



Formulaire – Appel à projets 2014

DEFI Instrumentation aux limites

Formulaire obligatoire pour l'appel à projets

Identification

Civilité et Nom du porteur du projet	Mr Marco Bomben
Titre long (max 150 caractères)	Système léger de refroidissement à évaporation au CO ₂ en exploitant des micro-canaux gravés dans le silicium
Acronyme	REFLECS (R efroidissement L éger au C o ₂ en S ilicium)

Poursuite d'un projet lauréat de l'AAP 2013 ? Non

Résumé du projet :

La nécessité de systèmes de refroidissement efficaces employant des quantités relativement faibles de fluide est de plus en plus impérieuse pour les détecteurs au silicium utilisés en physique fondamentale et dans toute activité nécessitant un encombrement réduit. Une solution prometteuse consiste à utiliser un refroidissement par évaporation au dioxyde de carbone (CO₂). La circulation du CO₂ dans des micro-canaux gravés dans le silicium permettra de réduire les matériaux, assurera une grande surface pour le transfert de chaleur, tout en éliminant les problèmes liés à la dilatation thermique. Nous voulons donc faire avancer l'état de l'art dans ce domaine qui intéresse la physique des hautes énergies et l'astrophysique.

Equipes participant au projet:

Nom du responsable ou des membres de la structure participant au projet	Laboratoire ou structure	Organisme	Institut principal (pour les équipes CNRS)	Instituts secondaires (pour les équipes CNRS)
Marco Bomben	LPNHE	CNRS	IN2P3	
Giovanni Calderini	LPNHE	CNRS	IN2P3	
Filipe De Matos	LPNHE	CNRS	IN2P3	
Maurizio Boscardin	SRD	CMM – Trento (Italie)		
Anna Macchiolo	MPI	MPI (Allemagne)		
Jean-Rene Coudeville	IEF	CNRS	INP	INSIS
Frédéric Hamouda	IEF	CNRS	INP	INSIS

Exposé scientifique du projet (2 pages maximum) explicitant les points suivants :

- **Contexte du projet et enjeux scientifiques** : la nouvelle génération de détecteurs en silicium exige des systèmes de refroidissement plus efficaces pour la puce de lecture et pour le capteur lui-même.

Dans le domaine des hautes énergies, la fluence des rayonnements prévue au LHC dans le futur (*High Luminosity LHC*) pour les détecteurs à pixels les plus proches au point d'interaction impose des températures de refroidissement bien plus basses (inférieure à -20°C) qu'aujourd'hui, afin d'éviter des dégradations importantes (effets d'*annealing inverse*) [1].

Pour ce qui est de l'astrophysique, les détecteurs en silicium dans un satellite doivent fonctionner dans un intervalle de température limité, avec un haut degré d'homogénéité en température entre tous les modules de détection, tout

en utilisant un système qui doit fonctionner plusieurs années sans aucune intervention tout au long des missions spatiales [2].

Dans les deux domaines la quantité de matière est un problème majeur. Il est impératif de réduire la quantité des matériaux qui pourrait détériorer la mesure de l'énergie des particules. Par exemple: la quantité de matériau passif pour les futurs détecteurs en silicium auprès du HL-LHC doit être bien inférieure à 1% de la longueur de radiation X_0 . Cela passe par le choix d'un système de refroidissement adapté à ces contraintes. Le projet REFLECS met en œuvre une plaque de silicium comportant des micro-canaux gravés dans lesquels circule du CO_2 . L'étanchéité est assurée par une autre plaque en silicium ou en pyrex collée à la précédente.

Ce système novateur de refroidissement présente une avancée notable pour des systèmes de détection de particules élémentaires, mais aussi pour tous les systèmes à base de silicium, nécessitant des refroidissements peu encombrants. Ce système à micro-canaux présente plusieurs avantages :

- a) Peu de matière en terme de X_0 car la plaque de refroidissement est de l'ordre de 200 à 500 μm d'épaisseur
- b) Les matériaux utilisés (silicium, pyrex) sont semblables aux matériaux du senseur et de l'électronique (silicium) d'où l'élimination des interfaces thermiques, la diminution de la résistance thermique et des problèmes de dilatation thermique entre les différentes couches.
- c) la surface de refroidissement peut être étendue, car il est possible par les techniques de gravure de créer plusieurs micro-canaux parallèles, augmentant ainsi le transfert de chaleur;
- d) les micro-canaux pourront être placés exactement en regard des sources de chaleur, afin de maximiser l'efficacité thermique et générer moins de stress thermique [3].

Concernant le fluide de refroidissement, le CO_2 est devenu aujourd'hui le choix standard pour le refroidissement des trajectographes futurs qui exigent des opérations à basse température. L'utilisation du CO_2 est de plus en plus répandue dans le domaine de la réfrigération en raison de sa non-toxicité, et son inflammabilité, il ne pose aucun risque pour l'ozone et il est moins dangereux pour l'environnement que, par exemple, les chlorofluorocarbures. Au delà des avantages importants pour la santé et l'environnement, le CO_2 est particulièrement adapté pour les détecteurs en silicium grâce à la combinaison de ses caractéristiques thermiques et fluidiques. Le fait de l'utiliser dans des micro-canaux de silicium est une proposition encore récente, basée sur un mode de circulation de fluide diphasique à haute pression (« *two-phase Accumulator Controlled Loop* (2APCL)). Le 2APCL utilise du CO_2 dans un système de pompage de liquide pour refroidir à basse température avec des débits faibles (\sim quelques g/s), tout en limitant la chute de pression et de température à travers le détecteur. Enfin, le coût et la gestion de l'installation seront moins contraignants que les systèmes classiques (fréon, etc.) [4].

En résumé pour descendre plus bas en température, garantir la stabilité des opérations, augmenter la puissance de refroidissement, réduire la quantité du matériau et simplifier le système de refroidissement lui-même, une amélioration de la gestion de la puissance thermique des détecteurs est nécessaire; la solution proposée ici est la combinaison du refroidissement au CO_2 et de la technologie de refroidissement avec micro-canaux.

- **Programme de travail** : le but du projet REFLECS est de réaliser un démonstrateur se composant d'un senseur en silicium, sa puce électronique de lecture, et la plaque de refroidissement à micro-canaux fermée par une plaque en silicium ou en pyrex. Ensuite, le prototype sera connecté à un système au CO_2 pour tester sa performance thermique dans des conditions d'utilisations les plus réelles possibles. Pour arriver à ce test final plusieurs étapes doivent être réalisées :

- 1) conception et simulation du démonstrateur, adapté au besoin de l'astrophysique et de la physique de haute énergie (LPNHE);
- 2) gravure des plaquettes de silicium, à fermer avec du silicium ou du pyrex (CMM/IEF) ;
- 3) premiers essais thermiques avec des maquettes pour créer de la puissance thermiques (LPNHE-MPI);
- 4) études pour des raccords pour les opérations à haute pression (LPNHE) ;
- 5) assemblage du démonstrateur avec soit des capteurs à pixel ou à micro-pistes (LPNHE);
- 6) test final avec un système à CO_2 (MPI)

- **Equipes impliquées:**

LPNHE : étude du démonstrateur pour les hautes énergies et dessin de micro-canaux en exploitant des logiciels commerciaux (ANSYS) ; étude et réalisation des raccords pour les opérations à haute pression ; assemblage du démonstrateur; test en salle blanche

IEF : centrale de technologie universitaire Minerve : expertise et réalisation de la gravure sur plaques de silicium

CMM-TRENTO : collage des deux plaques et étanchéité du système

MPI-MUNICH : test final avec le système à CO_2 MARCO (Multipurpose Apparatus for Research on CO_2), études des raccords pour les opérations à haute pression

- **Financement** : 25k€ : réalisation des plaquettes avec micro-canaux, avec clôture soit en pyrex soit en silicium
5 k€ : études et réalisation des raccords pour les opérations à haute pression ; assemblage du démonstrateur

Total : 30 k€

- **Références :**

- [1] « Letter of Intent for the Phase-II Upgrade of the ATLAS Experiment », CERN-LHCC-2012-022. LHCC-I-023, CERN (2012)
- [2] « Development of a Thermal Control System with Mechanically Pumped CO2 Two-Phase Loops for the AMS-02 Tracker on the ISS », arXiv.org:1302.4294 [physics.ins-det]
- [3] « Silicon buried channels for pixel detector cooling »
M. Boscardin et al., Nucl. Instrum. Meth. A718 (2013) 297-298
- [4] «CO2 cooling for HEP experiments»
Verlaat, B., M. Van Beuzekom, and A. Van Lysebetten. *Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP-2008)*, Naxos, Greece. 2008.

CV du Marco Bomben (porteur du projet)

né le 7/2/1979 à Pordenone (Italie)

Laurea (M2 équivalent) en 2003, Université de Trieste, dans l'expérience BaBar

Dottorato in Fisica (Thèse) en 2007, Université de Trieste, dans l'expérience BaBar

De 2007 à 2010 je me suis occupé de développement des capteurs en silicium pour des expériences de haute luminosité auprès des collisionneurs à haute luminosité. La collaboration Slim5 dont je fais partie a développé des capteurs au silicium à pixels et à micro-pistes, caractérisés par leur épaisseur réduite et la possibilité de leur intégration avec le système de "trigger". Les nouveaux détecteurs ont été testés en faisceau au CERN en 2008 (A)
Depuis 2010 je m'occupe de la conception et la caractérisation des capteurs silicium à pixels planaires pour l'*upgrade* du trajectographe de l'expérience ATLAS au LHC (B), notamment :

1. simulations numériques de des nouveaux senseurs
2. caractérisation des propriétés électriques et physiques de prototypes dans la salle propre et en faisceau-test, aussi après irradiation
3. réalisation de senseurs avec bord actif (C)
4. **Je suis coordinateur des tests en faisceau depuis Septembre 2011 pour le groupe ATLAS Upgrade Planar Pixel Sensor R&D**

Références les plus pertinentes de l'équipe et de ses partenaires :

- A) « The SLIM5 low mass silicon tracker demonstrator »
S. Bettarini *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. A623 (2010) 942 – 953
- B) « Recent progress of the ATLAS Planar Pixel Sensor R&D Project »
M. Bomben *et al.*, Physics Procedia 37 (2012) 940–949
- C) « Development of edgeless n-on-p pixel sensors for future ATLAS upgrades »
M. Bomben *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. A712 (2013) 41-47
- D) « Silicon buried channels for pixel detector cooling »
M. Boscardin *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. A718 (2013) 297-298
- E) [Centrale de nanotechnologies - Institut d'Electronique Fondamentale \(IEF\)](http://www.ief.u-psud.fr/?page_id=72#)
http://www.ief.u-psud.fr/?page_id=72#