

Remise du Prix Thibaud le mercredi 14 décembre 2022 à 18h00
à l'Hôtel-de-Ville de Villeurbanne



Mercredi 14 octobre 2022
Programme de la séance
Mairie de Villeurbanne
Projet capitale française
de la culture 2022.

17h30 : accueil

18h : mot d'accueil par **Cédric Van Styvendael**,

Maire de Villeurbanne

18h05 : mot d'accueil par **Georges Boulon**,

Président de l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon (asbla-Lyon)

18h10 : Introduction par **Etienne Ghys**,

Secrétaire perpétuel [Académie des sciences](#)

18h20 : Conférence de **Guy Wormser**, Président de la Société Française de Physique :

« *Les grandes questions ouvertes en physique des particules et comment y répondre* ».

19h : Remise du diplôme de membre d'honneur associé de l'Académie asbla-Lyon à Guy Wormser

19h10 : Présentation du **prix Thibaud**, son histoire et remise du prix aux deux lauréats par **Guy Chanfray**

19h15 : Remise du prix Thibaud à **Anthea Fantina** :

Présentation de la lauréate

Réponse de la lauréate

19h35 : Remise du prix Thibaud à **Julien Billard** :

Présentation du lauréat

Réponse du lauréat

20 h : cocktail offert par la Mairie de Villeurbanne

L'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon est l'une des 32 académies en régions réunies sous l'égide de l'*Institut de France* dans la Conférence Nationale des Académies. Elle décerne tous les deux ans le *prix Thibaud*, récompensant deux jeunes chercheurs, expérimentateurs ou théoriciens, qui se sont particulièrement illustrés dans le domaine de la physique du noyau atomique, des particules ou des astroparticules.

Cette année une séance délocalisée de l'Académie a été organisée le mercredi 14 décembre 2022 à 18h00 à l'Hôtel-de-Ville de Villeurbanne, Place du Dr Lazare Goujon, dans le cadre du *Projet capitale française de la culture 2022*.

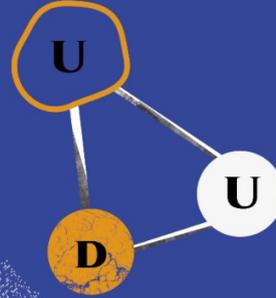
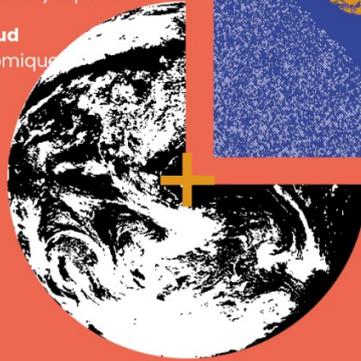
"PRIX THIBAUD 2022"

Accueil par le maire de Villeurbanne
Cédric Van Styvendael

Intervention d'Étienne Ghys :
secrétaire perpétuel de l'Académie
des sciences

Conférence de **Guy Wormser :**
président de la Société française de physique
Les grandes questions ouvertes en physique
des particules et comment y répondre

Remise du Prix Thibaud
physique du noyau atomique
des particules
des astroparticules et
sur la cosmologie



HÔTEL-DE-VILLE DE VILLEURBANNE
Projet capitale française de la culture 2022

ACCUEIL À PARTIR DE 17H30

**MERCREDI
14 DEC.**

SÉANCE À 18H

Présidée par Georges Boulon,
président de l'Académie des sciences,
belles-lettres et arts de Lyon.

Discours d'accueil de Georges BOULON

Monsieur l'adjoint au maire pour la culture les universités et la vie étudiante,
Chères Consœurs, Chers Confrères, Chers Collègues, Mesdames et Messieurs,

Monsieur Stéphane FRIOUX, adjoint au maire pour la culture les universités et la vie étudiante, au nom de l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon, que j'ai le plaisir de présider en 2022, je veux vous remercier très sincèrement d'avoir accepté d'organiser cette séance spéciale délocalisée du Palais Saint-Jean à la Mairie de Villeurbanne.

Nous sommes ravis et très honorés de contribuer ce soir au projet de Villeurbanne, capitale française de la culture 2022, accordé par le Ministère de la Culture.

Votre accueil, très chaleureux, des créations tout en couleur des célèbres « Allumeurs de Rêves », projetées ce soir sur la façade de l'Hôtel de Ville, est bien adapté aux objectifs des membres de notre Académie vis-à-vis de leurs recherches et de l'encadrement de leurs étudiants.

En fait, nous sommes aussi des allumeurs de rêves.

Les relations entre Lyon et Villeurbanne sont étroites à bien des égards tout particulièrement dans le domaine universitaire.

Ainsi, la vie de nombreux scientifiques se déroule à la fois à Lyon et sur le beau Campus de la Doua où il est agréable de travailler surtout après sa rénovation et les travaux d'aménagement récents très réussis.

Finalement nous vivons et travaillons tous à la [Métropole de Lyon](#), dont **Monsieur Cédric VAN STYVENDAEL**, Maire de [Villeurbanne](#), est aussi vice-président chargé de la Culture.

Ce soir nous avons l'honneur d'attribuer le Prix Thibaud, récompensant deux jeunes chercheurs qui se sont particulièrement illustrés dans le domaine de la physique du noyau atomique, des particules ou des astroparticules. C'est mon collègue de l'université et confrère de l'Académie, Guy Chanfray, qui le remettra dans quelques instants.

Au nom de l'Académie j'ai le plaisir de vous offrir le dictionnaire et le livre de Louis David, un éminent géologue, ancien membre de l'Académie.

Je souhaite relever qu'à cette occasion nous recevons deux personnalités scientifiques françaises éminentes :

Étienne GHYS

Mathématicien. Directeur de recherche émérite au CNRS. A contribué à la création et au développement du laboratoire de mathématiques de l'École normale supérieure de Lyon. Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences pour la première division (sciences mathématiques et physiques, sciences de l'univers, et leurs applications) depuis le 1^{er} janvier 2019.

Depuis 2018, vous appartenez au [conseil scientifique de l'Éducation nationale](#) A l'Académie nous sommes fiers de vous compter également parmi les membres titulaires de l'Académie des Sciences, belles Lettres et Arts de Lyon depuis 2013.

Vous vous êtes investi dans plusieurs actions de diffusion, comme la réalisation de films mathématiques. Vous êtes encore le fondateur et le rédacteur en chef de 2009 à 2014 de la revue en ligne [Images des mathématiques](#), soutenue par le CNRS, qui fait découvrir au plus grand nombre la recherche mathématique contemporaine et son environnement.

Vous avez reçu le [Prix Clay de diffusion des mathématiques](#) en 2015. Vous venez juste de recevoir aussi, il y a un mois à Paris, la médaille de la médiation scientifique du CNRS qui récompense votre contribution remarquable au développement de la diffusion des mathématiques en France.

Nous sommes heureux de vous offrir un ouvrage édité par notre académie sur Pierre Poivre, botaniste français du XVIII^{ème} siècle qui a parcouru les océans avec pour but d'améliorer le bien-être humain tout en respectant l'environnement déjà menacé à son époque. Nous avons consacré récemment une séance spéciale à Pierre Poivre.

Guy WORMSER

Directeur de recherche au CNRS au laboratoire Irène Joliot Curie d'Orsay et actuel président de la Société Française de physique. Guy Wormser, est une grande figure de la physique des particules française.

Vous avez été notamment directeur du Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire à Orsay, un navire amiral français de la physique des particules. Vous avez également exercé les fonctions de Directeur Adjoint Scientifique de l'In2p3, un des dix instituts du CNRS qui a pour mission le développement et la coordination des recherches poursuivies dans le domaine de ce que l'on appelle désormais la physique des deux infinis (IP2I), l'infiniment petit : la physique nucléaire et la physique des particules et l'infiniment grand : la physique des

astroparticules et la cosmologie. On peut penser que le CNRS a voulu également créer une terminologie d'allumeurs de rêves.

Guy Wormser vous avez participé à plusieurs grandes collaborations expérimentales qui ont marqué l'histoire de la physique des particules parmi lesquelles les expériences DELPHI (CERN), BABAR (SLAC à Stanford) et LHCb (CERN). Au-delà de vos contributions scientifiques majeures, en particulier dans le domaine dit de la physique de la saveur, on pourrait citer la première mesure de violation de la symétrie CP dans le système des mésons B et de son rôle majeur dans le développement des grilles de calcul en France et en Europe, je voudrais dire que Guy Wormser a joué dans les dernières décennies un rôle très important dans les discussions de stratégie scientifique au niveau mondial.

Guy Wormser a en effet dirigé ou été membre de très nombreux comités internationaux, conseils scientifiques ou de prospectives scientifiques et technologiques en Europe ou aux Etats-Unis tels que le Comité Européen des futurs accélérateurs où il a été, de 2013 à 2019, comme dans beaucoup d'autres instances, la voix de la France dans ce domaine.

Je voudrais également souligner que Guy Wormser a un attachement particulier au prix Thibaud et par suite à notre Académie de Lyon. Il est lui-même un ancien lauréat et a été pendant plusieurs années un membre très impliqué du jury de ce prix.

Ce soir nous vous remercions chaleureusement d'avoir accepté de prononcer une conférence intitulée : *Les grandes questions ouvertes en physique des particules et comment y répondre.*

Remise du Diplôme de Membre d'honneur associé de l'Académie des sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon à Guy WORMSER.

Au nom de l'Académie nous avons le plaisir de vous offrir le dictionnaire des académiciens depuis 1700 et le livre de Louis David, un éminent géologue lyonnais, ancien membre de l'Académie.

Présentation du prix et des lauréats par Guy CHANFRAY

Monsieur le Président,

Chères Consœurs, Chers Confrères, Chers Collègues, Mesdames et Messieurs,

Avant de présenter les lauréats, je vais rappeler en quelques mots l'origine et la nature de ce prix. Jean THIBAUD (1901-1960) fut le fondateur de l'Institut de Physique Atomique de Lyon qui deviendra en 1961, il en était l'inspirateur, l'Institut de Physique Nucléaire (IPNL) de Lyon devenu très récemment l'Institut de Physique des deux Infinis de Lyon (IP2I). Il fut élu Membre de l'Académie des Sciences Belles-Lettres et Arts de Lyon en 1938 (il avait 37 ans) et président de cette Académie en 1947 (il avait 46 ans).

Jean Thibaud était un physicien brillant, expert en instrumentation, tout en ayant aussi des connaissances théoriques de pointe. A ce propos, pour parler de ses résultats les plus marquants, on peut revenir au début des années trente, période de grande effervescence avec la proposition par Paul Dirac de la première théorie combinant la mécanique quantique et la relativité d'Einstein qui suscitait beaucoup de scepticisme mais qui prédisait l'existence d'antiparticule; l'électron posséderait un alter-ego de charge opposée que l'on appellera le positron. Suite à la découverte effective du positron dans le rayonnement cosmique par Anderson en 1932, la propre découverte la plus connue de Jean Thibaud est celle, en 1933, de l'annihilation prédite par Dirac du positron dans la matière, après en avoir précisé sa charge

spécifique par sa fameuse méthode de la trochoïde. Et cela tout en faisant explicitement référence à la prédiction théorique de Dirac à la différence de beaucoup d'autres dont Anderson lui-même qui soulignera son apport fondamental dans son discours de réception Nobel en 1936; Thibaud avait alors seulement 35 ans.

Cet atomiste lyonnais du XX^e siècle montra tout particulièrement son intérêt pour notre académie en la faisant bénéficier d'un legs important qui a permis la création d'un prix biennal, le Prix Jean Thibaud. Ce prix, décerné depuis 1963, récompense **deux jeunes chercheuses ou chercheurs qui se sont particulièrement illustrés dans le domaine de la physique du noyau atomique, des particules ou des astroparticules, au niveau expérimental ou théorique. Et ayant acquis une réputation internationale.**

Les lauréates et lauréats doivent être âgés de 30 à 40 ans, être engagés depuis plusieurs années par un organisme de recherche français (CEA, CNRS, Université...) et par suite avoir une activité de recherche rattachée depuis plusieurs années à un laboratoire français.

Il s'agit d'un prix jouissant d'une excellente reconnaissance nationale avec une liste de 62 lauréats de 1963 à 2022 qui ont réalisé un très beau parcours scientifique et occupé très souvent de très hautes responsabilités. On peut mentionner un des tout premier lauréat, Edgar Elbaz (1965), futur directeur de l'IPNL, qui a plus tard beaucoup œuvré pour faire venir le centre de calcul de l'IN2P3 à Villeurbanne. Evoquons aussi les deux lauréats de 1975, Jean-Jacques Aubert (futur directeur de l'IN2P3) et Jean-Eudes Augustin (futur directeur de l'IPNL) acteurs au sein de deux collaborations aux Etats-Unis de la découverte simultanée du 4^e quark « charmé », évènement marquant de l'histoire de la physique des particules, d'une importance telle qu'elle fut qualifiée de « révolution de novembre 1974 ». L'édition de 1985 récompensa Michel Spiro (futur directeur de l'IN2P3 et président du conseil du CERN) et Joseph Rémillieux (futur lauréat du grand prix de la société française de physique, connu pour la canalisation d'électrons et d'ions lourds et pour l'hadronthérapie) et celle de 1993 récompensa Guy Wormser qui nous a fait l'honneur aujourd'hui de participer à cette cérémonie. D'autres dans la période récente se sont distingués, après avoir reçu le prix Thibaud, par l'obtention d'autres distinctions. C'est le cas de nos deux Prix Thibaud 2014 avec François Gelis qui a obtenu le prix Langevin 2015 de la SFP et Elias Khan qui a obtenu la médaille d'argent 2016 du CNRS (qui distingue un chercheur pour l'originalité, la qualité et l'importance de ses travaux reconnus sur le plan national et international).

Cette année nous avons 8 candidat(e)s dont l'âge moyen est de 37 ans, travaillant dans des laboratoires français, et répartis entre théoriciens (3) et expérimentateurs (5). Ces candidatures ont été examinées par un jury composé de 10 membres. On y note par exemple la présence de la récente présidente du conseil du CERN, couvrant tous les domaines de physique relatifs à ce prix ainsi que 3 membres de notre Académie.

Dans sa séance plénière du 22 novembre 2022, le jury dont la composition est donnée ci-dessous, a retenu, au terme d'un choix particulièrement difficile du fait de la très haute qualité de toutes les candidatures, comme lauréats du prix Thibaud 2022

- **Madame Anthea FANTINA**, chercheuse CNRS au Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, Caen

- **Monsieur Julien BILLARD**, chercheur CNRS à l'Institut de Physique des 2 Infinis de Lyon

Présentation de Madame Anthea FANTINA

- Anthea Fantina, âgée de 40 ans, a été récompensée pour ses travaux remarquables se situant à l'interface de l'astrophysique et de la physique nucléaire théorique tout en participant à la définition de programmes expérimentaux associés avec des physiciens du GANIL. Son travail de thèse en 2010 effectué en cotutelle entre l'université de Milan et d'Orsay portait sur l'étude des mécanismes nucléaires et électrofaibles transformant les protons en neutrons conduisant aux très violents phénomènes de supernovae à effondrement gravitationnel caractérisant la fin de vie des étoiles les plus massives donnant naissance aux étoiles à neutrons.

Ceci a été le point de départ, comme le jury l'a souligné, de travaux importants concernant l'impact des propriétés de la matière nucléaire et sa modélisation dans des environnements astrophysiques extrêmes, aidée en cela par sa maîtrise des outils numériques. Elle est très connue pour un travail de référence effectué lors de son séjour post-doctoral à Bruxelles parvenant à une description unifiée des différentes couches des étoiles à neutrons, ces astres extraordinairement denses d'une masse voisine de celle du soleil et d'un diamètre voisin de la taille de la métropole lyonnaise.

Depuis son arrivée au GANIL en 2015, et jouissant d'une réputation internationale croissante, c'est sur ces mêmes objets que se concentrent ses activités. Le jury a particulièrement apprécié ses travaux les plus récents concernant un modèle de l'écorce des étoiles à neutrons, construit de façon cohérente avec leur cœur. Ceci lui a permis de proposer un outil numérique rendant compte de l'impact de la microphysique nucléaire sur signal d'ondes gravitationnelles lors de la coalescence de deux étoiles à neutrons, outil appelé à être utilisé par les observatoires d'ondes gravitationnelles Ligo/Virgo/Kagra. Devenue en outre membre à part entière de la collaboration VIRGO, elle joue un rôle particulièrement important par son action à l'interface de différentes communautés, via notamment ses responsabilités dans différentes structures visant à les fédérer.

Cela s'ajoutant à près de 35 publications et une multitude de présentations de conférences avec de surcroît un effort constant de diffusion des connaissances.

Réponse de Madame Anthea Fantina

Je vous remercie beaucoup pour cette introduction et je remercie les membres de l'Académie, le jury, et celles et ceux qui ont proposé mon nom pour ce prix. Je suis très honorée et heureuse de recevoir le prix Thibaud et je suis également ravie de pouvoir vous présenter quelques-uns de mes travaux récents concernant l'étude des objets compacts. Ces travaux sont bien sûr le résultat de travaux collectifs, effectués dans le cadre de collaborations, nationales et internationales, et du travail d'excellente qualité de jeunes chercheuses et chercheurs, doctorants et postdoctorants, et je profite d'ailleurs de cette occasion pour remercier énormément mes collaboratrices et collaborateurs pour leur confiance pendant ces années.

Comme cela a été présenté, mon travail vise à étudier les propriétés des noyaux et de la matière dense dans les conditions extrêmes qui règnent à l'intérieur des supernovæ à effondrement de cœur et des étoiles à neutrons. Les premières représentent le stade ultime de l'évolution stellaire des étoiles massives avec des masses supérieures à environ 8-10 fois la masse du Soleil. Ayant entièrement consommé le combustible thermonucléaire dans leur cœur, ce dernier s'effondre sous l'action de la gravité, jusqu'à atteindre des densités si élevées que la composante répulsive des forces nucléaires entre en jeu. Ainsi, le cœur rebondit, produisant une onde de choc qui finalement éjecte les couches extérieures de l'étoile donnant lieu à l'explosion et à la naissance d'un résidu compact : une étoile à neutrons, un objet ayant environ la même masse que le Soleil et un rayon d'environ une dizaine de kilomètres. Les objets compacts sont parmi les objets astrophysiques les plus complexes qui soient. Leur modélisation requiert des théories élaborées de la physique nucléaire et des particules, ainsi

que de la relativité générale, de l'hydrodynamique ou encore de la physique des plasmas. Les conditions physiques au sein de ces objets sont si extrêmes qu'il est actuellement très difficile de les reproduire en laboratoire et des modèles théoriques sont nécessaires : les températures peuvent monter jusqu'à des milliers de milliards de degrés et la masse volumique peut atteindre plusieurs fois celle d'un noyau atomique de sorte que de nouvelles particules comme des hypérons (des particules dites « étranges ») voire des quarks déconfinés pourraient faire leur apparition. L'emploi dans les simulations astrophysiques de données de physique nucléaire les plus microscopiques possibles, s'appuyant sur les mesures expérimentales les plus récentes, est essentiel pour une interprétation fiable des observations astrophysiques. Cela implique une modélisation « multi-échelle », une interaction entre « deux infinis », l'infiniment grand et l'infiniment petit, la microphysique (la physique nucléaire) jouant un rôle important sur les propriétés macroscopiques de ces objets astrophysiques. Je vous montrerai par la suite deux exemples dans lesquels cette interaction intervient de façon importante : la modélisation du cœur de supernova lors de son effondrement gravitationnel et celle des étoiles à neutrons.

Je commencerai par la modélisation du cœur de supernova. La composition de la matière pendant l'effondrement est très importante, car c'est la section efficace de capture d'électrons (c'est-à-dire la probabilité de réaction de transformation d'un proton en neutron avec émission d'un neutrino) sur les noyaux présents dans la matière qui détermine la production des neutrinos qui, à leur tour, gouvernent la dynamique d'explosion de l'étoile. Nous avons effectué des simulations hydrodynamiques d'effondrement et montré que les noyaux contribuant de façon la plus importante à la capture d'électrons se situent autour de noyaux dits « magiques » (c'est-à-dire caractérisés par un nombre de protons et neutrons leur conférant une stabilité accrue par rapport aux autres noyaux), en particulier ayant un nombre de neutrons autour de 50. Néanmoins, les propriétés de ces noyaux riches en neutrons sont méconnues expérimentalement. Nous avons ainsi proposé, en collaboration étroite avec les collègues expérimentateurs du GANIL, une expérience pour mesurer la masse de certains de ces noyaux. Dans cette expérience, réalisée en Finlande, les masses nucléaires ont été obtenues *via* la mesure précise de la fréquence d'oscillation des ions « piégés » dans une cavité avec champ magnétique. Des expériences comme celle-ci permettent de fournir des données nucléaires plus fiables pouvant ensuite être employées dans les simulations de supernovæ.

Un deuxième scénario astrophysique où la physique nucléaire joue un rôle essentiel est celui de la modélisation des étoiles à neutrons. La structure d'une telle étoile, si elle est isolée et relativement froide (c'est le cas d'étoiles à neutrons « vieilles », qui ont eu le temps de se refroidir depuis leur naissance), est régie par l'équilibre hydrostatique, la gravité étant contrebalancée par la pression de la matière composant l'étoile. Cette pression est différente en chaque point de l'étoile, une pression et une densité plus élevées étant atteintes au centre. La relation entre pression et densité, aussi appelée équation d'état, nous permet donc de déterminer la structure de l'étoile, la relativité générale imposant une correspondance bijective entre l'équation d'état et les propriétés statiques de l'étoile, comme leur masse et rayon, ou encore leur déformabilité sous effet de marée, c'est-à-dire la déformation ressentie par l'étoile à neutrons lorsque deux d'entre elles sont proches, juste avant leur coalescence. D'ailleurs, cette déformabilité peut être mesurée grâce aux ondes gravitationnelles, déformations de l'espace-temps dues aux effets de la relativité générale. Une telle détection constitue un véritable défi, scientifique et technologique, car il s'agit de mesurer un signal très faible : la modification de la distance parcourue par la lumière due au passage d'une onde gravitationnelle est si infime qu'elle équivaut à une variation de la dimension de la Terre de la

taille d'un atome. La première observation d'ondes gravitationnelles, extraordinaire confirmation de la prédiction théorique d'Einstein au début de 1900, a eu lieu en 2015 avec la coalescence de trous noirs, grâce aux interféromètres LIGO aux États-Unis. En 2017, conjointement avec l'interféromètre Virgo en Italie, la détection de signaux d'ondes gravitationnelles produits par la coalescence d'étoiles à neutrons a fourni les toutes premières mesures de leur déformabilité. Cette découverte a été suivie par l'observation de signaux électro-magnétiques (en rayons gamma, X, etc.) depuis différents télescopes et satellites. Leur analyse a confirmé les prédictions théoriques selon lesquelles des éléments plus lourds que le fer sont formés lors de ces événements astrophysiques. Cet événement a non seulement ouvert une toute nouvelle fenêtre d'observation sur l'Univers mais a également donné naissance à l'astronomie dite « multi-messagère ».

Néanmoins, décrire de façon cohérente les différents états de la matière à l'intérieur des étoiles à neutrons, et fournir ainsi des équations d'état dites unifiées, représente un énorme défi théorique, qui est aussi mon objectif, avec mes collaborateurs. Nous avons ainsi calculé de telles équations d'état, compatibles avec nos connaissances en physique nucléaire (théorique et expérimentale), et les avons utilisées pour prédire des observables astrophysiques telles que les masses, rayons, et déformabilités des étoiles à neutrons. Nous avons ainsi pu directement comparer ces prédictions avec les observations comme celles obtenues par la collaboration LIGO-Virgo-KAGRA, collaboration (Virgo) que j'ai rejointe en 2021. Ces comparaisons permettent aussi de pouvoir discriminer les modèles théoriques incompatibles avec les observations et d'en déduire d'importantes informations sur les propriétés de la matière dense. À terme, le but serait de pouvoir utiliser ces modèles d'équations d'état directement dans la prédiction des signaux d'ondes gravitationnelles.

En outre, l'équation d'état est un ingrédient essentiel dans plusieurs autres scénarios astrophysiques ; c'est le cas des systèmes binaires dans lesquels une étoile à neutrons accrète de la matière d'une étoile compagne de faible masse (par exemple, une naine blanche ou une étoile de la séquence principale). L'accrétion modifie en profondeur la composition et les propriétés de l'écorce de l'étoile à neutrons. Nous avons ainsi calculé des équations d'état cohérentes pour décrire ce type d'étoiles. Ces équations d'état peuvent être employées pour prédire les courbes de lumière de ces systèmes après des sursauts X. Inversement, la comparaison de ces prédictions avec les observations astrophysiques existantes fournit des informations sur l'équation d'état.

Toutefois, de nombreuses questions sur les propriétés de la matière dense dans les objets compacts restent ouvertes. Pour avancer dans cette quête, une synergie entre plusieurs disciplines est nécessaire. D'une part, les données actuelles et futures obtenues dans les laboratoires de physique nucléaire, ainsi que les récentes avancées en physique nucléaire théorique, peuvent nous communiquer des informations importantes sur les propriétés de la matière jusqu'à une ou deux fois la densité des noyaux. D'autre part, les futures observations astrophysiques, avec les détecteurs et instruments actuels et ceux de nouvelle génération, fourniront des informations de plus en plus nombreuses et précises, notamment sur les coalescences d'étoiles à neutrons, ce qui permettra de mieux comprendre les propriétés de la matière à très haute densité. Dans ce cadre, le nouveau projet de Télescope Einstein, actuellement dans sa phase préparatoire et que j'ai rejoint en 2022, apportera des données uniques pour dévoiler la nature de la matière dense. L'emploi de données de physique nucléaire plus fiables dans les simulations astrophysiques permettra non seulement d'améliorer la prédiction et l'interprétation des signaux astrophysiques, mais également de répondre à des questions fondamentales telles que : existe-t-il une transition de phase vers une

matière de quarks déconfinés ? Les théories alternatives de la gravitation sont-elles viables ? Quels sont les sites astrophysiques à l'origine des éléments ? La réponse à ces questions représente un défi de taille qui requiert un effort au niveau international, auquel j'espère pouvoir contribuer au mieux de mes capacités dans les années à venir.

Présentation de Monsieur Julien BILLARD

- Julien Billard, âgé de 36 ans et chercheur CNRS à l'Institut de Physique des deux Infinis de Lyon, a été récompensé pour ses travaux remarquables et d'une très grande variété dans le domaine de la physique des astroparticules concernant la recherche de la matière noire et de la nouvelle physique associée, avec des développements techniques et instrumentaux de pointe, l'utilisation de méthodes d'analyse modernes et des travaux phénoménologiques remarquables.

Julien Billard, après sa thèse en 2012 au LPSC Grenoble portant déjà sur la détection directe de cette nécessaire mais pourtant mystérieuse matière noire, a effectué un séjour post-doctoral de deux ans au prestigieux MIT où, à côté de travaux d'analyse remarquables, il a effectué un travail fondamental non moins remarquable sur le processus de diffusion cohérente (ou rebond) des neutrinos sur les noyaux du détecteur, neutrinos issus du soleil et des rayons cosmiques, qui constitue le fond quasi irréductible pour la recherche de matière noire.

Depuis son arrivée à Lyon en 2015, ses prises de responsabilités majeures dans l'expérience EDELWEISS de recherche directe de matière noire et une R&D ayant conduit à une nouvelle technologie de détecteurs très bas seuil mis en opération actuellement, ont démontré une maturité scientifique croissante, le mot est faible, que le jury a tenu à souligner. Ceci a valu à Julien Billard d'être déjà récompensé par la médaille de bronze du CNRS en 2019 et s'est aussi traduit par l'obtention d'un financement européen ERC conséquent pour mener à bien la construction du détecteur Cryocube pour des recherches de nouvelle physique et pour mesurer précisément le processus de diffusion cohérente (le rebond) des neutrinos sur les noyaux, détecteur qui sera installé auprès du réacteur de l'ILL à Grenoble. Le jury a aussi pu mesurer la capacité de ce jeune chercheur à fédérer des équipes comme en témoignent la mise en place et la direction de la collaboration internationale qui en a résulté, RICOCHET, proposant un programme riche de recherche de nouvelle physique tout en constituant une étape cruciale pour la mise en évidence du « fond irréductible neutrino ». Je terminerais en ajoutant que cela lui vaut déjà une très grande notoriété internationale grâce aussi à un impressionnant registre de publications et qui lui vaut aussi d'être sollicité dans des structures internationales de perspectives scientifiques, tout en assurant lui aussi un effort constant dans la diffusion des connaissances.

Réponse de Monsieur Julien Billard

Tout d'abord un grand merci pour votre introduction. Je remercie également très chaleureusement les membres de l'Académie des Sciences, des Arts et des Belles Lettres de Lyon de m'honorer en m'attribuant le prix Thibaud 2022. Je tiens également à remercier les personnes qui ont proposé ma candidature à cette prestigieuse distinction. Avant de rentrer dans le détail de mes récents travaux qui m'ont amené à être aujourd'hui devant vous, je tiens à remercier l'ensemble de mes collaborateurs sans qui ces résultats n'auraient pas pu être obtenus. Tout particulièrement, je remercie mes collègues du groupe MANOIR de l'IP2I, les membres des expériences EDELWEISS et Ricochet, et les différents services techniques de l'IP2I ainsi que sa direction pour son soutien continu et leur confiance.

Comme cela a été présenté lors de votre introduction, le cœur de mon travail vise à tenter de résoudre le mystère de la matière noire. En effet, depuis un peu plus d'une décennie nous sommes entrés dans une nouvelle aire, celle de la cosmologie de précision. En étudiant un grand nombre de phénomènes astrophysiques et cosmologiques, se situant à différentes échelles de temps et d'espace, nous sommes arrivés à déduire la carte d'identité de notre Univers. C'est alors que nous constatons que ce dernier est principalement sombre. Il est en effet constitué à 69% d'énergie noire, dont nous ignorons l'origine, et à 26% de matière noire dont la nature nous échappe encore à ce jour. Cela signifie que nous ne connaissons modestement que 5% de son contenu matière-énergie sous forme de matière dite ordinaire (électron, neutron, proton, ...). A l'échelle plus locale, la preuve de l'existence de matière noire dans nos galaxies spirales provient des mesures de leurs courbes de rotation. En mesurant la vitesse de rotation des objets, tels que les étoiles et les nuages d'hydrogène, gravitant autour du centre de notre galaxie, nous pouvons inférer la répartition de sa masse en fonction de la distance au centre galactique. Ainsi, dans le cas où nous faisons l'hypothèse d'une galaxie dont seules ses étoiles et autres objets visibles contribuent à sa masse, on s'attend à ce que sa vitesse de rotation diminue au-delà de son disque baryonique. Cependant, nous observons très clairement, et sur un grand nombre de galaxies, une vitesse de rotation constante suggérant alors deux possibilités : soit notre modèle de la gravitation est erroné, soit il existe une composante supplémentaire à la masse totale de nos galaxies qui serait invisible. C'est en combinant ces observations locales, avec toutes les autres observations astrophysiques et cosmologiques, que l'on arrive à la conclusion que seule la seconde hypothèse est viable. On peut alors s'imaginer la matière noire à l'échelle locale comme constituant un gaz de particules englobant notre galaxie et dont la masse totale serait 10 fois supérieure à cette dernière. Gravitant autour du centre galactique à environ 220 km/s à travers ce halo de matière noire, on peut calculer que le flux de cette dernière sur Terre est d'environ cent-mille particules par seconde et par centimètre carré ! Naturellement, la raison pour laquelle ce « vent intense » de matière noire ne nous affecte pas directement provient du fait qu'elle n'interagit que très peu, voire peut être pas, avec la matière ordinaire dont nous sommes constitués.

C'est alors que Goodman et Witten ont eu l'idée géniale de proposer de détecter la matière noire de manière dite directe, c'est-à-dire *via* son interaction avec les atomes de nos détecteurs de particules. En effet, bien que l'interaction de la matière noire avec la matière ordinaire soit faible, tant que cette dernière est non-nulle, on doit pouvoir, grâce à son flux intense sur terre, détecter ses interactions, même rares, avec la matière ordinaire. La détection directe de matière noire consiste ainsi à exposer un détecteur ultra-sensible à ce flux de matière noire intense et continu, puis à espérer que parmi ces milliards de particules qui le traversent chaque jour, une ou quelques-unes d'entre-elles interagissent avec ses atomes sous formes d'une simple collision élastique dont l'énergie du choc pourra être mesurée par ses capteurs. Cependant, il existe un grand nombre d'autres particules, issues de la radioactivité ambiante ou émises par le Soleil, qui vont également interagir avec nos détecteurs et potentiellement masquer la détection de matière noire. C'est pour se prémunir de ces bruits de fond que les expériences de détection directe de matière noire, telles qu'EDELWEISS dont je suis un des collaborateurs, sont enfouies sous les montagnes. En effet, avec leur kilomètre de roche de protection, ces dernières vont très efficacement stopper les particules issues du Soleil et du rayonnement cosmique. Mais ce n'est pas tout ! Même au cœur des montagnes, il faut encore se protéger contre la radioactivité environnante. C'est pourquoi EDELWEISS a un blindage supplémentaire autour de ses détecteurs d'environ 40 tonnes de plomb et de polyéthylène. De plus, l'expérience est située en salle blanche pour éviter à toute poussière radioactive de venir se déposer sur les détecteurs. Enfin, dans le cas d'EDELWEISS, utilisant une technologie de

détecteur cryogénique fonctionnant à 20 mK, les mesures simultanées des énergies de chaleur et d'ionisation, produites lors de l'interaction d'une particule dans le détecteur, permet de rejeter une grande majorité du bruit de fond.

Représentant un des problèmes majeurs de la physique moderne, la recherche de matière noire est devenue une priorité en physique des particules et astroparticules. Aujourd'hui, il existe plus de 30 expériences à travers le monde visant à mesurer son interaction directe avec la matière ordinaire. La sensibilité à la détection de matière noire, c'est à dire à sa probabilité d'interaction, a par ailleurs été améliorée par environ 15 ordres de grandeurs ces vingt dernières années. Cependant, se pose naturellement la question suivante : existe-t-il une fin à cette traque effrénée à la matière noire ? C'est ainsi qu'en 2013 avec deux autres collègues nous avons montré que les neutrinos issus du Soleil, eux aussi interagissant très peu avec la matière ordinaire et donc insensible à nos blindages et à nos montagnes, vont venir imposer un fond ultime à la recherche de matière noire et ainsi sonner le glas à cette voie de recherche. Suite à ces résultats, nous avons cherché des moyens de contourner le problème des neutrinos cosmiques, ou du moins de minimiser son impact. Nous avons alors mis en évidence que la mesure de la direction du recul nucléaire, suite à sa collision avec la matière noire, permettrait de rejeter efficacement ce bruit de fond. Cependant, une telle mesure est extrêmement difficile à réaliser expérimentalement. Nous avons également pu constater que les incertitudes liées à l'interaction des neutrinos avec la matière ordinaire étaient directement responsables de cette limite ultime.

C'est dans ce contexte qu'en 2018 j'ai initié la création d'une collaboration internationale visant à construire une nouvelle expérience de neutrinos de basse énergie, Ricochet. Cette dernière a pour objectif de mesurer le processus d'interaction, dite de diffusion cohérente, neutrino-noyau avec une grande précision en se plaçant à environ 8 mètres du réacteur nucléaire de recherche de l'ILL. En effet, nous avons pu montrer qu'une mesure de haute précision de ce processus permettra de réduire considérablement l'impact du fond neutrino sur le potentiel de découverte de matière noire des expériences de détection directe. Suite à l'obtention d'un financement européen de l'ERC (European Research Council) en 2018, j'ai pu initier, avec la collaboration Ricochet, des travaux de R&D de pointe afin de développer une nouvelle technologie de détecteurs cryogéniques qui permettra de mesurer ce processus avec précision qui, en plus de ces implications sur la recherche de matière noire, permettra aussi de tester le modèle standard dans le secteur des neutrinos et rechercher d'éventuels signes de nouvelle physique. De plus, avec l'ensemble de la collaboration, comptant environ 80 physiciens, ingénieurs et techniciens réparties en France, Russie et USA, nous travaillons à la mise en place de l'expérience Ricochet à l'ILL. Cette dernière devrait démarrer d'ici début 2024 avec des premiers résultats à l'horizon 2025.

20 h : cocktail offert par la Mairie de Villeurbanne

***Composition du Jury du prix Thibaud 2022 de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon**

- Madame Ursula BASSLER, Directrice Adjointe Scientifique IN2P3, Paris

ursula.bassler@admin.in2p3.fr

- Monsieur Gabriel CHARDIN

Directeur de Recherche CNRS, APC Paris

gabriel.chardin@cnrs.fr

- Monsieur Johann COLLOT

Professeur à l'Université Grenoble Alpes, LPSC Grenoble

Johann.Collot@lpsc.in2p3.fr

- Madame Nicole d'HOSE

Directrice de recherche au DPhN (Département de Physique Nucléaire de l'Irfu), CEA/DRF.

nicole.dhose@cea.fr

- Madame Francesca GULMINELLI

Professeur à l'Université de Caen Normandie (UNICAEN), LPC Caen

gulminelli@lpccaen.in2p3.fr

- Monsieur Philippe MORETTO

Professeur à l'Université de Bordeaux, LP2iBordeaux

philippe.moretto@u-bordeaux.fr

- Monsieur Gilbert MOULTAKA

Chargé de recherche CNRS, Laboratoire Charles Coulomb Monptellier

gilbert.moultaka@UMONTPELLIER.FR

- Monsieur Georges BOULON

Professeur Emérite à l'Université Claude Bernard, ILM Lyon.

Président 2022 de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon.

georges.boulon@univ-lyon1.fr

- Monsieur Guy CHANFRAY

Professeur Emérite à l'Université Claude Bernard, IP2I Lyon.

Rapporteur du prix THIBAUD, Membre de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon.

g.chanfray@ipnl.in2p3.fr

- Monsieur Joseph REMILLIEUX

Professeur Honoraire à l'Université Claude Bernard, IP2I Lyon.

Membre de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon.

joseph.remillieux@wanadoo.fr