

COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

Compte rendu

Conseil scientifique de l'IN2P3
29-30 juin 2021

Sommaire

1. Introduction : R. Pain	4
2. Actions de l'Institut, panorama, atelier de physique théorique des 2 infinis : M. Grasso	4
3. Physique théorique formelle : D. Tsimpis	4
3.1 Présentation des activités de Physique théorique formelle	4
3.2 Avis	5
4. Physique des particules : A. Teixeira et D. Becirevic	5
4.1 Présentation des activités de Physique des particules théorique	5
4.2 Avis	7
4.3 Recommandations	7
5. Physique hadronique : I. Schienbein	9
5.1 Présentation de la Physique hadronique théorique à l'IN2P3	9
5.2 Avis et recommandation	10
6. Réactions et structure nucléaire : D. Lacroix	10
6.1 Présentation des activités théoriques en réactions et structure nucléaire	10
6.2 Avis et recommandations	11
7. Astrophysique nucléaire : F. Gulminelli	12
7.1 Présentation de l'astrophysique nucléaire théorique	12
7.2 Avis et recommandations	12
8. Physique des astroparticules : J. Laval	13
8.1 Présentation de la Physique théorique des astroparticules à l'IN2P3	13
8.2 Avis et recommandations	16
9. Cosmologie physique : V. Vennin	16
9.1 Présentation de la Cosmologie physique théorique à l'IN2P3	16
9.2 Avis	18
9.3 Recommandations	18
10. Physique théorique et interdisciplinarité (chimie & santé) : M. Badoual et Y. Pilon	20
10.1 Présentation de la Physique théorique pour la santé	20
10.2 Avis	21
10.3 Présentation de la physique théorique en chimie	22
10.4 Avis	23
11. Conclusions scientifiques de l'atelier de physique théorique des 2 infinis : C. Smith	23
12. Commentaire général	23
13. Discussions internes au CSI	24
13.1 Discussions avec le président de la section 01	24
13.2 Discussions avec la direction	25
13.3 Vie du Conseil	27

Présents : G. Brooijmans, H. Costantini, B. Cros, N. Chanon, O. Drapier, P. Janot, S. Escoffier-Martory, L. Fayard, B. Fernández Domínguez, V. Givaudan, S. Henrot-Versillé, D. Laporte, M. Lindroos, F. Marion, R. Maurice, N. Neyroud Gigleux, C. Nones, B. Ramstein, M. Rousseau, C. Smith, R. Trebossen, G. Verde, M. Yamouni, F. Yermia

Orateurs : D. Tsimpis (IP2I), A. Teixeira (LPC), D. Becirevic (IJCLab), I. Schienbein (LPSC), D. Lacroix (IJCLab), F. Gulminelli (LPC Caen), J. Lavalley (LUPM), V. Vennin (APC), M. Badoual (IJCLab), Y. Pison (IP2I)

Invités: P. Balcou (CS CNRS), J. Hernandez (CS CNRS)

Rapporteurs : A. Pich (U. Valencia), F. Donato (U. Torino), M. Kunz (U. Genève), U. Wiedemann (CERN), G. Colo' (U. Milano & INFN), S. Goriely (IAA, U. Bruxelles)

Membres présents de la direction : F. Farget, B. Giebels, M. Grasso, S. Incerti, R. Pain, L. Roos, L. Vacavant, P. Verdier

La séance du 29-30 juin 2021 était dédiée à l'examen de la théorie à l'IN2P3. Cette séance s'est tenue par visioconférence.

Programme de la session ouverte :

- 1) Introduction (R. PAIN)
- 2) Actions de l'institut, panorama, atelier de physique théorique des 2 infinis (M. GRASSO)
- 3) Physique théorique formelle (D. TSIMPIS)
- 4) Physique des particules (A. TEIXEIRA et D. BECIREVIC)
- 5) Physique hadronique (I. SCHIENBEIN)
- 6) Réactions et structure nucléaire (D. LACROIX)
- 7) Astrophysique nucléaire (F. GULMINELLI)
- 8) Physique des astroparticules (J. LAVALLEY)
- 9) Cosmologie physique (V. VENNIN)
- 10) Physique théorique et interdisciplinarité (M. BADOUAL et Y. PIPON)
- 11) Conclusions scientifiques de l'atelier de physique théorique des deux infinis (C. SMITH)

1. Introduction : R. Pain

R. Pain introduit la séance.

2. Actions de l'Institut, panorama, atelier de physique théorique des 2 infinis : M. Grasso

La physique théorique dans le panorama français a une structure complexe, avec des liens très forts entre les théoriciens de l'IN2P3 et ceux de l'INP, du CEA et de l'INSU. Cette communauté est aussi très liée aux expérimentateurs.

Répartis au sein de 14 laboratoires IN2P3, les effectifs se composent de 118 chercheurs permanents (moitié CNRS, moitié Universités) ainsi que de 98 doctorants et post-doctorants. Une évolution importante a eu lieu en 2020 avec la création de l'IJCLab et l'intégration du LPT (INP), comptant une vingtaine de théoriciens, au sein de ce laboratoire de l'IN2P3. Les recrutements sur les cinq dernières années ont également été très fructueux, avec 9 recrutements en théorie en section 01 sur la période 2017-2021, 2 recrutements en section 02, et 3 recrutements universitaires (1 MCF, 2 PR) en 2021.

Les activités en physique théorique à l'IN2P3 sont soutenues financièrement depuis 2017 par des Masterprojets, dont une quinzaine sont en cours. Ces projets sont très structurants pour la communauté, souvent avec des collaborations multi-laboratoires.

Au niveau thématique, la répartition est de l'ordre d'un tiers pour le domaine de la physique hadronique ou des particules, un quart pour le domaine de la structure ou l'astrophysique nucléaire, un quart pour la cosmologie et les astroparticules, et enfin le reste se répartit entre la physique théorique formelle et l'interdisciplinarité. Il est toutefois difficile de classer les théoriciens selon une seule thématique, car il est courant qu'ils travaillent à la jonction de plusieurs domaines.

Très récemment, dans le cadre des prospectives de l'IN2P3, un groupe de travail s'est mis en place pour couvrir la réflexion en physique théorique sur les dix prochaines années. Un atelier sur la Physique Théorique des deux infinis s'est tenu les 7 et 8 juin 2021 (<https://indico.in2p3.fr/e/PhysTh2Infinis>), et a regroupé 127 participants. Cet atelier a encouragé les échanges entre les différentes thématiques en physique théorique, et s'est révélé très structurant pour la communauté.

3. Physique théorique formelle : D. Tsimpis

3.1 Présentation des activités de Physique théorique formelle

Les activités de Physique théorique formelle à l'IN2P3 recouvrent des recherches sur les aspects mathématiques (formels) des théories physiques, qui n'ont pas forcément de retombées expérimentales immédiates. Les thématiques étudiées, très diverses, peuvent être classées en trois catégories avec des liens possibles entre elles : gravitation (théorie des cordes, gravité quantique à boucles, relativité générale et théories modifiées de la gravité), théorie quantique des champs (structure de la

théorie quantique des champs, théorie quantique des champs sur espaces courbés, sur espaces non-commutatifs) et physique statistique.

Les théoriciens permanents de l'IN2P3 qui participent à ces activités formelles sont au nombre de 25 (dont 17 enseignants-chercheurs et 8 chercheurs), auxquels on peut ajouter 7 émérites. Ils sont répartis dans 8 laboratoires de l'IN2P3. Il est à noter que parmi ces activités, on compte un financement ERC Advanced et la participation à un Masterprojet. Les chercheurs en physique théorique formelle travaillent avec un grand nombre de collaborateurs français hors IN2P3 et internationaux.

3.2 Avis

Le Conseil félicite les équipes de l'IN2P3 travaillant sur la théorie formelle pour le haut niveau de leurs recherches et pour leur renommée à l'échelle internationale. Les collaborations avec des théoriciens hors IN2P3, déjà solides, doivent être entretenues, en particulier avec d'autres laboratoires français non IN2P3.

Si les activités de recherche en théorie formelle n'ont pas en général de rapport direct à court ou moyen terme avec les expériences, le Conseil souligne que les discussions entre les théoriciens formels et les phénoménologues sont reconnues pour être fructueuses. En particulier, les outils développés dans le contexte formel peuvent être utiles aux phénoménologues.

Les discussions entre ces théoriciens et les expérimentateurs de l'IN2P3, qui travaillent sur des sujets très différents, doivent aussi être encouragées car elles peuvent, de chaque côté, permettre d'élargir les connaissances, les intérêts et faire émerger de nouvelles idées. Les discussions mentionnées pourraient dans certains cas prendre la forme d'animations scientifiques pour mieux faire connaître les travaux formels et augmenter leur visibilité à l'intérieur de la communauté IN2P3.

4. Physique des particules : A. Teixeira et D. Becirevic

4.1 Présentation des activités de Physique des particules théorique

Le Modèle Standard (MS) des interactions forte et faible s'est imposé comme une description remarquable de la nature au niveau subatomique. Il permet d'interpréter les observations expérimentales et de prédire une grande variété de phénomènes. Néanmoins, le MS ne paraît pas satisfaisant pour décrire correctement certains problèmes associés à la brisure de symétrie électrofaible et au secteur scalaire (naturalité, hiérarchie, saveurs et violation de CP...). Des problématiques tout aussi fondamentales proviennent d'aspects inexplicés du MS comme le choix du groupe de jauge, la possibilité d'une unification des couplages de jauge, ou même le fait que le MS n'inclut pas la gravité. D'autre part, la découverte de l'oscillation des neutrinos demande d'étendre le MS afin de décrire les masses des neutrinos. La violation de CP prédite dans le MS est insuffisante pour expliquer l'asymétrie matière/antimatière observée dans l'Univers. L'observation de la matière noire en astrophysique motive aussi le développement de nouvelles théories et la recherche de nouvelles particules. Toutes ces questions entretiennent la recherche de modèles de nouvelle physique.

Les activités de physique théorique à l'IN2P3 dans le domaine de la physique des particules couvrent un vaste champ de recherche, depuis les prédictions phénoménologiques pour des mesures de précision du MS de la physique des particules jusqu'à la construction et l'exploration de théories au-delà du MS. La physique des particules théorique à l'IN2P3 est maintenant essentiellement tournée vers l'étude de scénarii de physique au-delà du Modèle Standard (BSM). Malgré le succès colossal du MS ces dernières années, plusieurs anomalies (tensions entre prédictions et résultats expérimentaux) ont émergé : le moment magnétique anomal ($g-2$) du muon, plusieurs anomalies dans le secteur des mésons B avec les transitions $b \rightarrow sll$ et $b \rightarrow clv$, ainsi que l'excès observé par Xenon1T. Les travaux de la communauté de physique théorique des particules à l'IN2P3 se sont naturellement tournés partiellement vers l'explication de ces anomalies, avec des théories effectives ou au-delà du MS.

Les théoriciens et théoriciennes des particules de l'IN2P3 travaillent notamment sur les sujets prioritaires de l'IN2P3 : physique du boson de Higgs, phénoménologie BSM, mesures de précision d'observables, physique des neutrinos, matière noire... Leur expertise est reconnue à l'international avec des résultats de haute qualité et une bonne productivité. Cette visibilité internationale est due à une participation active à des collaborations internationales et un fort impact sur les sujets d'intérêt du moment. Les outils numériques développés sont largement utilisés dans le domaine.

Les activités reliées à la physique du LHC cherchent un juste équilibre entre la physique autour de la brisure de symétrie électrofaible avec le boson de Higgs et la physique des saveurs. Les résultats expérimentaux dans le secteur du boson de Higgs sont interrogés avec les théories effectives des champs qui permettent de paramétrer les déviations au MS, ainsi que dans des paramétrisations des couplages sensibles aux ordres supérieurs ou dans le cadre de modèles de doublets de Higgs. Les modèles de boson de Higgs composite sont aussi explorés. Les équipes de l'IN2P3 sont très actives dans le secteur des saveurs et de la violation de CP, que ce soit avec l'étude de théories effectives ou la compréhension des corrections hadroniques.

Parmi les théories au-delà du MS explorées, on compte divers modèles de supersymétrie, les modèles composites, modèles avec leptons neutres lourds, ainsi que des travaux formels sur la théorie quantique des champs.

Dans le secteur des leptons, deux champs spécifiques font l'objet de développements intenses. Par leur aspect expérimental jugé très favorable, les transitions de changement de saveur par courant chargé (« cLFV ») et les désintégrations muoniques ont été intensivement étudiées dans la communauté théorique IN2P3 (avec des approches effectives et dans des extensions du MS). De même, la phénoménologie des extensions du MS via les leptons neutres ont été largement étudiés à l'IN2P3 pour fournir une description BSM de la leptogénèse, des masses des neutrinos et de la matière noire. Les tests de ces modèles sont envisagés auprès des futurs collisionneurs ou des nouvelles expériences de neutrinos.

Le lien avec l'expérience est tissé avec des prédictions théoriques au-delà du MS pour les collisionneurs et des activités de ré-interprétation des résultats du LHC.

Environ 30 permanents (chercheurs et maîtres de conférence) participent à ces activités, appartenant à sept laboratoires : APC Paris, IJCLab Orsay, IP2I Lyon, IPHC Strasbourg, LPC Clermont, LPSC Grenoble et LUPM Montpellier. Une partie des recherches est structurée en masterprojets, avec la participation actuelle à trois masterprojets et quatre passés, de nombreuses collaborations internationales, la participation à des plateformes de recherche (GdR, IRN, plateformes européennes...) Dix programmes informatiques écrits par les équipes sont publics.

4.2 Avis

Le Conseil félicite le dynamisme des équipes de théoriciens de l'IN2P3 en physique des particules, leur positionnement sur des aspects à la fois fondamentaux et proches de l'expérience. Le Conseil encourage les équipes de théoriciens à continuer de développer des synergies avec les équipes expérimentales, qui constituent un atout certain, tout en préservant une composante relevant d'approches purement théoriques en tant que source de nouvelles idées et méthodes.

Le développement d'outils logiciels largement adoptés par la communauté de la physique des particules est aussi un point fort des travaux effectués à l'IN2P3. Le Conseil encourage les équipes à continuer le développement de ces outils.

4.3 Recommandations

La physique théorique est un élément moteur essentiel de la physique des particules, ouvrant des perspectives de recherche nouvelles et audacieuses, encourageant des recherches expérimentales et apportant les outils nécessaires pour exploiter pleinement les résultats des expériences. La pleine exploitation du HL-LHC, ainsi que du futur collisionneur e^+e^- (priorités européennes pour les quarante années à venir) nécessitera, pour une sensibilité optimale à la nouvelle physique via la caractérisation complète du modèle standard, un investissement dans le développement de méthodes et l'amélioration concomitante de la précision des calculs théoriques. Les calculs de précision pourraient permettre d'aider à choisir les paramètres des futures machines. Au cours des prochaines années, le Conseil recommande donc de trouver un équilibre entre calculs de précision dans le cadre du modèle standard et développements de nouveaux modèles de physique au delà du modèle standard. Il est à noter que parmi les calculs de précision du MS, dont les calculs de corrections électrofaibles et de QCD, ces derniers émarginent aussi à la thématique « physique hadronique ».

Dans le secteur des leptons, il serait intéressant, en parallèle et en complément des études portant sur les leptons neutres lourds, d'approfondir la phénoménologie BSM autour de la matrice PMNS (tests directs de l'unitarité, violation de la symétrie CPT...). D'autre part, pour prédire la fréquence de désintégration double beta sans émission de neutrinos, les calculs des éléments de matrice nucléaires obtenus à travers des modèles de structure nucléaire sont nécessaires. Les prédictions actuelles montrent dans beaucoup de cas des désaccords importants. Un

rapprochement avec les groupes expérimentaux et les théoriciens en structure nucléaire pourrait être avantageux.

Afin de maintenir le futur de la physique théorique en physique des particules à l'IN2P3, le Conseil recommande à la direction de maintenir, voire d'augmenter le nombre de bourses actuel (doctorants et post-doctorants), et de préserver les domaines pour lesquels les chercheurs sont largement reconnus, par des recrutements de nouveaux entrants.

Enfin, le Conseil recommande à la direction de favoriser l'entrée des phénoménologues de physique des particules dans les expériences, et d'aider à la mise en place d'un statut spécifique lorsqu'il s'avère nécessaire.

Executive summary:

Theoretical physics is an essential driving force in particle physics, opening up new and bold research perspectives, encouraging experimental research and providing the tools to fully exploit experimental results. The full exploitation of the HL-LHC, as well as of the future e+e- collider (European priorities for the next forty years) will require, for an optimal sensitivity to the new physics via the complete characterization of the standard model, an investment in the development of methods and the concomitant improvement of the precision of theoretical calculations. Precision calculations could help to choose the parameters of future machines. In the coming years, the Council therefore recommends to find a balance between precision calculations within the framework of the standard model and developments of new physics models beyond the standard model. It is to be noted that among the precision calculations of the SM, including the calculations of electroweak corrections and QCD, the latter also fall under the theme "hadronic physics".

In the lepton sector, it would be interesting, in parallel and in addition to the studies on heavy neutral leptons, to deepen the BSM phenomenology around the PMNS matrix (direct tests of unitarity, CPT symmetry violation...). On the other hand, to predict the double beta decay rate, the calculations of the nuclear matrix elements obtained through nuclear structure calculations show important disagreements with the data. A rapprochement with experimental groups and phenomenologists/theorists could be beneficial.

In order to maintain the future of theoretical particle physics at IN2P3, the Council recommends to the management to maintain or even increase the number of current fellowships (PhD and post-doctoral students), and to preserve the domains in which the researchers are widely recognized, by recruiting new people.

Finally, the Council recommends that the management encourage the entry of particle physics phenomenologists into the experiments, and to help in setting up a specific status for them when necessary.

5. Physique hadronique : I. Schienbein

5.1 Présentation de la Physique hadronique théorique à l'IN2P3

La physique hadronique cherche à décrire les propriétés des particules sensibles à l'interaction forte (les hadrons) à partir de leurs composants, les quarks et les gluons. Elle étudie également les interactions de ces composants. La Chromodynamique Quantique (QCD) est bien établie en tant que théorie fondamentale de l'interaction entre quarks et gluons, mais il reste très difficile de prédire à partir de QCD de nombreux phénomènes, comme le confinement, la structure des hadrons, les distributions précises de production de particules lourdes ou les différentes phases de la matière hadronique.

Les activités de physique hadronique théorique de l'IN2P3 ont un très fort impact international. Cependant, la communauté des théoriciens de physique hadronique a été fortement réduite ces dernières années et a tendance à se regrouper autour de trois axes principaux, en lien avec des programmes expérimentaux, au CERN, à RHIC, GSI/FAIR ou JLab/EIC : les désintégrations des mésons B (à IJClab) ; la QCD perturbative (à IJClab et au LPSC) ; enfin les études du diagramme de phase de QCD (à l'APC, IP2I et Subatech). D'autres activités sont menées par un très petit nombre de physiciens (théorie effective des champs, QCD sur réseau). Par ailleurs, certaines activités « historiques » de l'IN2P3, poursuivies principalement par des chercheurs émérites, risquent aussi de s'arrêter dans les prochaines années (théorie des perturbations chirales, physique hadronique avec les neutrinos, spectroscopie hadronique). Les activités de physique hadronique théorique ont souvent un impact sur d'autres disciplines de la physique théorique et sur des mesures électrofaibles de précision. Ainsi, les recherches sur les désintégrations des mésons B et D s'effectuent principalement dans le contexte de la physique de la saveur, et celles sur les théories effectives dans le cadre de la physique nucléaire théorique. Les études sur le diagramme de phase de QCD sont connectées à la cosmologie (information sur les premiers instants de l'univers), à l'astrophysique nucléaire (structure des objets stellaires compacts) et même à la théorie des fluides quantiques fortement couplés.

Les activités de physique hadronique dans les laboratoires de l'IN2P3 concernent 25 théoriciens qui se répartissent entre l'IJCLab (8, suite à l'arrivée des physiciens du LPT), Subatech (8), l'IP2I (4 dont 3 émérites), le LPSC (2), l'APC (1), le LPC (1) et le LLR (1 en partance pour Subatech). Un nombre similaire de physiciens contribue à la physique hadronique théorique dans d'autres laboratoires français, notamment au CPhT-école polytechnique (INP/CNRS) et à l'IPhT (DRF/CEA) pour lesquels de nombreuses collaborations avec l'IN2P3 existent. Le GDR QCD joue un rôle très utile pour fédérer cette communauté et établir des liens avec les expérimentateurs. Un certain nombre de physiciens appartiennent à une autre communauté de physiciens théoriciens, par exemple la physique des particules pour ceux dont les calculs QCD aident aux mesures de précision électrofaibles.

Les théoriciens de l'IN2P3 sont très actifs dans l'initiative européenne STRONG2020. Plusieurs Master projets ont été financés par l'IN2P3 et deux ANR sont en cours.

5.2 Avis et recommandation

Le Conseil constate que les études des diagrammes de phase de QCD et de désintégrations des mésons B, qui ont bénéficié de recrutements récents, semblent bien structurées. Le Conseil regrette la faible implication de l'IN2P3 dans certaines thématiques (spectroscopie hadronique, QCD sur réseau, interaction des neutrinos...) pourtant d'un intérêt scientifique majeur.

Le domaine de la QCD perturbative n'a pas été renforcé depuis de nombreuses années. Le Conseil recommande de le consolider pour faire face aux défis du EIC, HL-LHC et des futurs collisionneurs.

Executive summary:

The Council notes that studies of QCD phase diagrams and B meson decay, which profited from recent recruitments, looks well structured. The Council regrets the poor involvement of IN2P3 in several topics (hadronic spectroscopy, QCD on lattice, neutrino interactions...) despite major scientific interest.

The field of perturbative QCD has not been reinforced since many years. The Council recommends consolidating this field to face challenges of EIC, HL-LHC and future colliders.

6. Réactions et structure nucléaire : D. Lacroix

6.1 Présentation des activités théoriques en réactions et structure nucléaire

La communauté de la physique nucléaire de basse énergie à l'IN2P3 concentre ses efforts sur le développement d'un panel de méthodes pour décrire les principales propriétés des noyaux. La communauté de l'IN2P3 bénéficie d'une solide réputation internationale en raison de la qualité de son travail. Le personnel permanent à l'institut compte 27 chercheurs répartis dans différentes équipes et thèmes de 8 laboratoires IN2P3 (GANIL, LPC-Caen, Subatech, CENBG, IJClab, IPHC, LPSC, IP2I).

Les équipes des laboratoires de l'IN2P3 ont un impact certain sur le développement des interactions nucléaires effectives (« effective field theories », EFT) et des méthodes ab-initio (« ab-initio methods », AIMS) pour la structure nucléaire. Certains membres de ces équipes sont des experts de stature internationale. Le modèle en couches est aussi au cœur de l'expertise des équipes de l'IN2P3. De récents développements sur la description des noyaux exotiques et de leurs processus de décroissance ont été obtenus ces dernières années. Concernant la thématique des théories de la fonctionnelle de densité (« energy density functional », EDF), des progrès importants sur la détermination d'interactions effectives nouvelles et de nouvelles fonctionnelles ont aussi été obtenus ces dernières années, de même que pour les techniques permettant d'aller au-delà du champs moyen.

Les activités principales sur les réactions nucléaires se concentrent autour des méthodes ab-initio et EDF dépendantes du temps. Contrairement à la communauté de la structure nucléaire, les équipes dédiées aux réactions nucléaires sont bien plus

clairsemées à l'IN2P3. Par conséquent, les expérimentateurs participent aussi aux efforts de simulation.

Les développements susmentionnés n'ont pas seulement un intérêt en soi, ils permettent aussi de transmettre des informations utiles pour les campagnes expérimentales du GANIL, d'ISOLDE, d'ALTO, etc. De plus, la synergie entre les expérimentateurs et les théoriciens à l'IN2P3 est exceptionnelle.

Quelques équipes de l'IN2P3 commencent à explorer de nouveaux outils calculatoires de pointe tels que l'apprentissage automatique ou le calcul quantique. Le Conseil soutient fortement ces activités et encourage les scientifiques des laboratoires de l'IN2P3 à s'engager plus largement dans cette voie pour renforcer les futures applications du calcul quantique aux noyaux atomiques.

6.2 Avis et recommandations

Le niveau d'activité est exceptionnellement bon : une production de premier plan et une reconnaissance internationale qui renforcent la visibilité mondiale des équipes de l'IN2P3. La communauté a une longue expérience fructueuse de formation. De plus, des interactions avec les expérimentateurs ont régulièrement lieu, ce qui stimule les échanges de connaissance. Cependant, le Conseil constate le manque de scientifiques juniors dans la pyramide des âges de la thématique, ce qui peut inhiber la transmission aux générations suivantes. Le Conseil recommande donc à la direction de l'IN2P3 de faire un recrutement dans la discipline de la physique nucléaire notamment pour renforcer les efforts concernant les champs d'exploration émergents ou ré-émergents (calcul quantique, apprentissage profond, méthodes ab-initio) ainsi que de soutenir les installations expérimentales actuelles et futures (ALTO, GANIL/SPIRAL2). Un tel recrutement sera clé pour renforcer la visibilité de l'institut dans un futur proche.

Executive summary:

The activity report is exceptionally good: an outstanding production and a strong international recognition enhances the visibility of the IN2P3 groups worldwide. The community has a long-standing record for training and mentoring students. In addition, interactions with experimentalists are carried out regularly, stimulating knowledge exchange. However, the scientific committee has noticed a lack of young people in the age distribution of the scientists working on nuclear structure and reactions, thus hindering the transition between generations. The council recommends the direction of the IN2P3 recruiting in the nuclear physics discipline in order to push efforts in the new explored fields (quantum computing, deep learning, ab-initio methods) and supporting the current and future installations (ALTO, GANIL/SPIRAL2). This new position will be key to enlarge the visibility of the institute in the near future.

7. Astrophysique nucléaire : F. Gulminelli

7.1 Présentation de l'astrophysique nucléaire théorique

Le groupe d'Astrophysique Nucléaire Théorique est impliqué dans l'étude de trois sujets principaux : a) nucléosynthèse ; b) propriétés de la matière nucléaire dense ; c) modélisation des étoiles compactes et des phénomènes multi-messagers associés.

Parmi les résultats principaux obtenus par le groupe, on peut mentionner :

- Le rôle de l'équation d'état (EoS) dans la détermination des propriétés des étoiles compactes, plus particulièrement à l'intérieur et dans la croûte des étoiles à neutrons.
- Les études de la dynamique d'explosion des supernovæ avec, notamment, le transport des neutrinos (impact sur la nucléosynthèse et sur les phénomènes de fusion des étoiles à neutrons binaires, exploration du rôle de l'interaction faible pendant l'effondrement des supernovæ).
- Les études du processus r dans la fusion des étoiles à neutrons binaires.

Les équipes ont de très bonnes connexions avec d'autres institutions et communautés internationales. En effet, les équipes collaborent avec les expérimentateurs en physique nucléaire qui étudient la dynamique des collisions entre les ions lourds aux énergies du GANIL et de GSI/FAIR, ou les excitations collectives (« Giant Monopole Resonance » et « Pygmy Dipole Resonance »). Ces études permettent d'obtenir des contraintes sur les propriétés de l'EoS et de l'énergie de symétrie, ce qui est très utile pour les calculs astrophysiques. Plus récemment, l'étude des modifications des énergies de liaison nucléaire dans un milieu à basse densité a ouvert un autre axe de collaboration. Par ailleurs, les équipes s'intéressent aux mesures de grande précision des masses des isotopes autour du ^{78}Ni en raison de leur importance pour les propriétés des supernovæ.

Les équipes collaborent avec les expériences de détection de neutrinos, sur la description de l'explosion des supernovæ, et avec les expériences de détection d'ondes gravitationnelles, en lien avec la modélisation des effets de déformation de marée dans les systèmes d'étoiles à neutrons binaires. Cette activité est primordiale pour la communauté VIRGO et pour le projet Einstein Telescope. Les observations astrophysiques avec NICER qui visent à améliorer la connaissance de la relation rayon-masse dans les étoiles à neutrons, bénéficient, elles aussi, des prédictions des équipes d'astrophysique nucléaire théorique.

7.2 Avis et recommandations

La nucléosynthèse est un domaine important qui n'est que peu développé à l'IN2P3. Cependant, dans les conditions actuelles, il semble difficile de pouvoir renforcer cette activité et lui donner la taille critique nécessaire pour jouer un rôle important dans la compétition internationale sans affaiblir les autres activités du groupe. Les équipes d'astrophysique nucléaire théorique de l'IN2P3 ont une grande visibilité internationale dans le domaine de l'étude des étoiles compactes, un secteur de recherche

interdisciplinaire en plein développement. Le Conseil recommande que cette activité soit maintenue à un haut niveau de compétitivité.

Le Conseil pense aussi qu'il est important pour l'IN2P3 de renforcer les connexions avec d'autres instituts (par exemple l'IRAP de Toulouse), et développer si possible des projets interdisciplinaires entre l'astrophysique et la physique nucléaire.

Executive summary:

IN2P3 has a well-established expertise in the field of theoretical nuclear astrophysics.

The Council observes that nucleosynthesis, which is an important area of this field, is not much developed at IN2P3. However, in the current situation, it seems difficult to reinforce this area and give it the critical size needed to play an important role in the international competition without weakening other activities of the group. The teams involved in nuclear astrophysics have a strong international visibility in the field of compact stars, which is a fast-expanding interdisciplinary branch. The Council advises to keep this activity highly competitive.

The Council also thinks it is important for IN2P3 to reinforce the connexions with other institutions (e.g. IRAP in Toulouse) and advises to develop, as much as possible, interdisciplinary projects between nuclear physics and astrophysics.

8. Physique des astroparticules : J. Laval

8.1 Présentation de la Physique théorique des astroparticules à l'IN2P3

Les théoriciens qui travaillent dans le domaine des astroparticules sont localisés dans 9 laboratoires de l'IN2P3 (APC, IJCLab, IP2I, IPHC, LAPP, LPC, LPNHE, LPSC, LUPM). Les thématiques principales sur lesquelles travaillent ces théoriciens sont l'astrophysique à haute énergie et les rayons cosmiques, les neutrinos, et la matière noire. Ces thématiques présentent un recouvrement important avec la cosmologie et l'astrophysique nucléaire d'une part, avec certains développements en physique des particules d'autre part.

Une caractéristique importante de la communauté des théoriciens en astroparticules de l'IN2P3 est l'approche interdisciplinaire de leurs activités de recherche, aussi démontrée par les collaborations fortes avec des chercheurs d'autres instituts du CNRS comme l'INP et l'INSU, et avec le CEA. Une autre caractéristique est que les progrès passent souvent par le développement d'outils de simulation complexes. Une autre spécificité est la proximité avec des équipes qui sont très fortement impliquées dans des expériences qui produisent ou vont produire des données très importantes pour la validation et le progrès théorique en général. Néanmoins les collaborations entre expérimentateurs et théoriciens sont ponctuelles sur des thématiques bien précises. Seul un faible pourcentage de théoriciens est directement impliqué sur de grandes expériences.

Rayons cosmiques :

La recherche théorique sur les rayons cosmiques faite à l'IN2P3 comprend l'étude des sources, en particulier les disques d'accrétion autour d'objets compacts tels que les étoiles à neutrons et les trous noirs, les mécanismes d'accélération des rayons cosmiques et la production des photons à haute énergie dans l'environnement de ces sources. Les observables comprennent les spectres électromagnétiques des sources à travers des mesures multi-longueurs d'onde, les spectres énergétiques, la composition et l'anisotropie du flux diffus de rayons cosmiques ainsi que des neutrinos de haute énergie.

Les mécanismes de transport des rayons cosmiques sont aussi étudiés. Notamment, il y a des travaux sur les mécanismes d'échappement des rayons cosmiques de la source et leur interaction avec les nuages moléculaires dans le voisinage de la source. Ce phénomène est important pour comprendre l'origine des flux mesurés d'électrons et positrons à haute énergie qui pourraient être produits par des pulsars proches. Un exemple très fructueux de collaboration entre théoriciens/phénoménologues et expérimentateurs est l'étude de la propagation des rayons cosmiques galactiques, en particulier du coefficient de diffusion à partir des mesures très précises fournies par AMS-02 concernant les rapports entre les flux des rayons cosmiques primaires et secondaires. D'autres travaux comprennent les études reliées aux observables telles que le flux diffus gamma et neutrino et l'anisotropie des rayons cosmiques, qui sont utilisées comme sondes pour étudier la propagation et la diffusion des rayons cosmiques.

Autour de la thématique des rayons cosmiques, la communauté nationale a récemment commencé à se structurer avec la création d'une série d'ateliers (CFRCOS). Un projet IN2P3 (INTERCOS) qui rassemble les théoriciens qui travaillent à l'IN2P3 vient d'être financé pour 3 ans. Les programmes nationaux (PNHE, PNCG) jouent également un rôle appréciable.

Matière noire :

La thématique de recherche autour de la matière noire n'est pas spécifiquement liée aux astroparticules mais aussi aux aspects cosmologiques (ces derniers sont détaillés dans la section 9). Les activités théoriques des équipes de l'IN2P3 s'articulent autour de trois aspects majeurs :

(i) l'élaboration de modèles de physique des particules au-delà du modèle standard (supersymétrie, dimensions supplémentaires, scénarios composites, axions), avec des connexions à la physique du LHC, et éventuellement à des signatures nouvelles (e.g. ondes gravitationnelles à basse fréquence). Le conseil note la dynamique autour des axions qui pourraient, en plus de résoudre le problème de violation de CP fort, expliquer la hiérarchie électrofaible tout en proposant des signatures cosmologiques observables.

(ii) des approches plus phénoménologiques (théories effectives pour les WIMPs, axions, etc.) basées sur l'étude des mécanismes de production de la matière noire dans l'univers primordial et des conséquences en terme de signatures observationnelles (essentiellement les recherches directes et indirectes, à l'exception des trous noirs primordiaux) ;

(iii) des approches se focalisant sur les propriétés astrophysiques et cosmologiques de la matière noire (traitant également l'hypothèse qu'elle soit, même pour partie, constituée de trous noirs primordiaux), et leur impact sur les différents modes de détection (directe, indirecte, gravitationnelle). Ce dernier axe s'appuie sur la possibilité d'une forte connexion entre les secteurs des neutrinos et de la matière noire, en particulier avec des extensions au modèle standard prédisant des neutrinos droits. Ceux-ci peuvent, en fonction de leur masse, se mélanger avec les neutrinos "standards" et devenir des candidats de matière noire. Dans le contexte des astroparticules, une des incertitudes majeures concerne la distribution locale de matière noire. Des méthodes ont été développées portant sur des candidats WIMPs pour estimer ces incertitudes et les appliquer aux simulations numériques cosmologiques. Enfin il existe une expertise phénoménologique forte pour l'élaboration de scénarios autour de la matière noire froide, se basant sur l'interprétation des données des recherches indirectes avec les rayons gamma, les neutrinos, le CMB ou encore les rayons cosmiques.

Champs magnétiques intergalactiques :

Notons également une activité autour de la compréhension des champs magnétiques intergalactiques. Ils peuvent être étudiés à travers les observations des rayons gamma, en radio ou via les rayons cosmiques de ultra-haute énergie (UHECR). Leur origine, si elle est liée à la physique de l'Univers primordial, sera accessible à LISA ou EPTA, mais aussi sondée par le CMB (au moment de la recombinaison). En particulier CTA et SKA vont permettre d'explorer des caractéristiques (intensité, longueurs de corrélation) jamais atteintes.

Neutrinos et astrophysique :

La compréhension actuelle des neutrinos laisse ouvertes plusieurs questions majeures portant sur leur nature et leurs masses, leurs propriétés électromagnétiques, la possible existence de neutrinos stériles et la violation de CP dans le secteur leptonique. Au niveau astrophysique, les neutrinos se trouvent au cœur de deux questions clés, d'une part la compréhension du mécanisme d'explosion des supernovæ à effondrement de cœur, d'autre part l'identification des sites de nucléosynthèse d'éléments lourds par processus r.

Les efforts théoriques au sein de l'IN2P3 s'attachent à étudier comment les propriétés des neutrinos impactent ces phénomènes et peuvent être contraintes par les observations astrophysiques existantes ou à venir (supernovæ individuelles, fond diffus de supernovæ, kilonovæ associées à des coalescences de binaires impliquant des étoiles à neutrons). De nombreux travaux portent notamment sur l'évolution de la saveur des neutrinos dans les environnements astrophysiques denses et explorent leur impact sur la nucléosynthèse par processus r ainsi que sur les supernovæ (signatures temporelle et spectrale des neutrinos associés, propriétés de l'étoile à neutrons résultante).

8.2 Avis et recommandations

Les intérêts scientifiques des théoriciens IN2P3 dans le domaine des astroparticules sont très vastes et recouvrent de nombreux aspects de la physique théorique de pointe du domaine. Les études théoriques menées au sein de l'IN2P3 bénéficient d'une haute visibilité internationale. La thématique repose sur une grande interdisciplinarité qu'il est important de cultiver.

Cette communauté ressent néanmoins le besoin de se fédérer au travers d'un soutien multi-instituts (incluant l'INSU, l'INP et le CEA/PhT) afin de mieux se structurer, avec une animation scientifique théorique sur les aspects astroparticules et cosmologie. Cette structuration élargit l'effort déjà entrepris avec la thématique des rayons cosmiques, et poursuit la dynamique positive créée lors de la tenue de l'atelier autour de la "Physique Théorique des deux infinis" en juin 2021. Le Conseil soutient fortement cette action, et recommande qu'une aide leur soit apportée pour les accompagner dans ce sens.

Le Conseil félicite les équipes pour le bon équilibre entre les travaux menés sur des problématiques entièrement théoriques et les travaux menés à l'interface ou en collaboration avec les projets expérimentaux, et encourage à préserver cet équilibre.

Executive summary:

Scientific interests of IN2P3 theoreticians in the field of astroparticles are very vast and cover many cutting-edge aspects of theoretical physics in the domain. Theoretical studies led at the IN2P3 benefit from a high international visibility. The thematic lies on a great interdisciplinarity, which is important to nurture.

This community feels however the need to federate through multi-institute support (including INSU, INP, and the CEA/PhT) in order to improve its structuration, with a theoretical scientific animation on aspects of astroparticles and cosmology. This structuration enlarges the effort already undertaken with the cosmic ray thematic, and carries on the positive dynamics created when the workshop on "Theoretical Physics of the two infinities" was held in June 2021. The Council strongly supports this action, and recommends help be brought to this community to accompany them in this direction.

The Council congratulates the teams for the good equilibrium between work led on entirely theoretical problematics and work led at the interface or in collaboration with experimental projects, and encourages preserving this balance.

9. Cosmologie physique : V. Vennin

9.1 Présentation de la Cosmologie physique théorique à l'IN2P3

Les théoriciens dans le domaine de la cosmologie sont associés à 9 laboratoires de l'IN2P3 (APC, IJCLab, IP2I, IPHC, L2IT, LAPP, LPNHE, LPSC, LUPM). Ils travaillent en forte connexion avec les théoriciens des autres instituts du CNRS et du CEA et ont de multiples collaborations avec des collègues au niveau international.

Les développements théoriques qui sont menés à l'IN2P3 sont aussi bien formels que phénoménologiques, en lien avec les sondes observationnelles (CMB, supernovæ, structures à grandes échelles, mais aussi ondes gravitationnelles). Les principaux sujets étudiés dans les équipes de théoriciens de l'IN2P3 concernent les composantes sombres de l'univers, la gravité dans son ensemble, et tous les processus (standards ou exotiques) qui peuvent avoir lieu dans l'Univers jeune (inflation, transitions de phase, champs magnétiques primordiaux, etc.) ou tardif. Notons que les thématiques décrites ici sont en lien très étroit avec la thématique astroparticules/astrophysique, tel le problème de la matière noire, les neutrinos ou les tests de gravité modifiée au sein des objets compacts (trous noirs, étoiles à neutrons, systèmes binaires).

Gravitation :

Les théoriciens de l'IN2P3 sont impliqués sur les théories de gravité modifiée au-delà de la Relativité Générale (RG) d'Einstein, pour expliquer l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers sans constante cosmologique. Ces modèles doivent être auto-consistants, passer les tests vérifiés expérimentalement par la RG mais aussi, dans la mesure du possible, proposer des signatures observationnelles spécifiques tout en fournissant une explication à l'expansion accélérée. La plupart des modèles sont basés sur les théories tenseur-scalaire, et un effort important a été mené depuis une dizaine d'années sur la paramétrisation des modèles de gravité (par exemple dans le cadre de la théorie Horndeski ou de théories effectives des champs (EFT)). L'IN2P3 a largement contribué à cet effort à travers l'analyse systématique des théories scalaire-tenseur d'ordres supérieurs (DHOST). Notons également un nouvel axe opportun d'étude autour des tensions du modèle Λ CDM, notamment en introduisant une composante précoce de l'énergie noire (Early Dark Energy). Enfin, une partie des travaux théoriques couvre le domaine de la gravité quantique, comme la théorie des cordes, la gravité quantique à boucles ou des approches basées sur le principe holographique.

Univers primordial :

La phase d'inflation est l'un des seuls cas en physique aujourd'hui où un effet basé sur la RG et la mécanique quantique peut être testé expérimentalement (à travers l'observation des modes B du CMB). Cela fait de l'inflation un terrain de jeu idéal pour étudier des questions fondamentales liées à l'interaction entre ces deux théories. Il est crucial de comprendre les mécanismes qui mettent en jeu des énergies pouvant aller jusqu'à 10^{16} GeV, et qui peuvent expliquer comment les fluctuations quantiques du vide sont étirées à des échelles astrophysiques. L'activité théorique française est fortement engagée sur l'étude la plus exhaustive possible des modèles inflationnaires. Il est à noter que ces équipes ont une forte expertise sur les aspects inflationnaires en lien avec les modèles de physique des particules, à travers le développement d'outils statistiques dédiés, mais aussi via la théorie quantique des champs et les équations du groupe de renormalisation. Un autre axe, qui se base sur la théorie de l'information quantique, cherche à déterminer les méthodes possibles pour prouver ou réfuter l'origine quantique des structures cosmiques. Dans ce contexte, le rôle de la décohérence quantique est également étudié, tout comme

l'impact de la génération d'inhomogénéités pendant l'inflation sur la cosmologie. Mentionnons également les activités en cours sur la nucléosynthèse primordiale, les champs magnétiques primordiaux et les défauts topologiques.

Matière noire :

Les aspects cosmologiques de la matière noire sont vastes et génèrent de nombreuses études théoriques au sein de l'institut. On peut noter, entre autres, la modélisation de la matière noire dans les simulations N-corps, et l'étude des subhalos de matière noire froide dans l'Univers primitif. Un effort particulier est mis sur l'étude des trous noirs primordiaux (PBH), dont des contraintes intéressantes sont attendues via les observations des ondes gravitationnelles (OG) par LIGO/Virgo. Les développements théoriques concernent leur potentiel mode de production et leurs implications sur les observations attendues (CMB, relevés, nucléosynthèse, Lyman-alpha, ondes gravitationnelles). Notamment, parmi les modes de productions sont explorés les grandes fluctuations de densité produites pendant l'inflation, des instabilités pendant le préchauffage, des transitions de phase ou encore l'effondrement de défauts topologiques.

9.2 Avis

La cosmologie et la gravitation couvrent un large domaine d'études, et les activités menées en France bénéficient d'une haute visibilité internationale, tant d'un point de vue des développements théoriques que des résultats observationnels. Les théoriciens de cette thématique disposent d'un environnement stimulant au sein des laboratoires IN2P3 et se sentent soutenus par l'institut.

9.3 Recommandations

Cette communauté ressent néanmoins le besoin de se fédérer au travers d'un soutien multi-instituts (incluant l'INSU, l'INP et le CEA/IPhT) afin de mieux se structurer, avec une animation scientifique théorique sur les aspects astroparticules et cosmologie. Cette structuration poursuit la dynamique positive créée lors de la tenue de l'atelier autour de la "Physique Théorique des deux infinis" en juin 2021. Le Conseil soutient fortement cette action, et recommande qu'une aide leur soit apportée pour les accompagner dans ce sens.

Le Conseil note un manque de lien entre théorie et expérience: la recherche théorique en cosmologie devrait renforcer ses liens avec l'approche observationnelle, au-delà des groupes de travail qui peuvent se mettre en place pour définir les motivations scientifiques des futures expériences. En effet un pan fondamental du développement de modèles théoriques est la confrontation aux observations, et la décennie qui arrive va justement fournir d'énormes quantités de données avec les grands projets de cosmologie. Le Conseil recommande de mettre en place une structure d'échanges (GDR ou autre) autour de la physique de l'énergie noire et de l'Univers primordial, afin de renforcer les synergies entre théoriciens, phénoménologues et expérimentateurs. Cette recommandation avait déjà été énoncée suite aux besoins exprimés par les expérimentateurs lors de séances précédentes du CSI. Cette animation scientifique pourrait permettre de développer

davantage les activités de phénoménologie, et permettre aussi aux théoriciens d'être en plus forte connexion avec les équipes de cosmologie observationnelle à l'IN2P3, au-delà de celles de leur laboratoire d'appartenance.

Le Conseil note la diversité des sujets abordés, mais observe que certaines activités théoriques ont peu ou n'ont pas été évoquées dans le rapport ou dans la présentation orale comme faisant partie des sujets d'étude menés à l'IN2P3, telles la physique des neutrinos en cosmologie ou les approches phénoménologiques dans le cadre des études des structures à grande échelle. Le Conseil encourage les équipes théoriques de l'institut à mener une réflexion autour d'un positionnement futur ou d'un accroissement du positionnement actuel sur ces thématiques, en adéquation avec les forces déjà présentes à l'INSU et au CEA/PhT. Ces questions pourraient être abordées dans le cadre d'une des structures d'échange proposées ci-dessus.

Executive summary:

The theory community working on cosmology expresses its needs for a better structuration through a multi-institute support (including INSU, INP and CEA/PhT), with a theoretical scientific animation on astroparticles and cosmology. This structuration would extend the positive dynamics created during the workshop on "Theoretical Physics of the Two Infinities" in June 2021. The Council strongly supports this action, and recommends help be given to them in this direction.

The Council notes that links between theory and experiment at IN2P3 can significantly be improved: theoretical research in cosmology should strengthen its connections with the observational approach, beyond the working groups that can be set up to define the scientific motivations of future experiments. Indeed, a fundamental part in the development of theoretical models is the confrontation with observations, and the coming decade will provide huge amounts of data with the large cosmology projects. The Council recommends setting up a structure of exchange (GDR or other) around the physics of dark energy and the primordial universe, in order to reinforce the synergies between theorists, phenomenologists and experimentalists. This recommendation had already been stated following the needs expressed by the experimentalists during previous sessions of the Scientific Council. Such a scientific animation could allow further developing the phenomenology activities, and also allowing the theorists to be in stronger connection with the observational cosmology teams at IN2P3, beyond those of their home laboratory.

The Council notes the rich diversity of the topics addressed by the theoretical teams, but observes that some theoretical activities are barely mentioned or were not mentioned in the report nor in the oral presentation as being part of the research activities of IN2P3, such as neutrino physics in cosmology or phenomenological approaches in the framework of large-scale structure studies. The Council encourages the theoretical teams to consider a future positioning or increase current positioning on these topics, in adequacy with the strengths already present at INSU and CEA/PhT. These questions could be addressed in the framework of one of the exchange structures proposed above.

10. Physique théorique et interdisciplinarité (chimie & santé) : M. Badoual et Y. Pipon

10.1 Présentation de la Physique théorique pour la santé

Les travaux de recherche sur cette thématique sont principalement réalisés par deux équipes : l'équipe « modélisation pour le vivant » du laboratoire IJCLab à Orsay et l'équipe « PRISME » de l'IP2I à Lyon. Chaque équipe a plusieurs thématiques de recherche propres et disjointes de celles de l'autre équipe :

1. Equipe 1, « modélisation pour le vivant » du laboratoire IJCLab. Cette équipe développe trois thèmes de recherche : la modélisation de la croissance tumorale dans les glioblastomes, la physique statistique des systèmes complexes et une approche de gestion d'images histologiques du cerveau sur de grands lots de données.
2. Equipe 2, « PRISME » du laboratoire IP2I. Cette équipe étudie les effets des rayonnements ionisants sur le vivant à l'échelle des atomes dès les premiers instants d'exposition jusqu'aux effets à long terme sur les sujets.

Ce n'est que tout récemment, dans le cadre du Masterprojet MOVI que les deux équipes ont commencé à collaborer sur la modélisation numérique.

Equipe 1 : « modélisation pour le vivant » de l'IJCLab

L'objectif de ces recherches est de modéliser la croissance tumorale des gliomes, tumeurs cérébrales infiltrantes, dont l'incidence est comprise entre 2 et 5 pour 100000 personnes. Le principal traitement est chirurgical mais la survie à un an est extrêmement faible. Comprendre l'évolution tumorale après chirurgie est une question primordiale. La modélisation de la croissance cellulaire apporte des informations sur le phénomène à plusieurs échelles spatiales. L'originalité du travail par rapport aux travaux menés sur le même thème par des équipes à l'international, provient du choix de s'appuyer sur des données expérimentales issues de mesures faites en interne par l'équipe ou de données de la littérature.

Les travaux de recherche sont réalisés en collaboration avec plusieurs partenaires :

- Au sein du laboratoire avec des biologistes de l'IJCLab sur la validation de modèles, et avec des théoriciens sur des aspects de physique statistique,
- Au niveau CNRS, avec des équipes de mathématiques,
- Avec des laboratoires externes au CNRS : centres de recherche cliniques et CHU en France, pour les aspects de validation de modèles
- Au niveau international à travers des collaborations avec le Japon et l'Espagne.

Equipe 2 : « PRISME » de l'IP2I

L'étude des effets des rayonnements ionisants dans le contexte des thérapies innovantes est une thématique éminemment importante en oncologie. L'originalité

des travaux réalisés ici tient à la prise en compte des échelles spatiales et temporelles des phénomènes étudiés, depuis l'instant T_0 de l'exposition au rayonnement et des dommages aux noyaux, jusqu'aux effets à long terme et à distance sur le patient traité. La modélisation multi-échelle spatiale et temporelle des processus physiques, chimiques et biologiques est un défi et un élément clé pour la compréhension des phénomènes et l'anticipation des effets à long terme. La modélisation de la dose biologique (prédiction du taux de cellules survivantes à une irradiation) est inspirée de méthodes statistiques.

Cette recherche est portée par une équipe resserrée de deux enseignants-chercheurs, un post-doctorant et un doctorant. L'équipe est pluridisciplinaire et composée de biologistes, de physiciens et de radiothérapeutes.

Les travaux de recherche sont réalisés en collaboration avec plusieurs partenaires :

- Au niveau local avec différents laboratoires lyonnais : ENS, LIRIS, CREATIS
- Au niveau national : LPC Clermont, LPSC, CIMAP, Subatech/Arronax
- Au niveau international à travers des collaborations avec l'Italie, l'Argentine et dans le cadre du réseau européen EURADOS.

10.2 Avis

Les travaux permettent d'aborder des questions de physique statistique tout à fait intéressantes du point de vue théorique. Les recherches apportent une certaine visibilité aux deux laboratoires et une certaine reconnaissance aux chercheurs de la qualité des résultats via :

- Un peu plus de 35 publications sur 5 ans pour l'IJCLab et 25 pour l'IP2I.
- Des collaborations externes, en particulier avec des centres hospitaliers, assez nombreuses.

Dans les deux laboratoires, les recherches sont réalisées par des équipes très resserrées, composées exclusivement de permanents universitaires : deux professeurs des Universités, deux professeurs émérites, un post-doctorant et deux doctorants ayant soutenu en 2019 et en 2020 pour l'équipe 1 ; et d'un professeur, un assistant professeur, un post-doctorant et un doctorant pour l'équipe 2. Enfin, les collaborations entre les deux équipes permettraient peut-être de partager des outils.

Il est à noter que ces deux équipes impliquées dans les activités de physique théorique pour la santé démarrent un nouveau projet consistant à développer un modèle à l'échelle mésoscopique de la réponse à l'irradiation (hadronthérapie) des tumeurs, dans le cadre de la nouvelle installation d'un IRM-Linac à Lyon.

Les deux équipes sont très fragiles du point de vue des ressources humaines. A moyen terme, une partie des ressources vont disparaître. Il n'y a pas d'investissement du CNRS en termes de ressources humaines permanentes.

Le Masterprojet MOVI, à l'origine de la collaboration entre ces deux équipes, a été arrêté. Il semble important malgré cela que les discussions et collaborations entre

ces deux groupes perdurent et s'accroissent. Le GDR MI2B qui structure les activités en lien avec la santé à l'IN2P3 est certainement le lieu pertinent pour que l'animation scientifique entre ces deux équipes soit renforcée afin de préserver ces axes de recherche.

L'obtention cette année par l'équipe de l'IJCLab d'un financement de la MITI intitulé « Modélisation mathématique et étude expérimentale des interactions irradiation-métabolisme dans les gliomes » est également une opportunité pour renforcer les liens déjà existants.

A plus long terme, ces travaux doivent permettre le développement des codes en science ouverte tel que Nanox ou encore GEANT4-DNA.

10.3 Présentation de la physique théorique en chimie

La chimie théorique concerne l'application des méthodes de la physique à des problèmes de chimie. Tout comme en physique nucléaire, différents types de méthodes peuvent être employées, allant des méthodes ab initio à la mécanique moléculaire, en passant par la théorie de la fonctionnelle de densité ou encore les méthodes semi-empiriques. L'utilisation de ces méthodes permet de prédire la structure atomique et moléculaire, la liaison, la réactivité, les propriétés physiques, la réponse spectroscopique.

Ces travaux de recherche sont réalisés dans 3 laboratoires de l'IN2P3: IJCLab à Orsay, IP2I à Lyon et Subatech à Nantes. Les effectifs sont très clairsemés, avec d'une part trois enseignants-chercheurs travaillant principalement sur des problématiques liées au solide (par exemple la description des interfaces solide/liquide ou encore les défauts et diffusion dans les matériaux irradiés). Ces activités sont le plus souvent en lien avec la thématique de l'énergie (matériaux pour le nucléaire, stockage des déchets nucléaires), et menés en collaboration avec des équipes nationales et internationales, expérimentales et théoriques.

D'autre part, un chercheur (R. Maurice) travaille sur la radiochimie moléculaire à Subatech. Le lien théorie expérience en radiochimie moléculaire a été renforcé via le Masterprojet RCT sur la période 2019-2021.

Ces travaux de recherche sont réalisés en collaboration avec plusieurs partenaires théoriciens et expérimentateurs :

- Au niveau local avec différents laboratoires : CEISAM (INC, Nantes), INSA MATEIS (Lyon)
- Au niveau national : avec des laboratoires de l'ANDRA, du CEA, de l'IRSN, de l'INC et de l'INP
- Au niveau international à travers des collaborations avec les USA, la Pologne, la Chine, la Turquie, la Russie et les Pays-Bas.

Au niveau national, outre le Masterprojet RCT, les équipes de la thématique sont intégrées dans différentes structures telles que le GDR SCINEE "Nuclear Sciences for Energy and the Environment" (IN2P3, INC), le programme interdisciplinaire

NEEDS (CNRS, partenaires industriels) ou encore dans la construction de la future fédération de recherche Thémisia (INC) prévue pour le 1^{er} janvier 2022.

Il est à noter que R. Maurice quittera l'IN2P3 au 1^{er} septembre 2021 en raison de sa mutation vers un laboratoire de l'INC, l'ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes). Ses activités de chimie fondamentale, parfois menées dans le contexte de la santé ou de l'environnement, seront donc transférées vers cet institut.

10.4 Avis

La problématique de la radioactivité dans l'environnement et des matériaux irradiés dans les réacteurs nucléaires est le domaine d'expertise des chercheurs de l'IN2P3 ayant des activités de chimie théorique, avec des résultats pouvant avoir un impact important sur l'industrie nucléaire. Une grande partie des projets sont d'ailleurs financés par des partenaires industriels français (ANDRA, Orano, Framatome, EDF, IRSN...). Les outils et méthodes développés dans le cadre de ces activités sont souvent les mêmes que ceux utilisés dans la physique théorique pour la structure et les réactions nucléaires.

Malgré les effectifs, la production scientifique est remarquable pour ces activités. Les activités des trois équipes sont visibles au niveau national et international et ont des collaborations fortes avec des équipes théoriques et expérimentales.

Suite au départ de R. Maurice, un repositionnement stratégique est souhaité. La radiochimie moléculaire théorique étant plus largement étudiée à l'INC et dans une moindre mesure à l'INP, le Conseil Scientifique recommande aux expérimentateurs de l'IN2P3 intéressés par ce type de modélisation de poursuivre et renforcer les interactions avec les autres instituts du CNRS (voire le CEA). Concernant les activités liées au solide, ces activités sont plus spécifiques de l'IN2P3 (notamment les défauts et la diffusion dans les matériaux irradiés) et il conviendra de veiller à ce qu'elles demeurent suffisamment soutenues pour subsister et se développer pleinement afin de guider à plus long terme les expérimentateurs de l'IN2P3. Pour cela, la poursuite du Masterprojet RCT (avec changement de coordinateur national et repositionnement stratégique vers le solide) ainsi que le recrutement d'un chercheur en section 13 pour développer les approches multi-échelles seraient nécessaire.

11. Conclusions scientifiques de l'atelier de physique théorique des 2 infinis : C. Smith

La présentation est disponible sur le site du CSI IN2P3 : <https://in2p3.cnrs.fr/fr/le-conseil-scientifique-de-lin2p3>

12. Commentaire général

Le Conseil constate que le soutien aux équipes théoriques avec la mise en place des Masterprojets dédiés a permis une visibilité accrue des équipes, et offre un bon retour sur l'investissement pour l'IN2P3.

Le Conseil juge très positivement la politique de recrutement de physiciens théoriciens à l'IN2P3. Le Conseil recommande de continuer sur cette voie.

13. Discussions internes au CSI

13.1 Discussions avec le président de la section 01

Nouvelles de la section

Le résultat des élections 2021 pour le renouvellement de la section 01 est présenté. Les membres nommés par la direction ne sont pas encore connus, R. Granier de Cassagnac encourage à envoyer des suggestions à la direction.

R. Granier de Cassagnac présente le bilan (en cours d'écriture) du mandat 2016-2021 de la section 01, dont voici quelques notes.

La composition des membres de la section 01 a beaucoup évolué pendant ce mandat, ce qui est considéré comme une richesse.

Les promotions en CRHC constituent une nouveauté pour ce mandat. L'âge moyen des CRHC aujourd'hui est de 56 ans. Beaucoup de jeunes CRCN à l'échelon 10 ne candidatent pas à CRHC. Être promu CRHC n'empêche pas de candidater à un concours de DR2 : il y a eu un exemple de passage CRHC à DR2.

Il y a eu 49 promotions en 5 ans, dont 41% de femmes promues, d'âge moyen égal à celui des hommes promus (tandis qu'au mandat précédent il n'y avait que 16% de femmes promues, avec un âge moyen de 4 ans plus vieux).

La promotion de DR1 à DRCE1 montre un goulot d'étranglement. En revanche, tous les DRCE1 promouvables sont promus en DRCE2. L'équilibre femme-homme a aussi été amélioré parmi les DR1.

Les concours CRCN ont abouti à 38 recrutements. Parmi eux on compte seulement 2 postes blancs, ce dont la section s'émeut : la section persiste à recommander à la direction d'ouvrir des postes non colorés. La section reçoit typiquement 160 dossiers par année, dont la moitié est auditionnée. Parmi ces 38 recrutements, on compte 29 thèses françaises, et seulement 4 parcours entièrement français.

La commission constate que la France récompense moins que d'autres pays, en terme de prix et de médailles. Il y a eu une tentative de demander au CNRS deux médailles de bronze pour l'année 2020, ce qui n'a pas fonctionné.

Le Conseil demande si traitement des créations d'unité par la commission (comme le cas d'IJCLab pendant le mandat) pourrait être amélioré. Faudrait-il des membres de la commission référents de laboratoire ? Des référents physiciens ont été mis en place pour l'IJCLab mais il n'y avait pas d'ITA. R. Granier de Cassagnac explique que le processus standard (tourniquet en parallèle de l'HCERES) n'a pas pu être suivi. Le 2^e tourniquet a aussi été retardé à cause de la situation sanitaire.

13.2 Discussions avec la direction

Point sur ISOLDE :

Les statuts de la collaboration ISOLDE sont en train d'être révisés. Il n'y a pas actuellement de comité de pilotage financier (« resource board »), ce qui manquait à la gouvernance, et il était difficile d'en discuter avec la collaboration. En conséquence les MoU ont été remis en question, par voie officielle via le CERN. Aujourd'hui des discussions ont lieu (l'IN2P3 n'était pas le seul institut à le demander). L'IN2P3 soutient ISOLDE, mais voudrait aussi avoir un poids plus fort dans le pilotage.

Le Conseil fait remarquer qu'il y a probablement eu des incompréhensions de la part de la collaboration face à cette décision. La direction souligne que cette action permet d'assainir la situation, et que les autres représentants ont adhéré très facilement à la proposition de l'IN2P3. Le système de financement précédent, par forfait, était très difficile à défendre.

Point sur le GANIL qui devient une UAR :

Dans le cadre de la simplification des structures de recherche CNRS, la structure administrative qui porte les personnels CNRS au GANIL devient une UAR (Unité d'Appui et de Recherches, anciennement UPR, Unité Propre de Recherche). Le GANIL est un GIE (Groupement d'Intérêt Économique) dans lequel CEA et CNRS affectent des personnels qu'ils gèrent chacun séparément, et le CNRS demande aux structures de changer de statut administratif. Selon la direction, l'inquiétude des chercheurs du GANIL (la peur de devenir une unité de service) vient d'un malentendu sur la signification de UAR : une UAR est une Unité d'Appui et de Recherches, et pas Unité d'Appui à la Recherche. La direction espère que la question est désormais réglée, et mentionne l'avis favorable de la section 01 donné à la modification du type de structure (session de printemps 2021).

Le Conseil demande à la direction ce qu'elle peut dire d'une grève qui a eu lieu au GANIL. La direction souligne d'abord que le contexte global de baisse des effectifs IT se fait sentir : le nombre d'IR est constant mais le nombre de techniciens a été divisé par trois en dix ans. Avec une nouvelle machine, la situation est tendue, ce qui explique pourquoi une vingtaine de postes supplémentaires est demandée.

Point sur le concours CNRS

La direction déclare que les affectations se sont bien passées. La plupart des premiers choix d'affectations ont été attribués (sauf pour deux candidats LHC, dont les premiers choix ATLAS et CMS ont été inversés).

Création d'une CID « Sciences et données »

L'IN2P3 a été à l'initiative de la création d'une nouvelle CID « Science et données », qui a été soutenue par d'autres instituts. L'IN2P3 avait jusqu'ici effectué quelques recrutements en section 6 (« Sciences de l'information : fondements de l'informatique, calculs, algorithmes, représentations, exploitations »), mais le double

profil « Science et données » sera mieux accepté dans une CID. Il s'agira de la CID 55.

Prochaines séance du CSI

La prochaine séance du CSI portera sur DUNE (pour avis) et HyperKamiokande (pour information). La partie DUNE comportera plusieurs présentations.

Le Conseil demande pourquoi DUNE et HyperKamiokande ne seront pas traités sur un pied d'égalité. Pour la direction, l'implication de l'institut est différente dans les deux projets, avec notamment un TGIR à préparer pour DUNE. Un point possible sur JUNO est évoqué, mais le Conseil et la direction s'accordent à préférer un petit nombre de présentations.

Le retour sur le colloque de prospectives IN2P3 est déplacé à la session de février 2022.

Retour sur les plateformes labellisées

J.-L. Biarotte présente un retour sur les plateformes IN2P3 examinées en séance de février 2020. Pour la direction, l'enjeu est de renforcer leur excellence scientifique, améliorer l'ouverture des plateformes, et de les pérenniser.

Les recommandations générales du Conseil sont utilisées en ce sens. Une phrase définie pour remercier les plateformes dans les publications est en train d'être mise en place. Un manuel des utilisateurs est aussi en train d'être mis en place. Le coût consolidé est maintenant pris comme base de travail par les plateformes pour la tarification. Des discussions ont eu lieu avec les co-tutelles universitaires pour encourager les missions de formation. Le point des coûts de fonctionnement (gratuits ou pas pour l'IN2P3) nécessite encore d'être précisé au cas par cas, car beaucoup d'autonomie dans la recherche des budgets est demandée aux plateformes ; cependant un accès privilégié pour les utilisateurs IN2P3 est acquis. Dans le cadre de la politique des données en libre accès, il y a maintenant obligation de mettre en place un plan de gestion des données. Pour améliorer la visibilité et communication, un portail des plateformes avec les offres de faisceau est maintenant disponible.

En ce qui concerne la mutualisation des ressources des plateformes à l'IJCLab, de premières actions sont mises en place. La direction est en attente d'un projet complet de la part de la direction d'IJCLab.

Le travail d'amélioration de certaines installations d'ALTO retarde l'exploitation d'opportunités sur les faisceaux radioactifs. La ligne ANAFIRE à Lyon a été fermée et récupérée pour être installée à ALTO. Une réflexion est en cours visant à accroître la coordination entre ALTO et le GANIL, et ALTO pourrait être labellisée plateforme nationale.

AIFIRA souffre de certaines difficultés en terme de ressources. Des discussions avec le CENBG et l'Université de Bordeaux sont en cours pour améliorer la viabilité de son modèle économique, avec la proposition d'une nouvelle plateforme regroupant AIFIRA et deux autres plateformes ainsi qu'une cellule de valorisation.

Question portant sur la présente séance sur la théorie

Le Conseil questionne la direction sur l'attribution régulière de postes de chercheurs aux thématiques de théorie en section 01, tandis que les autres théoriciens sont recrutés en section 02. La direction fait remarquer que le poids de la physique des particules en section 02 a beaucoup diminué. Les recrutements par ce biais ne suffisent pas aux besoins de l'IN2P3, notamment pour remplacer les départs en retraite.

13.3 Vie du Conseil

Discussion sur le rapport pour cette séance

Le Conseil discute des questions posées par la direction sur la théorie et des recommandations générales présentées au paragraphe 12 du présent document.

Vote d'une modification au compte rendu de la séance du CSI de février 2020

Approuvée à l'unanimité.