

COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

# Compte-rendu

---

Conseil scientifique de l'IN2P3  
25-26 octobre 2018

(approuvé avec 19 voix exprimées : 18 pour, 1 abstention, 0 contre)

## 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 25 octobre) .....	3
Remerciements aux orateurs et rapporteurs externes .....	3
Questions posées par l'IN2P3 .....	3
<b>1. Examen de projets sur le thème « détection directe de matière noire et décroissance double beta sans neutrino »</b> .....	<b>5</b>
1.1. Introduction « La physique des événements rares » .....	5
1.2. Avis général .....	11
1.3. Expérience EDELWEISS .....	14
Avis et recommandations .....	14
1.4. Expérience XENON .....	15
Avis et recommandations .....	15
1.5. Expérience SUPERNEMO .....	16
Avis et recommandations .....	16
1.6. Projets et R&D .....	17
1.6.1. DAMIC-M .....	17
Avis et recommandations .....	17
1.6.2. CENNS/RICOCHET .....	17
Avis et recommandations .....	17
1.6.3. DarkSide .....	18
Avis et recommandations .....	18
1.6.4. MIMAC .....	18
Avis et recommandations .....	19
1.6.5. NEWS-R2D2 .....	19
Avis et recommandations .....	19
1.6.6. CROSS et CUPID .....	19
Avis et recommandations .....	19
<b>2. Vie du conseil</b> .....	<b>21</b>
2.1. Compte-rendu .....	21
2.2. Fonctionnement du conseil .....	21
2.3. Échange avec la direction .....	22
2.4. Futurs conseils .....	23

### *Membres du Conseil scientifique*

**Présents** : J.C. Angélique, M. Baylac, B. Blank, Y. Blumenfeld, D. Boutigny, E. Clément, W. Da Silva, D. Douillet, D. Duchesneau, B. Farizon, P. Gay, T. Hebbeker, F. Kapusta, C. Landesman, A. Monfardini, C. Renault, M. Ridel, M.-H. Schune, P. Van Duppen, D. Vincent, K. Werner

**Excusés** : M. Jacobé de Naurois, A. Masiero, P. Manigot

**Invité** : R. Granier de Cassagnac.

### *Personnes présentes à la session fermée*

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

**Orateurs et associés** : J. Billard, M. Cirelli, D. Franco, J. Gascon, A. Giuliani, P. Lautridou, Y. Lemièrre, A. Letessier-Selvon, C. Macolino, C. Marquet, F. Mauger, D. Santos, L. Scotto-Lavina, D. Thers

**Rapporteurs externes** : J. J. Hernandez Rey (IFIC Valencia, Espagne), I. G. Irastorza (U. Zaragoza, Espagne), M. Pallavicini (U. Genova, Italie), S. Schönert (TU München, Allemagne), N. Yahlali (IFIC Valencia, Espagne)

### *Ordre du jour de la séance ouverte (jeudi 25 octobre)*

- **Introduction du conseil** : *Alessandro Monfardini (I. Néel, Grenoble)*
- **La physique des événements rares** : *Marco Cirelli (LPTHE, Paris)*
- **Contexte mondial Matière noire** : *A. Tonazzo (APC, Paris)*
- **Contexte mondial Décroissance double beta sans neutrino** : *Y. Lemièrre (LPC, Caen)*

### *Expériences de détection directe de matière noire*

- **Expérience EDELWEISS** : *Jules Gascon (IPNL, Lyon)*
- **Expérience XENON** : *Dominique Thers (SUBATECH, Nantes)*

### *Expérience de décroissance double beta sans neutrino*

- **Expérience SUPERNEMO** : *François Mauger (LPC, Caen)*

### *Autres projets et R&D dans la thématique*

- **DAMIC-M** : *Antoine Letessier-Selvon (LPNHE, Paris)*
- **CENNS et le projet RICOCHET** : *Julien Billard / Alexandre Juillard (IPNL, Lyon)*
- **Développements DarkSide** : *Davide Franco (APC, Paris)*
- **Développements MIMAC** : *Daniel Santos (LPSC, Grenoble)*
- **NEWS et R&D R2D2** : *Pascal Lautridou (SUBATECH, Nantes)*
- **CROSS et CUPID** : *Andrea Giuliani (CSNSM, Orsay)*

*Ordre du jour, documents préparatoires et présentations publiques sont 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 nombreux 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*

- *Quelles sont les principales spécificités (points forts/faibles) de la contribution de l'institut - comparées aux contributions des autres instituts internationaux, dans ces expériences et projets ?*
- *Quel est le retour scientifique attendu, et quelle est la visibilité des équipes sur le plan national et international, pour les expériences en cours ?*

- *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 ?*
- *Comment les activités présentées s'inscrivent-elle dans la durée ?*
- *Les évolutions proposées (XENONnT, EDW-MNB8, SUPERNEMO) sont-elles pertinentes ? Sont-elles viables ? Sont-elles durables ?*

# 1. Examen de projets sur le thème « détection directe de matière noire et décroissance double beta sans neutrino »

## 1.1. Introduction « La physique des événements rares »

La détection directe de matière noire et l'étude de la décroissance double beta sans neutrino ont comme point commun que les événements recherchés sont très rares. Puisqu'il n'y a pas de source artificielle dont on peut augmenter l'intensité, comme c'est le cas au LHC par exemple, il est indispensable de réduire le bruit de fond au maximum, lui aussi d'origine naturelle. La base est de s'affranchir au mieux du rayonnement cosmique. Ainsi, on étudie lors de ce conseil des expériences qui se protègent par des kilomètres de roche en s'installant dans des laboratoires souterrains.

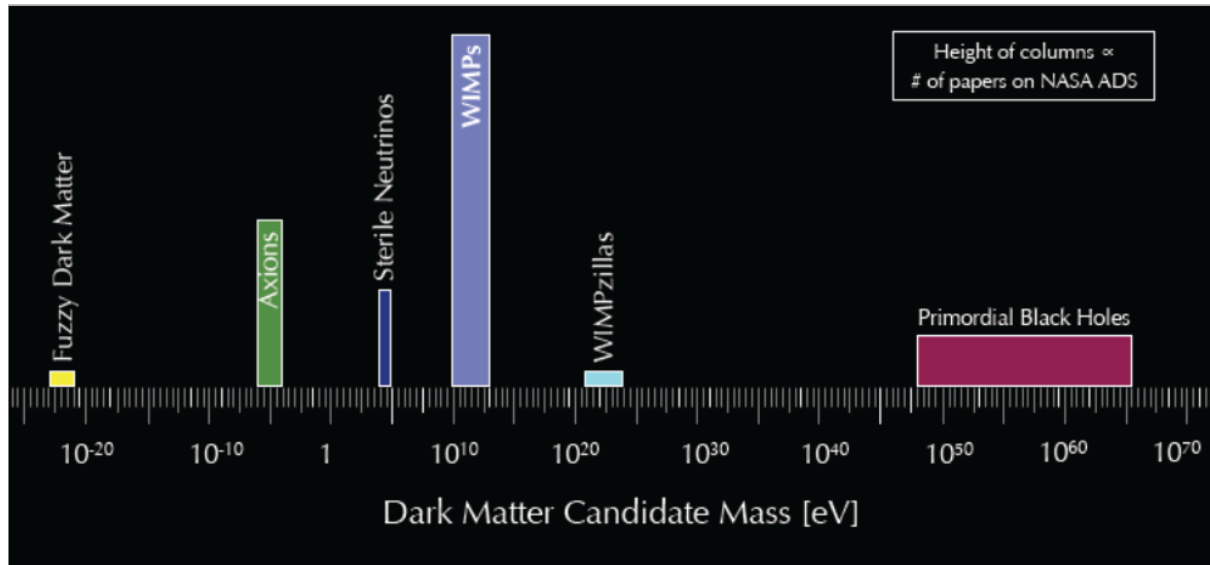
L'existence d'une grande quantité de matière non baryonique (MN pour **matière noire**) est aujourd'hui fermement établie par un ensemble d'observations astrophysiques à l'échelle des galaxies, des amas de galaxie et de l'univers observable avec le rayonnement fossile et la distribution des grandes structures de l'Univers. L'alternative que serait la gravité modifiée est rendue très difficile par l'ensemble des échelles à considérer simultanément ; de plus les modèles de type MOND (MODified Newtonian Dynamics) ont été exclus par la quasi-coïncidence du signal en ondes gravitationnelles et en ondes électro-magnétiques lors la fusion de deux étoiles à neutrons détectée par LIGO-Virgo.

Cette MN serait composée de particules (éventuellement considérées comme des ondes, selon leur masse). La densité de MN se dilue de façon inversement proportionnelle au volume, d'où le terme "matière". Ces particules sont naturellement sensibles à la gravité. Elles n'interagissent pas par électromagnétisme - d'où le terme souvent jugé inapproprié de "noire". Elles doivent être non-relativistes à l'époque de l'émission du rayonnement fossile, 380 000 après le Big-Bang - d'où le terme parfois ajouté de froide. Il n'est pas impossible en revanche qu'elles soient sensibles à l'interaction faible. Mais dans tous les cas elles interagissent au plus très faiblement avec elles-mêmes et avec la matière baryonique. Ces particules doivent être stables, ou au moins avec une durée de vie supérieure à l'âge de l'univers, soit 13.8 milliards d'années. Les théoriciens peuvent, avec ces arguments, "contraindre" la masse de ces particules dans une gamme de 90 ordres de grandeur. Ce qui laisse de nombreuses possibilités ...

Parallèlement, la physique des particules tente de perfectionner son modèle Standard. L'une des voies qui semblait particulièrement prometteuse est la Supersymétrie. Cette théorie, aux nombreux paramètres libres, prédit notamment l'existence d'une nouvelle particule stable qui pourrait avoir toutes les bonnes propriétés en termes de masse, section efficace et abondance pour être la particule de matière noire. Ces particules de MN devraient interagir avec la matière d'un détecteur par interaction faible. Il est donc naturel d'essayer d'observer ces particules génériquement appelées WIMPs (Weakly interactive massive particles) par diffusion sur des cibles et de nombreux projets ont vu le jour de par le monde pour traquer cette matière noire. Si la base théorique de l'apparition de nouvelle physique à l'échelle du TeV peut être remise en cause avec les résultats du LHC, l'évolution thermique de l'Univers reste une motivation forte pour les WIMPs puisque des particules ont, naturellement, l'abondance nécessaire.

Jusqu'à présent, aucun signe conclusif de présence de WIMPs n'a été mis en évidence. Un débat entoure toujours l'unique signal positif, aujourd'hui très significatif, basé sur la modulation annuelle détecté par l'expérience DAMA au Gran Sasso mais correspondant à un espace des paramètres exclu par d'autres expériences.

Les limites actuelles ont éliminé de nombreux modèles, mais il reste un nombre significatif de modèles, plus compliqués, qui s'accordent avec ces contraintes dans la gamme des masses au-dessus du GeV. Par ailleurs, même si la motivation théorique pour la matière noire sub-GeV a été moins étudiée, il est intéressant d'explorer aussi ce domaine. La figure ci-dessous illustre la popularité des candidats à la matière noire : on constate que le WIMP est largement en tête.



*Vue schématique de l'intérêt porté (en nombre d'articles publiés sur le sujet) en fonction de la masse des candidats matière noire les plus "naturels". D'après l'exposé de D. Thers.*

Ce sujet est maintenant davantage guidé par l'expérience que la théorie, ce qui implique de disposer d'un large panel de techniques de détection. Dans ce vaste champ des masses à considérer, seuls les projets recherchant des WIMPs ont été présentés lors de ce conseil.

La double décroissance beta correspond à une réaction vers un noyau petit-fils, donc avec la transformation de deux nucléons. Le temps de demi-vie pour les cas observés en  $2\beta 2\nu$ , concernant une trentaine d'isotopes, est de  $10^{18}$  à  $10^{24}$  années, ce qui en font bien des événements rares. C'est une réaction autorisée dans le cadre du MS si elle s'accompagne de l'émission de deux neutrinos. Ce conseil étudie la recherche de **désintégration double beta sans émission de neutrinos ( $2\beta 0\nu$ )**. Ce cas de violation du nombre leptonique de deux unités fait appel à de la nouvelle physique et le neutrino doit être de type Majorana, c'est-à-dire qu'il est sa propre anti-particule. La mesure de la demi-vie de cette décroissance serait sensible à la masse absolue des neutrinos, à la hiérarchie de masse et à la violation de CP.

Aucune décroissance de ce type n'a encore été détectée, la limite sur la demi-vie est de  $10^{26}$  années, ce qui correspond à 1 décroissance/an/100 kg d'isotope. Aucun isotope n'est parfait et chaque expérience fait un choix en fonction de sa technique expérimentale. L'objectif est d'atteindre des limites sur les demi-vies de  $10^{28}$  ans. Avec 10 tonnes d'isotope, en 10 ans, les diverses expériences attendront de 1 à 10 événements : il faut donc un bruit de fond proche de 0, ce qui implique une installation dans un site profond et vaste.

## Expérience de détection de matière noire EDELWEISS

La collaboration EDELWEISS est née dans les années 1990, elle est l'une des expériences historiques, au niveau international, pour la recherche des WIMPs de masse supérieure à  $20 \text{ GeV}/c^2$ . Elle est basée sur des bolomètres cryogéniques massifs : les détecteurs font des centaines de grammes chacun et sont refroidis à 18 mK. Ces détecteurs sont équipés d'un thermomètre en germanium dopé (Ge NTD) pour mesurer l'énergie totale déposée dans le cristal et des électrodes interdigitales mesurent l'ionisation afin de discriminer efficacement les reculs nucléaires - le signal attendu - des interactions leptoniques - une large part du bruit de fond. La très bonne efficacité de réjection atteinte par EDELWEISS a été la clé du succès pour les trois phases successives de l'expérience et a permis l'obtention de limites au-delà de  $20 \text{ GeV}/c^2$ .

Depuis 2010 environ, les limites obtenues par les expériences bolométriques ont été dépassées dans cette gamme d'énergie par les détecteurs basés sur une large masse de xénon. Le gain en sensibilité de cette technique est tel que l'avenir des détecteurs au germanium est mis en doute. L'expertise reconnue de la collaboration EDELWEISS n'est cependant pas perdue puisque la collaboration s'est réorientée vers un programme de R&D pour cibler les WIMPs plus légers, d'une masse comprise entre 5 et  $20 \text{ GeV}/c^2$ . La prise de données a eu lieu de 2014 à 2015 et correspond à une cible de 8 kg.an. Les analyses finales d'EDELWEISS III sont toujours en cours. Les 19 détecteurs avec les meilleures résolutions ont été utilisés pour la recherche de particules de quelques centaines de keV alors que seuls huit détecteurs avaient une qualité suffisante pour être utilisables pour obtenir des contraintes sur les paramètres du WIMP.

Aujourd'hui, la collaboration s'oriente vers une sensibilité dans le domaine sub-GeV. En augmentant la tension aux bornes des thermomètres, le seuil est abaissé. Il faut encore améliorer significativement la résolution en énergie. Une première limite a été obtenue avec une limite à  $600 \text{ MeV}/c^2$  : la voie est ouverte pour le programme sub-GeV avec de petits détecteurs. Cette phase exploratoire semble indiquer que les détecteurs d'EDELWEISS pourraient être prometteurs : la masse du détecteur devient moins critique alors que la résolution en énergie permet de gagner en sensibilité à basse masse.

Par ailleurs, de fructueuses collaborations ont été mises en place : CUPID utilise le cryostat d'EDELWEISS au LSM de Modane, il y a un nouvel équilibre des forces avec le développement du projet RICOCHET qui s'attache à la diffusion cohérente des neutrinos et la poursuite de liens forts avec le projet américain SuperCDMS est envisagée.

## Expérience de détection de matière noire XENON

L'expérience XENON a également pour objectif la détection directe de matière noire. Elle est basée sur un grand détecteur à xénon installé dans le laboratoire souterrain du Gran Sasso en Italie. XENON est conçu pour détecter les WIMPs de notre halo galactique avec une masse comprise entre quelques  $\text{GeV}/c^2$  et  $1 \text{ TeV}/c^2$ . Grâce à la masse de la cible de plus d'une tonne, XENON est l'un des détecteurs de WIMPs les plus sensibles au monde. Le principal défi est la discrimination entre les reculs nucléaires qui seraient causés par les rares interactions entre MN et cible et les diverses sources de bruit de fond. Dans XENON, cet objectif est atteint en combinant la détection de la lumière de scintillation dans le xénon liquide avec les mesures d'ionisation utilisant la phase gazeuse du xénon.

L'expérience XENON a commencé à prendre des données en 2007 avec 15 kg de xénon, initiant l'utilisation de cet élément pour la recherche de WIMPs. En 2016/2017, XENON1T,

avec un total de 3.5 tonnes de xénon, a collecté des données. De fortes limites d'exclusion ont été établies avec des sections efficaces nucléon - matière noire indépendante du spin atteignant  $10^{-46}$  cm<sup>2</sup>. La prochaine version du détecteur est rebaptisée XENONnT avec une masse de 8 tonnes de matière cible et commencera à prendre des données en 2019, suivi par les 50 tonnes du détecteur suivant, DARWIN, en 2023. Avec ce dernier, la sensibilité devrait permettre d'atteindre des limites sur la section efficace de quelques  $10^{-49}$  cm<sup>2</sup>, ce qui correspond au plancher du bruit de fond irréductible des neutrinos astrophysiques.

### **Expérience de décroissance double beta sans neutrino SuperNEMO**

L'expérience SuperNEMO se place dans la problématique de la physique du neutrino qui a connu des développements remarquables ces dernières années. Cette décroissance  $2\beta 0\nu$  pourrait aussi impliquer des extensions innovantes du modèle standard qui pourraient être reliées à l'asymétrie matière-antimatière.

Généralement, on caractérise les expériences par l'isotope étudié et l'exposition, définie comme la masse de la source multipliée par le nombre d'années de prise de données. Le résultat est exprimé en demi-vie  $2\beta 0\nu$  - ou en fait en limite inférieure de cette demi-vie puisque cette décroissance n'a jamais été observée - et par la limite supérieure de la masse effective  $m_{2\beta}$ . Les expériences NEMO sont originales par le fait que la source est découplée du détecteur, ce qui permet une détection de type « tracko-calorimètre » où on mesure non seulement l'énergie des électrons mais également leurs trajectoires. Les autres expériences sont dites « calorimétriques » car on ne mesure que l'énergie.

SuperNEMO est l'héritier de NEMO-2 (1992-1998) et NEMO3 (2004-2011) qui ont obtenu des résultats remarquables grâce au faible bruit de fond, ce qui a permis non seulement de mettre des limites sur la demi-vie  $2\beta 0\nu$ , mais aussi de faire les mesures les plus précises de la décroissance  $2\beta 2\nu$  pour de nombreux isotopes intéressants. La stratégie de la collaboration SuperNEMO est de pousser cette technique au maximum pour améliorer encore sa capacité à identifier et réduire les bruits de fond tout en conservant la faculté de détecter et d'identifier formellement un « événement en or » signant un processus  $2\beta 0\nu$ . Un autre avantage de SuperNEMO est de pouvoir étudier plusieurs isotopes.

Pour l'instant, la collaboration met en place un démonstrateur avec pour but une exposition de 17.5 kg.an de <sup>82</sup>Se (masse de 6 kg) ce qui, en l'absence d'événement, donnerait une limite en temps de vie de  $5 \cdot 10^{24}$  années. L'expérience complète avec 500 kg.an améliorerait la limite d'un ordre de grandeur. Par rapport à NEMO3 le bruit de fond de SuperNEMO sera réduit d'un facteur 14, dû à l'amélioration de la résolution du calorimètre, une plus faible contamination radioactive du détecteur et au remplacement de l'isotope source <sup>100</sup>Mo par le <sup>82</sup>Se.

### **Projet DAMIC-M (DARk Matter In CCDs)**

DAMIC a pour but de rechercher les reculs des noyaux et des électrons induits par les interactions avec les particules légères de matière noire, à l'aide de dispositifs CCD maintenus à température cryogénique. L'expérience vise à rechercher la matière noire au-delà des particules WIMPs conventionnelles dans le secteur caché de la matière noire, soit le domaine sub-GeV. Dans ce cadre d'énergie et de masse, la détection directe est plus efficace via la diffusion sur les électrons que sur les noyaux. Les expériences actuelles ont



une sensibilité limitée à ces interactions MN-électron car il est nécessaire de mesurer les charges individuelles et d'avoir un courant de fuite particulièrement faible.

La nouveauté importante du détecteur DAMIC est l'utilisation de CCDs massifs, avec une résolution spatiale 2D très élevée (15  $\mu\text{m}$  x 15  $\mu\text{m}$ , c'est-à-dire la taille du pixel), une sensibilité aux électrons uniques dans le dispositif de silicium et un courant de fuite extrêmement faible. Ce seuil en-dessous du keV et la capacité de détection d'un électron unique sur le détecteur le rendent particulièrement sensible aux faibles masses de WIMP (<10 GeV) et au secteur caché (<< GeV).

DAMIC a été le premier à utiliser les CCDs de manière non conventionnelle pour la détection du recul nucléaire et électronique induit par des particules de matière noire avec un détecteur prototype de 40 g installé au laboratoire SNOLAB (Canada) depuis 2015 avec la participation de chercheurs du LPNHE. Le prototype a permis de montrer le potentiel et les performances avec succès.

Le projet DAMIC-M vise à installer un détecteur de 1 kg au laboratoire souterrain de Modane (LSM) d'ici 2020 pour une exposition de 1 kg.an avec la possibilité d'atteindre la sensibilité visée au secteur caché de la MN en moins de trois ans. Le projet est financé par la NSF et par une ERC sur 5 ans à partir de 2018.

Six laboratoires de l'IN2P3 sont impliqués dans cette phase (LPNHE, LSM, CENBG, SUBATECH, LAL, IPNO). Les sujets couverts concernent les développements de l'électronique avec les ASIC et les cartes de contrôleur de CCD, les méthodes de réduction de bruit de fond en tirant profit de l'expérience EDELWEISS, les systèmes de mesure de basse radioactivité de Modane ainsi que l'étalonnage avec système optique et sources.

### Projets CENNS et RICOCHET

Les premières mesures expérimentales de la diffusion cohérente de neutrinos sur les noyaux par la collaboration COHERENT en 2017 ont ouvert la porte à un programme nouveau et des possibilités d'études de processus au-delà du modèle standard qui impacteraient la distribution d'énergie du CENNS (*Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering*). Le CENNS peut être alors utilisé pour étudier diverses questions relatives au MS et au-delà telles que l'existence de neutrinos stériles, le moment magnétique des neutrinos ou encore les interactions non standard portées par de nouvelles particules.

La collaboration RICOCHET a pour objectif de construire un observatoire CENNS. Elle est actuellement composée des groupes français à l'IPNL et au CSNSM et des groupes américains du MIT et des universités du Northwestern et du Wisconsin. L'objectif principal est de développer un détecteur qui pourrait utiliser plusieurs cibles (Ge, Zn, Si, Os) à l'échelle du kilogramme avec une réjection de fond jusqu'à environ 10 eV. Ce programme profite de synergies fortes avec EDELWEISS et SuperCDMS.

Une proposition concrète du programme RICOCHET et portée par les deux laboratoires de l'IN2P3 est le développement d'un nouveau détecteur, le CRYOCUBE, qui sera intégré au cryostat de l'observatoire RICOCHET. Le programme de recherche visant à réaliser CRYOCUBE est entièrement basé sur une ERC *starting grant* obtenue en 2018 pour 5 ans pour le développement d'un réseau de 27 détecteurs à base de cristaux de Ge semi-conducteurs et de métaux supraconducteurs au Zn en quantité égale. La technologie de détection des monocristaux, y compris les capteurs de chaleur et la lecture d'ionisation, ainsi que l'ensemble du réseau de détecteurs avec tous ses équipements associés doivent être prêts d'ici 2022.

Le choix du site de réacteurs pour CENNS n'est pas encore défini entre le site de Chooz en France ou aux Etats-Unis.

### **Projet DarkSide**

DarkSide (DS) est un projet de recherche directe de matière noire utilisant une TPC à argon liquide en double phase. La particularité de DarkSide est d'utiliser de l'argon extrait du sous-sol, et de ce fait non contaminé par l'argon cosmogénique ( $^{39}\text{Ar}$ ) afin de pouvoir ainsi réduire drastiquement ce bruit de fond - ce qui en fait un détecteur très attractif. Le système double phase permet de profiter des deux composantes d'émission de lumière provenant des processus de scintillation dans le liquide et des processus d'ionisation dans le gaz pour reconstruire les topologies des événements et discriminer entre les signaux des reculs des électrons et des nucléons.

Le développement de DarkSide suit des étapes correspondant à l'augmentation graduelle des masses mises en jeu pour simultanément valider les techniques et commencer à chercher des WIMPs de basse masse. Le premier prototype DS-10 de 10 kg a été construit en 2010. Puis le prototype de 50 kg DS-50 a été installé au laboratoire souterrain du Gran Sasso en 2013 et continue à prendre des données. Ce prototype a permis de valider le concept, a confirmé le potentiel de la discrimination par la forme du signal pour séparer les bruits de fond et a permis aussi de démontrer les avantages liés à l'utilisation de l'argon souterrain.

L'étape suivante va consister à élaborer un prototype de 1000 kg, qui fonctionnera d'abord au CERN avec de l'argon atmosphérique avant d'être installé au Gran Sasso en vue de fonctionner avec de l'argon souterrain. Ce DS-Proto doit être construit d'ici 2020. La phase suivante sera DS 20k avec une masse de 20 000 kg d'ici 2023 et doit être issu de la collaboration GAMNC formée à partir des quatre expériences dans le monde utilisant des TPC argon pour la recherche de matière noire : ArDM, DS-50, DEAP3600 et MiniClean. Cette collaboration envisage une phase ultime avec un détecteur de 400 tonnes d'ici 2028.

### **Projet MIMAC (Micro-tpc Matrix of Chambers)**

Le projet MIMAC a pour objectif l'observation directionnelle d'une collision élastique entre une particule de matière sombre et un noyau. L'observable est l'enregistrement d'une trace 3D d'un recul nucléaire permettant la corrélation de la direction de la trace avec l'orientation du détecteur dans le plan de la Galaxie. La technique est présentée comme unique. Le projet MIMAC est une TPC à basse pression (50 mbar) avec comme cible les noyaux de  $^{19}\text{F}$ ,  $^{12}\text{C}$ , H et  $^4\text{He}$ . La partie détection est basée sur un micromegas pixelisé, technologie maîtrisée par l'IRFU. Le projet a débuté en 2005 et est financé depuis 2007 par une ANR. Un premier prototype installé en 2012 au LSM a montré de bonnes performances. Une étude systématique de la fonction de réponse est réalisée en particulier par la mesure du facteur de *quenching*. Une série de jalons du projet de développement est présentée. Une collaboration fructueuse avec le Laboratoire de Métrologie et Dosimétrie de Neutrons a été créée. Le futur de cette collaboration est la construction d'un détecteur de 1 m<sup>3</sup>.

### **Projets NEWS et R&D R2D2**

Le projet NEWS porte sur la mesure directe de l'interaction de particules neutres dans une TPC sphérique avec une seule voie de lecture. La spécificité de NEWS est la recherche de particules relativement légères, entre 0.1 et 1 GeV. NEWS partage avec R2D2 le même prototype de TPC sphérique appelé SEDINE installé au LSM. Le détecteur final NEWS-G aura

un diamètre de 1.4 m et sera opéré à l'horizon 2020 à SNOLAB. Les défis sont le développement de détecteurs de basse activité, l'obtention d'un seuil de détection le plus bas possible, ainsi que l'étalonnage.

Le projet R2D2 porte sur l'observation, au sein d'une TPC sphérique à haute pression, d'évènements de décroissance double beta sans neutrino. En plus du prototype SEDINE, le projet R2D2 construit un second prototype dédié à la très haute pression de 40 cm de diamètre. L'isotope choisi comme candidat à cette décroissance rare est le  $^{136}\text{Xe}$ . Les défis de ce projet sont le travail à haute pression (40 bars) et la résolution à atteindre. Les groupes de l'IN2P3 se sont concentrés sur la phase de R&D par la construction de ce détecteur sphérique. Le déroulement du projet de R&D depuis les basses pressions en Ar vers les hautes pressions en Xe est présenté entre 2018 et 2019. La stratégie à long terme n'est pas encore proposée dès lors que tout dépend de la résolution atteinte avec le présent prototype.

### Projets CROSS et CUPID

Il est nécessaire de baisser les limites actuelles de la masse effective des neutrinos pour contraindre la hiérarchie de masse. CROSS/CUPID est un projet de R&D pour la décroissance  $2\beta 0\nu$  par bolomètre à partir de nouveaux cristaux de haute résolution et basse activité. Le premier objectif est le développement de bolomètres basé sur un matériau scintillant ( $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ ) enrichi en  $^{100}\text{Mo}$ , candidat à la décroissance  $2\beta 0\nu$ . Le développement technologique est présenté étape par étape et des résultats montrent une progression de la technologie jusqu'à sa maturité avec des performances impressionnantes.

Le second objectif est le développement d'un matériau alternatif pour les bolomètres basé sur du  $\text{TeO}_2$  enrichi en  $^{130}\text{Te}$ . Dans ce cadre, la collaboration CUORE a mis en fonctionnement 1 tonne de bolomètres ( $\text{TeO}_2$ ) refroidi à 6 mK au sein d'un cryostat au Gran Sasso pour démontrer la validité de la technologie. Le détecteur est construit avec quatre éléments par tour, et cinq tours installées dans le cryostat d'EDELWEISS. Après une longue phase de R&D, la première technologie basée sur le  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$  a été choisie par la collaboration en 2018. Un démonstrateur de 10 kg, profitant aussi des infrastructures d'EDELWEISS au LSM, est en cours d'assemblage.

La prochaine étape, dès lors que le démonstrateur aura montré ses performances, est un investissement important pour la construction du détecteur final où environ 250 kg de  $^{100}\text{Mo}$  doivent être « assemblés ». Le détecteur et sa technologie sont très prometteurs sur le long terme dans la recherche d'un signal  $2\beta 0\nu$ . Il pourra soit le découvrir, soit le confirmer, en mesurant sur un autre isotope (hors Ge ou Xe qui seront à la portée d'autres expériences) dans le cas où le neutrino est une particule de Majorana et si la hiérarchie des masses est inversée. La phase CUPID doit être consolidée pour le détecteur final. La construction de ce détecteur peut être réalisée en 4 à 5 ans après la prise de décision si les moyens sont disponibles. Une industrialisation du processus de fabrication est à discuter.

### 1.2. Avis général

Les projets présentés autour de la recherche directe de MN sont tous basés sur de petits groupes de quelques ETP au sein d'un à trois laboratoires de l'IN2P3. De plus les projets ont généralement une large partie de leur effectif avec une contribution affichée de 10% ou moins. Il est difficile de s'investir dans un projet en y consacrant si peu de temps. La

direction espère un regroupement des forces, au moins à terme. Il faut trouver le bon équilibre entre soutenir les idées nouvelles, les initiatives et se donner les moyens de contribuer efficacement à la recherche de matière noire par détection directe dans le domaine de masse des WIMPs, aujourd'hui un peu élargi.

Il faut noter que les axions sont un candidat générique à la matière noire, également physiquement motivé, et ce depuis plusieurs dizaines d'années. L'un des piliers des WIMPs étant mis à mal par l'absence de signe de nouvelle physique dans les résultats du LHC, cette alternative doit être gardée à l'esprit, en parallèle à l'élargissement du domaine de paramètres du candidat de type WIMP.

Le conseil note que plusieurs des projets présentés sont basés sur des ANRs et des ERCs. Si ces initiatives sont naturellement à encourager, il fait également remarquer que l'institut n'est pas censé systématiquement compléter ces financements, ni assurer leur prolongement - sauf en cas d'évolution vers une infrastructure de recherche.

Des informations complémentaires et les avis détaillés sont présentés dans les sections suivantes, pour chaque projet. Le conseil répond ici aux questions posées par l'institut de façon synthétique.

- *Quelles sont les principales spécificités (points forts/faibles) de la contribution de l'institut - comparées aux contributions des autres instituts internationaux, dans ces expériences et projets ?*

Plusieurs équipes mettent en place des R&D sur des méthodes ou des techniques originales pour participer à la traque de la matière noire. Les financements sont essentiellement hors IN2P3, mais la liberté de choix et le temps dont disposent les chercheurs permanents permettent cette diversité, qui est une richesse.

Il faut savoir arrêter une R&D, une approche expérimentale ou même un projet si une autre option s'avère plus prometteuse, ce qui est le cas pour SuperNEMO qui s'achève probablement après le démonstrateur ou EDELWEISS qui se réoriente. Ce sont des processus normaux, inévitables, dans un domaine aussi exploratoire.

- *Quel est le retour scientifique attendu, et quelle est la visibilité des équipes sur le plan national et international, pour les expériences en cours ?*

La recherche de matière noire et de la décroissance  $2\beta 0\nu$  sont largement exploratoires et difficiles. Au vu du large spectre des prédictions théoriques sur la masse et la section efficace d'interaction avec la matière, il est impossible d'anticiper le premier signal de matière noire qui sera observé. Cela se traduit par un panorama très large d'expériences et de techniques. Un signal positif aura assurément un impact considérable. Pour acter la découverte définitive de la matière noire, il est vraisemblable que la détection avec une autre technique, avec la directionnalité par exemple, s'avèrera nécessaire.

Aujourd'hui, l'expérience avec la plus forte visibilité est XENON, avec un réel potentiel de découverte dans un avenir proche puisque les détecteurs, avec un volume permettant l'obtention de nouveaux résultats compétitifs, sont financés et en construction. Le projet DarkSide est basé sur une technologie différente, compétitive également, et se positionne sur un réel potentiel de découverte.

L'expérience EDELWEISS III, quant à elle, est en cours d'analyse et fournira un retour scientifique. La technique développée pourra à terme être intégrée (ou utilisée) dans

l'expérience SuperCDMS. L'expérience SUPERNEMO complète son cycle de R&D et assure aussi un retour scientifique bien qu'il est peu probable qu'un signal de double décroissance beta sans neutrino  $\gamma$  soit observé.

Les autres projets discutés lors de ce conseil sont des R&D ou des projets encore en phase de développement. Le potentiel est important, à terme, mais ces projets doivent encore valider la pertinence de leur approche expérimentale. Le retour attendu à court ou moyen terme est donc un retour d'expertise sur la viabilité des choix opérés.

- *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 ?*

Aujourd'hui, parmi les projets de détection directe de matière noire présentés, seuls XENON et DarkSide-50 sont opérationnels et au niveau de la rude concurrence internationale, dans des domaines de masse différents. La participation à ces projets est à soutenir et à renforcer en développant les équipes actuelles.

Si la présence de nombreux projets illustre la dynamique du sujet, la convergence vers une autre technique prometteuse serait souhaitable pour concentrer les forces à moyen terme car la finesse de la connaissance de l'instrument et de son environnement, qui est indispensable, est telle que seule une équipe raisonnablement large et pleinement investie peut y faire face.

Dans le domaine de recherche de désintégration de type  $2\beta 0\nu$ , la situation est aujourd'hui moins claire qu'il y a quelques années. À terme, l'objectif est de décider quelle technologie choisir, la porter si besoin pour la transformer en infrastructure de recherche. Aujourd'hui la situation n'est pas mûre pour cette décision. La R&D est donc à maintenir pour permettre un choix éclairé ultérieurement.

Le conseil note que les développements instrumentaux originaux requis par ce sujet peuvent conduire à des projets de valorisation prometteurs, ce qui est bénéfique pour l'institut et la société.

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

Les activités de R&D sur financement ANR et ERC sont, par essence, d'assez courte durée. Toutefois certains projets tel MIMAC se développent sur de longues périodes avec l'enchaînement de divers financements. Il faut se demander si un tel modèle est soutenable à long terme.

Les projets « Matière noire » organisés autour de collaborations internationales bien établies (XENON mais aussi DarkSide ou EDELWEISS par exemple) se développent sur de longues périodes avec un processus incrémental. Cette longévité peut correspondre aussi à des évolutions en terme de domaine d'énergie : ainsi l'expertise acquise est "recyclée", ce qui est une richesse dans un domaine où, aujourd'hui, c'est l'expérience qui guide les théoriciens et non plus le contraire.

- *Les évolutions proposées (XENONnT, EDW-MNB8, SUPERNEMO) sont-elles pertinentes ? Sont-elles viables ? Sont-elles durables ?*

En ce qui concerne XENONnT et DARWIN, le projet est solide, avec un objectif précis : atteindre le « plancher neutrinos ». S'il est atteint, il faudra changer sans doute de stratégie, mais des conditions très contraignantes auront été posées.

Pour XENON, étant donné que c'est l'une des expériences phare de la discipline, il faudrait se demander si la relativement faible participation française est un gage pour l'avenir. Cette expérience devrait accréter des ressources humaines supplémentaires pour avoir un poids suffisant, et sur le long terme, dans une collaboration internationale de taille importante.

En ce qui concerne EDELWEISS, c'est une R&D sur les basses masses qui est proposée, en parallèle de celle de RICOCHET, par la même équipe. Il faut donc attendre quelques années pour avoir les résultats des deux approches avant d'avoir un avis sur leur pérennité.

Enfin, pour SuperNEMO, la collaboration est en train de démarrer le détecteur. Après exploitation de ce prototype, le constat sera probablement que la technique en l'état n'est pas viable à grande échelle et que les avantages de la technique de suivi des traces ne sont pas suffisants pour compenser la faible masse de la cible. L'équipe prévoit de conclure l'expérience en cours par une publication. La poursuite éventuelle de ce programme dépendra des résultats à venir car l'expérience a la particularité unique de pouvoir explorer différents mécanismes de violation de la conservation du nombre leptonique à sa sensibilité nominale : c'est un atout qu'il faudra exploiter de manière optimale. L'équipe a toutefois déjà établi les limites du passage à l'échelle (100 kg à 1 tonne) de cette technologie qui s'avère aujourd'hui non concurrentielle au regard des expériences de nouvelle génération pour la recherche du mécanisme classique, ce qui naturellement n'était pas prévisible au démarrage du projet.

### 1.3. Expérience EDELWEISS

La collaboration EDELWEISS est fortement centrée sur les laboratoires français du CNRS et du CEA. L'IN2P3 a une implication majeure via les contributions de l'IPNL et du CSNSM. Un atout important de cette expérience est l'étroite collaboration des communautés physique des particules et physique du solide, en particulier au CSNSM. L'équipe reste restreinte avec environ 4 ETP chercheur, 2 ETP ITA et 1.7 ETP doctorant et post-doctorant en 2018. Avec la formation de l'équipe autour du projet RICOCHET, les forces prévues ne seront plus que d'environ 3 ETP chercheur, 2 ETP ITA et 1.2 ETP doctorant et post-doctorant en 2019.

#### *Avis et recommandations*

Le conseil félicite les équipes d'EDELWEISS qui ont mis à profit leur expertise pour se réorienter vers les plus basses masses. Il y a une mutualisation efficace des efforts de développement, avec RICOCHET pour les détecteurs et avec CUPID pour la cryogénie. Le conseil soutient le choix fait de poursuivre la R&D sur des détecteurs sensibles aux faibles masses pour, si les résultats s'avèrent positifs, proposer ces détecteurs à SuperCDMS et intégrer cette collaboration.

Le conseil reconnaît que la répartition des équipes entre EDELWEISS et RICOCHET est viable tant que les projets sont en phase de R&D, et même pertinente lors de cette période exploratoire. Si un projet devait entrer dans une phase de détection, la question des forces en présence se posera.

En parallèle, le conseil encourage la collaboration à finaliser l'analyse d'EDELWEISS III.

## 1.4. Expérience XENON

Les compétiteurs directs de XENON et DARWIN sont LUX aux États-Unis, PANDA en Chine et XMASS au Japon, tous utilisant le même gaz noble.

Les scientifiques français du laboratoire SUBATECH ont rejoint le projet XENON en 2009. Ultérieurement, le LPNHE et le LAL les ont rejoints en 2016 et 2017 respectivement. On peut noter que la taille de la collaboration croît chaque année d'environ 20% depuis le début du projet.

Leurs principales contributions à XENON1T et XENONnT sont :

- la fourniture des cuves de stockage et de récupération du xénon ReStoX (SUBATECH) et ReStoX2 (SUBATECH, LPNHE, LAL)
- le système de calcul au Gran Sasso, conçu et construit à SUBATECH et au LPNHE
- la conception des cinq électrodes de la chambre à projection temporelle (LAL)
- la contribution du traitement des données de XENON1T en termes de ressources de stockage et de CPU avec le CC-IN2P3
- l'étalonnage et l'analyse des données.

XENON a obtenu le plus faible niveau de bruit jamais atteint, en particulier avec la purification du xénon par rapport au krypton : le radon domine à présent, avec des nombres en ppt (partie par tonne). La prise de données est presque continue, et XENONnT doit démarrer en janvier 2019.

Cette dernière inclut le suivi et l'étalonnage du détecteur - particulièrement crucial dans cette recherche de WIMPs, l'étude d'une possible modulation annuelle du bruit de fond ainsi que la recherche de désintégration double beta sans émission de neutrino, celle-ci n'étant pas directement liée à la matière noire.

L'installation de XENONnT est en cours ; le planning initial est donc respecté. Le réservoir de pression auxiliaire financé et développé par la France ReStoX2 a une capacité de 10 tonnes. Une vitesse de récupération du xénon au rythme d'une tonne par heure est visée.

### *Avis et recommandations*

L'expérience XENON dédiée à la recherche directe de la matière noire est parmi les expériences les plus performantes au niveau mondial dans ce domaine de recherche.

Actuellement, les contributions des trois groupes français impliqués, SUBATECH, LPNHE et LAL, représentent environ 5 % de la collaboration internationale. Malgré la taille modeste de XENON-France composé d'environ 8 chercheurs permanents et doctorants et de 2 ITA, la contribution de l'IN2P3 à l'expérience - construction du détecteur, étalonnage et analyses - est significative et visible mais potentiellement trop faible.

Pour XENON-France, nous recommandons de finaliser les analyses de données XENON1T, d'achever et de mettre en service ReStoX2 et les TPC électrodes pour XENONnT, et, ensuite, de participer aux analyses de données XENONnT. Ces tâches correspondent à la feuille de route des laboratoires français présentée lors de ce conseil. Pour réaliser tous ces objectifs tout en maintenant l'engagement fort et très visible des chercheurs impliqués dans la collaboration, nous soutenons fortement les renforts demandés.

À plus long terme, nous recommandons la participation au projet DARWIN, qui est l'évolution naturelle de XENONnT, et nous encourageons les groupes français à participer aux études de conception et à clarifier le plus tôt possible leur rôle dans ce projet, ce qui permettra alors d'envisager une revue détaillée.

### 1.5. Expérience SUPERNEMO

Les 32 feuilles source de  $^{82}\text{Se}$  sont produites et installées et le détecteur est aujourd'hui fermé. Les performances du trajectographe sont voisines de celles de NEMO3 avec des cellules plus longues et plus larges. Le calorimètre aura une résolution en énergie améliorée d'un facteur 2 par rapport à NEMO3 et bénéficie d'un nouveau système d'étalonnage automatique. Les 7000 voies de l'électronique sont à base des ASICS SAMLONG (LAL et CEA) et FEAST (LPC). L'électronique d'un mur du calorimètre a été installée en 2018 mais les autres cartes sont attendues dans les prochains mois.

Le détecteur BiPo3 a été construit par la collaboration pour mesurer la radio-pureté des feuilles en  $^{208}\text{Tl}$  et  $^{214}\text{Bi}$  qui peuvent mimer la décroissance du  $^{82}\text{Se}$ . Une amélioration d'un facteur 5 pour le  $^{208}\text{Tl}$  par rapport à NEMO3 a été obtenue. Les autres composants ont été mesurés au LSM et sur la plateforme PRISNA. De très nombreuses optimisations ont été faites pour minimiser le bruit de fond du  $^{222}\text{Rn}$ . Il reste à mettre au point un système de recyclage du gaz du trajectographe. La plus grande partie du logiciel d'analyse a été développée par les laboratoires de l'IN2P3.

Pour l'instant le démonstrateur est en cours de montage au LSM. En ce qui concerne les responsabilités de l'IN2P3, le calorimètre et les feuilles source sont installées mais il reste à monter la bobine, la tente anti-radon et le blindage d'ici mi-2019. Le rapport contient une longue liste de raisons techniques et financières pour expliquer le retard du projet. Il manque encore 220 k€ sur un total de 5571 k€.

L'IN2P3 est un acteur majeur du projet et ses membres y ont de nombreuses responsabilités, en particulier co-porte-parole et coordinateur technique. On note néanmoins une baisse significative du nombre d'ETP physiciens depuis 2016.

#### *Avis et recommandations*

La conception « tracko-calorimètre » des expériences NEMO est très aboutie et permet d'apporter des informations complémentaires et une meilleure compréhension et maîtrise des bruits de fond par rapport aux expériences purement calorimétriques. NEMO a obtenu des résultats uniques sur la décroissance  $2\beta0\nu$  et il y a une dizaine d'années NEMO exhibait un fort potentiel de découverte. Néanmoins, aujourd'hui, les expériences bolométriques s'approchent déjà de la région que couvrirait une expérience SuperNEMO complète. SuperNEMO peut donc être considérée comme une expérience de précision qui n'aurait son plein sens qu'après une découverte du  $2\beta0\nu$  par ailleurs : elle offrirait alors la meilleure technique de détection directe de deux électrons pour étudier en détail cette désintégration. Cependant la géométrie d'un tel détecteur ne serait sans doute pas une simple multiplication du module démonstrateur. Il est possible, voire probable, que le coût soit prohibitif pour une expérience complète, malgré la richesse et la qualité de l'information qui peuvent être obtenues avec cette technique.

Le conseil a apprécié l'honnêteté scientifique de la présentation et salue le travail considérable et la ténacité de l'équipe qui ont mené à la réalisation du démonstrateur SuperNEMO actuellement en cours de montage au LSM. C'est une très belle réalisation qui doit être menée à son terme dans les meilleures conditions possibles. Il y a encore un



certain nombre de défis à relever, reliés en particulier au blindage de fer pour lequel il y a une incertitude d'approvisionnement et un manque de financement. La collaboration doit résoudre ces problèmes de façon urgente afin de ne pas trop compromettre le programme présenté qui paraît extrêmement ambitieux. Le conseil remarque une baisse du nombre d'ETP IT et chercheur sur le projet depuis 2016 et un fractionnement préoccupant des ressources humaines ; il est important de maintenir une implication des personnels suffisante pour assurer un bon retour scientifique des *runs* du démonstrateur. Après la fin de l'exploitation du celui-ci, il faudra organiser une veille technologique afin de conserver les compétences et l'information nécessaires pour pouvoir reprendre des études et constructions dans l'avenir si ceci s'avère utile.

## 1.6. Projets et R&D

### 1.6.1. DAMIC-M

Le projet DAMIC-M de développement d'un détecteur pour la recherche de matière noire avec des CCDs est un projet original basé sur l'expérience réussie du prototype DAMIC à SNOLAB. Le projet présenté est financé par une ERC *advanced grant* obtenue par un chercheur de l'université de Chicago et mise sur une durée de 5 ans selon les groupes de travail définis, qui incluent une contribution en ressources humaines de la part de l'IN2P3 non négligeable. De plus, il est à noter que DAMIC-M sollicite l'IN2P3 pour le financement des coûts de fonctionnement du projet à hauteur de 100 k€/an pendant 5 ans, ce qui représenterait un investissement significatif.

#### *Avis et recommandations*

Un point fort de DAMIC-M est l'utilisation du LSM pour recevoir le détecteur et ainsi profiter du savoir-faire acquis par les expériences basse radioactivité précédentes et des systèmes de mesure de Modane pour appréhender les problématiques des bruits de fond. Le calendrier de réalisation est construit sur les objectifs des groupes de travail ; il semble relativement serré et il serait souhaitable que le suivi du projet permette de surveiller ce calendrier de très près. Par ailleurs, le conseil pose la question du coût associé au projet au-delà des cinq ans de l'ERC et des coûts de fonctionnement mentionnés précédemment.

### 1.6.2. CENNS/RICOCHET

CENNS et RICOCHET est un nouveau projet en construction dédié à la recherche de nouvelle physique via l'étude de la diffusion cohérente neutrino-noyau. Il est composé de différentes parties dont la plus importante actuellement en ce qui concerne l'IN2P3 est la réalisation du détecteur CRYOCUBE qui est entièrement financé par une ERC *starting grant*.

#### *Avis et recommandations*

En ce qui concerne RICOCHET, en parallèle du développement du CRYOCUBE, une autre partie importante du projet correspond à l'infrastructure, et elle sera développée notamment pour garantir la disponibilité du cryostat qui hébergera le détecteur d'ici 2022. Le conseil souligne que des ressources humaines et financières supplémentaires sont nécessaires pour la réalisation de cette infrastructure dont le chiffrage sera à préciser rapidement compte tenu de l'impact qui pourrait être important pour l'IN2P3

Le conseil encourage la collaboration à sélectionner rapidement le site expérimental qui aura un impact certain sur la finalisation de la conception du détecteur et de son blindage. Le calendrier semble tendu et un facteur de risque est lié aux ressources humaines qui sont distribuées sur des fractions d'ETP faibles. Il serait souhaitable et important qu'un prochain CS IN2P3 suive l'avancement du projet et ses implications au-delà de ce qui est couvert par l'ERC.

### 1.6.3. DarkSide

DarkSide est une collaboration internationale importante avec plusieurs centaines de collaborateurs. Deux laboratoires de l'IN2P3 sont actuellement impliqués : l'APC et le LPNHE ; des discussions sont en cours avec le CPPM. Les deux groupes français représentent moins de 1% de la collaboration mais sont très visibles de par leurs réalisations et implications originales depuis 2012.

Les activités ont concerné des travaux de simulations et des études pour la photo-détection. Un travail conséquent a été réalisé sur la compréhension des mécanismes de la scintillation dans l'argon et le développement de modèle pour ces processus à basse énergie. Ce travail a abouti à la production d'un ensemble de Monte Carlo G4DS incorporant un modèle de réponse appelé PARIS. Ce modèle a été vérifié et testé avec une petite TPC ARIS sur un faisceau test de neutrons à ALTO avec l'aide technique de l'IPNO. Cette mesure, la plus précise du facteur de *quenching* de recul nucléaire dans l'argon liquide, a donné lieu à une publication.

Les activités en cours concernent l'étalonnage et le développement d'outils d'analyse pour améliorer les performances de DS-50 pour la recherche de WIMPs de basse masse, les études de conception du veto neutronique pour DS-20k, la préparation des études sur les neutrinos solaires avec GADMC. S'ajoutent un développement parallèle pour adapter le modèle G4DS à 3 $\pi$ DS, un système de tomographie TOF-PET basé sur l'argon liquide et la technologie SiPM. Les implications prévues concernent la poursuite de l'analyse DS-50, la conception de DS-20k, le travail sur la stratégie d'étalonnage de DS-*proto* dans la phase CERN et la participation à la R&D sur la collection de lumière dans l'argon liquide.

#### *Avis et recommandations*

Le programme DarkSide présenté par ces groupes est ambitieux et vise une participation à toutes les étapes du projet, de DS-50 à GADMC. Le conseil recommande que le groupe se focalise sur quelques points clés de manière à maximiser son impact dans la collaboration. Le conseil recommande de trouver des forces humaines supplémentaires pour s'engager plus avant dans un projet de cette envergure.

### 1.6.4. MIMAC

Le prototype de MIMAC a fonctionné de façon continue pendant cinq ans, ce qui illustre sa fiabilité. Le démonstrateur 1m<sup>3</sup> ne se positionne pas sur une potentielle découverte de matière noire mais doit prouver l'extension possible de la technologie avec suffisamment de sensibilité, le projet final étant une TPC de 50 m<sup>3</sup>.

La collaboration MIMAC est franco-chinoise avec des personnels à temps partiel sur ce projet au LPSC et au CPPM pour la partie IN2P3 et le responsable du projet souligne le sous-dimensionnement des équipes. Le MoU de la collaboration qui a vocation à construire le détecteur final n'est pas encore abordé car il est jugé prématuré avant le fonctionnement du module d'1 m<sup>3</sup>.

L'équipe MIMAC a développé des outils pour injecter des ions dans le détecteur et utilise ces mesures pour valider les divers paramètres tels que facteurs de discrimination, facteurs de *quenching*, vitesses de dérive, diffusions, longueurs et largeurs de traces, résolutions angulaires ... Ces études ont permis de montrer que la simulation à très basse énergie est souvent peu précise car les comparaisons des données prises avec ces simulations montrent parfois de grandes différences. C'est un problème pour tous les détecteurs de MN.

### *Avis et recommandations*

La sensibilité à une détection de matière noire avec un détecteur comme MIMAC n'est pas clairement établie, d'autant que les expériences concurrentes sont dans la gamme de plusieurs centaines de kg, voire tonne, de matériau cible sans avoir observé le moindre signal jusqu'à maintenant. C'est donc un projet considéré comme risqué dans le contexte de la détection de matière noire et la faisabilité de ce détecteur de 50 m<sup>3</sup> est posée. On note cependant que seulement cinq techniques dans le monde s'intéressent à la directionnalité, qui sera sans doute incontournable si le plancher des neutrinos est atteint ou si un signal est détecté. Par ailleurs MIMAC est le seul projet à avoir montré des traces de quelques keV.

La technologie proposée a une valorisation dans le domaine de la neutronique qui justifie à elle-seule la poursuite de la R&D.

### **1.6.5. NEWS-R2D2**

NEWS partage avec R2D2 le même prototype de TPC sphérique appelé SEDINE installé au LSM mais ils s'intéressent respectivement aux thèmes de la matière noire et de la recherche de la décroissance  $2\beta 0\nu$ . En 2016, le prototype SEDINE a fonctionné durant un peu plus d'un mois montrant de bonnes performances. Les défis centraux des TPC sphériques sont le développement de senseurs de basse activité et l'obtention d'une haute résolution en énergie. Cette dernière est le critère décisif pour le programme R2D2.

La R&D R2D2 a débuté en 2017. La collaboration internationale NEWS, initiée il y a 4 ans par le CEA et le LSM, est structurée autour d'une ANR éponyme couvrant la période 2015-2019. Quatre laboratoires français avec 14 membres sont impliqués avec trois personnes de l'IN2P3 pour 1.2 ETP, la majeure partie de la contribution venant de l'IRFU.

### *Avis et recommandations*

S'agissant de R2D2, la stratégie à long terme vis-à-vis de la concurrence mondiale n'est pas encore proposée dès lors que tout dépend de la résolution en énergie atteinte avec le présent prototype haute pression. Ainsi la compétitivité du détecteur final devra être mise en perspective avec les autres expériences en cours d'assemblage lors d'un prochain conseil.

### **1.6.6. CROSS et CUPID**

Plusieurs laboratoires de l'IN2P3 (CSNSM, LSM, IPNL et LAL) ainsi que l'IRFU sont impliqués au sein d'une collaboration internationale comprenant notamment la France, l'Italie, les États-Unis et la Chine. La France joue un rôle majeur dans ce projet. La phase de R&D a été financée par des ANR et par l'ERC CROSS. Étant donnée l'ambition du projet, les coûts annoncés sont significativement plus élevés que la phase R&D et ne peuvent pas être soutenus sur simple appel à projet. Aujourd'hui la R&D sur les détecteurs Li<sub>2</sub>MO<sub>4</sub> est achevée, l'infrastructure CUORE est prête, et le démonstrateur est en cours de validation. Il manque toutefois l'enrichissement et la cristallisation pour que CUPID soit prêt.

### *Avis et recommandations*

CUPID est l'évolution naturelle de CUORE qui est significativement affecté par le bruit de fond. Il semble potentiellement compétitif avec certains grands projets grâce à sa capacité de 250 kg. Il a été noté que la capacité d'enrichissement n'est que de 40 kg par an. Il est donc nécessaire d'organiser le projet autour de cette contrainte. Le conseil note que c'est un projet à plusieurs millions d'euros avec moins de 7 ETP IN2P3. L'implication semble très

insuffisante pour atteindre les objectifs de la collaboration. La collaboration a donc besoin d'un soutien, au moins dans les deux prochaines années pour le démonstrateur.

## 2. Vie du conseil

### 2.1. Compte-rendu

Le compte-rendu du conseil de juin 2018 a été adopté à l'unanimité moins 2 abstentions lors d'un vote électronique en septembre avec 21 votants sur 22 membres.

### 2.2. Fonctionnement du conseil

Comme évoqué lors du précédent conseil, le conseil doit statutairement fournir un rapport de prospectives. Le conseil s'est basé sur les dix thèmes étudiés et évalués au cours du mandat en cours. Ce rapport sera fourni d'ici fin 2018.

Le conseil dresse un bilan de son mode de fonctionnement :

La mise en place de groupes de travail avec la rédaction d'un pré-rapport présentant le sujet, d'une liste de questions pour les sessions ouvertes et fermées, puis d'un rapport sur le sujet examiné après discussion collégiale en fin de session fermée est, globalement, jugée efficace. Cette méthode a permis de fournir une première version complète du rapport au maximum un mois après la tenue des conseils à la direction, aux orateurs et aux rapporteurs externes.

En revanche, a posteriori, le conseil regrette de ne pas avoir pu (ou pris le temps de) préparer plus en amont les conseils pour mieux appréhender l'importance relative des projets par exemple. Peut-être qu'une téléconférence préparatoire avec le DAS concerné et les rapporteurs extérieurs, lors de la préparation de l'agenda, serait une bonne méthode.

Le conseil trouve que, souvent, trop de sujets doivent être évalués lors d'une session. Les solutions possibles sont le traitement de moins de sujets, allonger la durée des sessions, ajouter une session dans l'année. Des sessions ouvertes de 10h à 17h semblent trop longues pour traiter en profondeur les sujets examinés.

Le président du conseil note la difficulté de trouver des rapporteurs extérieurs. Ils sont indispensables car trop peu de membres du conseil sont experts de chaque sujet. Ces rapporteurs doivent être par définition experts du sujet, disponibles, sans conflit d'intérêt et capables de comprendre le français à l'oral et à l'écrit. Seule cette dernière contrainte peut être relâchée. Le conseil sortant suggère fortement au futur conseil de demander des rapports écrits et des diapositives en anglais. Au niveau de l'oral, c'est plus discutable car on perd en finesse lors des discussions.

Le conseil a été déçu que la direction n'ait été que partiellement présente alors que les dates sont connues très en amont et que l'objectif des sessions est de répondre aux questions posées par la direction sur un domaine particulier. En revanche, le conseil apprécie les retours sur les décisions et actions qui ont suivi chaque conseil. Il recommande de demander un tel retour six mois à un an après chaque session.

Le conseil s'interroge sur son rôle précis. A priori il doit statuer sur les projets à évaluer, déterminer s'ils sont pertinents et portés par des équipes ayant les moyens de les mener à bien. En général, naturellement, les équipes sont déjà engagées et se sont en quelque sorte auto-évaluées - avec leur direction, leur collaboration ... Mais le conseil note qu'il ne dispose pas de tous les éléments en termes de budget et de ressources humaines pour remplir ce rôle de façon satisfaisante. De plus il ne dispose pas de vision globale, celle-ci ne nous est pas fournie par l'IN2P3, et n'est pas demandée au conseil. Idéalement, il

faudrait pouvoir définir une vision scientifique par le conseil, avoir celle de l'Institut et tester la convergence de ces vues. Le conseil recommande de demander à la direction, en début de mandat, une présentation de la politique générale de l'Institut, telle qu'elle est faite à la Section 01.

Le conseil regrette d'avoir finalement peu parlé de science mais surtout de gestion de projets. C'est sans doute inévitable, les projets étant largement internationaux, sur de longues échelles de temps et l'émergence des sujets scientifiques se faisant par les physiciennes et physiciens. Ce constat est significativement renforcé par le mode actuel de financement basé sur les contrats ANR et ERC : la politique scientifique revient souvent, en particulier dans certains domaines, à faire de la gestion de projets après l'obtention de ces financements individuels.

### 2.3. Échange avec la direction

La direction a fait un bilan de la suite des recommandations formulées lors des conseils de 2017 ; ces sessions portaient sur le rayonnement cosmique, la physique nucléaire et la physique des particules.

Rayonnement cosmique :

Le conseil a examiné les projets Auger, Antares et HESS qui sont en transition vers une version améliorée. En ce qui concerne AugerPrime, le financement, auparavant en réserve, a été attribué suite à l'avis favorable du conseil. En ce qui concerne KM3net, la direction a noté l'urgence de la réalisation d'ORCA par rapport à ARCA en termes de concurrence scientifique. Cette priorité a eu un impact sur le financement et l'attribution des ressources humaines, cette priorisation a été partagée avec les partenaires du projet. Enfin, en ce qui concerne CTA, la direction rappelle que l'acceptation du projet comme TGIR a été faite juste avant le conseil. Le rapport avait noté le dimensionnement des équipes et le calendrier pertinent. Ces conclusions ont été des arguments à faire valoir au ministère pour disposer, concrètement, du budget maintenant.

Physique nucléaire :

Le conseil s'était concentré sur les techniques ISOL ; il a été très important pour définir la stratégie à moyen terme. Il a également déclenché la mobilisation des équipes et favorisé l'organisation de la communauté pour la préparation du conseil. Le rapport du conseil a été assez clair sur certaines recommandations, y compris celles de ne pas s'engager dans certaines voies : ces conclusions ont été une aide pour la direction et les équipes. Compte-tenu des forces en présence, des objectifs fermes sur le démarrage de SPIRAL2 et en particulier S3-LEB, le projet PALTO d'extension des salles d'expériences à Orsay n'est pas considéré comme prioritaire.

En ce qui concerne S3-LEB, la suggestion de concentrer les efforts a aidé à (re)mobiliser les équipes. En ce qui concerne ALTORIB, au-delà des développements locaux, le lien a été fait avec le développement au GANIL. Ce projet favorise la politique de connexion de la vallée d'Orsay avec la Normandie.

Physique des particules :

Dans ce domaine fortement basé sur d'immenses collaborations au LHC, les décisions sont prises en amont, à haut niveau. Le conseil a permis de mettre en évidence le fait que les équipes n'étaient pas assez mobilisées dans les laboratoires car, de fait, l'amélioration à venir des détecteurs est comparable, en termes d'efforts, à la construction. Depuis le

conseil, le nombre de chercheurs et d'ingénieurs impliqués dans l'amélioration a augmenté. En ce qui concerne Belle2, le conseil a soutenu la demande de participation à ce projet japonais. Le retour du conseil a conduit à une hausse de la visibilité de ce projet et a contribué à justifier le choix de la direction qui a donné un coup de pouce très net avec la publication de deux postes fléchés (1 CR, 1 DR).

#### **2.4. Futurs conseils**

Les membres du conseil, élus et nommés, ont été renouvelés. Le prochain conseil se réunira début 2019 et planifiera avec la direction les futures sessions.

Le conseil remarque qu'une partie au moins des personnels semblent avoir été mal avertie des possibilités de candidature et de la tenue des élections. La circulation des informations pourrait être améliorée - celles-ci sont certes publiques mais pas assez diffusées. La preuve est qu'il reste des sièges vacants, faute de candidat(e). Le nouveau conseil devrait faire connaître l'ouverture de ces postes à pourvoir dès leur publication dans le Journal officiel, avec un relai par les directeurs d'unité.