



# Bilan (2012-2016) et Projet (2017-2022)

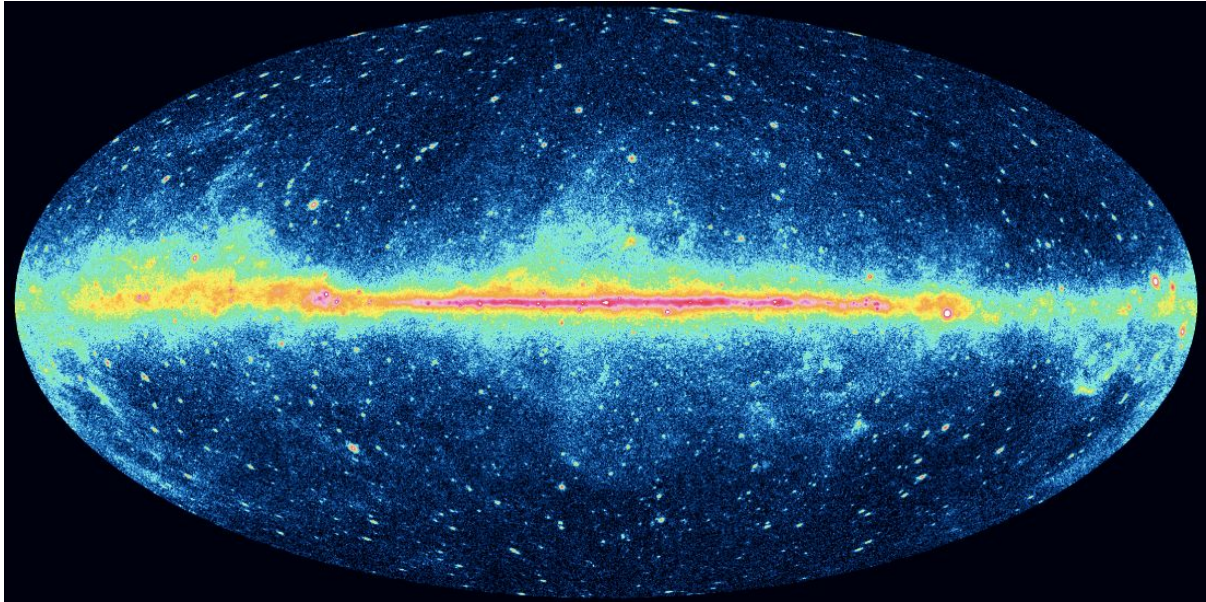
rédigé par Guillaume Dubus et le conseil scientifique:

Denis Allard, Jean Ballet, Pierre Brun, Frédéric Daigne, Thierry Foglizzo, René Goosmann, Jürgen Knödseder, Antoine Kouchner, Julien Laval, Marianne Lemoine-Goumard, Benoît Mours, Thierry Stolarczyk.

18 avril 2016

# Table des Matières

- [1. Introduction](#)
  - [1.1 L'astrophysique des hautes énergies](#)
  - [1.2 Objectifs de la création du PNHE](#)
  - [1.3 La communauté PNHE](#)
- [2. Contexte scientifique](#)
  - [2.1 Les grandes questions](#)
  - [2.2 Les interfaces](#)
  - [2.3 Faits saillants](#)
- [3. Fonctionnement du PNHE](#)
  - [3.1 Composition du conseil scientifique](#)
  - [3.2 Financement du programme](#)
  - [3.3 Appel d'offre](#)
  - [3.4 Réunions du PNHE](#)
  - [3.5 Autres actions](#)
- [4. Projet de renouvellement](#)
  - [4.1 Evolution des moyens 2017-2022](#)
  - [4.2 Evolution des thématiques](#)
  - [4.3 Rôle du PNHE](#)
  - [4.4 Evolution du PNHE 2017-2022](#)
- [Annexe: Liste des projets financés](#)



*Le ciel au-delà de 1 GeV vu par le Fermi-LAT*

## 1. Introduction

### 1.1 L'astrophysique des hautes énergies

L'astrophysique des hautes énergies étudie les phénomènes les plus extrêmes dans l'Univers : explosions des étoiles; nature, formation et évolution des objets compacts; accélération de particules à des énergies relativistes; émission d'ondes gravitationnelles; création de neutrinos de haute énergie, recherche de nouvelle physique, etc. Les observations s'étendent à tout le spectre électromagnétique ainsi qu'aux messagers non-photoniques. L'astrophysique des hautes énergies ne se définit donc pas en rapport à un domaine de longueur d'ondes, même si l'observation de contreparties X et  $\gamma$  est souvent essentielle afin de comprendre la physique extrême qui est à l'oeuvre.

L'astrophysique des hautes énergies est un domaine interdisciplinaire qui réunit des physiciens des particules, des physiciens des plasmas, des physiciens nucléaires, et des astrophysiciens. Comprendre l'accélération de particules et leurs interactions avec la matière fait appel à la physique des particules ainsi qu'à la physique des plasmas astrophysiques. Étudier la matière dense dans les étoiles à neutrons réunit physiciens nucléaires et

astrophysiciens. La nucléosynthèse explosive requiert des connaissances en évolution stellaire, physique nucléaire et astronomie  $\gamma$ . Les observatoires mis en place pour détecter les neutrinos ou les rayons  $\gamma$  aux plus hautes énergies sont fondés sur les méthodes de détection propres à la physique des particules, et leur exploitation requiert des connaissances en physique des particules et/ou en physique nucléaire. L'émergence du terme « astroparticules » marque cette convergence d'intérêts entre physiciens des particules et astrophysiciens sur de multiples sujets.

## 1.2 Objectifs de la création du PNHE

Le Programme National Hautes Energies (PNHE) est une Action sur Projets de l'Institut National des Sciences de l'Univers ([CNRS/INSU](#)) du Centre National de la Recherche Scientifique ([CNRS](#)), soutenue également par l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules ([CNRS/IN2P3](#)), le Centre National d'Etudes Spatiales ([CNES](#)) et le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives ([CEA/IRFU](#)).

Le PNHE a pour vocation de représenter, de coordonner, et de soutenir les activités de recherche relevant de l'astrophysique des hautes énergies en France. Le PNHE est structuré autour de cinq thèmes fédérateurs :

- L'Univers comme laboratoire ;
- Objets compacts et leurs environnements ;
- Phénomènes explosifs ;
- Rayons cosmiques ;
- Nouveaux messagers.

Le PNHE est né en 2012 de la volonté de pérenniser l'action du Groupement de Recherche *Phénomènes Cosmiques de Haute Energie* au-delà de son troisième mandat, volonté réaffirmée dans les conclusions du séminaire de prospective INSU Astronomie-Astrophysique de 2012<sup>1</sup>. Le GdR PCHE, soutenu par le programme interdisciplinaire de recherche (PIR) «astroparticules» ainsi que par le CNES, avait permis d'opérer le rapprochement interdisciplinaire évoqué en introduction. La construction de cette communauté a également été encouragée par la CID 47 du CNRS, qui avait permis de réunir des experts du domaine. La création du PNHE reconnaît la formation de cette communauté et poursuit cette dynamique d'échanges entre équipes, laboratoires, instituts, et grands projets instrumentaux. Le soutien des quatre instances (CNRS/INSU, CNRS/IN2P3, CEA/IRFU et CNES) assure au PNHE une excellente représentativité auprès de l'ensemble de la communauté française en astrophysique des hautes énergies, ce qui le conforte dans ses missions.

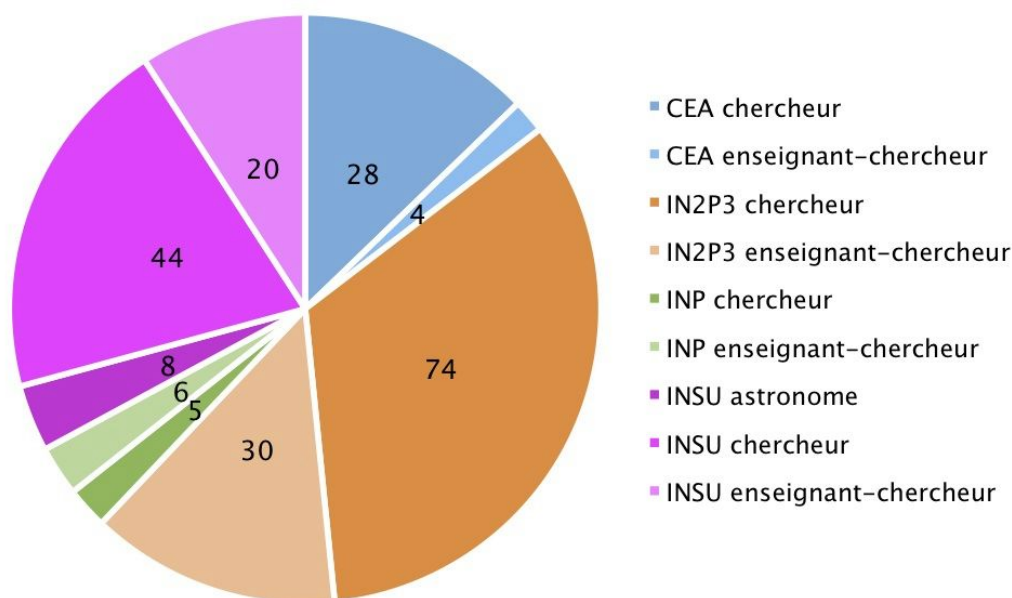
---

<sup>1</sup> <http://www.insu.cnrs.fr/files/15prospective-resumeexecutif.pdf>

### 1.3 La communauté PNHE

La liste de diffusion du PNHE comporte actuellement plus de 360 inscrits. Bien qu'incomplète et hétérogène, cette liste permet de définir une « communauté PNHE ». L'inscription sur cette liste nécessite de renseigner son laboratoire d'appartenance, son statut (chercheur, postdoc, etc.), son choix de thématiques parmi les cinq citées ci-dessus et, éventuellement, d'indiquer son rattachement aux grands projets instrumentaux du domaine<sup>2</sup>. Ce dernier champ, rempli de manière trop inhomogène, n'a pas pu servir.

Les inscrits sont répartis en 47% IN2P3, 27% INSU, 11% CEA, 3% INP et 13 % autres (hors de France), principalement en fonction du laboratoire d'appartenance. Près de 70% des inscrits sont chercheurs ou enseignants-chercheurs. Postdoctorants, doctorants, et « autres » représentent chacun environ 10% de la liste. La comparaison avec l'analyse menée par le GdR PCHE en 2010<sup>3</sup> ne montre pas d'évolution de ces chiffres.



*Répartition des personnels permanents du PNHE*

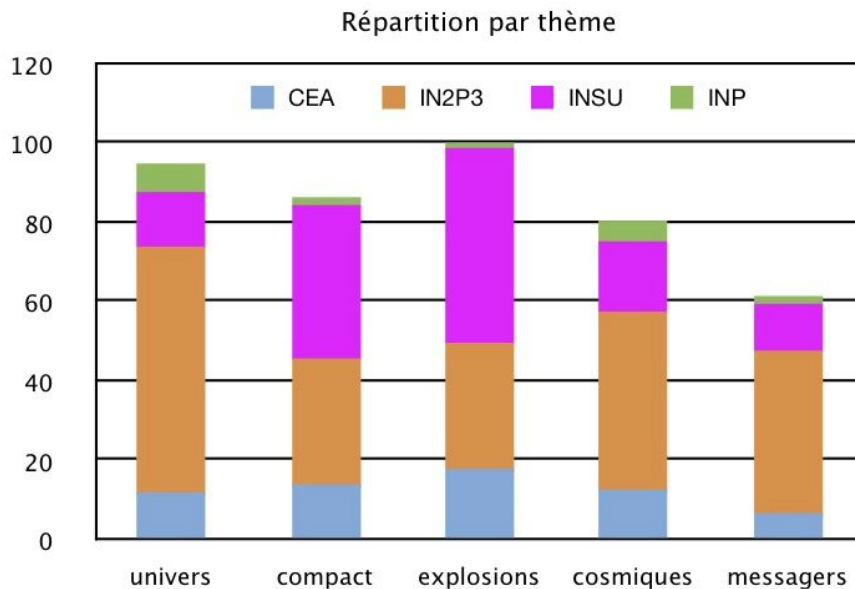
Afin de s'assurer de la représentativité de la liste, nous n'avons conservé que 219 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents identifiés comme actifs dans le domaine par les membres du CS. La répartition hommes / femmes est de 72 % / 18 %. Ces personnels sont répartis dans 30 laboratoires dont les trois plus importants (de 20 à 30 permanents relevant du

<sup>2</sup> Adv. Virgo, AMS, ANTARES, *Athena*, Auger, CODALEMA, CREAM, CTA, eLISA, Euso, *Fermi*, HESS, INTEGRAL, KM3NeT, LOFAR, SKA, SVOM, XMM-Newton, Autre.

<sup>3</sup> <http://pnhe.prod.lamp.cnrs.fr/images/doc/2010-pche-bilan.pdf>

PNHE) sont l'APC, le SAp, l'IRAP. La répartition des permanents par institut ne diffère pas des statistiques données ci-dessus: ~47% IN2P3, ~33% INSU, ~15% CEA et 5% INP (voir graphique ci-dessous). Ces personnels constituent le coeur de la communauté PNHE. La répartition par type de poste révèle une faible proportion de personnels CNAP, y compris ramenée à la population de chercheurs permanents INSU.

La répartition par thème est assez homogène (plusieurs thèmes peuvent être choisis par un chercheur).



## 2. Contexte scientifique

### 2.1 Les grandes questions

Les thèmes fédérateurs du PNHE peuvent se décliner en cinq questions majeures.

#### *Quelle est la nature de la matière noire ?*

La matière noire semble se comporter comme un gaz non-collisionnel de particules massives. Ceci peut être réalisé dans une grande variété de modèles, dont les « WIMPS » motivés par la physique des particules au-delà du modèle standard à l'échelle électrofaible. D'autres candidats sont à l'étude comme les neutrinos droits, les axions, les particules massives auto-diffusantes ou encore des particules lourdes associées à des transitions de phases dans l'univers primordial. Les environnements astrophysiques extrêmes et les régions à forte

densité de matière noire constituent des laboratoires de premier choix pour son étude. Certains candidats ont la propriété de s'annihiler ou de se désintégrer, phénomènes s'accompagnant d'émissions spécifiques (rayonnement cosmique, électromagnétique, et/ou neutrinos); d'autres, comme les axions, peuvent être créés par conversion de photons thermiques dans les étoiles ou de photons de haute énergie issus des grands accélérateurs cosmiques. L'étude des phénomènes cosmiques de haute énergie constitue ainsi une voie pour l'identification de la matière noire.

### ***Quelle est l'influence des objets compacts sur leur environnement ?***

Les objets compacts mettent en jeu des énergies considérables, qu'elles soient d'origine gravitationnelle ou résultant de la rotation de l'objet. L'enjeu est de comprendre où et comment cette énergie est libérée (rayonnement, accélération de particules, éjection, advection), et de sonder ainsi l'environnement proche et lointain de ces objets afin de contraindre leur nature et la physique en jeu (relativité, physique nucléaire, physique des plasma). Les problèmes abordés concernent la physique des flots d'accrétion, le lien accrétion-éjection, le rôle joué par la rotation de l'objet compact, la physique des jets et des vents relativistes, l'électrodynamique relativiste dans les pulsars, l'accélération de particules par reconnexion ou par processus de Fermi, etc. La part et l'impact de l'énergie libérée retournant vers le milieu ambiant est une problématique majeure en raison des effets de rétroaction qu'elle peut induire.

### ***Comment explosent les astres ?***

Le destin explosif des étoiles est un enjeu majeur pour la formation des objets compacts, les signatures de la première génération d'étoiles, l'enrichissement du milieu environnant, la physique de l'éjecta, etc. La théorie des supernovae thermonucléaires a fortement progressé avec les simulations de nouveaux scénarios (collision de naines blanches, double détonations He/C, explosions sous lumineuses) et l'identification observationnelle de nouvelles catégories (SNIax, SNIa). Les simulations de supernovae gravitationnelles suggèrent que l'explosion est liée aux instabilités hydrodynamiques qui induisent une nucléosynthèse inhomogène et déterminent la vitesse et rotation des pulsars à leur naissance. La signature du mécanisme d'explosion est plus directement portée par la modulation temporelle du flash de neutrinos. L'observation de supernovae superlumineuses suggère d'autres mécanismes fondés sur l'interaction des éjectas avec des coquilles circumstellaires, l'explosion par instabilité de paires ou la décélération rotationnelle d'un magnétar. L'association des sursauts longs avec l'effondrement de certaines étoiles massives est mise en évidence par les observations, mais les conditions de leur naissance (masse, métallicité, rotation, binarité) sont encore inconnues. Les sursauts courts sont eux vraisemblablement associés aux coalescences d'une étoile à neutrons avec un autre étoile à neutrons ou un trou noir. Une signature directe très attendue de cette association serait la détection d'ondes gravitationnelles. Ces coalescences deviennent aussi le scénario de référence pour la nucléosynthèse des éléments de l'argent à l'uranium



(processus r). Une seconde classe de contreparties aux coalescences est alors attendue: les kilonovae qui tirent leur énergie de la décroissance radioactive des éléments synthétisés et sont plus isotropes mais moins brillantes que les sursauts  $\gamma$ , avec un pic dans le visible/proche-infrarouge.

### ***Quelle est la nature, l'origine et le rôle des particules de haute à ultra-haute énergie ?***

L'étude, centenaire, du rayonnement cosmique reste d'actualité avec de nombreuses mesures en cours (CREAM, AMS, Auger) et des questions renouvelées. Le spectre de ses différentes composantes apporte des contraintes sur la propagation des particules chargées et est scruté pour la signature de matière noire ( $e^+/e^-$ ,  $\bar{p}/p$ ) ou de nouvelle physique (UHECR). La recherche des sources progresse avec les observations de restes de supernovae, des émissions diffuses galactiques de la radio aux  $\gamma$ , et l'approfondissement de la modélisation théorique. À basse énergie, le rayonnement cosmique joue un rôle essentiel dans la physico-chimie du milieu interstellaire. À ultra-haute énergie, l'origine des particules reste mystérieuse avec une faible anisotropie du flux et des indices d'alourdissement de la composition avec l'énergie.

### ***Quel ciel nous révèlent les ondes gravitationnelles et les neutrinos ?***

La récente détection d'ondes gravitationnelles, au-delà de la prouesse instrumentale, témoigne déjà de la richesse de ces observations (cf. faits saillants). L'observation de contreparties photoniques éclairerait les mécanismes mis en jeu dans des phénomènes violents tels que supernovae ou sursauts  $\gamma$  courts, l'équation d'état de la matière dense, et permettrait une détermination indépendante de la constante de Hubble. Les neutrinos de haute énergie, parce qu'ils interagissent très peu et ne sont pas déviés, apportent un éclairage unique sur les sources du rayonnement cosmique et peuvent révéler des objets profondément enfouis. La première détection de neutrinos cosmiques de haute énergie par IceCube est une avancée majeure pour l'astronomie des neutrinos (Aartsen et al. 2013). La prochaine étape consiste en l'identification de sources. C'est l'objectif principal de KM3NeT, dont la construction a commencé et qui atteindra à terme plusieurs  $\text{km}^3$  de volume instrumenté.

## 2.2 Les interfaces

Le PNHE complète le pavage thématique de l'astrophysique en programmes nationaux mis en place par l'INSU. Le PNHE a des interfaces avec la plupart de ces programmes, ainsi qu'avec l'action spécifique GRAM (Gravitation, Références, Astronomie, Métrologie). Ces interfaces ont été mises en valeur par l'organisation par les CS respectifs d'ateliers communs lors de la semaine de la SF2A (voir 3.4).



**PCMI** Les rayons cosmiques sont une composante importante du milieu interstellaire que le rayonnement radio, X,  $\gamma$  permet de tracer. Par exemple, l'émission au GeV est utilisée pour mesurer la masse du gaz galactique, information utile en liaison avec les « avant-plans » de *Planck*. L'émission  $\gamma$  proche de restes de supernovae trace l'interaction des rayons cosmiques avec les nuages moléculaires, engendrant une sur-ionisation qui est observable en millimétrique. La propagation des particules relativistes chargées dans les champs magnétiques est également un sujet qui lie les deux communautés, illustré récemment par les travaux sur le spectre des particules du rayonnement cosmique mesuré par AMS.

**PNCG** Trois thématiques sont à l'interface. (1) Les sursauts  $\gamma$  sont parmi les événements les plus lumineux et les plus lointains observés. Ils apparaissent sans doute dès les premières générations d'étoiles et permettent de sonder les structures baryoniques présentes le long des lignes de visée. (2) La nature de la matière noire peut être révélée par des signatures observables en rayons X et  $\gamma$ , dans le flux de neutrinos ou de rayons cosmiques, nécessitant à la fois une bonne connaissance de sa distribution dans la/les galaxie/s et des avant-plans astrophysiques. (3) La co-évolution des trous noirs supermassifs avec leur galaxie hôte et la naissance des grandes structures (amas) fait appel à la physique de l'accrétion-éjection et des chocs (gaz chaud, cosmiques). Cette dernière thématique bénéficiera de l'apport de la mission L2 *Athena* dont c'est un des principaux objectifs.

**PNPS** Des liens anciens existent autour de la physique des disques et des jets, présents dans les objets stellaires jeunes. Les mécanismes en oeuvre dans le transport turbulent de moment cinétique, l'interaction disque-magnétosphère, ou les structures d'accrétion-éjection sont analogues. D'autres thèmes se développent: impact des binaires X massives sur la formation stellaire et leur utilisation comme traceur de celle-ci; rôle de la binarité dans l'évolution des étoiles massives; étude des progéniteurs de supernovae et sursauts  $\gamma$ . Le mécanisme d'explosion des supernovae exige des profils de rotation et de champ magnétique calculés de façon cohérente par des modèles d'évolution stellaire. La coalescence de deux étoiles à neutrons joue un rôle pour la nucléosynthèse explosive des éléments lourds, pour expliquer la fréquence des sursauts  $\gamma$  courts et pour estimer l'intensité des ondes gravitationnelles détectables sur Terre. Ces coalescences résultent de l'évolution des systèmes binaires d'étoiles massives, qui dépend de la vigueur des épisodes de perte de masse par vent et pendant les phases d'enveloppe commune.

**PNST** La physique des plasmas est un outil commun et une interface existe sur l'accélération de particules. Notre environnement proche est riche d'analogies : par exemple, l'accélération au choc terminal de l'héliosphère impliquerait la reconnexion dans une nappe de courant comprimée comme dans les nébuleuses de pulsar. L'observation offre également des passerelles : étude des milieux neutres par l'observation X de réactions d'échange de charge, observations  $\gamma$  du Soleil et de flashes terrestres. Les codes « particle-in-cell », bien connus du PNST, se développent au PNHE : les échanges peuvent être stimulants même si la mise en

commun s'avère difficile (plasmas relativistes au PNHE). Des échanges sur ces sujets existent aussi avec la communauté laser-plasma de l'INP et du CEA.

**AS GRAM** Les tests du principe d'équivalence (invariance de Lorentz); la physique des ondes gravitationnelles (Adv. Virgo, eLISA), notamment via la modélisation des formes d'ondes dans différents contextes astrophysiques (pulsars, supernovae, inspirals, coalescences); les tests de la théorie de la gravitation via l'imagerie ou la variabilité autour d'objets compacts comme Sgr A\*, le trou noir au centre de notre Galaxie, sont à l'interface entre AS GRAM et PNHE.

## 2.3 Faits saillants

Quatre faits saillants issus de la communauté française ressortent sur la période 2012-2016: la détection directe d'ondes gravitationnelles, la moisson de résultats  $\gamma$  de *Fermi*, la nature des sources X ultra-lumineuses, l'activité du trou noir central de notre Galaxie.

### ***La première détection directe d'ondes gravitationnelles***

L'annonce en février 2016 par les collaborations LIGO et Virgo de la détection du passage d'ondes gravitationnelles est un événement marquant de cette période (Abbott et al. 2016, Phys. Rev. Lett. 116, 061102). Cette première détection valide des décennies d'efforts, confirme la justesse des formes d'onde fondées sur la relativité générale, démontre l'existence de binaires de trous noirs de plusieurs dizaines de masse solaire et leur coalescence, apporte la meilleure preuve d'un trou noir en rotation. Il est permis d'espérer que le caractère exceptionnel de cette mesure deviendra bientôt banal et qu'ainsi un nouveau champ d'investigation aura été ouvert pour l'astrophysique.

Le contexte multi-messagers a également évolué pour les neutrinos avec l'observation d'un flux diffus de neutrinos d'origine extraterrestre par IceCube (Aartsen et al. 2013, Science, 342, 6161). Il s'agit de la première détection de neutrinos cosmiques de haute énergie, une avancée majeure pour l'astronomie des neutrinos. La répartition des événements reste compatible avec un flux isotrope. L'analyse des données d'ANTARES permet d'exclure que l'accumulation observée près du centre Galactique soit produite par une seule source (Adrian-Martinez et al. 2014, ApJ, 786, L5).

### ***La moisson de résultats de l'observatoire $\gamma$ Fermi***

Le satellite *Fermi* fournit depuis mi-2008 des alertes et un relevé complet du ciel  $\gamma$  au GeV. L'ampleur, la variété et l'impact des résultats sont majeurs. Les chercheurs français ont fortement contribué aux résultats très visibles que sont les catalogues: catalogue général des

3000 sources découvertes<sup>4</sup> (Acero et al. 2015, ApJS, 218, 23), de noyaux actifs de galaxie, de pulsars, de sursauts  $\gamma$ . Les 500 sources détectées au-delà de 10 GeV servent de références pour les observations au TeV aujourd'hui et demain (CTA). La contribution française est également importante dans la détection, grâce à leur émission  $\gamma$ , et le suivi de nouveaux pulsars, dont certains enrichissent le catalogue de pulsars très stables nécessaire à l'élaboration d'un détecteur d'ondes gravitationnelles par chronométrage (EPTA). On peut également citer les premières détections de galaxies proches, de binaires, les études du fond diffus gamma, etc. Ces découvertes changent notre compréhension des mécanismes d'accélération et de propagation des particules de haute énergie.

### ***La nature des sources X ultra-lumineuses***

La nature des sources X ultra-lumineuses est en débat depuis leur découverte par le satellite *Einstein*. Des équipes de l'IRAP et de l'observatoire de Strasbourg ont démontré que certaines sources sont des binaires X dont la luminosité dépasse de manière bien plus large que prévue la limite d'Eddington (Motch et al. 2014, Nature, 514, 198 ; Bachetti et al. 2014, Nature, 514, 202); mais aussi que d'autres, notamment la source ESO 243-49 HLX-1 (Webb et al. 2012, Science, 337, 554), semblent impliquer un trou noir de masse intermédiaire ( $10^2$ - $10^5 M_{\odot}$ ). De tels trous noirs ne pouvant pas naître directement de l'effondrement d'une étoile, leur formation pourrait être liée à celle des trous noirs supermassifs.

### ***L'activité présente et passée du trou noir central de la Galaxie***

Le centre de notre galaxie contient un trou noir de  $4 \times 10^6 M_{\odot}$  particulièrement peu lumineux, Sgr A\*. Des équipes françaises ont obtenu plusieurs campagnes d'observations longues avec XMM-Newton qui, combinées avec INTEGRAL, VLT et Chandra, ont permis entre autres de découvrir que le trou noir était 1 million de fois plus lumineux il y a plus de 100 ans (Clavel et al. 2013, A&A 558, A32) et de montrer que le passage de la source infrarouge G2 n'a pas modifié l'activité autour du trou noir, à l'exception possible d'un taux sensiblement plus élevé des sursauts brillants (Ponti et al. 2015, Mossoux et al. 2016).

Par ailleurs, la rubrique « [actualités scientifiques](#) » du site web du PNHE recense les **communiqués de presse** impliquant des chercheurs du PNHE sur les deux dernières années (INSU/CNRS, IN2P3/CNRS, IRFU/CEA).

---

<sup>4</sup> La version précédente, le « 2FGL » a été la publication 2012 la plus citée en astrophysique.

### 3. Fonctionnement du PNHE

#### 3.1 Composition du conseil scientifique

Le conseil scientifique est composé de 14 personnes couvrant les thématiques du programme.

Denis Allard	APC (IN2P3)
Jean Ballet	SAP (IRFU)
Pierre Brun (secrétaire)	SPP (IRFU)
Frédéric Daigne	IAP (INSU)
Guillaume Dubus (directeur)	IPAG (INSU)
Thierry Foglizzo	SAP (IRFU)
Berrie Giebels (président)	LLR (IN2P3)
René Goosmann	Obs. Strasbourg (INSU)
Jürgen Knödlseher	IRAP (INSU)
Antoine Kouchner	APC (IN2P3)
Julien Laval	LUPM (IN2P3/INP)
Marianne Lemoine-Goumard	CENBG (IN2P3)
Benoit Mours	LAPP (IN2P3)
Thierry Stolarczyk	SAP (IRFU)

Berrie Giebels (LLR, IN2P3) a démissionné suite à sa nomination comme directeur adjoint scientifique « astroparticules et cosmologie » à l'IN2P3 début 2016. La fonction n'a pas été ré-attribuée compte-tenu du calendrier de renouvellement du programme.

Jürgen Knödlseher a assuré la direction initiale du programme et, suite à son élection comme chairman du board de CTA, a été remplacé par Guillaume Dubus mi-2013.

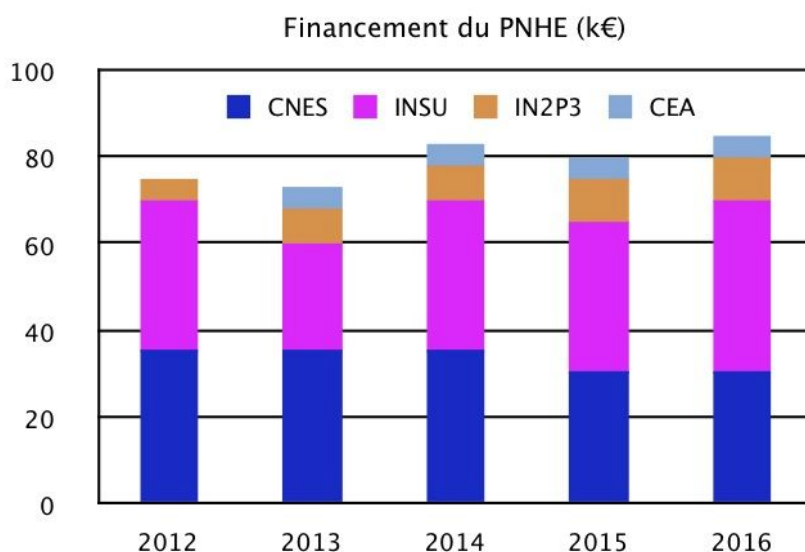
Jean-Philippe Uzan (IAP) a été membre du CS de 2012 à 2014 et, suite à sa nomination comme directeur adjoint de l'IHP, a été remplacé par Julien Laval.

Thierry Stolarczyk, puis Pierre Brun, ont participé au pilotage en tant que « secrétaires » du programme.

### 3.2 Financement du programme

Le budget du PNHE entre 2012 et 2016 a oscillé entre 73 k€ (2013) et 85 k€ (2016). Les contributions au dernier budget sont 40 k€ (INSU), 30 k€ (CNES), 10 k€ (IN2P3), 5 k€ (CEA). Les proportions sont restées sensiblement les mêmes au cours de la mandature. Le budget est le même que celui dont disposait le GdR PCHE.

Les missions liées au fonctionnement du CS prennent de 2 à 3 k€ par an sur ce budget. Le reste du budget est consacré à l'appel d'offre et aux actions menées par le CS PNHE.



### 3.3 Appel d'offre

L'appel d'offre du PNHE suit la procédure INSU depuis 2013. Le texte de l'appel<sup>5</sup> est discuté en conseil scientifique et publié en juillet en phase avec les autres appels d'offre Astronomie-Astrophysique de l'INSU. Les demandes doivent être renseignées sur DIALOG, le dépôt final s'effectuant fin septembre. Les réponses utilisent impérativement un formulaire commun à l'ensemble de l'INSU. Les demandes sont examinées par le CS à l'automne et les financements sont généralement mis en place par l'INSU en décembre.

<sup>5</sup> cf <http://pnhe.cnrs.fr/index.php/ao>

***Actions pouvant être financées :***

- Opérations structurantes, regroupant plusieurs équipes de compétences complémentaires autour d'objectifs scientifiques communs ;
- Ateliers de travail sur les thèmes du programme ;
- Valorisation des données spatiales ou d'instruments au sol, des simulations, ou développement des outils associés ;
- Bases de données ; archivage et mise à disposition de données ;
- Opérations d'équipement, accompagnées d'un plan de maintenance (devis recommandé, obligatoire au-delà de 10 keuros) ;
- Développement d'expériences, R&D sur l'électronique et les détecteurs des expériences futures, et développement de méthodes innovantes de détection ;
- L'organisation et les participations aux congrès et écoles, les séjours (missions) de visiteurs étrangers ;
- Actions vers le grand public.

*Actions ne pouvant pas être financées :* Soutien de base ; Financement d'étudiants pendant la thèse, ou à l'issue de la thèse, post docs, stages ; Frais de calcul ou de publication ; Vacances.

Le **nombre de demandes** déposées est de 22 en moyenne, avec un minimum à 17 (2015) et un maximum à 25 (2013, 2016). En moyenne, environ 13 demandes sont portées par l'INSU, 6 par l'IN2P3, et 3 par le CEA. Toutefois, le conseil a constaté que 80% des demandes comportent au moins un participant INSU, 54% des demandes au moins un participant IN2P3, 28% des demandes au moins un participant CEA, et 10% des demandes un participant INP, l'appartenance étant décidée par la tutelle principale du laboratoire. Ces fractions n'évoluent pas significativement sur la mandature. Le CS constate d'ailleurs que certaines thématiques « IN2P3 » peuvent être portées par des chercheurs « INSU » et vice-versa (cf. la liste des projets financés). Les réponses témoignent donc de la vitalité des collaborations inter-instituts que ce programme contribue à soutenir.

Toutefois, si la participation de chercheurs IN2P3 aux propositions n'a pas chuté, le CS s'inquiète que le nombre de propositions *portées* par des chercheurs IN2P3 ait constamment baissé, de 9 en 2012 à 2 en 2016 (au profit des porteurs INSU) et qu'une certaine autocensure vis-à-vis de l'appel d'offre existe dans la communauté <sup>6</sup>. La principale raison identifiée est la lourdeur de la procédure, mal acceptée par les proposant en regard, d'une part, de la procédure plus légère qui était en oeuvre au GdR PCHE et des pratiques des communautés non-INSU; d'autre part, des montants modestes attribués par cet appel d'offre. Saisie du problème par le PNHE et d'autres programmes, l'INSU a simplifié son formulaire de réponse A&A en 2015, ce qui a pu avoir un effet positif sur le nombre de réponses à l'AO 2016.

---

<sup>6</sup> cf le compte rendu du CS de décembre 2014 ([lien pdf](#))

Le conseil scientifique souhaiterait toutefois avoir la maîtrise complète de son appel d'offre, formulaire de réponse compris, afin de répondre au mieux aux besoins de sa communauté, à l'image de ce que le statut de GdR permettait et sans que cela empêche un contrôle des instances.

### **Procédure d'évaluation**

Chaque projet déposé a fait l'objet d'une évaluation par deux membres du CS, choisis pour leur expertise complémentaire et pour assurer une rotation dans l'examen des sujets, notamment pour les projets pluriannuels. Chaque projet a ensuite fait l'objet d'une discussion avec l'ensemble du CS. Les membres du CS participant à un projet n'assistaient pas à la discussion. Les critères de sélection affichés par le CS dans l'appel d'offre étaient, outre *la qualité du projet scientifique* :

- son aspect fédérateur pour la communauté ;
- sa contribution au retour scientifique des grands instruments ;
- son impact sur la réflexion de prospective de notre discipline ;
- la clarté et la concision de la demande.

Pour des projets bénéficiant déjà d'autres financements (ANR, ERC, Labex, etc.), ceux-ci devaient être explicités et la plus-value de la demande PNHE par rapport aux financements existants devait être dûment démontrée.

L'avis du CS sur chaque proposition a été transmis aux porteurs ainsi qu'aux instances. Les projets financés sont fortement encouragés à participer aux ateliers organisés par le PNHE (voir ci-dessous). Les comptes rendus publics du CS incluent les commentaires et conseils plus généraux sur l'appel d'offre. Ils sont disponibles sur le site web du PNHE <sup>7</sup>.

### **Projets financés**

La pression sur l'appel d'offre a varié entre 1.4 (2015) et 2.1 (2013). Le financement moyen et médian accordé par projet est de 4,0 k€, avec une variation entre 1,2 k€ et 10 k€.

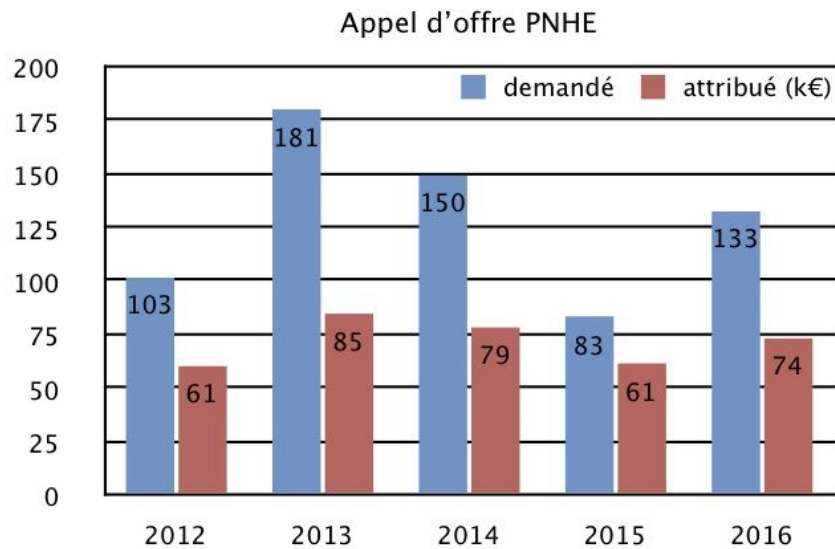
Au total, 89 des 109 propositions soumises entre 2012 et 2016 ont reçu un financement complet (40%) ou partiel (60%) <sup>8</sup>. Quelques projets ont été redirigés et pris en charge par le [GDRE GRBs](#). Les projets sélectionnés recouvrent l'ensemble des thématiques du PNHE. La liste, publique, des projets financés est sur le site web PNHE: [2012](#), [2013](#), [2014](#), [2015](#), [2016](#).

---

<sup>7</sup> <http://pnhe.cnrs.fr/index.php/documents>

<sup>8</sup> Les publications issues de travaux financés doivent faire apparaître dans les « Acknowledgements » la phrase : « This work has been financially supported by the *Programme National Hautes Energies* (PNHE). ». En cas d'organisation d'ateliers et de conférences, le logo du PNHE doit apparaître sur le site internet ainsi que sur les affiches qui feront la publicité de l'événement.





Cinq types d'actions se dégagent.

Les *groupes de travail* réunissent typiquement moins de 10 participants souhaitant développer un programme de recherche commun précis. Une fraction importante des groupes de travail concerne des activités de modélisation, qui n'ont pas beaucoup d'autres ressources et pour qui le soutien du PNHE est particulièrement important. Certains groupes ont pu ensuite obtenir un financement ANR (projets MACH, EMPERE).

Les *ateliers* réunissent de 10 à 50 participants, essentiellement français, pendant 1-2 jours autour d'un thème particulier. L'atelier « MODE » organisé sur des sujets en lien avec les étoiles à neutrons est un exemple d'atelier fonctionnant avec grand succès, réunissant et impliquant un public varié tous les ans <sup>9</sup>.

Les *colloques* internationaux portés par des chercheurs français et ayant lieu en France sur des sujets d'intérêt pour le PNHE. Quatre seulement ont été financés. La conférence « *Cosmic rays and their interstellar environment* » est emblématique d'une action ayant évolué d'un atelier national spécialisé à une conférence internationale mettant en valeur la force interdisciplinaire de la communauté française PCMI et PNHE <sup>10</sup>.

Les *écoles*, nationales et internationales, portées par des chercheurs français et ayant lieu en France sur des sujets d'intérêt pour le PNHE. L'école organisée tous les deux ans par le CS avec Roland Triay fait partie de ce type d'actions (cf ci-dessous).

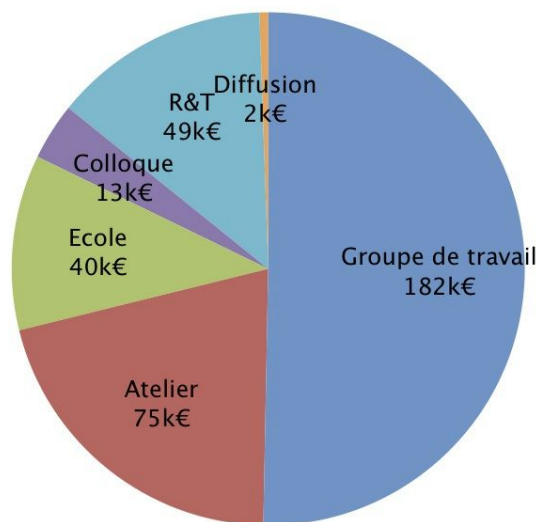
<sup>9</sup> <http://mode.obspm.fr/>

<sup>10</sup> <https://indico.in2p3.fr/event/9027/>

Quelques actions de *R&T* ont été soutenues lorsqu'un apport ciblé du PNHE permettait d'agir comme levier, à l'image du projet de radio-détection du rayonnement cosmique EXTASIS qui a ensuite bénéficié d'un financement de la région Pays de Loire.

Enfin, le CS regrette qu'une seule action de diffusion lui ait été proposée. Cette proposition a été soutenue (projet COSMIX/COSMAX<sup>11</sup>).

répartition des financements 2012-6



Plusieurs groupes de travail proposent de facto des programmes pluri-annuels, ce qui n'a pas posé de problème de principe. Le CS a soutenu six groupes de travail pendant trois années et cinq groupes pendant deux années. Ces projets ont été réexaminés chaque année. La difficulté est de distinguer ce qui relève de l'action sur projet de ce qui relève du soutien de base, notamment insuffisant voire inexistant dans un nombre croissant de laboratoires en raison du contexte budgétaire, et que le PNHE n'a pas pour autant mission de compenser. Le CS a été attentif à la précision et à l'évolution du projet afin de contourner cet écueil.

<sup>11</sup> <http://www.cenbg.in2p3.fr/Les-rayons-cosmiques-au-Lyce.970>

### 3.4 Réunions du PNHE

#### Ateliers PNHE à la SF2A

Le CS organise tous les ans son *atelier général* dans le cadre de la semaine de l'astronomie française. Le CS sollicite quelques présentations invitées et construit le programme à partir des présentations soumises par la communauté. Le PNHE prend en charge, si besoin, les frais de ses invités et l'inscription des participants ayant soumis une proposition de présentation à son atelier. Le coût total est de 2 à 3 k€ par an.

Outre l'atelier général, le CS a co-organisé les ateliers suivants lors de la SF2A:

- 2016 « Ondes grav. » avec l'AS GRAM (F. Daigne, B. Mours, J. Novak, H. Halloin).
- 2015 « Stades ultimes » avec le PNPS (T. Foglizzo, J. Ballet, L. Dessart).
- 2013 « Atelier PNHE/PNCG » (P. Brun, F. Daigne, M. Arnaud).

En 2014, le PNHE a participé à l'atelier « Cherenkov Telescope Array » de la SF2A, organisé par J. Knödlseider. Un atelier commun du GdR PCHE avec le PNST a eu lieu en 2010. Les programmes et présentations sont disponibles sur le site du PNHE <sup>12</sup>.

Le conseil de la SF2A sollicite chaque année le CS pour un exposé en session plénière. Le CS a proposé les orateurs suivants:

- 2016 Véronique van Elewyck, « Astronomie neutrino »
- 2015 Natalie Webb, « Ultraluminous X-ray sources »
- 2014 Lucas Guillemot, « Pulsars all across the spectrum »
- 2013 Eric Gourgoulhon, « Physique des trous noirs »
- 2012 Etienne Parizot, « 100 ans de rayons cosmiques »

En 2016, l'actualité a conduit le CS à proposer Tania Regimbau conjointement avec l'AS GRAM sur « les ondes gravitationnelles ».

#### Journées PNHE

Outre l'atelier général, le CS a pris l'initiative d'organiser des réunions supplémentaires suivant les besoins identifiés.

Le CS a organisé une **réunion générale « renouvellement du PNHE »** à l'amphithéâtre Buffon (campus Paris Diderot, APC) les 30 et 31 mars 2016. Le programme comportait des

---

<sup>12</sup> <http://pnhe.cnrs.fr/index.php/reunions>

revues transverses sur les principaux projets de notre communauté, qu'il s'agisse de processus physiques ou de moyens d'observation et d'analyse, afin de faire un panorama du domaine et de situer les enjeux. Cette réunion a permis de discuter du bilan, de la prospective, et des actions à mener sur la période 2017-2022. 90 personnes étaient inscrites. Programme et présentations sont en ligne.<sup>13</sup>

Les 2-3 avril 2014, le CS PNHE a organisé à l'IAP un **colloque « grands instruments »** de 2 jours centré sur les grands instruments de notre domaine qui sont actuellement en fonctionnement. L'objectif de ce tour d'horizon était de mieux faire connaître les contributions françaises dans l'étude et la réalisation de ces instruments, leur exploitation scientifique, les éventuels développements techniques et les perspectives scientifiques. Les présentations couvraient le spatial (AMS, CREAM, *Fermi*, XMM-Newton, *Integral*, NuSTAR), le sol (*Auger*, ANTARES, *Adv. Virgo*, HESS, CODALEMA, LOFAR), ainsi que des aspects plus généraux (calibration atmosphérique, perspectives IN2P3-IRFU, INSU, CNES, mission pour l'interdisciplinarité, infrastructures de recherche). Les présentations sont disponibles sur le web <sup>14</sup>.

Les 11-12 février 2013, le CS PNHE a organisé une **réunion générale** au siège du CNES afin de faire un premier point d'étape. Le programme comportait des présentations, certaines sur invitations, autour des 5 thèmes du PNHE (Univers comme laboratoire, objets compacts et leurs environnements, phénomènes explosifs, rayons cosmiques, nouveaux messagers). Une partie des journées fut consacrée à la préparation de la réflexion sur l'astronomie hautes énergies spatiale, dans le contexte du séminaire de prospective scientifique du CNES en 2014. Les présentations sont disponibles sur le web <sup>15</sup>.

Ces réunions rassemblaient à chaque fois environ 70 personnes.

Enfin, le CS PNHE a organisé en septembre 2012 à l'IRAP une réunion de prospective plus ciblée sur les « **ondes gravitationnelles et suivi multi-messagers** » afin de coordonner la stratégie de détection de contreparties. Les présentations sont disponibles sur le web <sup>16</sup>.

### 3.5 Autres actions

#### Expertise

L'avis du CS du PNHE sur certains projets est régulièrement sollicité par la CSAA et par le CNES. Le CS apprécie ces sollicitations qui lui permettent de compléter sa connaissance des

---

<sup>13</sup> <https://indico.in2p3.fr/event/12527>

<sup>14</sup> <https://indico.in2p3.fr/event/9606/overview>

<sup>15</sup> <http://pnhe.cnrs.fr/index.php/reunions/7-14rg>

<sup>16</sup> <http://pnhe.cnrs.fr/index.php/reunions/157-og2012>

activités en cours dans la communauté, notamment sur les services d'observation. Il est également très apprécié qu'un représentant du CS soit invité aux réunions de la CSAA et du groupe astro du CNES, ainsi qu'aux prospectives CNES et INSU/AA, ce qui permet un bon échange d'informations avec les tutelles concernées <sup>17</sup>.

En 2012, dans le cadre de son exercice de prospective, le CNES a souhaité que la communauté française entame une réflexion sur l'astronomie X et a sollicité le CS du PNHE à cet effet. Jean Ballet (PNHE), Guillaume Dubus (PNHE), et Etienne Pointecouteau (PNCG) ont animé cet exercice dont le bilan (enquête, atelier, rapport) est disponible sur le web <sup>18</sup>.

Sollicité par les sections 1 et 17 du comité national du CNRS, le CS PNHE a envoyé chaque année ses propositions détaillées de candidat(e)s pour la médaille d'argent et de bronze. La candidature de Kumiko Kotera (IAP) a été retenue en 2016.

Un effort important a été fourni par le CS en 2014 à l'occasion de la **prospectivité Astronomie-Astrophysique de l'INSU**. Le CS PNHE a fourni des avis aux différents groupes constitués pour cet exercice, notamment le groupe « évolution des moyens ». En concertation avec la communauté, le CS PNHE a rédigé la partie le concernant dans le groupe « évolution des thématiques » coordonné par Michel Marcelin, président de la section 17. Ce document recense pour le PNHE (1) faits saillants (2) grandes questions (3) évolutions thématiques (4) interdisciplinarité et interfaces (5) forces et faiblesses (6) moyens et priorités (7) recommandations. Il est disponible sur le site web du PNHE (lien vers le [pdf](#)) et publié dans le rapport final de la prospective INSU/AA<sup>19</sup>. *Il faut souligner que tous les membres du CS se sont mobilisés, indépendamment de leur institut d'origine, témoignant ainsi du caractère commun de nos thèmes de recherche.*

Enfin, l'avis du CS a pu être ponctuellement sollicité à l'occasion d'organisation de journées, de nominations dans certains groupes de travail, conseils, etc. Par exemple, Marianne Lemoine-Goumard fait partie du comité stratégique de Nançay, René Goosmann fait partie du CS de l'ASVO, Guillaume Dubus fait partie du groupe de travail « calcul haute performance » INSU/AA, au titre de représentant(e) du PNHE.

Les avis transmis font l'objet d'une discussion collégiale au sein du CS, dans le respect des règles habituelles de déontologie.

### **Site web et lettre d'information**

Le PNHE a mis en place un nouveau site web <http://pnhe.org> ou <http://pnhe.cnrs.fr> depuis l'automne 2014. Le site est hébergé par la DSI du CNRS, ce qui permet de pérenniser le site

---

<sup>17</sup> cf le compte rendu du CS de novembre 2015 ([lien pdf](#))

<sup>18</sup> <https://indico.in2p3.fr/event/8836/>

<sup>19</sup> [http://www.insu.cnrs.fr/files/groupea\\_0.pdf](http://www.insu.cnrs.fr/files/groupea_0.pdf)

par rapport à un hébergement dans un laboratoire. Un email [contact@pnhe.org](mailto:contact@pnhe.org) fournit un point de contact unique à la communauté.

Le site fonctionne sous Joomla et est facilement mis à jour. Les nouvelles importantes apparaissent en première page. Les rubriques actualités, conférences, postdocs et thèses sont alimentées par les annonces transmises au CS ou via l'adresse email générique. Les annonces sont mises hors ligne automatiquement après leur date de péremption. Il est possible de s'abonner au fil RSS associé à chaque rubrique.

Le site web archive et diffuse les comptes rendus du CS, la lettre d'information mensuelle, les programmes et présentations des réunions du PNHE et de l'ex GdR PCHE.

L'annuaire a été transféré sur ce site web depuis l'ancien site à l'IRAP. Les membres de la communauté ont été invités à vérifier leur inscription et/ou à s'inscrire. Les informations fournies sur les rattachements (laboratoire, thématique, projet) ont permis de mieux cerner la communauté (cf. ci-dessus).

L'inscription sur le site PNHE vaut inscription à la liste de diffusion. Celle-ci est principalement utilisée par la lettre d'information du PNHE, gérée par le secrétaire. Mensuelle, ses archives remontent à mai 2008 <sup>20</sup>.

Depuis décembre 2013, les échanges internes au CS se font à l'aide d'une liste de diffusion privée, hébergée et archivée au CC IN2P3 <sup>21</sup>.

## **Ecole PNHE**

Le CS a jugé indispensable de poursuivre l'école « **astroparticules** » lancée en 2007 par Bernard Degrange (LLR) et Roland Triay (CPT) et le soutien de la formation permanente du CNRS. L'école est positionnée à l'interface pour une formation croisée des personnels INSU, IN2P3, INP et joue donc un rôle important dans la structuration de la communauté PNHE. En 2013, le CS a centré l'école autour du thème des ondes gravitationnelles tandis que celle de 2016 portera sur la physique de l'univers en rayons X (programmes sur le web <sup>22</sup>).

---

<sup>20</sup> <http://pnhe.cnrs.fr/index.php/lettre-d-information>

<sup>21</sup> <http://listserv.in2p3.fr>

<sup>22</sup> <http://pnhe.cnrs.fr/index.php/ecoles-du-pnhe>

## 4. Projet de renouvellement

### 4.1 Evolution des moyens 2017-2022

Les perspectives pour le PNHE sont en parties liées à l'évolution attendue des moyens observationnels mis en oeuvre par la communauté française sur la période 2017-2022.

- La première prise de données d'*Advanced Virgo* est attendue pour fin 2016, renforçant considérablement l'étude des sources et la recherche de contreparties.
- La période devrait également voir l'installation et la mise en service de l'observatoire CTA, avec un impact majeur sur notre connaissance du ciel  $\gamma$  à très haute énergie.
- L'étude des phénomènes transitoires rentre dans une nouvelle ère avec la mise en service progressive du LSST, des précurseurs SKA, et de SVOM à l'horizon 2022.
- Les données collectées sur le rayonnement cosmique au cours de cette période par AMS, ISS-CREAM, *Auger* atteindront une qualité qu'il sera difficile de dépasser.
- Les détecteurs neutrinos ont atteint la maturité technologique. La phase I de KM3NeT se termine en 2017. La phase II permettrait de détecter l'émission du plan Galactique.
- Le run 2 du LHC et les expériences de détection directe de matière noire (Xenon-1t) mettront les modèles de WIMPs sous très forte tension si rien n'est découvert.

### 4.2 Evolution des thématiques

**L'évolution du domaine  $\gamma$  hautes énergies** a été fulgurante au cours de la dernière décennie avec H.E.S.S. puis *Fermi*, dont les observations révèlent la présence de particules énergétiques dans des sites très divers. La communauté française s'est considérablement élargie et les interfaces se multiplient, qu'il s'agisse par exemple de contraindre le champ magnétique intergalactique ou d'étudier le contenu en gaz des galaxies. Le développement de l'astronomie multi-messagers permet maintenant l'étude croisée des fonds diffus de rayons cosmiques, de neutrinos, et de  $\gamma$ . La période 2017-2022 devrait voir l'installation et la mise en service de CTA qui révolutionnera notre connaissance du ciel  $\gamma$  et rendra ce type d'observation accessible à toute la communauté. L'enjeu est de préparer ce changement profond du fonctionnement de l'astronomie  $\gamma$  au TeV. A plus long terme, il faut accompagner les efforts de structuration autour du MeV, nouvelle frontière du  $\gamma$  (e-ASTROGAM).



**L'étude des sursauts gamma** bénéficie d'un contexte très favorable en France avec le lancement prévu de SVOM à l'horizon 2022. Le nombre de sursauts détectés sera plus faible qu'avec *Swift*, mais la couverture spectro-temporelle sera meilleure et la diversité de la population mieux explorée. SVOM constituera une nouvelle étape dans l'utilisation des sursauts  $\gamma$  comme sonde de l'univers lointain et des premiers objets (avec l'optimisation du suivi robotique au sol en infrarouge), ainsi que pour la recherche de sursauts courts associés à des coalescences détectées par *Advanced Virgo*. L'enjeu est de renforcer la communauté autour du suivi sol et de l'utilisation « hors sursauts » (en particulier l'exploration du ciel variable, voir ci-dessous)..

**L'astronomie des phénomènes transitoires** bénéficie de l'émergence des relevés synoptiques du ciel (LSST, LOFAR, SKA) et du développement de moyens automatiques ou robotiques de suivi dans un contexte de multiplication des alertes (*Adv. Virgo*, KM3NeT, GAIA, SVOM, etc). « Tidal disruption events », « shock breakouts », « kilonovae », « fast radio bursts » font ainsi l'objet d'un intérêt très marqué. On peut s'attendre à une meilleure description statistique ou multi-longueurs d'onde/messagers des transitoires déjà connues et à la découverte de nouvelles classes de phénomènes variables. L'optimisation et la coordination de ces efforts sont un enjeu.

**En rayons X**, l'implication française dans *Athena* est très importante et va structurer la communauté pour de nombreuses années (lancement en 2028). Entre temps, la mission japonaise *Hitomi* pourrait<sup>23</sup> obtenir des spectres X haute résolution préfigurant les résultats d'*Athena*, et la mission *eROSITA* (lancement 2017) effectuera le premier relevé complet du ciel X depuis ROSAT. Ces deux missions, où la participation française est modeste, ouvrent le champ de l'astronomie X et permettront à XMM et *Chandra* de retrouver une seconde jeunesse comme instruments de suivi détaillé. La polarimétrie X est un autre champ à ouvrir et des chercheurs français participent activement au science case de XIPE (projet ESA M4).

**La simulation numérique** prend une importance croissante dans les développements théoriques et la modélisation au fur et à mesure que les méthodes et les outils se démocratisent et que la puissance de calcul permet d'approcher au mieux la physique en jeu. Il est maintenant envisageable de calculer des observables à partir de simulations ab initio des processus physiques fondamentaux (p.ex. l'émission  $\gamma$  des pulsars). Sans qu'elle soit la panacée pour répondre à toutes les questions théoriques, la maîtrise de cet outil est devenue un enjeu important pour l'ensemble du domaine.

**Centre de données.** Aujourd'hui, un grand effort de valorisation est consacré en France à la création de catalogues de sources (XMM-SSC, *Fermi*-LAT, ou, plus modestement, le catalogue TeVCAT). Demain, la diffusion et la valorisation des données CTA, SVOM,

---

<sup>23</sup> Les communications avec *Hitomi* sont interrompues à cette date (début avril 2016) et la mission semble très compromise.

*Athena* sera une préoccupation importante, d'autant plus que leur utilisation ne se restreint plus aux développeurs des instruments. Même si la création de catalogues de sources restera probablement une activité importante en France, d'autres axes de valorisation devront être envisagés, comme la pérennisation des moyens d'analyse de données, ou l'intégration des données dans un contexte multi-longueurs d'onde et multi-messagers.

### 4.3 Rôle du PNHE

La création du PNHE reconnaît l'émergence d'une communauté astroparticules bien intégrée, rassemblant des chercheurs issus de champs disciplinaires variés. C'est un avantage certain sur le long terme pour l'animation, l'analyse, et le retour scientifique. La légitimité de cet outil, au service des tutelles et de la communauté, est assurée par une bonne représentativité des thématiques et des instituts. La mise en commun d'expertises variées a clairement informé et enrichi les échanges et les avis donnés par le CS. Le PNHE est indispensable pour **maintenir cette dynamique commune**, qui peut s'essouffler face à la réduction des ressources et la tentation d'un repli vers le « coeur de métier ».

La communauté PNHE est présente dans la quasi-totalité des grands projets sol/spatial du domaine en Europe, avec un rôle majeur pour nombre d'entre eux (*Athena*/IFU, *Virgo*, CTA, KM3NeT, etc.). Le PNHE doit pouvoir **renforcer le retour scientifique** de ces moyens, notamment en encourageant :

- leur utilisation coordonnée (suivi multi-messagers, sol/espace, etc);
- la participation des chercheurs à ces projets;
- les développements théoriques, activités de modélisation et d'interprétation associées;
- la mise à disposition des données;
- la valorisation des résultats vers la communauté académique et le grand public.

Par ailleurs, le PNHE doit pouvoir continuer à **jouer un rôle structurant** au travers de:

- l'animation de la réflexion prospective dans son domaine;
- l'organisation d'ateliers favorisant les échanges;
- la formation des étudiants et chercheurs;
- la diffusion d'informations auprès de la communauté;
- son action d'expertise auprès des tutelles.

Ce rôle structurant est le principal canal incitatif à disposition du PNHE, à la mesure de ses moyens limités (y compris en comparaison de financements locaux type Labex ou région). Une **implication forte des tutelles** est nécessaire pour que ce rôle soit effectif. L'expertise scientifique du CS et une vision large du domaine doivent permettre au PNHE d'avoir un

suivi des actions menées en France et de les coordonner avec les tutelles. Enfin, le soutien du PNHE doit pouvoir aider des projets à émerger, si besoin, auprès d'acteurs permettant des relais financiers plus conséquents (Labex, régions, ANR, Europe, etc).

#### 4.4 Evolution du PNHE 2017-2022

Bien que les **thématiques** évoluent, celles-ci et les grandes questions qui leur sont associées restent pertinentes sur le prochain cycle.

La réunion générale des 30-31 mars 2016 a permis de discuter des trois axes d'action du PNHE : l'appel d'offre annuel, les initiatives issues du CS, l'expertise au service des tutelles.

Sur l'**appel d'offre**, l'importance du soutien du programme pour les groupes de travail sur la modélisation, la simulation numérique, et la théorie a été soulignée plusieurs fois. Ces activités ne nécessitent que des financements modestes qui sont peu couverts par d'autres sources. Le soutien aux projets réunissant plusieurs moyens d'observation ou plusieurs thématiques est aussi apparu comme devant rester une activité prioritaire du PNHE. Le périmètre actuel de l'AO semble satisfaisant, étant entendu que le soutien financier à des activités d'instrumentation ne peut être que très réduit et jugé à l'aune de l'effet levier qu'il peut induire, par exemple par une démonstration de faisabilité limitée en préparation d'une demande plus importante. Le soutien du PNHE permet d'apporter une visibilité nationale à même de renforcer la crédibilité des projets auprès d'autres organismes. Les sujets à l'interface, comme la détection directe de matière noire, qui était en dehors du périmètre du GdR PCHE, sont à juger au cas par cas en fonction de leur caractère transverse en termes d'instituts ou de compétences.

L'**importance des ateliers** comme moyen d'information, d'animation, de mise en réseau de la communauté a été soulignée. Plusieurs sujets possibles ont été évoqués lors des exposés (radio, émissions diffuses, accélération, matière noire). Certains ateliers fonctionnent déjà, d'autres pourraient être initiés par une action du CS: par exemple, des journées théories à l'image des journées grands instruments de 2014. Le développement des simulations numériques justifierait aussi des ateliers ou des écoles spécifiques. Une école commune aux différents PN est en cours de définition au sein du groupe de travail « calcul haute performance » mandaté par l'INSU-AA et animé par Jérémy Blaizot<sup>24</sup>. D'autres actions sont envisageables, par exemple une école commune avec le PNST sur les plasmas astrophysiques. En règle générale, le PNHE doit continuer à servir de passerelle vers d'autres communautés. Un rapprochement avec l'INP a ainsi été évoqué autour des thématiques de l'univers comme laboratoire (matière noire, laser plasma, ondes gravitationnelles).

---

<sup>24</sup> <http://sfromang.github.io/index.html>

Les **services d'observations** doivent faire l'objet d'une réflexion plus approfondie au PNHE. Les services principaux associés au PNHE sont le XMM-SSC, CTA, SVOM et *Athena*. D'autres services pourraient être envisagés, tout en notant que si des actions de service sont menées à l'INSU, d'autres peuvent l'être sans labellisation y compris au CEA ou à l'IN2P3 (catalogue général des sources et modèle interstellaire pour *Fermi-LAT* au SAp, base de données publiques sur les rayons cosmiques au LPSC <sup>25</sup>, les sources TeV au LLR <sup>26</sup>, les équations d'état au LUTH <sup>27</sup>, etc). Le suivi d'alertes mérite une attention particulière dans un contexte multi-longueurs d'ondes et multi-messagers en pleine évolution. Certaines initiatives commencent à voir le jour, par exemple le projet AMON de Penn State<sup>28</sup>. La communauté française a des atouts importants à faire valoir, dont une expérience du suivi multi-messagers élaborée de longue date avec le soutien du PNHE.

Les [présentations](#) des journées PNHE du 30-31 mars 2016 ont démontré la richesse et la variété de l'activité de recherche en France sur les thématiques du programme. La période 2017-2022 promet plusieurs **défis** pour la communauté PNHE: le retour scientifique d'*Advanced Virgo*, la mise en service progressive du premier télescope Tcherenkov ouvert, la préparation de la mission franco-chinoise SVOM, l'arrivée de grands relevés synoptiques radio et optique avec les précurseurs SKA et le LSST, l'essor de l'astronomie neutrinos, la diffusion des outils de simulation numérique, le soutien à des projets engagés sur le long terme actuellement en service (Auger, AMS, etc) ou en développement (*Athena*, eLISA, etc), sans oublier l'accompagnement des propositions pour de futurs projets toujours plus ambitieux. Au-delà de ces défis, le PNHE aura à coeur de continuer à apporter un espace de rencontre et de discussion afin de poursuivre la construction d'une **stratégie** comprise et partagée par l'ensemble des acteurs nationaux.

---

<sup>25</sup> <https://lpsc.in2p3.fr/cosmic-rays-db/>

<sup>26</sup> <http://tevcad.in2p3.fr>

<sup>27</sup> <http://compose.obspm.fr>

<sup>28</sup> <http://amon.gravity.psu.edu>

## Annexe: Liste des projets financés

Porteur du projet	Titre du projet
<b>2012</b>	
Brun Pierre	Physique fondamentale
Dallier Richard	Détecteurs radio pour RC
Dornic Damien	Correlation OG-neutrinos
Goldwurm Andrea	INTEGRAL
Kotera Kumiko	RCUHE des PWN
Malzac Julien	Accrétion-éjection
Maurin David	Cosmic rays in AMS-02 era
Maurin David	Interprétation AMS-02 (USINE)
Pelletier Guy	Chocs relativistes
Petri Jérôme	Pulsars
Renaud Matthieu	Prospectives MeV
Renaud Matthieu	MODE-SNR-PWN
Vydelingum Sarodia	Multi-messagers (ISAPP)
<b>2013</b>	
Boer Michel	Fast International Grb Afterglows Robotic Observations (FIGARO)
Chaves Ryan	Atmospheric Calibration and Monitoring for Next-generation VHE Astrophysics
Dallier Richard	La 3ème génération de détecteur radio pour les rayons cosmiques
Dubus Guillaume	Ionisation des nuages mol. au voisinage des restes de supernovae gamma
Gotz Diego	International Cargese school on Cosmic Accelerators
Henri Gilles	"From black holes to cosmic rays : when plasmas go wild. A tribute to Guy Pelletier. "
Kotera Kumiko	Pulsars, supernovae et rayons cosmiques de ultra-haute énergie
Malzac Julien	An accretion disc model for the soft X-ray excess of active galactic nuclei
Margueron Jérôme	Atelier MODE-SNR-PWN
Maurin David	Rayonnement cosmique : interprétation des données AMS-02
Meliani Zakaria	The acceleration mechanisms in astrophysical outflows
Michaut Claire	Phénomènes d'accrétion dans les variables cataclysmiques magnétiques

Nezri Emmanuel	Matiere noire : Simulations numeriques et astroparticules
Pétri Jérôme	Modélisation, observation et recherche des pulsars: des hautes énergies à la radio
Rincon François	Organisation d'une école de physique des Houches
Triay Roland	4ème école de Physique de Astroparticules : Ondes Gravitationnelles
Vangioni Elisabeth	Quels sites astrophysiques pour le processus r ?
Varnière Peggy	Simulations d'observations à proximité d'objets compacts - LOFT, GRAVITY et EHT
<b>2014</b>	
Ceccarelli Cecilia	Rayons cosmiques et gaz moléculaire
Dallier Richard	La 3ème génération de détecteur radio pour les rayons cosmiques
Dubus Guillaume	Simulations numériques de flots hydrodynamiques relativistes
Glicenstein Jean-François	Etude de la lentille gravitationnelle PKS1830-211 aux hautes énergies
Goosmann René	Modeling black hole winds from the stellar to the supermassive
Grosso Nicolas	Activité et propriétés des trous noirs supermassifs
Kotera Kumiko	Pulsars, supernovae et rayons cosmiques de ultra-haute énergie
Laurent Philippe	Organisation du meeting scientifique et de l'école d'été 2014 Astro-H
Lebrun François	AstroMeV II
Lemoine Martin	Accélération de particules dans les sources relativistes
Lott Benoit	Soutien au projet de vulgarisation COSMIX/COSMAX
Marcowith Alexandre	Cosmic Rays and their interstellar environment: CRISM workshop 2014
Margueron Jérôme	Atelier MODE-SNR-PWN
Martin Pierrick	Novae gamma: une nouvelle lumière sur le rayonnement cosmique
Meliani Zakaria	The acceleration mechanisms in astrophysical outflows
Mochkovitch Robert	Emission prompt et rémanence précoce des sursauts gamma
Mottez Fabrice	Modélisation de l'environnement des pulsars
Pétri Jérôme	Modélisation, observations et recherche de pulsars: des hautes énergies à la radio
Vangioni Elisabeth	Quels sites astrophysiques pour le processus r ?
Varniere Peggy	Simulations de phénomènes variables au voisinage de trous noirs
Walder Rolf	Études multi-échelle, multi-physique des microquasars
<b>2015</b>	
Baret Bruny	Fermi ANTares Observations for Multimessenger Astronomy
Beckmann Volker	Future science with SVOM on non-GRB X-ray sources

Boisson Catherine	Towards a better understanding of AGN jet emission : multi-zone studies of FSRQ
Ceccarelli Cecilia	Rayons cosmiques, particules énergétiques et leur interaction avec le gaz moléculaire
Grisé Fabien	Galactic Feedback from accreting stellar-mass black holes
Kotera Kumiko	Atelier pour la préparation du Giant Radio Array for Neutrino Detection
Lemoine Martin	Accélération de particules dans les sources relativistes
Lesaffre Pierre	Magnetic Fields in the Universe V : From Laboratory and Stars to Primordial Structures
Martin Jean-Michel	Radio-polarimétrie de sources variables avec le récepteur WIBAR au foyer du NRT.
Meliani Zakaria	The acceleration mechanisms in astrophysical outflows
Mochkovitch Robert	Les sursauts gamma: tests des modèles et contraintes sur la composition du jet
Mottez Fabrice	Modélisation de l'environnement des pulsars
Mottez Fabrice	Colloque "Magnetic fields from the Sun to blackholes - in memory of Jean Heyvaerts".
Salome Philippe	IYAS 2015
Theureau Gilles	Atelier MODE-SNR-PWN
Walder Rolf	Études multi-échelle, multi-physique des microquasars
<b>2016</b>	
Acero Fabio	Modélisation de l'évolution temporelle d'une population de vestiges de supernova
Brun Pierre	Détecteurs radio pour la recherche de matière noire
Cordier Bertrand	The deep and transient Universe in the SVOM era: new challenges and opportunities
Goosmann René	La contribution française à la mission ESA M4 en projet X-ray Imaging
Götz Diego	Astrophysical Jets (International School)
Gratadour Damien	Étude de la polarisation au coeur des AGN à haute précision
Lemoine Martin	Accélération de particules dans les sources relativistes
Marcowith Alexandre	CosMiDyn
Mirabel Felix	Impact of compact X-ray binaries on the environment
Mottez Fabrice	Modélisation de l'environnement des pulsars
Novak Jerome	Atelier "Pulsars et leur environnements" (MODE-SNR-PWN)
Pétri Jérôme	Contraintes observationnelles sur les champs multipolaires des pulsars
Petrucci Pierre-Olivier	Workshop: Broad band monitoring of Seyfert galaxies
Petrucci Pierre-Olivier	Broad band analysis of the XMM-AGN catalogue
Schussler Fabian	Gamma-Nu-GW: multi-messenger studies searching for the origin of cosmic rays
Sol Helene	Premières obs, tests, validation et optimisation du télescope Cherenkov de Meudon



Triay Roland	La physique de l'Univers en rayons X
Vergani Susanna	GRB population and orphan afterglow studies
Walder Rolf	International School Computational Astrophysics Les Houches
Walder Rolf	Études multi-échelle, multi-physique des microquasars