

COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

# Compte rendu

(approuvé à l'unanimité des votants)

---

Conseil scientifique de l'IN2P3  
2-3 février 2017

## Sommaire

<b>Sommaire .....</b>	<b>2</b>
Membres du Conseil scientifique : .....	3
Personnes présentes à la session fermée : .....	3
Ordre du jour de la séance ouverte (jeudi 2 février) .....	3
Remerciements aux orateurs et rapporteurs externes.....	3
Questions posées par l'IN2P3 .....	3
<b>1. Examen de projets : rayonnements cosmiques et ondes gravitationnelles.....</b>	<b>4</b>
1.1. Introduction .....	4
Avis général.....	8
1.2. Projet AugerPrime .....	10
Avis et recommandations .....	11
1.4. Projet KM3NeT .....	12
Avis et recommandations .....	14
1.5. Projets H.E.S.S. et CTA.....	15
Avis et recommandations .....	17
1.6. Projets AdVirgo et LISA .....	18
Avis et recommandations .....	19
<b>2. Vie du conseil.....</b>	<b>22</b>
2.1. Comptes rendus .....	22
2.2. Fonctionnement du conseil .....	22
2.3. Échanges avec la direction .....	22
2.4. Recommandation.....	23
2.5. Jury d'admission CR.....	23
2.6. Futurs conseils.....	23

### *Membres du Conseil scientifique :*

**Présents** : J.C. Angélique, B. Blank, D. Boutigny, W. da Silva, D. Duchesneau, B. Farizon, P. Gay, J. Giovinazzo, T. Hebbeker, M. Jacobé de Naurois, F. Kapusta, C. Landesman, P. Manigot, A. Maserio, A. Monfardini, C. Renault, M. Ridel, M.-H. Schune, P. Van Duppen, D. Vincent, K. Werner.

**Excusée** : M. Baylac.

**Invité** : R. Granier de Cassagnac.

### *Personnes présentes à la session fermée :*

**Direction de l'institut** : U. Bassler, B. Giebels, R. Pain.

**Orateurs et associés** : C. Bérat, B. Mours, P. Coyle, A. Kouchner, J.P. Lees

**Rapporteurs externes** : K. Kotera (IAP), M. Martinez (IFAE Barcelone), C. Salomon (ENS), P. Tinyakov (UL Bruxelles), P. Wolf (Observatoire de Paris-Meudon).

### *Ordre du jour de la séance ouverte (jeudi 2 février)*

- Introduction du conseil : *Mathieu Jacobé de Naurois (LLR)*
- Feuille de route européenne : *Stavros Katsanevas (APC)*
- Expériences Auger et AugerPrime : *Corinne Bérat (LPSC)*
- Expériences KM3NeT et ORCA : *Paschal Coyle (CPPM)*
- Expériences H.E.S.S. et CTA : *Jean-Pierre Lees (LAPP)*
- Ondes gravitationnelles et projet LISA : *Pierre Binetruy (APC)*
- Expérience Advanced Virgo : *Benoit Mours (LAPP)*

Ordre du jour, documents préparatoires et présentations publiques disponibles sur le site de l'IN2P3 : <http://www.in2p3.fr/actions/conseilsscientifiques/conseils.htm>

### *Remerciements aux orateurs et rapporteurs externes*

Le conseil remercie les orateurs pour la qualité et la clarté de leur rapport écrit et de leur exposé concernant les différents projets présentés lors de ce conseil.

Le conseil remercie également les rapporteurs pour leur travail et la pertinence de leurs contributions sur les projets étudiés par le conseil.

### *Questions posées par l'IN2P3*

1. *Les activités présentées sont-elles en adéquation avec les missions de l'institut ?*
2. *Quelles sont les principales spécificités (points forts/faibles) de la contribution de l'institut - vis-à-vis des autres instituts français et internationaux, dans ces expériences et projets ?*
3. *Quel est le retour scientifique, la visibilité des équipes sur le plan national et international, le taux de publications, des expériences en cours ?*
4. *L'engagement des équipes dans les projets est-il pertinent ? Est-il suffisant pour atteindre les objectifs affichés ? Permet-il de compter sur un retour scientifique fort ?*
5. *Comment les activités présentées s'inscrivent-elle dans la durée ?*
6. *Les plans des transitions d'expérience vers projet (de H.E.S.S. vers CTA, de ANTARES vers KM3NeT) sont-ils pertinents ?*

# 1. Examen de projets : rayonnements cosmiques et ondes gravitationnelles

## 1.1. Introduction

Le domaine des astroparticules est présent à l'IN2P3 depuis un quart de siècle environ. Toutes les activités de ce domaine ne sont pas abordées ici. À la demande de la direction, l'examen se concentre sur la phase de transition dans laquelle se trouvent les expériences Auger/AugerPrime, H.E.S.S./CTA et ANTARES/KM3NeT dans lesquelles l'IN2P3 investit des ressources conséquentes. En ce qui concerne les ondes gravitationnelles, Advanced Virgo se prépare à prendre des données et le projet spatial LISA vient d'être déposé. LISA n'est pas à l'heure actuelle un projet officiel de l'IN2P3 mais les forces se mobilisent, la communauté se structure via le GdR "Ondes gravitationnelles". À la demande de la direction, le conseil évalue la cohérence de l'ensemble.

De plus en plus, les astroparticules se placent dans une approche intégrée multi-longueurs d'ondes et multi-messagers. Ces regards croisés sont la clé de compréhension de nombreux phénomènes. Ils se basent sur une organisation adaptée avec de nombreuses expériences, des accords entre elles, des réseaux d'alertes et des observations simultanées. Les projets associés à chaque "messenger" s'améliorent et se développent au fur et à mesure des générations. Cette capitalisation sur les expériences précédentes permet de limiter les coûts tout en obtenant des gains en sensibilité significatifs. Naturellement des projets basés sur des instruments totalement nouveaux apportent également de nouveaux défis et permettent d'explorer de nouvelles gammes d'énergie et/ou de nouveaux messagers. Si, dans les années 90, les projets s'organisaient autour de petites équipes de quelques dizaines de personnes typiquement, les collaborations internationales de ce domaine comptent aujourd'hui parfois plus de 1000 physicien(ne)s, une taille comparable à celle d'ALICE au CERN par exemple.

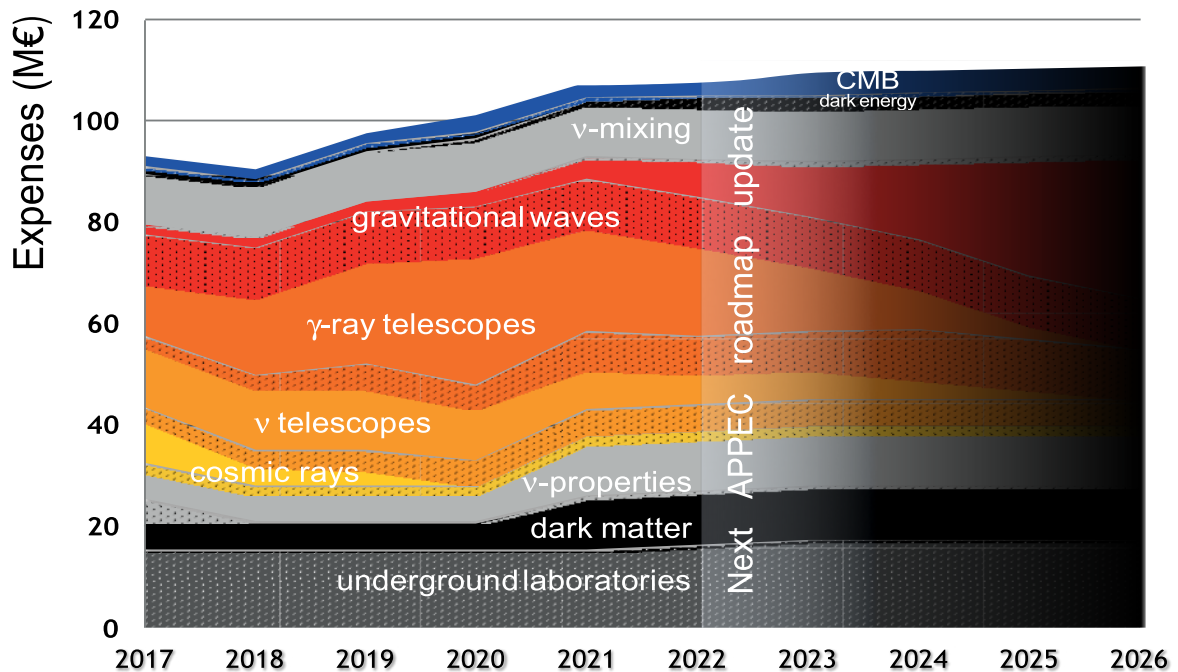
### Feuille de route européenne

L'Europe s'organise dans le cadre de l'APPEC (Astroparticle Physics European Consortium). La détection des ondes gravitationnelles et des neutrinos d'origine cosmique montrent que la voie ouverte par la première feuille de route de l'APPEC en 2008 était effectivement particulièrement prometteuse. Aujourd'hui le domaine des astroparticules n'a plus à justifier son existence. La croissance de ce domaine implique une organisation scientifique et institutionnelle ainsi que des infrastructures européennes ou mondiales à la hauteur de ses ambitions.

Les questions scientifiques sont :

- l'univers extrême : que peut-on apprendre des événements cataclysmiques en combinant tous les messagers - photons gamma de haute énergie, neutrinos, rayons cosmiques et ondes gravitationnelles - dont nous disposons ?
- l'univers noir : quelle est la nature de la matière noire et de l'énergie noire ?
- les neutrinos : quelles sont les propriétés enchevêtrées des neutrinos et que peuvent-elles nous apprendre ?
- l'univers primordial : que peut-on encore apprendre de ce qui s'est passé autour du Big-Bang, avec le rayonnement fossile par exemple ?

La nouvelle feuille de route doit être publiée au printemps 2017. Elle regroupe 9 thèmes de recherche. La figure suivante résume l'évolution prévue à moyen terme et envisagée à long terme des investissements des agences de financement européennes dans ce domaine.



*Investissement annuel (construction, développement de prototypes hors cout humain) et budgets de fonctionnement (consommables et frais liés aux prises de données, en zones hachurées), estimé par les agences de financement, nécessaire pour accomplir les objectifs de la feuille de route de l'APPEC.*

Les infrastructures étudiées lors de ce conseil répondent toutes à l'un des enjeux scientifiques énoncés précédemment. C'est pourquoi leur construction est fortement recommandée dans la feuille de route de l'APPEC.

Une attention particulière doit être portée à la mise en place de modes de fonctionnement économiquement viables et bien organisés. La coordination avec les agences spatiales est importante, en particulier dans le domaine des ondes gravitationnelles, mais également dans celui des sursauts gamma avec le satellite SVOM et les télescopes CTA et KM3NeT. Chaque programme doit être accompagné d'une R&D forte, ainsi que par une véritable politique de gestion et distribution des données, à l'intérieur de la collaboration ou vers toute la communauté. Enfin le potentiel inter-disciplinaire doit être exploité, notamment pour accroître des moyens de financement possibles. Géologie, biologie, climatologie sont des synergies possibles.

### Auger et AugerPrime

L'observatoire Pierre Auger a permis une avancée spectaculaire dans l'étude des rayons cosmiques de ultra-haute énergie (UHERC) avec la mesure de la distribution en énergie de ces particules de  $10^{17.5}$  à  $10^{20}$  eV, la confirmation de la coupure du spectre aux plus hautes énergies - compatible avec celle attendue par interaction entre protons et photons du rayonnement fossile (coupure Greisen, Zatsepin, Kuzmin ou GZK) et l'obtention de fortes contraintes sur le nombre de neutrinos et photons gamma dans ce domaine d'énergies

extrêmes. L'un des résultats principaux de la collaboration est d'avoir mis en évidence que la masse des particules primaires semble augmenter à partir d'une certaine énergie, contrairement à ce qui était attendu. Les mesures actuelles ne donnant accès qu'à une valeur moyenne de la composition des primaires, il est crucial de préciser la distribution des masses.

Des questions restent ouvertes et la collaboration Auger se tourne aujourd'hui vers le projet AugerPrime dans le but de comprendre la nature des particules les plus énergétiques. La détermination de la composition de la gerbe atmosphérique sera sensiblement améliorée par l'ajout de plans de scintillateurs sur chaque détecteur Cherenkov à eau constituant le détecteur de surface, couvrant donc 3000 km<sup>2</sup>, car ces détecteurs ont une réponse aux muons et aux électrons/positrons/photons différentes de celles des détecteurs Cherenkov.

### **ANTARES et KM3NeT**

La collaboration KM3NeT est en train de développer et de construire un réseau de télescopes sous-marins sur deux sites en Méditerranée pour la détection et l'étude des neutrinos. La technologie de détection est basée sur celle utilisée pour ANTARES. Elle consiste à capter avec des réseaux étendus de photomultiplicateurs la lumière Cherenkov produite dans la mer par le passage des particules chargées issues des interactions des neutrinos dans l'eau.

Les avantages par rapport à l'expérience IceCube, installée en Antarctique et qui observe la lumière Cherenkov dans la glace pour l'étude des neutrinos cosmiques, sont liés à une meilleure résolution angulaire d'un facteur 10 car la diffusion de la lumière est plus faible dans l'eau et une meilleure résolution d'énergie pour les cascades. L'inconvénient est une longueur d'atténuation plus faible dans l'eau que dans la glace, permettant à IceCube d'avoir actuellement une plus grande surface effective.

Les deux objectifs scientifiques principaux sont la recherche de sources de neutrinos cosmiques de très haute énergie (réseau ARCA) et l'étude des neutrinos atmosphériques en vue de la détermination de la hiérarchie de masse des neutrinos (réseau ORCA). Ces deux thèmes de recherche nécessitent une répartition différente des lignes de photodétecteurs (modules optiques) pour couvrir différents domaines d'énergie. ORCA explore en effet des énergies inférieures à une dizaine de GeV alors que ARCA doit couvrir un domaine allant jusqu'au PeV.

Le démontage de l'expérience ANTARES est prévu avant la fin de l'année 2017. La première phase de KM3NeT, actuellement en cours, consiste à déployer 7 lignes ORCA et 24 lignes ARCA d'ici la fin 2017 si les problèmes rencontrés en 2016 avec les premières lignes ORCA et ARCA sont résolus.

### **H.E.S.S. et CTA**

L'astronomie gamma est indubitablement un domaine de recherche très actif avec des instruments dédiés au sol et dans l'espace. Les mécanismes physiques à l'origine de ces émissions au-delà de quelques dizaines de GeV sont encore largement inexplorés.

Les thèmes de recherche s'organisent autour des questions suivantes :

- où et comment sont accélérées les particules de haute énergie dans notre Galaxie ?
- quel est le rôle de ces particules dans le milieu interstellaire ?

- comment les mécanismes d'accrétion/éjection autour des trous noirs accélèrent-ils les particules ?
- que nous apprennent les photons gamma sur la matière noire et les lois fondamentales de la physique ?

L'IN2P3 est un acteur naturel de ce domaine puisqu'il l'a initié il y a environ 25 ans :

- d'un point de vue scientifique: il est nécessaire de faire appel à la physique des particules d'une part pour modéliser le développement des gerbes atmosphériques, d'autre part pour étudier des mécanismes d'émission pouvant éventuellement faire appel à de la physique au-delà du modèle standard.
- d'un point de vue instrumental: les techniques adoptées dérivent fréquemment de la physique des particules.

La collaboration souhaite poursuivre l'exploitation de H.E.S.S. II en Namibie jusqu'à fin 2019 pour profiter pleinement des dernières améliorations puis opérer une transition vers le projet CTA qui comporte un site Nord aux Canaries et un site Sud au Chili.

### **AdVirgo et LISA**

La première détection d'ondes gravitationnelles par le consortium LIGO-Virgo a sans conteste été l'événement scientifique majeur de l'année 2016. Cette détection a couronné un énorme effort théorique et, surtout, expérimental de plus de 60 ans. Après les tentatives avec les barres résonantes, la technique interférométrique a permis d'atteindre ce résultat historique.

La découverte successive en quatre mois seulement de deux systèmes binaires de trous noirs de masse intermédiaire indique que les expériences au sol ont enfin atteint le seuil en sensibilité nécessaire, et augure d'une moisson de résultats au cours des prochains mois et des prochaines années.

Cette découverte majeure est le résultat de l'analyse de données conjointe par les deux groupes du consortium LIGO-Virgo. En revanche, les données elles-mêmes provenaient uniquement des deux détecteurs Advanced LIGO (aLIGO) aux États-Unis car Virgo était, et est toujours, en intégration pour le passage de Virgo+ à Advanced Virgo (AdVirgo). La collaboration européenne essaie de rejoindre aLIGO, si possible pour la deuxième série d'observations actuellement en cours sinon pour la suivante, et, ainsi, apporter une contribution essentielle en permettant une estimation plus précise de la position des sources.

Le projet LISA, existant sous une forme ou une autre depuis la fin du 20ème siècle, vise à étendre le domaine spectral de détection des ondes gravitationnelles aux fréquences comprises entre  $10^{-4}$  et 0.1 Hz. Cela permet d'une part d'accéder aux systèmes binaires de trous noirs supermassifs, tels que ceux que l'on attend lors de la rencontre de galaxies spirales, mais aussi d'étudier les systèmes binaires galactiques quelques mois, voire quelques années, avant leur fusion, ouvrant ainsi un domaine de recherche totalement nouveau. LISA sera selon toute vraisemblance l'un des projets scientifiques phares des prochaines décennies.

## *Avis général*

La première mesure des ondes gravitationnelles est un événement d'une extraordinaire importance, non seulement en tant que telle, mais également comme confirmation expérimentale d'une prédiction fondamentale faite il y a un siècle dans le cadre de la théorie de la Relativité Générale. Son énorme potentiel est dû au fait que cette découverte ouvre une fenêtre sur un nouveau domaine de la recherche, celui de l'astronomie gravitationnelle, avec l'accès à certains phénomènes invisibles avec les autres techniques. A son tour, cette astronomie-là se situe à l'intérieur de l'un des plus prometteurs domaines de la physique, celui de l'astronomie multi-messagers où les ondes gravitationnelles doivent être étudiées parmi les messagers cosmiques, c'est-à-dire les photons, les neutrinos, les rayons cosmiques chargés et l'antimatière cosmique. La combinaison des détections, positives ou négatives, s'avère très contraignante sur les phénomènes physiques en jeu.

Les projets AugerPrime et CTA, regroupant des chercheurs de plusieurs continents, sont des instruments sans concurrence dans leurs domaines respectifs pour les 5 à 10 années à venir, au moins. Dans cette perspective, ils auront un impact significatif sur le futur de leurs thématiques. Les équipes françaises, fortes de leur implication dans l'instrument et l'analyse de la génération précédente, ont la volonté et la capacité à poursuivre leurs recherches dans le cadre de ces nouveaux projets. Les engagements et les moyens humains sont raisonnablement proportionnés aux objectifs scientifiques, ces activités doivent être soutenues.

KM3NeT est le fer de lance européen de l'astronomie avec les neutrinos. Pouvoir observer n'importe quelle source sur le ciel, en particulier la région du Centre Galactique, justifie déjà l'existence de l'instrument ARCA, en complément du projet IceCube. Si la participation scientifique à ARCA est dans la continuité de l'expertise acquise sur ANTARES, le conseil note que ce projet doit être considéré comme une première étape car sa taille est environ un ordre de grandeur trop faible pour raisonnablement espérer une statistique suffisante pour une interprétation astrophysique des détections attendues. Au niveau instrumental, la France est impliquée directement dans le volet ORCA du projet à Toulon. L'opportunité de faire avec celui-ci la première mesure de la hiérarchie de masse des neutrinos doit être saisie et les moyens ponctuellement concentrés sur cet objectif. En effet, la fenêtre d'opportunité est étroite et tout retard risque d'être fatal.

Le conseil félicite l'équipe d'AdVirgo qui déploie des efforts impressionnants pour essayer de participer à la prise de données actuelle de LIGO. Il est indispensable de permettre aux personnels impliqués de se consacrer pleinement au projet car le risque de ne pas pouvoir rejoindre cette série d'observations est bien réel - ce qui serait très dommageable psychologiquement pour les équipes, politiquement pour l'Europe et bien-sûr scientifiquement pour la localisation des sources. Dans les prochains mois, l'astronomie avec les ondes gravitationnelles va entrer dans une nouvelle ère. La nature inattendue des premiers événements laisse présager de belles découvertes.

Fort des premières mesures du consortium LIGO-Virgo et du fonctionnement remarquable de LISAPATHFINDER, le projet spatial LISA a été proposé en réponse à l'appel L3 de l'ESA. D'un intérêt scientifique indiscutable, il sera un parfait complément en termes de fréquences des instruments au sol. La France a pris position sur deux aspects clés du projet: l'intégration et le centre de traitement de données. Le conseil souhaite que le GdR "Ondes gravitationnelles" permettent d'accueillir et de fédérer de nouvelles équipes, de nouveaux laboratoires pour rejoindre l'effort remarquable actuellement porté par l'APC.



Le sujet est certes difficile, l'analyse très spécifique, mais un lancement au-delà de 2030 laisse le temps de se former à cette nouvelle physique, aux perspectives considérables. LISA a vocation à rassembler des chercheurs de l'IN2P3, mais aussi de l'INP et de l'INSU notamment, en coordination avec le CNES. Il est souhaitable que l'IN2P3, acteur historique avec l'instrument Virgo, soit significativement présent dans ce projet.

En étudiant l'ensemble de ces projets, le conseil constate que certaines équipes comprennent parfois un seul chercheur : ces cas doivent rester marginaux et l'institut doit veiller à ce que ces chercheurs soient fortement intégrés dans leurs collaborations.

Les calendriers de déploiement sont toujours serrés. Comme souligné dans le rapport de l'APPEC, les projets en astroparticules ont aujourd'hui atteint des tailles conséquentes. Le nombre de physicien(ne)s et le montant des budgets impliquent une organisation rigoureuse des projets et une attention particulière à la gestion des données.

Le conseil souhaite par ailleurs rappeler que les générations suivantes des instruments doivent être anticipées très en amont, avec le temps et les moyens d'envisager des ruptures technologiques, en renforçant les liens avec d'autres laboratoires qui développent de nouveaux procédés de détection par exemple.

#### *1. Adéquation des projets avec les missions de l'institut :*

La réponse est clairement oui car elles s'inscrivent dans le domaine des astroparticules.

Les réponses aux autres questions, plus spécifiques, sont données dans l'avis sur chaque expérience en cours et projet associé (questions 4 à 6) ou directement dans leur présentation (questions 2 et 3).

## 1.2. Projet AugerPrime

Installé dans la Pampa argentine, le réseau de surface de l'Observatoire Pierre Auger est pleinement opérationnel depuis 2008. Trois laboratoires de l'IN2P3 sont concernés : l'IPNO (Orsay), le LPSC (Grenoble) et le LPNHE (Paris). Le nombre de chercheurs permanents impliqués est actuellement de 8, avec une majorité d'entre eux à l'IPNO. Chaque équipe compte au moins un CDD ou un doctorant.

Après 10 ans de prises de données, aucune source n'a pu être identifiée: l'astronomie avec les rayons cosmiques chargés reste évasive. Les tentatives de la collaboration pour développer un réseau de détecteurs radio basés sur les effets d'Askaryan et de Bremsstrahlung moléculaire n'ont pas permis de développer une alternative nettement moins onéreuse aux détecteurs de particules chargées. La collaboration Pierre Auger a mis en place un programme d'amélioration de l'Observatoire, dont l'exploitation est prévue jusqu'en 2025 : le projet AugerPrime.

La tendance observée d'un changement de composition vers des noyaux de plus en plus lourds lorsque l'énergie croît montre que la question de l'origine de la cassure dans le spectre à haute énergie reste ouverte. À l'heure actuelle, l'effet de la coupure GZK et une limitation intrinsèque des capacités d'accélération des sources restent des explications plausibles.

La caractérisation des particules primaires passe par la mesure événement par événement du profil longitudinal de la gerbe, notamment la position du maximum donné par les détecteurs de fluorescence déjà existants, ainsi que par une meilleure connaissance de la composition des particules de la gerbe au niveau du sol. La collaboration a défini un programme d'extension des potentialités du détecteur de surface actuel pour permettre une extraction de la position du maximum et une indication du nombre de muons dans chaque gerbe. Tout en continuant à s'appuyer sur la stratégie de détection hybride, AugerPrime utilisera de nouveaux détecteurs ayant une réponse différente et complémentaire aux composantes muonique et électromagnétique des gerbes. La détermination de la position du maximum et du nombre de muons événement par événement devrait également permettre de rechercher une composante sous-dominante de protons, dont la source serait différente de celle produisant la majorité des rayons cosmiques extragalactiques.

Le cœur du projet AugerPrime est l'ajout de plans de scintillateurs de 4 m<sup>2</sup> sur chacun des 1660 détecteurs Cherenkov à eau répartis sur les 3000 km<sup>2</sup> couverts par l'Observatoire Pierre Auger. On peut noter qu'il est également prévu l'installation d'un réseau serré de scintillateurs enterrés à côté des cuves sur environ 20 km<sup>2</sup> du réseau ; ces scintillateurs agiront comme des détecteurs de muons car ils seront suffisamment enterrés. Le choix de cette évolution de l'instrument a été décidé par la collaboration comme étant le meilleur compromis entre le coût de l'investissement et les résultats attendus.

Le coût total du projet est estimé à 12 M€. La collaboration Auger-France, qui a eu un rôle clé depuis le début d'Auger, veut contribuer à cette amélioration à hauteur de 300 k€. Le budget de fonctionnement avoisine 10 k€ par an et par chercheur permanent. Les contributions importantes de l'IN2P3 au développement d'AugerPrime se sont faites avec un nombre limité de personnels techniques, avec 1 à 2 ETP ces dernières années; ce nombre devrait légèrement croître de 2017 à 2019.

## *2. Principales spécificités de la contribution de l'institut :*

La proposition française pour améliorer le détecteur Auger n'a pas été retenue par la collaboration et les groupes français participent donc à un développement de l'instrument qu'ils n'ont pas conçu. Les contributions sont la participation à l'assemblage et au test de 150 modules de détecteur à scintillation sur deux ans, la participation à la mise en place et au suivi de la production de la nouvelle électronique, ainsi qu'à la définition des procédures de tests. De plus, la participation au développement des logiciels d'analyse va se renforcer.

## *3. Retour scientifique, visibilité des équipes sur le plan national et international, taux de publications :*

La visibilité des groupes français au sein de la collaboration Auger, comptant plus de 17 pays et plus de 400 chercheurs, ne fait pas de doute. Les chercheurs permanents ainsi que les post-doctorants ont quasiment toujours eu des responsabilités au sein des tâches d'analyse ou liées aux détecteurs. Depuis 2007, deux chercheurs de l'IN2P3 se sont succédés à la charge de *Science Coordinator*. La France a également été membre du *Publication Committee*, dont elle a assuré la direction de 2010 à 2013, puis du *Conference committee* (depuis 2013). La collaboration française, constituée ces dernières années d'une trentaine de chercheurs en moyenne a contribué activement à 40% des quelques 80 publications de la collaboration Auger en une dizaine d'années. Plus de 35 doctorants ont été formés; 11 des post-doctorants ayant travaillé dans les groupes IN2P3 dans le projet Auger ont actuellement des positions permanentes dans la recherche académique.

## *Avis et recommandations*

### *4. L'engagement des équipes dans le projet est-il pertinent ? Est-il suffisant pour atteindre les objectifs affichés ? Permet-il de compter sur un retour scientifique fort ?*

Le projet semble déjà bien engagé et les négociations concernant les tâches et les contributions financières sont terminées. Le projet d'installation des améliorations AugerPrime est raisonnable et sous contrôle. Sa réalisation peut se faire avec un apport relativement modeste. Auger est actuellement seul à pouvoir mener à bien une telle mesure en des temps relativement courts et doit être soutenu par l'IN2P3, qui devra néanmoins rester attentif à l'évolution du projet et veiller à ce que la contribution française ne devienne pas marginale.

En France, le groupe de chercheurs de l'IN2P3 est plus réduit que par le passé (passage de 6 à 4 % de la collaboration totale), notamment au LPNHE où le groupe se limite maintenant à une personne. Mais les chercheurs qui restent sont motivés et ont pris des responsabilités pour le développement et les études liées au passage à AugerPrime, donnant à l'IN2P3 une visibilité certaine.

### *5. Comment les activités présentées s'inscrivent-elle dans la durée ?*

AugerPrime est un projet dans lequel l'IN2P3 est engagé sur au moins 10 ans afin de doubler la statistique actuelle.

### *6. Les plans des transitions d'expérience vers projet sont-ils pertinents ?*

À l'heure actuelle l'Observatoire Pierre Auger est le seul instrument capable d'explorer la fin du spectre en énergie des UHECR et de préciser leur composition. Les expériences de

seconde génération dans l'espace, ou au sol, ne fourniront pas de données avant des années. Dans cette perspective, l'instrument amélioré AugerPrime est donc pertinent et aura clairement un impact majeur sur le futur de ce domaine scientifique.

Le CC-IN2P3/CNRS est le centre principal de stockage des données d'Auger depuis le début du projet et le conseil regrette que cette contribution de l'IN2P3 ne soit pas mieux mise en avant et valorisée en tant que contribution technique.

## 1.4. Projet KM3NeT

La collaboration KM3NeT constituée de près de 200 collaborateurs de 12 pays est en train de mettre en place un réseau de télescopes sous-marins, ORCA et ARCA, sur deux sites en Méditerranée pour la détection et l'étude des neutrinos. Les objectifs scientifiques principaux sont d'une part la recherche de sources de neutrinos cosmiques de très haute énergie et d'autre part la détermination de la hiérarchie de masse des neutrinos en utilisant les neutrinos atmosphériques. La contribution historique d'ANTARES a été à la base de la technologie de détection de KM3NeT.

Ces deux thèmes de recherche nécessitent une répartition différente des lignes de photo-détecteurs (densité de PMT dans le volume de détection) pour couvrir les deux différents domaines d'énergie. ORCA, avec un réseau plus compact, explore en effet des énergies inférieures à une dizaine de GeV alors que ARCA, destinée à l'étude des neutrinos de très hautes énergies, doit couvrir un domaine allant jusqu'au PeV.

La collaboration a choisi de développer deux sites, un pour ORCA et un autre pour ARCA, en grande partie pour des raisons de soutien financier et politique locaux. L'étude des neutrinos atmosphériques aura lieu grâce au détecteur ORCA installé sur le site français près de Toulon à 2450 m de profondeur avec pour objectif l'installation de 115 lignes de 18 modules optiques pour la phase 2. La physique d'ARCA, pour l'étude des neutrinos cosmiques de très haute énergie, aura lieu sur le site de Capo Passero en Italie à 3400 m de profondeur avec pour objectif l'installation de 2 fois 115 lignes pour la phase 2. Les volumes instrumentés de la phase 2 seront de l'ordre de 1 km<sup>3</sup> pour ARCA et de 0.004 km<sup>3</sup> pour ORCA.

La première phase, actuellement en cours, consiste à déployer 7 lignes ORCA et 24 lignes ARCA d'ici la fin 2017 si les problèmes de court-circuit dans des câbles électro-optiques rencontrés en 2016 avec les premières lignes sont résolus.

L'expérience IceCube, qui observe la lumière Cherenkov dans la glace, a détecté les premiers neutrinos astrophysiques de haute énergie. Les avantages de KM3NeT par rapport à IceCube sont liés à une meilleure résolution angulaire d'un facteur 10, car la diffusion de la lumière plus faible dans l'eau, et à une meilleure résolution en énergie des événements. ARCA permettra de confirmer et d'étudier de manière complémentaire à IceCube les neutrinos de haute énergie, en profitant de sa position dans l'hémisphère Nord pour couvrir le plan galactique, en explorant une gamme en énergie différente et en déterminant les directions et les énergies avec plus de précision.

La physique d'ORCA sur laquelle se concentrent les groupes français concerne un volet fondamental dans la compréhension des propriétés des neutrinos qui est la détermination de la hiérarchie de masse. D'autres projets dans le monde sont en plein développement comme par exemple l'expérience Juno en Chine qui observera les

neutrinos de réacteur et qui devrait avoir une sensibilité de l'ordre de 4 sigmas pour la hiérarchie de masse d'ici 2026. De manière très similaire à ORCA, le projet Pingu basé sur l'utilisation de lignes de photo-détecteurs dans la glace de l'Antarctique dans le réseau IceCube affiche des performances très similaires à celles de ORCA, mais avec un calendrier non défini et une révision du dispositif expérimental qui pourrait le rendre moins compétitif. Dans le paysage actuel des expériences en train de prendre des données, la collaboration NOvA aux Etats-Unis étudie les neutrinos de faisceaux très longue distance venant de Fermilab. Par la grande distance de parcours dans la Terre (810 km), NOvA possède un atout important qui pourrait permettre d'avoir une sensibilité à la hiérarchie de masse qui dépasserait les 3 sigmas d'ici 2024 et d'offrir une mesure complémentaire et indépendante.

Les implications des laboratoires de l'IN2P3 envisagées dans la collaboration KM3NeT concernent le CPPM (Marseille), l'APC (Paris), l'IPHC (Strasbourg), le LPC (Clermont-Ferrand) et très récemment Subatech (Nantes). Une quinzaine de chercheurs et enseignants-chercheurs, un nombre similaire de doctorants et post-doctorants et près de 25 ITA contribuent actuellement à ANTARES et/ou KM3NeT auxquels s'ajoutent trois chercheurs associés du CEA. Le personnel est très impliqué dans le projet puisque les chercheurs et enseignants-chercheurs y consacrent 100% ou presque de leur temps de recherche. Le LPC n'a qu'un seul chercheur associé.

### *2. Principales spécificités de la contribution de l'institut :*

Les contributions techniques de l'IN2P3 présentées sont majoritairement couvertes par le CPPM et l'APC, et concernent les dispositifs d'étalonnage, les infrastructures sous-marines, le déploiement et la connexion des lignes, la station côtière et le fonctionnement quotidien du détecteur. L'IPHC doit mettre en place un site de production des modules optiques. L'équipe de Subatech propose d'explorer des techniques d'anti-encrassement biologique et étudie également la possibilité d'un autre site de production des modules optiques. Coté calcul, le CC-IN2P3/CNRS jouera un rôle clé en étant le lieu de stockage principale et d'analyse de données pour l'ensemble de KM3NeT.

La construction d'ORCA est basée sur un rythme important de déploiement de l'ordre de 40 lignes/an pour une installation en 3 ans, ce qui nécessite des sites de production des modules optiques qui suivent une cadence de 4 à 5 modules par semaine tout en ayant des procédures de qualité très poussées. En dehors de Strasbourg et Nantes, les autres sites de production prévus sont Athènes, Amsterdam, Catane, Erlangen, Naples et Rabat.

### *3. Retour scientifique, visibilité des équipes sur le plan national et international, taux de publications :*

De nombreuses analyses ont été mises au point avec les données d'ANTARES et ont fourni des résultats dans le domaine des études des neutrinos cosmiques, notamment après la découverte de ces neutrinos de haute énergie par IceCube en 2015. Le taux de publication est de 3 à 8 articles par an depuis une quinzaine d'années.

Des chercheurs français ont eu, ou ont, des responsabilités majeures dans ANTARES, par exemple le *spokeperson* et le coordinateur technique appartiennent à des laboratoires de l'IN2P3. En ce qui concerne KM3NeT, le groupe de l'APC est responsable de l'unité d'étalonnage, celui du CPPM est responsable de l'infrastructure sous-marine d'ORCA et du déploiement.

## *Avis et recommandations*

*4. L'engagement des équipes dans le projet est-il pertinent ? Est-il suffisant pour atteindre les objectifs affichés ? Permet-il de compter sur un retour scientifique fort ?*

Le projet présenté montre très clairement la maîtrise de la technologie et l'expérience acquise avec le prédécesseur ANTARES qui a fonctionné dès 2007 et dont le démontage est prévu avant la fin de l'année 2017. Les objectifs scientifiques de KM3NeT (étude des neutrinos cosmiques de haute énergie d'une part et des propriétés fondamentales des neutrinos d'autre part) reposent sur le développement de détecteurs utilisant le même concept instrumental.

La fenêtre de temps proposée par ORCA est propice - mais néanmoins étroite - et offre une opportunité très grande de fournir une des premières déterminations de la hiérarchie de masse d'ici 2023 si le planning suggéré est tenu. S'ajoutent à ce domaine majeur d'autres sujets liés à la physique des oscillations, les neutrinos stériles, et les interactions non standards des neutrinos.

*5. Comment les activités présentées s'inscrivent-elle dans la durée ?*

Le conseil note qu'il existe une fenêtre d'opportunité unique pour effectuer cette détermination de la hiérarchie de masses avec ORCA avant 2026. Par conséquent, le conseil estime qu'il est particulièrement important de pouvoir respecter le calendrier proposé. Celui-ci étant serré pour la phase 2, le conseil tient à souligner l'importance de saisir au mieux cette opportunité pour la collaboration KM3NeT, en mettant en œuvre une stratégie de déploiement des lignes aussi optimale que possible pour y parvenir.

*6. Les plans des transitions d'expérience vers projet sont-ils pertinents ?*

Les groupes français ont joué un rôle majeur dans la collaboration ANTARES et sont donc naturellement très bien placés pour apporter une contribution déterminante au projet KM3NeT. Par ailleurs l'implication instrumentale spécifique des équipes de l'IN2P3 dans le projet ORCA, situé au large de Toulon, permet de profiter pleinement des infrastructures et de la logistique déployées pour ANTARES.

Le calendrier de construction particulièrement serré impose la mise en œuvre de plusieurs sites de production des modules optiques, dans des laboratoires de différents pays. Dans ce contexte et au vu des exigences de qualité requises et des difficultés spécifiques au déploiement d'un détecteur sous-marin, le conseil invite à être vigilant sur la possibilité de respecter les rythmes de production annoncés. Les problèmes rencontrés avec la première ligne représentent une alerte sur les risques potentiels de dérive du calendrier.

*Physique des neutrinos de haute énergie : ARCA*

Les principaux avantages relativement au projet IceCube reposent sur une meilleure mesure de la direction des neutrinos et sur une couverture complémentaire du ciel, avec notamment l'observation du Centre Galactique où la majorité des sources observables est attendue.

Cependant, en ce qui concerne la mesure de neutrinos du fond diffus, le conseil note que les performances d'ARCA ne semblent pas significativement meilleures que celles d'IceCube en termes de taux d'observation, et qu'une meilleure résolution angulaire n'apporte pas nécessairement une information pertinente dans ce cas. Toutefois, étant

donnée l'expertise acquise dans ce domaine au sein de la collaboration ANTARES, il est souhaitable que les physiciens de l'IN2P3 puissent envisager une participation à l'analyse des données ARCA du projet KM3NeT, la priorité scientifique restant naturellement la mise en place et l'exploitation des données d'ORCA pour les groupes français. Cette participation pourra se faire à la suite d'ORCA ou parallèlement de façon plus marginale, selon les forces disponibles.

#### *Propriétés fondamentales des neutrinos : ORCA*

L'objectif premier d'ORCA, la détermination de la hiérarchie de masses des neutrinos, cible de toute évidence une question importante et fondamentale. Bien qu'il existe des projets concurrents, la mesure avec ORCA reste néanmoins très prometteuse du fait notamment de la complémentarité des approches envisagées et des incertitudes systématiques différentes de ces projets. La mesure proposée représente une alternative à la technique du projet existant sur accélérateur NOvA, ainsi qu'au projet à venir, JUNO, utilisant des neutrinos de réacteurs nucléaires, et dont le calendrier est proche de celui d'ORCA.

### **1.5. Projets H.E.S.S. et CTA**

La technique de détection de la lumière Cherenkov émise dans l'atmosphère par un photon gamma, adoptée par l'observatoire H.E.S.S. (pour High Energy Stereoscopic System) ainsi que par MAGIC (Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov) et VERITAS (Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System) par exemple, est bien adapté aux sources compactes d'énergie comprise entre 50 GeV et plusieurs TeV.

Il existe aujourd'hui essentiellement trois observatoires gamma : MAGIC, VERITAS, et H.E.S.S., héritier des projets français CAT (Cherenkov Array at Themis) et allemand HEGRA (High-Energy-Gamma-Ray Astronomy). H.E.S.S. a été le principal "découvreur" du ciel gamma de ces dix dernières années. En partie grâce à sa situation géographique lui donnant accès au Centre galactique et au ciel austral, mais également grâce à la performance des instruments et des analyses, H.E.S.S. a découvert environ deux tiers des sources connues à ce jour.

Si près de 180 sources gamma sont à ce jour référencées, les flux observés n'autorisent une étude spectroscopique et morphologique que pour les objets les plus brillants du ciel. Le Cherenkov Telescope Array (CTA) doit permettre un gain d'un ordre de grandeur en sensibilité, un élargissement du domaine spectral, une amélioration de la résolution angulaire et une capacité accrue à détecter les sources transitoires. Le substantiel potentiel de découvertes concerne la physique galactique et extragalactique, ainsi que la physique fondamentale. CTA sera la référence dans le domaine. Le concept hérite de H.E.S.S., avec une approche multi-tailles de télescopes pour couvrir une gamme spectrale étendue : quelques grands miroirs (typiquement 4) captent la faible lumière Cherenkov émise lors de l'entrée dans l'atmosphère des "nombreux" photons de quelques dizaines de GeV, beaucoup de petits miroirs (de l'ordre de la centaine) couvrant un large angle solide captent l'importante quantité de lumière émise par les gerbes issues des très rares photons d'une centaine de TeV et des miroirs de taille intermédiaire permettent de compléter le spectre. Afin de pouvoir accéder à une large partie du ciel, deux sites seront équipés de ces télescopes, le site Sud au Chili, le site Nord aux Canaries.

La transition du réseau de télescopes H.E.S.S. I au réseau H.E.S.S. II par l'ajout d'un télescope de près de 30 mètres de diamètre au centre des quatre télescopes initiaux a été achevée en 2012. Depuis 2015 l'ensemble est pleinement opérationnel. Une jouvence de l'électronique des caméras et des guides de lumière du réseau H.E.S.S. I est en cours de finalisation. Cette nouvelle électronique est basée sur le *chip* NeCTAr, donc il s'agit au même temps d'une validation fondamentale en vue de l'expérience future CTA. Ainsi, l'investissement des équipes de l'IN2P3 sur CTA a commencé en amont de la phase du Design Study en 2007, en parallèle à la construction du télescope de H.E.S.S. II. Des financements sous forme d'appels à projets (ANR, régions, universités ...) ont complété la contribution de l'institut.

Actuellement huit laboratoires de l'IN2P3 sont actifs en astronomie gamma: l'APC (Paris), le CENBG (Bordeaux), le CPPM (Marseille), le LAPP (Annecy), le LLR (Palaiseau), le LPNHE (Paris) et le LUPM (Montpellier) ont participé à H.E.S.S., ils ont été rejoints par l'IPNO (Orsay) pour collaborer au sein de CTA. Quatre laboratoires de l'INSU et quatre services du CEA sont également engagés dans le projet CTA qui rassemblent 210 laboratoires de 32 pays. La France contribue pour environ 18% des ETP au projet, dont environ 60% dans les laboratoires de l'IN2P3. Actuellement 50 chercheurs, enseignants-chercheurs, post-doctorants et doctorants des laboratoires de l'IN2P3 sont impliqués dans H.E.S.S. et CTA, avec 30 ETP sur H.E.S.S. et 30 sur CTA environ. Plus de 60 ingénieurs et techniciens des laboratoires de l'IN2P3 sont actuellement impliqués dans la construction de CTA pour environ 25 ETP.

En ce qui concerne CTA, le financement du projet initial (près de 400 ME) n'est pas sécurisé et un projet réduit basé sur le financement promis par les divers instituts (250 ME) a été conçu. Le nombre de télescopes moyens et petits est réduit, et plus aucun grand télescope n'est prévu sur le site sud. La participation des États-Unis est incertaine actuellement. La demande au Haut Comité des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR), vitale pour le financement de CTA, a été officiellement acceptée le 31 janvier 2017 mais le montant alloué n'est pas encore connu.

### *2. Principales spécificités de la contribution de l'institut :*

Les équipes françaises ont un savoir-faire largement reconnu dans de nombreux domaines, tels que les instruments, et en particulier les caméras, ou les logiciels et méthodes d'analyse. Après une expérience trentenaire avec THEMISTOCLE, ASGAT, CELESTE, CAT et, naturellement, H.E.S.S., l'expertise est indéniable.

### *3. Retour scientifique, visibilité des équipes sur le plan national et international, taux de publications :*

Le *Director* de H.E.S.S. est actuellement membre du LLR. De nombreuses responsabilités sont attribuées à des chercheurs de l'IN2P3 dans la construction des 16 NeCTArCam ainsi que dans les travaux liés à la gestion des données.

La collaboration a publié 140 articles depuis 2004, le taux de citations est assez stable, autour de 700 par an pour l'ensemble des articles de H.E.S.S. et les articles majeurs ont une trentaine de citations par an sur les dernières années.



## *Avis et recommandations*

### *4. L'engagement des équipes dans le projet est-il pertinent ? Est-il suffisant pour atteindre les objectifs affichés ? Permet-il de compter sur un retour scientifique fort ?*

Le conseil souligne que la caméra NeCTAr, dans CTA et déjà initiée dans H.E.S.S.II, est le fer de lance de la contribution française à CTA avec une participation importante du LPNHE et du LLR. Un autre sujet sur lequel la France a clairement une position de leader est l'analyse et la gestion des données, avec une coordination originellement au LAPP. Des motivations politiques ont conduit à un déplacement du centre de calcul vers l'Allemagne, mais l'organisation actuelle garantit l'impact et la visibilité du travail des équipes françaises. La participation du LAPP à la conception des arches de support de la caméra des grands télescopes est un défi technique et l'usage des fibres de carbone devrait permettre une percée dans ce domaine. Ce développement a un potentiel important. Enfin le LIDAR développée au LUPM est un instrument-clé pour permettre la maîtrise des effets systématiques liés à la variabilité de l'atmosphère. L'investissement, modéré, doit clairement être soutenu.

L'ensemble des cas scientifiques et le potentiel de découverte mérite amplement les améliorations actuelle de H.E.S.S. et le développement de CTA. La possibilité de mettre des contraintes pertinentes sur des problèmes de physique fondamentale, masse des axions ou invariance de Lorentz, avec une analyse spécifique mais sans donnée supplémentaire, est un atout significatif qui gagnerait à être davantage mis en avant, en particulier dans le cadre de la recherche de matière noire.

### *5. Comment les activités présentées s'inscrivent-elle dans la durée ?*

Le projet s'inscrit dans le long terme comme observatoire de classe mondiale pour les prochaines décennies.

Le fonctionnement en mode observatoire ouvert à la communauté, en parallèle de la réalisation des programmes-clé par le consortium, va impliquer des changements notables. L'organisation de la gestion des données et de l'analyse semble en mesure de faire face à ces nouveaux usages. Le conseil estime préférable d'ouvrir CTA aux utilisateurs extérieurs dès le début de la phase de fonctionnement nominal afin que chacun se familiarise avec ce mode d'observation et que la communauté la plus large possible bénéficie des performances de CTA au plus tôt.

### *6. Les plans des transitions d'expérience vers projet sont-ils pertinents ?*

L'implication des équipes de l'IN2P3 dans H.E.S.S. et CTA est importante et garantit la poursuite du rôle majeur des laboratoires français dans la communauté de l'astronomie gamma et doit donc être soutenue. Le programme de mise en service est réaliste, les technologies de base sont héritées de H.E.S.S., MAGIC et VERITAS, le projet est flexible si des adaptations sont nécessaires et environ 90% des chercheurs permanents sont engagés à la fois dans H.E.S.S. et CTA : la transition en douceur est donc assurée. Le conseil espère fortement que le financement du TGIR correspondra effectivement à la demande, et donc aux besoins scientifiques du projet.

## 1.6. Projets AdVirgo et LISA

Pendant la période 2007-2011 trois interféromètres (deux aux Etats Unis, LIGO-L and LIGO-H, avec des bras de 4 km, et un en Europe, Virgo, avec des bras de 3 km, près de Pisa) ont fonctionné ensemble pour la première prise de données conjointe. Même s'il n'y a pas eu de découverte, LIGO et Virgo, en travaillant ensemble, ont réussi d'une part à établir des limites importantes sur l'existence de possibles sources d'ondes gravitationnelles et d'autre part à garantir un savoir-faire technologique pertinent pour l'évolution vers la version "Advanced" des interféromètres. En effet, grâce aux améliorations ainsi rendues possibles, aLIGO a commencé la prise de données en septembre 2015 avec une sensibilité améliorée d'un facteur 3 à 4 par rapport à celle de LIGO, soit un volume environ 27 à 64 fois plus grand. C'est au cours de cette série d'observations qu'ont eu lieu les premières détections.

Ces signaux ont été détectés par les deux seuls interféromètres en fonction, ceux de aLIGO. Toutefois, les consortia LIGO et Virgo ne forment plus qu'une seule collaboration qui partage les données, fait les analyses en commun et donc publie conjointement.

La première série de prises de données de aLIGO s'est conclu il y a un an. Le travail de mise en service de aLIGO pour la deuxième série d'observations a rencontré quelques problèmes techniques, les observations ont finalement repris en novembre 2016 avec une amélioration de la sensibilité moindre que ce qui avait été prévu.

La collaboration Virgo a fait un laborieux mais efficace travail pour réaliser les améliorations demandées pour passer de Virgo à AdVirgo. Elle a rencontré sur son chemin un certain nombre de problèmes techniques, dont les deux principaux ont été la rupture des lames de suspension et celle des suspensions monolithiques. Les lames des grandes suspensions ont été remplacées sans compromettre la sensibilité de l'instrument. En ce qui concerne les suspensions, afin de ne pas totalement compromettre la possibilité de participer à la série d'observations en cours, la collaboration a dû choisir de remplacer les fibres de silice par des fibres en acier. Les performances à basses fréquences sont alors dégradées et atteignent un facteur 4 à 5 en-deçà des performances de aLIGO en ce qui concerne la détection des signaux produits par la coalescence de systèmes binaires. Il faut noter que, même dans ces conditions, AdVirgo resterait utile scientifiquement à cette prise de données en ajoutant une information pertinente pour la reconstruction de la direction des signaux.

Globalement, LIGO/aLIGO conserve son avance de deux années sur les performances des interféromètres, même s'il y a eu des exceptions, avec notamment de meilleures performances pour Virgo à basses fréquences lors des premières observations en commun. Mais il faut prendre en compte les investissements notablement différents faits pour aLIGO et pour AdVirgo: la NSF a financé aLIGO en 2008 avec plus de 200 M\$, tandis que l'investissement global pour adVirgo est de l'ordre de 24 M€ - même en intégrant les façons différentes d'évaluer les coûts, les efforts sont vraiment inégaux.

L'annonce de la mesure des ondes gravitationnelles, couplée avec le très grand succès de la mission satellite LISA Pathfinder en juin 2016 -LISA Pathfinder a démontré qu'il était possible de placer une masse test en apesanteur à l'intérieur d'un vaisseau et de mesurer sa position avec une précision inégalée-, a fortement changé le contexte dans ce domaine de recherche, motivant ainsi les États-Unis pour rejoindre le programme spatial LISA et poussant l'ESA à accélérer le calendrier.

Les synergies avec les détecteurs au sol sont nombreuses, par exemple LISA permettra d'étudier la phase "spiralante" et pourra prévenir les observatoires au sol de l'imminence d'une fusion. Certaines des sources que LISA pourrait détecter devraient avoir des contreparties électromagnétiques, ce qui ouvre de nouvelles perspectives pour l'astronomie multi-messagers. Enfin, grâce à un rapport signal sur bruit très favorable, LISA pourra réaliser des tests très fins de gravité en champ fort, soit autour des trous noirs, et sera peut-être en mesure de détecter de nouvelles sources. La science de LISA est unanimement reconnue au niveau mondial dans toutes les évaluations.

### *2. Principales spécificités de la contribution de l'institut :*

La France joue un rôle important dans Virgo puisque qu'elle est partenaire à presque 50% du consortium European Gravitational Observatory avec l'Italie, et ce depuis l'origine du projet en 1993.

### *3. Retour scientifique, visibilité des équipes sur le plan national et international, taux de publications :*

De nombreux prix ont déjà été reçus à la suite des premières détections, l'article associé à la première mesure a été cité plus de 1000 fois en une année. Les chercheurs de l'IN2P3 ont des responsabilités dans l'instrument, participent à l'analyse des événements au sein du consortium LIGO-VIRGO, ainsi qu'au bureau éditorial. Le LMA, unité de service et de recherche du CNRS faisant partie de l'IN2P3, a réalisé les miroirs de AdVirgo et de aLIGO.

Il est clair qu'AdVirgo sera essentiel pour l'observation des ondes gravitationnelles car c'est le seul détecteur capable d'observer des sources d'ondes gravitationnelles avec une sensibilité comparable à celle des deux détecteurs aLIGO dans le futur proche (d'ici 2021). Or des observations conjointes par trois détecteurs sont essentielles pour pouvoir déterminer la position d'une source, et ainsi, par exemple, émettre des alertes bien ciblées pour des recherches de contreparties électromagnétiques de ces événements cataclysmiques dans l'univers. La science des sources sera fortement enrichie par ces observations multi-messagers, et on peut même rêver de détection de phénomènes non-attendus.

### *Avis et recommandations*

#### *4. L'engagement des équipes dans le projet est-il pertinent ? Est-il suffisant pour atteindre les objectifs affichés ? Permet-il de compter sur un retour scientifique fort ?*

La science qui pourra être extraite d'AdVirgo (conjointement avec aLIGO) est de tout premier plan international, et occupera certainement le devant de la scène scientifique au cours des années à venir. L'étude des ondes gravitationnelles représente sans doute la frontière la plus avancée et la plus enthousiasmante de l'exploration de l'univers de haute énergie.

### *AdVirgo*

Il est essentiel que l'instrument AdVirgo devienne opérationnel le plus tôt possible. Les différentes technologies mises en œuvre avancent d'une manière satisfaisante, mais sous la pression de l'agenda de aLIGO, ce qui n'est pas toujours optimal pour un travail «en profondeur». Les deux équipes affichent une volonté de travailler ensemble, ce qui

portera certainement ses fruits lors de la campagne suivante, si ça ne peut être celle en cours.

Il est fort probable que les détecteurs d'ondes gravitationnelles seront une des technologies clés de la science des prochaines décennies. On note avec satisfaction que la France est un des acteurs de tout premier plan dans ce domaine au niveau mondial, avec sa forte implication dans Virgo et AdVirgo. Malgré le retard que AdVirgo affiche par rapport à aLIGO, les progrès sont très satisfaisants avec les bons choix technologiques, grâce à l'investissement important des équipes sur place et dans les laboratoires, mais qui restent à implémenter complètement. On peut s'attendre à une performance équivalente à celle de aLIGO à terme. Pour en extraire un maximum de science, il est essentiel que les détecteurs observent simultanément, et il est rassurant de voir que des plannings pour assurer cet objectif sont mis en place.

Le conseil souligne et soutient l'effort très important mis en place par la collaboration Virgo pour résoudre l'ensemble des problèmes techniques auxquels ils ont dû faire face. Le conseil recommande que la collaboration donne une priorité absolue pour arriver au plus tard dans la troisième série de prises de données pour rejoindre aLIGO dans la découverte de nouveaux signaux. Il faut garantir tout le soutien possible à Virgo dans cette phase délicate.

#### *LISA*

Le conseil souligne l'importance que la France, et en particulier l'IN2P3, acteur de longue date dans la recherche des ondes gravitationnelles, participe à LISA à la hauteur de ses ambitions.

Le conseil souligne aussi la nécessité de fédérer rapidement la collaboration française, afin de pouvoir faire face à un calendrier agressif. C'est pourquoi le conseil se réjouit de la constitution récente du GdR « Ondes gravitationnelles » qui doit devenir, au-delà de ses missions de coordination et de prospective habituelles, l'outil principal de structuration de la communauté française. La mission du GdR est aussi d'asseoir la présence de LISA à l'IN2P3 en élargissant la contribution française à d'autres laboratoires que l'APC, dont certains ont déjà manifesté un intérêt. Le conseil apprécie l'intérêt porté à ce GdR par de nombreux chercheurs extérieurs à l'IN2P3, et en particulier de l'INSU, mais recommande de veiller à la présence d'une expertise suffisante dans les aspects analyse de données, intégration et développement technique.

Concernant les contributions françaises envisagées pour LISA, le conseil reconnaît l'implication de longue date et l'expertise de l'APC dans le Data Processing Center (DPC). Pour assurer une utilisation optimale des ressources de l'IN2P3, le conseil recommande de veiller à l'implication du CC-IN2P3/CNRS dans le stockage pérenne des données et leur traitement massif. La partie intégration et tests de la charge utile va nécessiter des ressources humaines et techniques importantes dont la disponibilité n'est pas garantie à l'heure actuelle et présente des risques d'exécution non négligeable. Une implication importante du CNES, acteur historique et à l'expertise reconnue, est fortement souhaitable à tous les stades de cette intégration pour limiter les risques et garantir le succès de l'opération.

#### *5. Comment les activités présentées s'inscrivent-elle dans la durée ?*

Naturellement, les efforts dans la continuité de AdVirgo, par exemple avec la phase Virgo Advanced plus ou, à plus long terme, le 'Einstein telescope', seront liés aux résultats de AdVirgo, c'est-à-dire la capacité de cet instrument à atteindre une sensibilité suffisante

pour jouer un rôle significatif dans l'étude des signaux gravitationnelles avec aLIGO. Cependant, ces évolutions futures se préparent en avance par de la R&D et des études en amont. Il est donc nécessaire de s'assurer que les laboratoires disposent des moyens humains et financiers nécessaires pour les mener à bien, tout en assurant le succès de AdVirgo dans le court terme.

L'implication des laboratoires de l'IN2P3 assure une place de choix à la France dans ce domaine majeur de la science (et des technologies associés) pour les décennies à venir. Par ailleurs, une vision à plus long terme doit être menée pour s'assurer de la forte implication française et européenne dans l'infrastructure future des détecteurs d'ondes gravitationnelles au sol et dans l'espace.

*6. Les plans des transitions d'expérience vers projet sont-ils pertinents ?*

Il n'y a pas de transition vers LISA car les détecteurs au sol et dans l'espace sont complémentaires, explorant des domaines de longueur d'onde différents.

## 2. Vie du conseil

### 2.1. Comptes rendus

Le compte rendu du conseil d'octobre 2016 a été adopté à l'unanimité moins 2 abstentions lors d'un vote électronique précédent le présent conseil avec 21 votants sur 22 membres.

### 2.2. Fonctionnement du conseil

- Le conseil s'interroge sur ses modalités actuelles d'organisation, en particulier sur le fonctionnement en groupes de travail qui peut conduire à une focalisation de l'attention ou la difficulté de participer à plusieurs groupes en cas d'intérêts multiples ou encore sur la rédaction de documents avant la tenue du Conseil d'après les rapports écrits des orateurs et rapporteurs externes. Le conseil dans sa majorité souhaite continuer à travailler en groupe de travail, avec rédaction d'un pré-rapport et préparation des questions, utile à l'ensemble du conseil. Chacun a la possibilité de participer à plusieurs groupes de travail, et doit contribuer à un groupe. L'ensemble des pré-rapports doit être disponible au fur et à mesure en interne.
- Un retour rapide est possible par téléphone pour les orateurs dès le début de la semaine suivant le conseil. L'objectif est la préparation d'une première version complète par le conseil sous 8 à 10 jours, soumise ensuite à relecture par les divers experts, puis les orateurs et la direction.
- Le président rappelle qu'il est demandé aux experts extérieurs et aux membres du conseil de signaler tout conflit d'intérêt qui aurait échappé lors du choix de ces rapporteurs externes. Certes, certaines communautés regroupent quasiment toutes les personnes du domaine, mais certaines positions sont plus ou moins délicates.
- Deux membres du conseil démissionnent : Anne Lefebvre-Schuhl, élue du collège A1, et Michel Tripon, élu du collège C. Les postes laissés vacants seront soumis à candidature très prochainement.

### 2.3. Échanges avec la direction

- Le conseil souhaite que la direction lui présente lors de la prochaine session le bilan des recommandations émises précédemment sur les thèmes "physique nucléaire et santé" ainsi que "énergie noire".
- Le conseil discute du rapport de conjectures et perspectives. Il est statutairement une mission du comité national. L'IN2P3 commence actuellement l'organisation de perspectives thématiques, en partenariat avec tous les autres instituts, le CEA, les universités, le CNES ... Ces journées se dérouleront typiquement à l'automne 2017 avec un colloque de synthèse au printemps 2018. Le conseil souhaite qu'au moins l'un(e) de ses membres soit présent dans chaque groupe thématique.
- Le conseil discute du projet de modification du corps des chargés de recherche. L'objectif est de supprimer les grades 1ère et 2ème classe du corps des chargés de recherche, et d'ajouter un grade hors-classe pour permettre une évolution de carrière des chargés de recherche autre que le passage dans le corps des directeurs de recherche. C'est a priori une évolution intéressante. Cette évolution a déjà été mise en place dans le corps des maîtres de conférence il y a une dizaine d'années et les retours sont positifs. Il faudra veiller à ce que le passage hors-classe ne soit pas un choix pénalisant pour une promotion "directeur de recherche" ultérieure. Le conseil s'interroge sur l'éventuel risque de dérive de l'âge des recrutements. L'existence ou non d'un nombre limite de candidatures n'est pas connue. La direction de l'Institut

rappelle son souhait d'avoir des chercheurs recrutés jeunes, typiquement 2 à 3 ans après la soutenance de thèse.

- L'intitulé du concours des chargés de recherche 2ième classe suscite de nombreuses discussions et beaucoup d'inquiétudes. Le conseil, s'il reconnaît que le fléchage peut parfois être nécessaire, s'inquiète du fléchage de la totalité des postes ouverts au concours. Le conseil estime que l'existence de postes complètement ouverts est indispensable pour permettre de recruter des candidats jeunes particulièrement prometteurs et/ou avec des profils originaux. La direction prend note de cet avis. Un bilan du format de cette année sera fait après le déroulement complet du concours puis des affectations. Le conseil émet une recommandation à ce sujet.

#### **2.4. Recommandation**

La recommandation suivante a été votée avec 17 voix pour, 0 voix contre et 3 abstentions :

Concours et fléchage des postes de la section 01

Suite à la publication de l'annonce du concours 2017 numéro 01/04 au journal officiel le 27 novembre 2016 et sur le site internet du concours chercheurs du CNRS le 1er décembre 2016, le conseil scientifique de l'IN2P3 souhaite affirmer, comme il l'a déjà fait il y a plus d'un an, sa demande d'un retour à des recrutements sur postes à spectre large, avec équilibre pluriannuel des recrutements. Il rappelle le grand risque d'appauvrissement de nos disciplines lorsque le recrutement se fait exclusivement sur des postes fléchés comme ce sera le cas cette année.

Le conseil scientifique s'associe aux réserves et inquiétudes exprimées par la section 01 du comité national dans sa motion du 1er décembre 2016.

#### **2.5. Jury d'admission CR**

Le conseil examine la proposition de constitution du jury d'admission CR proposé par la direction. Sont proposés, issus de la section 01, comme titulaires : Piera Luisa Ghia (IPNO), Jaime Houque (APC), Fabrice Piquemal (LSM), Éric Nuss (LUPM), Guillaume Pignol (LPSC), et comme suppléants : Justine Serrano (CPPM), Iolanda Matea Macovei (IPNO), et Anne-Catherine Le Bihan (IPHC).

Le conseil valide cette proposition par 2 voix pour, 0 voix contre, et 18 abstentions.

Le conseil examine la proposition de constitution du jury d'admission CR-CID proposé par la direction. Sont proposés, issus de la section 01, comme titulaire : Gilles Quemener (LPC Caen), et comme suppléante : Justine Serrano (CPPM).

Le conseil valide cette proposition par 10 voix pour, 0 voix contre, et 10 abstentions.

Le conseil réitère sa recommandation de nommer des suppléants en Ile-de-France pour des raisons d'efficacité en cas d'annulation de dernière minute.

#### **2.6. Futurs conseils**

Les prochains conseils auront lieu les 22 et 23 juin puis les 26 et 27 octobre 2017.

- juin: "Upgrades LHC et proposition de participation à BELLE-II"

- octobre: "Physique nucléaire"