

---

# Contribution aux exercices de prospective nationale 2020- 2030

## *Détecteurs et instrumentation associée*

---

### **IDROGEN**

---

#### **Auteur principal**

Nom : Daniel Charlet

Affiliation : LAL

Email et coordonnées : charlet@lal.in2p3.fr

#### **Co-auteurs (inclure aussi les collaborateurs internationaux si existants)**

*C. Viou-Dumez (Station de Nancay) , R. Ansari (LAL), J.-E. Campagne (LAL), O. Perdereau (LAL)*

*Contribution à rédiger en français ou en anglais et à envoyer à [PROSP2020-GT08-COPI-L@IN2P3.FR](mailto:PROSP2020-GT08-COPI-L@IN2P3.FR) avant le **1<sup>er</sup> novembre 2019***

# 1. Informations générales

**Titre : IDROGEN : Développement de cartes d'acquisition pour l'interférométrie en radio-astronomie**

**Acronyme :** *(optionnel)*

**Résumé** *(max. 600 caractères espaces compris)*

La carte IDROGEN, développée au sein de DACQGEN, vise à permettre la digitisation de signaux au plus près de détecteurs spatialement répartis sur de grandes surfaces, comme les antennes d'un réseau radio-interférométrique. Ces cartes, en cours de réalisation actuellement, seront qualifiées courant 2020 sur l'instrument PAON4, un banc test des technologies pour la cartographie d'intensité du rayonnement à 21cm dans l'Univers proche. Dans le cadre du développement de nouveaux instruments, il est nécessaire de faire évoluer de ce design pour une utilisation à plus grande échelle, p.ex. en collaboration avec nos partenaires US.

**Préciser le domaine technologique** *(plusieurs choix possibles)*

- ~~Détecteurs semi-conducteurs (Si, Ge, HgCdTe, Diamant...)~~
- ~~Détecteurs gazeux (Micromegas, GEM, TPC...)~~
- ~~Scintillateurs~~
- ~~Photo-détecteurs (SiPM, PMT...)~~
- ~~Détecteurs cryogéniques (KIDS, bolomètres...)~~
- Micro-électronique, Electronique Front End
- Acquisition de données, Temps réel
- ~~Mécanique, integration~~

**Préciser la motivation principale de recherche visée par la contribution :**

- ~~R&D Calorimétrie~~
- ~~R&D Trajectographe~~
- ~~R&D Identification de particules~~
- ~~R&D Détection de neutrons~~
- ~~R&D Détection d'ondes gravitationnelles~~
- ~~R&D Détecteurs de neutrinos~~
- ~~R&D Détection de gammas~~
- ~~R&D Détecteurs imagerie médicale~~
- Autre R&D spécifique : R&D en radio-astronomie interférentielle

## 2. Description des objectifs scientifiques et techniques

### **(1 page max incl. figures)**

*Décrire les objectifs de la contribution en en précisant les motivations. Préciser comment ces objectifs se situent par rapport à l'état de l'art et au contexte international (ex : est-ce une contribution visant un développement théorique ou expérimental ? Est-elle dans la continuité de concepts ou technologies existants, ou bien est-ce une nouvelle approche conceptuelle ?)*

*Préciser les liens existants ou envisagés avec d'autres projets nationaux ou internationaux existants ou envisagés.*

Le modèle qui s'est imposé ces dernières décennies en cosmologie (dit  $\Lambda$ CDM) est celui d'un Univers homogène et isotrope, en expansion, régit par les lois de la Relativité générale. La composition qui permet de rendre compte de l'ensemble des observations, on doit faire intervenir pour environ les 2/3 un fluide de nature inconnue appelé énergie noire, dont la forme la plus simple est la constante cosmologique  $\Lambda$ . Cette composante domine en particulier l'expansion de l'Univers récent ( $z < \sim 2$ ).

L'étude statistique de la distribution spatiale de la matière au fil de son évolution est une source importante de contraintes sur les modèles cosmologiques. Un point important est qu'elle emporte des traces de l'évolution des anisotropies de densités dans le plasma primordial qui existait jusqu'à l'émission du CMB (évolutions qui forment les oscillations acoustiques de baryons ou BAO)[1].

L'hydrogène neutre est un des traceurs possibles de la matière, grâce à l'existence de la raie à 21cm (1.417 GHz). L'enjeu, pour la cosmologie, est de mesurer cette émission pour des objets distants, i.e. à plus basse fréquence (jusqu'à 500 MHz). Cependant, l'échelle angulaire des structures qu'on veut étudier, inférée des observations du CMB, est de l'ordre de 0,25 degrés ou plus. La détection d'objets individuels n'est donc pas nécessaire [2]. Par contre le signal est faible, et dominé de  $\sim 4$  ordres de grandeurs par les avants plans galactiques. Pour pouvoir détecter ce faible signal, une grande surface de collection est donc impérative. La séparation des avants-plans nécessitera en outre une calibration précise et excellent maîtrise des effets systématiques.

La configuration généralement prévue serait un grand réseau d'antennes paraboliques de  $\sim 5$ m de diamètre. Comme on ne vise pas un grande résolution angulaire, ce grand réseau peut être dense, mais l'exploitation

des corrélations croisées demande quand même de transporter les signaux des antennes sur de grandes distances.

IDROGEN correspond à la seconde génération de cartes développées à la suite des premières expériences avec l'électronique BAOradio au NRT [3] et sur le banc-test PAON4[4]. Des cartes IDROGEN, placées au plus près des récepteurs, permettront la transmission des signaux sous forme digitale (fibres optiques) ce qui évite les problèmes bien connus inhérents à la transmission de signaux RF sur de longues distances (réflexions, adaptation d'impédance imparfaite,...), en assurant leur étiquetage temporel précis avec le protocole White Rabbit ce qui garantira leur exploitation en interférométrie.

La réalisation est en cours, et après des test en labo leur déploiement sur PAON4 est prévu d'ici mi-2020. L'équipe en charge de PAON4 est également impliquée sur un projet plus ambitieux, Tianlai (Chine/USA/France)[5], dont le 'pathfinder' comprend 16 antennes. IDROGEN pourrait trouver sa place dans un upgrade de Tianlai. Les collaborateurs US de Tianlai ont également initié un projet en vrai grandeur, PUMA[6], comportant jusqu'à 10000 antennes dans sa version nominale, après une phase exploratoire de taille plus réduite dans lequel l'équipe du LAL envisage de participer, et où des cartes issues d'IDROGEN trouveraient toutes leur places. Le projet international SKA (Square Kilometer Array)[7], dans lequel la France est récemment officiellement entrée, est un autre cadre où un développement comme IDROGEN est parfaitement adapté.

IDROGEN étant un développement générique, dans le cadre d'un projet plus ambitieux d'un point de vue du nombre d'antennes, une nouvelle étude devra être menées afin d'augmenter la compacité de la carte, de diminuer sa consommation ainsi que son coût de revient.

### **3. Livrables associés, calendrier et budget indicatifs (1 page max. incl. figures)**

*Préciser les objectifs décrits (étude conceptuelle, expérience, prototypage, construction...) et leur échéance, en précisant si possible les partenaires envisagés.*

*Evaluer grossièrement l'ordre de grandeur du financement nécessaire (coût complet, en distinguant équipements/consommables et ressources humaines). Préciser s'il existe déjà ou s'il est envisagé d'autres sources de financement.*

La carte actuellement en construction, est au standard XTCA for physique, Elle intègre un slot HFMC (400 pts) et est basée sur un FPGA ARRIA10. Elle peut fonctionner en mode autonome, elle est compatible avec le standard WhiteRabbit qui autorise une synchronisation et un tagging temporel sur plusieurs 10km. Les transferts de données peuvent se faire en PCIeexpress x4 Gen3 (dans le mode châssis) et en Ethernet 10 ou 40Gb en face avant, en mode autonome. Elle sera équipé d'une mezzanine ADC ( en cours de développement) qui peut numériser 2 canaux à une fréquence de 1Gsp/s sur 14bits . La précision du tagging temporel mesurée sur la carte NebuLA (version 1) était de 400fs (rms par pulse). Ces caractéristiques répondent très largement au cahier des charges pour le développement d'un radio-interféromètre plus ambitieux que PAON4, comme celui envisagé avec nos collaborateurs US (Fermilab et Université du Wisconsin) mais des adaptations seront nécessaires dans le cas d'un développement à plus grande échelle, cela nécessitera de :

- réduire les dimensions de la carte
- réduire sa consommation électrique
- adapter sa bande passante et sa fréquence aux besoins
- réduire son coût

On peut estimer qu'il faudra développer 3 cartes pour aboutir à un produit optimal. Les designs commençant fin de l'année 2020. Le budget serait de l'ordre de 30 à 40 Keuro (incluant un banc test complet).

Pour les ressources humaine on peut estimer que ce développement demandera environ 3 ETA (hardware, firmware, software) durant 2 ans. Un financement externe peut être envisagé dans le cadre d'une collaboration pour un projet dédié.

## 4. Références

- [1] Blake C., Glazebrook K., 2003, *Apj*, 594, 665
- [2] Cosmic Visions 21 cm Collaboration et al., 2018, [arXiv:1810.09572](https://arxiv.org/abs/1810.09572)
- [3] Charlet D., et al., 2011, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 58, 1833
- [4] Ansari, R., et al., 2019, [arXiv:1910.07956](https://arxiv.org/abs/1910.07956) (soumis a MNRAS)
- [5] Das S., et al., 2018, in *Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy IX*. p. 1070836 ([arXiv:1806.04698](https://arxiv.org/abs/1806.04698))
- [6] Bandura K., et al., 2019, [arXiv:1907.12559](https://arxiv.org/abs/1907.12559)
- [7] Acero F., et al., 2017, [arXiv:1712.06950](https://arxiv.org/abs/1712.06950)