Il est incontestable que l’imagerie moléculaire SPECT et PET a impacté de manière significative le domaine médical en améliorant en particulier le diagnostic en oncologie. Le dépistage du cancer est un enjeu de société majeur et nécessite des moyens de diagnostic performants. D’autre part, le défi de la médecine personnalisée, qui consiste entre autres à adapter le traitement à chaque patient, implique un suivi thérapeutique plus régulier et par conséquent une imagerie plus fréquente. Tous ces arguments vont dans le sens de proposer des caméras capables de délivrer rapidement des informations pertinentes pour le diagnostic tout en minimisant l’impact potentiel sur la santé du patient. Au niveau international, les développements technologiques visent en particulier à réduire la dose reçue par les patients lors des examens médicaux. Plusieurs axes de recherches sont menés actuellement :

* Augmentation du champ de vue des caméras PET avec par exemple le projet Explorer aux États Unis.
* Amélioration de la mesure du temps de vol des caméras PET avec par exemple le défi 10 ps lancé par plusieurs laboratoires de l’In2p3.
* Mesure de la profondeur d’interaction dans les cristaux pour réduire l’effet de parallaxe en imagerie PET
* Augmentation de la sensibilité de la SPECT par l’utilisation de caméras Compton  : caméra Compton du projet CLaRyS.
* Imagerie 3 avec du xénon liquide dans le cadre du projet XEMIS.

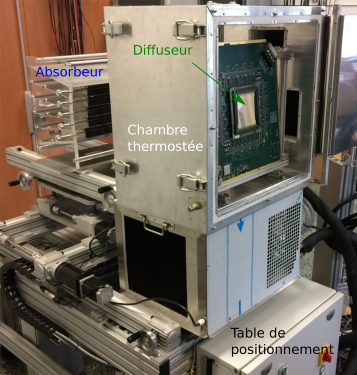
Les deux projets CLaRyS et XEMIS, portés par des laboratoires de l’In2p3, s’appuient sur des développements originaux de caméra Compton pour des applications dans le domaine de l’imagerie médicale. Une description plus approfondie de chacun des projets et de leurs objectifs est donnée dans la suite du texte.

1. **Projet CLaRyS , imagerie Compton mono photonique**.

Le développement d’une caméra Compton par la collaboration CLaRyS[[1]](#footnote-2) a commencé avec l’ANR Gamhadron (2009-2013). Cette caméra a été conçue initialement pour le contrôle de l’hadronthérapie par détection des rayons gamma prompts dont la distribution des points d’émission dans le patient est étroitement corrélée au parcours des ions (cf. contribution pour le GT10 sur le contrôle en ligne de radiothérapies innovantes). Elle comporte un diffuseur constitué de 7 détecteurs silicium (90x90x2 mm³, SINTEF) et d’une trentaine de blocs BGO issus d’un imageur TEP commercial. Les cartes frontales de ces détecteurs ont été développées respectivement à l’IP2I et au LPC Clermont alors que la carte de back-end (AMC40) vient du CPPM (carte proposée à l’origine pour l’expérience LHCb) (Figure 1).

Depuis 2015 environ, son application à l’imagerie nucléaire diagnostique et théranostique est à l’étude. Nous avons en effet montré par simulations Monte Carlo que notre prototype de caméra Compton avait une efficacité de détection 20 fois supérieure à celle d’une caméra Anger commerciale de taille identique. La première version de la caméra Compton est prévue pour mi 2021.

Comme l’ASIC de lecture des détecteurs silicium avait été conçu initialement pour les photons de relativement haute énergie, une première perspective d’amélioration de la caméra consiste à développer une nouvelle version de cet ASIC plus adaptée aux basses énergies.

Figure 1 : caméra Compton (diffuseur en silicium et absorbeur en BGO) posée sur sa table de positionnement.

En ce qui concerne les détecteurs silicium en tant que tels, ils sont les détecteurs de référence pour le diffuseur de la caméra (diffusion Compton favorisée par rapport à l’absorption photo-électrique et faible effet Doppler). Leur inconvénient est qu’ils présentent un courant de fuite relativement élevé à température ambiante. Ils sont donc actuellement refroidis dans une enceinte thermostatée qui représente probablement un frein à l’intégration de la caméra Compton dans un milieu hospitalier. Un deuxième axe d’amélioration de la caméra Compton est donc le développement d’un diffuseur composé de détecteurs silicium fonctionnant à température ambiante avec une excellente résolution en énergie (typiquement quelques keV FWHM à 60 keV).

Enfin nos détecteurs BGO fonctionnent relativement bien avec des rayons gamma de haute énergie (leur faible rendement lumineux est compensé par des dépôts d’énergie élevés). En revanche, ils ne sont pas adaptés à la détection des photons de « basse énergie » utilisés actuellement en SPECT (e.g. les photons de 140 keV du technétium 99m). Une perspective d’amélioration est d’utiliser des scintillateurs présentant d’excellentes résolutions en énergie et couplés à des matrices de SiPM. On peut citer par exemple le système de détection TEMPORAL de la société DAMAVAN imaging actuellement utilisé dans le cadre du projet Physique Cancer CLaRyS-UFT (LPSC, CPPM, IP2I, CREATIS, Damavan) ainsi que les détecteurs LaBr3 utilisés dans les caméras collimatées compactes développées par le groupe IIRIC de l’IMNC. Une autre possibilité consiste à utiliser des semi-conducteurs comme le CZT qui présente d’excellentes résolutions spatiales et en énergie à température ambiante.

1. **Projet XEMIS, Imagerie à 3 photons**

Le projet XEMIS s’inscrit dans la durée, puisqu’il a été initié en 2005 au laboratoire Subatech. Il bénéficie de l’environnement régional des Pays de la Loire favorable au développement de la médecine nucléaire. Dans ce cadre une collaboration avec le service de médecine nucléaire du CHU de Nantes, le CRCINA de Nantes et le cyclotron ARRONAX a été initiée. La technique d’imagerie innovante proposée, appelée imagerie 3, nécessite le développement d’un nouveau radio pharmaceutique marqué avec un émetteur +. En particulier, le scandium 44 présente une demi-vie d’environ 4 heures adaptée à l’imagerie moléculaire et d’autre part des propriétés physiques du photon gamma corrélé au + adéquates pour l’imagerie Compton avec du xénon liquide.

La première phase du projet, appelée XEMIS1 a permis de démontrer la faisabilité de l’imagerie Compton avec une TPC au xénon liquide simple phase de petite dimension. Les tests réalisés en laboratoire avec des sources radioactives ont conduit à une mesure de la résolution en énergie de 4 % sur le pic photoélectrique à 511 keV et une résolution spatiale de l’ordre de 500 m dans les trois dimensions, ce qui est très satisfaisant pour la détermination précise du cône Compton reconstruit sur le 3ème photon.

La deuxième phase du projet, appelée XEMIS2 est actuellement en cours et consiste en la construction d’une caméra au xénon liquide cylindrique contenant 200 kg de xénon, dédiée à l’imagerie 3 du petit animal. Cette caméra, installée dans le centre d’imagerie CIMA du CHU de Nantes devra à terme produire des images de souris effectués dans le cadre d’études d’intérêt préclinique. La technologie mise en œuvre est complètement nouvelle et a nécessité la conception d’une puce électronique dédiée à la mesure du signal d’ionisation sur chacun des 20000 pixels de la caméra XEMIS2, ce développement a été effectué en collaboration avec le pole MICRHAU de l’In2p3. Un système cryogénique original de récupération et de stockage du xénon liquide a également été conçu en partenariat avec le groupe ALAT d’Air Liquide.

L’objectif scientifique principale de XEMIS2 est de montrer qu’il est possible de réaliser une image d’un petit animal de bonne qualité à basse activité, environ 100 fois moins que celle utilisée avec une camera microPET classique à cristaux scintillants. Pour atteindre cet objectif, de nouveaux algorithmes de reconstruction adaptés à l’imagerie 3 sont à l’étude en partenariat avec des chercheurs spécialistes de ce domaine du laboratoire LATIM à Brest, du CRCINA à Nantes et de l’Ecole Centrale de Nantes (LS2N).



Figure 2: vue d’ensemble de la caméra XEMIS2 et du système de récupération et de stockage du xénon liquide ReStoX.

La troisième phase du projet, dans la continuité des deux premières phases aura pour but de réduire d’un facteur supérieur à 100, la dose reçue par un patient lors d’un examen en imagerie moléculaire. Il faudra alors construire à terme une caméra de très grand champ de vue permettant de réaliser une image « total body » du patient avec une très faible activité injectée. Le défi technologique est bien entendu important mais il faut souligner qu’il existe actuellement des expériences de détection de matière noire, comme XENON-1T au laboratoire souterrain du Gran Sasso en Italie, qui ont d’ores et déjà démontré qu’il est possible de réaliser des TPC de grandes dimensions avec des volumes de xénon liquide de plusieurs tonnes.

**Merci de renvoyer ce document à** [PROSP2020-GT10-COPIL-L@IN2P3.FR](mailto:PROSP2020-GT10-COPIL-L@IN2P3.FR) **avant le   
1er novembre 2019**

**Please send this document to** [PROSP2020-GT10-COPIL-L@IN2P3.FR](mailto:PROSP2020-GT10-COPIL-L@IN2P3.FR) **before   
november 1st, 2019**

1. La collaboration CLaRyS rassemble actuellement le CPPM, l’IP2I et le LPSC. [↑](#footnote-ref-2)