

Conseil scientifique de l’Institut CNRS Physique

Recommandation

Réponse du CSI de CNRS Physique à la lettre du Président-Directeur Général du CNRS datée du 20 février 2025

À l'attention de Monsieur Antoine Petit, Président-Directeur général du CNRS,

Dans votre courrier en date du 20 février 2025, vous avez lancé une large consultation, mobilisant le Conseil scientifique (CS) du CNRS, les Conseils scientifiques d’institut (CSI) ainsi que les sections du CoNRS, autour de la définition de la politique scientifique du CNRS.

Dans ce cadre, cinq questions ont été soumises à l’attention des CSI, en lien avec leurs champs scientifiques respectifs. Trois d’entre elles portent directement sur les dimensions scientifiques de la recherche, notamment la prospective, l’identification des sujets à fort potentiel, des thématiques émergentes, ou encore des domaines peu visibles au niveau national mais reconnus à l’international. Les deux autres questions concernent plus spécifiquement l’animation des communautés scientifiques et l’organisation des unités de recherche en lien avec le projet de labellisation de CNRS Key Labs, présenté à l’occasion de la Convention CNRS des directeurs et directrices de laboratoires du 12 décembre 2024.

Nous rappelons à ce titre que le CSI de CNRS Physique, à l’instar des autres CSI et des autres instances du CoNRS, s’est clairement opposé, dans sa recommandation du 23 janvier 2025, à la mise en œuvre des CNRS Key Labs. Cette initiative est en effet perçue comme une menace pour la capacité du CNRS à assurer pleinement ses missions, en concentrant les ressources sur un nombre restreint d’unités.

En ce qui concerne les questions liées aux dimensions scientifiques de la recherche, plusieurs éléments de réponses figurent dans le rapport de

Prospective de CNRS Physique 2024, issu d'une large consultation de la communauté menée entre janvier et juillet 2023. Des informations complémentaires sont également disponibles dans les rapports de conjoncture des sections rattachées à CNRS Physique, ainsi que dans le rapport de prospective du CSI de CNRS Physique, publié en 2023.

Il nous paraît essentiel de rappeler que le découpage en thématiques à "haut potentiel", en "niches prometteuses" ou en "manques à combler" ne saurait rendre compte, à lui seul, de la complexité et de la richesse de la réflexion collective issue du travail de Prospective de CNRS Physique. Il est tout aussi impératif de maintenir un soutien fort à la recherche exploratoire, non thématisée a priori. Par ailleurs, un travail d'analyse de cette ampleur, à la fois complexe, transversal et profondément collectif, ne peut être mené à bien en seulement trois mois. Néanmoins, une première réponse aux trois questions scientifiques de votre lettre est présentée en Annexe. Ce document a été élaboré après consultation des bureaux de la prospective CNRS Physique. Il constitue une réponse partielle, produite dans un délai trop contraint, et n'a donc ni vocation à être exhaustif, ni à faire office de synthèse définitive. Il est proposé à titre informatif et vise à servir de point d'appui pour un travail plus approfondi que le CSI de CNRS Physique pourra mener durant son mandat.

En réponse aux questions soulevées dans votre courrier concernant l'animation des communautés scientifiques et l'organisation des unités de recherche, le présent document n'a pas pour vocation d'identifier certaines unités comme stratégiques en vue, par exemple, d'un renforcement ciblé des moyens. Il vise au contraire à promouvoir une recherche en physique ambitieuse et diversifiée, portée à l'échelle nationale, inscrite dans le temps long et fondée sur le collectif, éclairée par la prospective de CNRS Physique, élaborée en étroite concertation avec le CoNRS et la communauté. Seul le CNRS Physique, grâce à son rôle d'animation, notamment à travers ses GDR et la mise en place de fédérations nationales de recherche, est en mesure de structurer une telle dynamique collaborative à grande échelle dans ses unités, en synergie avec les politiques scientifiques déployées au niveau des sites.

Préambule

La physique est la science de toutes les échelles, des particules élémentaires aux structures de l'univers. Elle aborde les questions allant des plus concrètes aux plus fondamentales. Ses réponses, souvent contre intuitives, ouvrent les portes de nouveaux mondes, enrichissent les savoirs fondamentaux et conduisent à des avancées scientifiques et technologiques.

Pourtant, sa légitimité, comme celle de l'ensemble des sciences, à éclairer les décisions politiques, industrielles, technologiques, sociales et sociétales est aujourd'hui remise en question à travers le monde. En raison de sa forte dimension pluridisciplinaire, elle est particulièrement exposée aux attaques visant les sciences du climat mais aussi les sciences sociales, auxquels elle contribue notamment par l'étude des systèmes complexes.

Au-delà de la remise en question de la légitimité scientifique, ce sont les structures de fonctionnement mêmes de la recherche en physique qui sont fragilisées. Fondée sur des collaborations de grande ampleur (partage de données, accès à des instruments, développements analytiques et numériques), la physique subit des restrictions croissantes telles que la remise en cause des bases de données ouvertes, des limitations de collaborations scientifiques, ou encore les coupes dans les crédits recherche.

Cette dynamique s'inscrit dans un contexte d'exacerbation de la concurrence internationale, qui pousse à des politiques de recherche et de financement orientées vers le court terme et centrées sur quelques sujets à prétendue forte visibilité. Une telle approche va à l'encontre de la réalité de la recherche en physique, qui nécessite au contraire stabilité, temps long et moyens adaptés pour permettre la prise de risque et l'émergence d'innovations significatives. La physique, en particulier, est, entre autre, marquée par la sérendipité : ses avancées marquantes naissent souvent là où on les attend le moins.

La physique a la capacité de nous surprendre. Elle remet en cause nos conceptions, nous interroge sur notre vision du monde et nous permet de nous en saisir pour le progrès social et technologique. Il s'agit là des sources de la vocation des personnels, mais aussi de la fascination que la société éprouve pour la physique. L'attachement du grand public à la recherche, et notamment au CNRS, en est l'un des marqueurs.

Dans ce contexte, le CNRS est et demeure un acteur clé pour affirmer et renforcer son rôle d'organisme au service de la science fondamentale et de la

société. Il est le seul en France à pouvoir développer une politique de recherche nationale ambitieuse, de rang international, diverse, pluridisciplinaire, collaborative et inscrite dans le long terme. En particulier, la recherche collective, réunissant des personnels de statuts et d'expertises variés, est l'un des atouts majeurs du CNRS. Fort de sa vision transversale, interdisciplinaire et nationale, notamment via ses réseaux thématiques et sa participation aux infrastructures de recherche, le CNRS est en mesure de proposer une politique de recherche nationale ambitieuse, en synergie avec les politiques scientifiques mises en œuvre à l'échelle des sites.

Le rôle structurant de CNRS Physique

L'institut CNRS Physique, compte 111 unités, dont 11 fédérations de recherche et 24 GDR. Parmi les personnels permanents relevant de CNRS Physique, 47% sont des agents CNRS. Grâce à un bon maillage national, les unités de CNRS Physique sont coconstruites avec des partenaires universitaires et peuvent également avoir pour tutelle un EPIC (le CEA, l'ONERA), voire, dans certains cas, des partenaires industriels.

La diversité des unités de CNRS Physique, en termes de type, de taille, de thématique de recherche, de structure et de niveau de mutualisation, constitue une véritable richesse pour la recherche en physique. L'ancre thématique et l'histoire propre à chaque unité peuvent jouer un rôle majeur dans leur visibilité à l'échelle internationale, en complément de l'excellence scientifique portée par les personnels qui y travaillent. Une spécificité notable de CNRS Physique au sein du CNRS réside dans l'existence de plusieurs laboratoires de physique théorique, souvent composés d'un nombre restreint de permanents. Ces unités rassemblent des personnels travaillant souvent en autonomie vis à vis de l'expérimentation, sur des questions fondamentales couvrant tous les domaines de la physique. La taille de ces unités favorise l'émergence d'un langage commun et le développement de nouvelles approches théoriques ou numériques, à l'image d'institutions similaires à l'international. Les unités de plus grandes tailles rassemblent des chercheurs et chercheuses aux profils variés, favorisant souvent des interactions étroites entre expérimentateurs, expérimentatrices et théoriciens, théoriciennes.

Certaines unités de CNRS Physique sont très interdisciplinaires, en rassemblant

des chercheurs et chercheuses issus d'autres instituts du CNRS, ou des universitaires travaillant sur d'autres thématiques que la physique. Cette diversité de profils favorise l'émergence de projets transversaux et innovants, à l'interface de plusieurs champs scientifiques, et renforce la capacité des unités à répondre à des enjeux complexes et globaux ainsi qu'aux grands défis sociétaux.

Au-delà des chercheurs et des chercheuses, tous les personnels des unités participent aux activités de recherche. Les personnels technique et administratif sont, notamment, indispensables à la bonne tenue des recherches. Dans toutes les unités, les ingénieurs, ingénieres et les techniciens et techniciennes (IT) CNRS, travaillent sur les mêmes fonctions que leurs homologues des tutelles partenaires du CNRS. Les IT sont intégrés à des plateformes, au sein de pôles techniques ou administratifs, et/ou directement rattachés à une équipe de recherche. Cette diversité d'organisation répond à des spécificités de thématiques et ne pourrait être uniformisée à l'échelle de tous les laboratoires. Selon leur métier, les IT contribuent de manière plus ou moins directe aux activités de recherche.

Le partage des moyens expérimentaux et des compétences progresse depuis plus d'une décennie, porté à la fois par la montée en expertise en interne et par le coût croissant des équipements de pointe. Ce partage s'organise à toutes les échelles territoriales. Dans ce contexte, les équipements et personnels des unités tendent à être regroupés au sein de plateformes technologiques ou d'unités d'appui à la recherche (UAR), ce qui induit une évolution des métiers, parfois un éloignement des thématiques scientifiques, et potentiellement une perte de motivation de la part des agents.

CNRS Physique est aussi très impliqué dans les très grandes infrastructures de recherche (IR*) comme l'ESRF, Soleil, ILL, Apollon, Eu-XFEL et le futur ESS. En facilitant l'accès à ces IR*, CNRS Physique favorise une recherche de pointe, ouverte, collaborative et compétitive à l'échelle internationale pour ses unités. Ces instruments constituent des leviers puissants pour l'étude de la physique fondamentale, mais aussi pour des retombées sociétales dans des domaines tels que l'énergie, la santé, les matériaux ou l'environnement.

Cette grande diversité des unités de CNRS Physique, réunissant des personnels aux statuts et expertises variés, et favorisant le partage ainsi que l'accès aux moyens expérimentaux, constitue l'une de ses principales forces. Elle

permet de conduire une recherche de pointe efficace à l'échelle internationale dans l'ensemble des domaines de la physique, tout en s'adaptant aux évolutions scientifiques, technologiques et sociétales.

Cette dynamique coopérative est aujourd'hui fragilisée par une progression de l'individualisation du pilotage et du financement de la recherche. L'émergence d'une structuration en petit groupe de permanents et permanentes supplémentée de personnels non permanents autour d'un "principal investigator" (PI) fragmente ces collectifs de recherche. Cette dynamique est alimentée par la prédominance du financement sur appel à projet peu conciliable avec la temporalité de la recherche mais aussi la taille des équipes de recherche. Le développement d'une recherche ambitieuse requiert la rencontre de personnels hautement qualifiés, ayant une expérience approfondie de leur domaine et investissant des questions sur des dizaines d'années. La structure PI, qui met en concurrence les chercheurs et chercheuses pour des financements de court terme, est à l'opposé de ces besoins.

Recommandations

Préserver la diversité des unités de CNRS Physique

Il est essentiel de préserver la grande diversité des unités de CNRS Physique, en termes de type, de taille, de thématiques de recherche, de structuration et de profils de personnel. Elle constitue un atout majeur pour répondre aux défis actuels et futurs de la recherche en physique. La fusion d'unités peut s'avérer bénéfique, à condition qu'elle réponde à une volonté partagée des personnels et qu'elle s'appuie sur un projet scientifique et humain commun, construit de manière concertée. En revanche, imposer de telles fusions pour des raisons strictement économiques ou politiques, au nom de la création d'unités "stratégiques" de grande taille, comporte un risque réel : celui d'affaiblir les dynamiques locales ou d'isoler certaines petites équipes noyées dans une grande structure.

Promouvoir les temps longs et la diversité de la recherche en physique

À l'heure où les financements de la recherche publique sont de plus en plus orientés vers des projets ciblés, à court terme et à visée applicative immédiate (Plan France 2030, PEPRs, etc.), il est essentiel de réaffirmer l'importance d'une recherche fondamentale libre, diversifiée et soutenue dans la durée. Comme le rappelait Serge Haroche en 2012 : « Il faut toujours garder à l'esprit l'importance de la recherche fondamentale, qui constitue le socle sur lequel tout le reste est possible » (Le Monde, 2012).

Le développement d'un projet scientifique prend du temps, parfois des décennies, entre la maturation des idées, le développement des outils expérimentaux ou des approches théoriques, et la formation des équipes. Or, le mode de financement actuel, principalement basé sur appels à projets qui fournissent des crédits de court et moyen terme, freine ces dynamiques de long terme et met en péril la recherche fondamentale. Comme l'ont souligné plusieurs prix Nobel français, ce système aurait empêché l'émergence de résultats scientifiques majeurs si leurs travaux avaient été soumis aux critères actuels de financement.¹

Il est donc urgent de rééquilibrer les moyens en augmentant la part des financements récurrents, seuls à même de garantir des conditions de travail stables et de permettre à toutes les équipes, quels que soient leurs sujets, de développer des projets ambitieux sur le long terme, y compris à risque. Ce financement pérenne est également un levier essentiel pour structurer la politique scientifique au niveau des unités et des dispositifs collectifs.

En période de restriction budgétaire, il est tentant de vouloir concentrer les moyens sur quelques-uns. Nous nous opposons cependant à cette vision et défendons au contraire une vision collective et coopérative de la recherche en physique. La richesse de notre discipline repose en effet sur la coexistence d'approches variées, parfois très fondamentales, parfois plus appliquées. C'est cette diversité qui permet l'émergence des découvertes les plus inattendues et prépare le terreau des innovations de demain. Il faut aussi noter que notre mission première est de produire des connaissances nouvelles, non de répondre uniquement à des injonctions de rentabilité ou d'utilité immédiate.

1 Voir https://www.lemonde.fr/planete/article/2007/10/24/le-prix-nobel-albert-fert-plaide-pour-une-recherche-libre_970565_3244.html et <https://www.lemonde.fr/blog/huet/2025/01/13/alain-aspect-fait-la-lumiere-sur-le-quantique/> notamment.

Favoriser une structuration nationale collective de la recherche en physique

La recherche repose sur des dynamiques collectives, où toutes les échelles (individuelle, collaborative, locale, nationale) sont nécessaires. La politique actuelle, qui valorise avant tout la visibilité internationale et la prise de responsabilité individuelle, oublie que les résultats les plus visibles reposent sur un travail de fond collectif mobilisant de multiples compétences.

CNRS Physique dispose d'un atout, ses GDR, qui jouent un rôle essentiel dans la structuration collective de la recherche. Ces réseaux favorisent les collaborations à l'échelle nationale et animent des communautés autour de thématiques originales, émergentes ou interdisciplinaires. Leur souplesse, bien que souvent associée à des moyens limités, leur offre une grande réactivité scientifique. Certains GDR ont su fédérer des domaines rarement en interaction et créer des synergies inédites avec des GDR issus d'autres instituts du CNRS.

Nous proposons que certains GDR matures évoluent vers des structures pérennes, analogues à des fédérations de recherche nationales, avec un rôle renforcé d'animation, de coordination, et de pilotage thématique. Ces structures pérennes pourraient également émerger d'un ensemble d'équipes aux thématiques convergentes comme peuvent le faire les PEPR sur un temps court. Elles offriraient un cadre pour faire remonter rapidement les sujets émergents, définir des priorités collectives et bénéficier d'un soutien logistique. Comme les GDR, elles seraient une référence sur des thématiques stratégiques, que ce soit pour la prospective de CNRS Physique ou l'orientation de sa politique de ressources humaines.

Dans ce cadre, la question de l'affectation de personnels dédiés au développement d'outils numériques ou instrumentaux, en lien direct avec la recherche, pourrait être abordée dans une réflexion avec l'institut.

Prospective scientifique nationale à CNRS Physique

L'exercice de prospective scientifique, tel qu'il a été conduit par CNRS Physique en 2023, peut jouer un rôle clé dans la définition d'une politique de financement et de recrutement sur le long terme. Pour aller plus loin, cette dynamique pourrait être élargie et reconduite régulièrement en intégrant les

sections du Comité national, le CSI, les unités ainsi que les bureaux des GDR, dans le cadre d'une concertation large et structurée avec l'Institut à chaque étape de cette prospective, notamment sur le choix des thèmes scientifiques. Cela permettrait de fixer les grandes priorités scientifiques à moyen et long terme dans une étroite synergie avec la communauté. Cet exercice, essentiel pour l'avenir de la recherche en physique en France dans un contexte budgétaire contraint, ne peut être mené à l'échelle des seuls sites. Seul CNRS Physique est en mesure d'en être le moteur, en apportant une vision d'ensemble et une coordination nationale.

Renforcer l'attractivité des métiers de la recherche à CNRS Physique

L'attractivité des métiers de la recherche, aussi bien chercheurs et chercheuses que personnels d'appui, est un enjeu majeur pour CNRS Physique. Pour que le CNRS perpétue sa notoriété internationale concernant la recherche en physique, il est urgent d'anticiper les conséquences que pourraient avoir dans les prochaines années notre pyramide des âges déséquilibrées et une compensation trop partielle des départs ces dernières années (seulement 70 % en 2025). Entre autres, la transmission des expertises et du savoir au sein de notre organisme est une valeur à préserver pour rester intellectuellement attractif.

Notre modèle français de recrutement statutaire tôt dans la carrière, rare en Europe est très attractif à l'international, et doit être préservé. La stratégie ces dernières années, à CNRS Physique, de tendre vers un recrutement des CRCN à environ 3-4 ans après la thèse commence à être bien visible dans les faits et doit être poursuivie. C'est un critère fort d'attractivité qui permet de recruter de jeunes chercheurs et chercheuses à haut potentiel, avant qu'ils ne prennent d'autres orientations. Mais au-delà du statut, les conditions d'exercice ont aussi un fort impact sur l'attractivité en permettant de construire une carrière dans un environnement propice au développement d'une recherche ambitieuse. L'environnement scientifique, l'intégration dans un collectif, l'obtention de moyens, sont autant d'éléments déterminants. Le renforcement des réseaux thématiques et autres fédérations nationales contribuera à l'intégration et à un environnement propice et motivant.

La précarité matérielle en début de carrière affecte souvent la motivation en focalisant l'énergie vers la recherche de moyen au lieu de laisser l'effervescence intellectuelle porter ses fruits. Il faut trouver les moyens de bien soutenir l'installation des nouvelles recrues CRCN et de renforcer ainsi la productivité scientifique en début de carrière.

Au-delà de la spécificité du début de carrière, il faut aussi repenser nos logiques d'évaluation en valorisant le fruit du travail d'équipe et des collaborations, pour mieux tirer parti du potentiel de productivité scientifique et d'innovation lié aux dynamiques collectives et au temps long de la recherche. L'attractivité n'est pas favorisée en valorisant uniquement les critères de performance individuelle qui créent une pression parfois néfaste.

L'attractivité concerne également les personnels IT, dont les compétences sont indispensables. Plusieurs branches d'activité professionnelle sont en tension, avec une attractivité plus favorable dans le secteur privé. Le renforcement de l'attractivité et de la motivation passera par une meilleure association aux projets scientifiques et une reconnaissance plus explicite de leur impact sur les résultats de recherche et de leurs savoir-faire. Les responsables des IT et les directions de laboratoire jouent ici un rôle essentiel, qui doit être soutenu par des formations et un accompagnement adapté.

Enfin l'attractivité pour les carrières en physique court un risque marqué pour le long terme. Ces dernières années le nombre de lycéens et lycéennes qui choisissent des options scientifiques est en forte baisse, en général, et tout particulièrement concernant la physique. Nous recommandons donc de développer et mieux reconnaître les interventions de physiciens et physiciennes du CNRS dans les lycées pour perpétuer la notoriété de l'organisme auprès des jeunes générations, et pour susciter des vocations.

Recommandation adoptée le 30/06/2025

21 votants : 19 pour, 0 contre, 2 abstentions

Philippe LECHEMINANT
Président du CSI CNRS
Physique

Destinataires :

-M. Antoine PETIT, président-directeur général du CNRS.

Destinataires en copie :

-M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS.
-M. Thierry DAUXOIS, directeur de l’Institut CNRS Physique.
-M. Olivier COUTARD, président du Conseil scientifique du CNRS.
-Mesdames les directrices adjointes scientifiques et Messieurs les directeurs adjoints scientifiques de l’Institut CNRS Physique.
-Mesdames les présidentes et Messieurs les présidents des Conseils scientifiques d’instituts.
-Mme Francesca GRASSIA, secrétaire générale du Comité national de la recherche scientifique.

Annexes

Page 11 : Questions liées à la prospective scientifique

Parge 31 : Avis des sections pilotées par CNRS Physique

Questions liées à la prospective scientifique**Préambule**

Au cours des dernières années, la communauté s'est engagée, à travers un travail approfondi de prospective, dans une réflexion collective et structurée sur les grandes orientations scientifiques de demain. Ce travail, fondé sur une large consultation des physiciennes et physiciens, a permis de faire émerger des recommandations riches, à la fois thématiques, méthodologiques et structurelles, essentielles à la vitalité et à l'avenir de la recherche en physique à CNRS Physique.

Le rapport de Prospective de CNRS Physique est le résultat de cette vaste démarche d'intelligence collective menée entre janvier et juillet 2023, fondée sur une méthode rigoureuse et collaborative. Quinze ateliers, chacun composé de 5 à 7 personnes, ont été organisés autour des trois grands volets du travail de prospective, mobilisant au total plus de mille participants. Le premier volet porte sur les thématiques scientifiques émergentes, centrées sur l'avancée des connaissances fondamentales. Huit domaines prioritaires ont été identifiés, (Électronique et la photonique avancées, Physique en régimes extrêmes, Physique des systèmes complexes, Physique de la matière complexe, Matière lumière et processus quantiques, Physique du vivant, Lois fondamentales,

Nouveaux enjeux pour les méthodes numériques). Le second volet concerne les grands défis sociétaux (Physique pour la santé, Physique pour l'énergie et le climat, Physique pour l'environnement l'urbain et l'alimentation, Physique pour les technologies quantiques et les technologies numériques). Enfin, le troisième volet aborde les questions transversales, qui concernent l'ensemble de la communauté (Culture scientifique, Parité et diversité, et Intégrer les enjeux environnementaux à la recherche en physique).

L'objectif des ateliers était double : structurer la collecte d'informations issues de la communauté scientifique et produire, pour chacun d'eux, un rapport thématique sous forme d'une synthèse d'une quinzaine de pages. Le travail a débuté par la consultation des membres de la liste de diffusion de CNRS Physique ayant manifesté un intérêt pour ces prospectives, avant d'être élargie à des experts reconnus dans divers domaines, sollicités par interviews ou via des questionnaires envoyés par courriel. Parallèlement, des entretiens d'une à deux heures ont été menés avec les directeurs des GDR et des PEPR. Des ateliers thématiques d'une demi-journée autour de sujets spécifiques ont également été conduits, en étroite coordination entre les différents bureaux de la Prospective. Un document préliminaire a ensuite été transmis à plusieurs sections du CNRS afin de recueillir leurs retours, notamment sur d'éventuelles erreurs majeures ou oubli importants. Pour assurer une représentation équitable des jeunes chercheurs et chercheuses, un questionnaire individuel a été envoyé aux nouveaux entrants au CNRS des cinq dernières années. La première version du rapport, élaborée en étroite collaboration entre les différents bureaux, a fait l'objet d'un travail minutieux de consolidation visant à supprimer les redondances et les contradictions. Les directeurs de GDR et de PEPR, ainsi que d'autres contributeurs clés, ont été à nouveau sollicités pour relire et valider les textes préliminaires.

Les conclusions de cette première phase ont été débattues lors des journées de Prospective des 12 et 13 septembre 2023. Le rapport final, issu de ces échanges, présente une vision partagée des enjeux scientifiques à venir. À partir du travail de chacun des ateliers de la Prospective et de la contribution du CSI, CNRS Physique a identifié des thématiques à fort impact potentiel qui bénéficieront d'une attention particulière dans les années à venir. Ce cahier de stratégie 2024 identifie explicitement ces problématiques, constituant ainsi un premier engagement de CNRS Physique vis-à-vis de la communauté.

Le rapport de Prospective et le cahier de stratégie 2024 de CNRS Physique constituent ainsi une base solide, représentative et cohérente, qu'il convient de garder pleinement à l'esprit dans toute discussion ultérieure sur les priorités à définir ou les stratégies à mettre en œuvre. Dans ce contexte, il nous semble important de rappeler que le découpage en thématiques à "haut potentiel", en "niches prometteuses" ou en "manques à combler" qui nous a été demandé de faire dans la lettre du PDG du CNRS du 20/02/2025, ne doit pas faire écran à la complexité et à la richesse de cette réflexion collective. Si une telle grille peut en principe avoir une utilité indicative, elle risque aussi de simplifier excessivement les dynamiques scientifiques à l'œuvre, de marginaliser des enjeux transverses pourtant centraux, et de détourner l'attention des conditions de fond nécessaires au développement d'une recherche libre, ouverte et innovante.

Il est par exemple impératif de continuer à soutenir la recherche exploratoire, non thématisée à priori. Ce type de recherche, souvent à l'origine des ruptures scientifiques les plus fécondes, ne peut être porté par l'industrie et relève pleinement de la mission de la recherche publique. Ce soutien doit rester un pilier central des politiques scientifiques à venir. Dans cette perspective, le maintien d'un engagement significatif du CNRS dans tous ses laboratoires, appuyé par des dispositifs de mise en réseau tels que les GDR ou les RT, constitue une stratégie essentielle. De nombreuses thématiques actuelles reposent sur des approches théoriques, numériques ou expérimentales qui, pour être pleinement porteuses d'innovation, nécessitent l'interdisciplinarité et le croisement d'expertises complémentaires. La diversité des ancrages scientifiques est un facteur clé pour faire émerger des idées nouvelles, stimuler des dynamiques collectives et encourager des développements pluridisciplinaires. Enfin, le travail de Prospective a mis en évidence plusieurs enjeux transverses qui, bien qu'ils dépassent le cadre des thématiques de recherche stricto sensu, sont cruciaux pour l'avenir de la recherche. Ces dimensions structurelles conditionnent la qualité, l'équité et la durabilité de l'activité scientifique, et doivent être considérées comme des leviers à part entière du progrès scientifique.

Ce document ne constitue donc qu'une réponse partielle, élaborée dans un délai contraint après consultation des bureaux de la prospective. Nous tenons à rappeler qu'un travail de cette ampleur, à la fois complexe, transversal et profondément collectif, ne saurait être mené à bien en seulement deux mois. Il

s'agit d'un point de départ, que nous avons choisi de partager sans attendre, tout en attirant l'attention sur la nécessité de le consolider et de l'enrichir si l'on souhaite qu'il reflète pleinement la réalité des questionnements actuels et des dynamiques à l'œuvre dans les projets de la physique. Ce texte n'a donc pas vocation à être exhaustif ni à faire office de synthèse définitive. Seul l'ensemble du travail de prospective peut prétendre refléter fidèlement les aspirations et les objectifs de la communauté des physiciennes et physiciens. Il convient par ailleurs de souligner que, malgré l'ampleur du travail engagé en 2023, des lacunes subsistent dans certains volets de la Prospective. Celles-ci devront être comblées dans la suite du processus, en étroite concertation avec les bureaux, les sections et l'ensemble des acteurs concernés, afin de construire progressivement une vision aussi complète, cohérente et partagée que possible.

Ci-dessous figurent les réponses aux trois questions scientifiques évoquées dans la lettre du PDG du CNRS en date du 20/02/2025. Ces éléments nous ont été transmis par plusieurs bureaux de prospective et sont regroupés ici selon les grandes thématiques du rapport de Prospective 2023. Compte tenu du délai très court imparti, il n'a pas été possible de couvrir l'ensemble des thématiques. Comme déjà indiqué, ce document n'a pas vocation à être exhaustif ; il est proposé à titre informatif et constitue un point de départ pour un travail ultérieur plus approfondi.

A/ Potentiels importants pour CNRS Physique

Électronique et photonique avancées

- Le développement d'une électronique à très basse consommation constitue un enjeu stratégique majeur pour réduire l'empreinte environnementale du numérique. Cela implique à la fois l'optimisation des technologies existantes et l'exploration de ruptures conceptuelles dans les architectures de calcul et de stockage. Dans ce contexte, les approches neuromorphiques, les technologies quantiques, l'électronique moléculaire et la spintronique apparaissent comme des vecteurs d'innovation à fort potentiel.

- La photonique intégrée multifonctionnelle représente également un domaine prioritaire. Elle repose sur une compréhension fine des interactions lumière-matière à l'échelle nanométrique et/ou sub-longueur d'onde et sur la co-intégration de matériaux hétérogènes pour concevoir des circuits photoniques complexes et performants. Ces avancées sont cruciales pour les communications optiques, le traitement du signal, les technologies quantiques...

- Par ailleurs, l'empilement contrôlé de matériaux de Van der Waals, les effets de twistronique, de spin-orbitronique ou de valléetronique, ainsi que l'observation d'effets tels que l'effet Hall quantique fractionnaire, ouvrent de nouvelles perspectives scientifiques et technologiques.

- D'autres axes de recherche fondamentaux présentent un fort potentiel, notamment la physique mésoscopique (contrôle d'électrons uniques et de charges fractionnaires), l'étude des matériaux topologiques et de Dirac, les textures de spin complexes, les métasurfaces dynamiques, l'interconversion spin-charge, la phononique thermique avancée, le couplage phonons-photons, ainsi que la convergence des fonctions électroniques, photoniques et phononiques dans des dispositifs hybrides multi-échelles.

Physique en régimes extrêmes

- Les phénomènes ultrarapides (attoseconde à picoseconde) permettront de sonder des objets nanométriques et atomiques avec une sensibilité quantique accrue.

- Les régimes extrêmes (température, champ magnétique/électrique, pression, résolution temporelle) sont des terrains fertiles pour des découvertes interdisciplinaires : matière condensée, biologie, astrophysique, plasmas, matériaux quantiques.

- Les lasers énergétiques et intenses couplés avec des sources X (ou de particules relativistes) brillantes et courtes (Apollon, XFEL, Synchrotron...) permettront d'étudier des phénomènes inaccessibles jusqu'ici : processus hors équilibre et recherche d'états métastables forcés, création de particules dans le vide, dynamique des transitions de phase, photobiologie, fusion inertuelle, astrophysique des plasmas.

- Cryogénie avancée et champs magnétiques extrêmes ouvriront la voie à des applications en informatique quantique, fusion, et instrumentation de pointe.

- Le couplage d'expériences multi-paramètres (pression/température/champs/temps) est crucial pour explorer des phases de matière inconnues.

Physique des systèmes complexes

- Une direction majeure de la recherche sur les systèmes complexes concerne les systèmes hors équilibre, dont l'étude pourra se développer vers l'échelle quantique, ainsi que vers des systèmes, des interactions, voire des réseaux ou graphes de plus en plus complexes et couplés. La matière active en

particulier devrait être un aiguillon de ces développements, grâce à de nouvelles expériences, et à l'émergence de thèmes comme la matière informée, ou programmable.

- La turbulence, dans tous ses aspects (classique, d'ondes, convective...), et grâce aux apports couplés de la physique non linéaire et de la physique statistique, est un autre thème fort et en renouvellement, en particulier en lien avec les enjeux climatiques et environnementaux (par exemple couplage plancton-turbulence, interaction mer-glace, phénomènes extrêmes...)

Physique de la matière complexe

Historiquement centrée autour de la matière molle, la matière complexe s'est largement diversifiée depuis une dizaine d'année, depuis les échelles moléculaires jusqu'aux échelles macroscopiques. Elle prend son ancrage depuis la science des matériaux jusqu'au vivant, avec de forts liens avec la chimie, la biologie ou les géosciences. L'équilibrage entre la volonté de répondre à des questions pratiques et le développement de questions fondamentales nouvelles est une caractéristique forte de la communauté qui doit être soulignée. En effet, la volonté de comprendre un système en trouvant des systèmes simplifiés, quitte à se situer en dehors des points de fonctionnement applicatif, est un point fédérateur de cette communauté. Cinq défis, au cœur d'une interdisciplinarité assumée, sont remontés :

- Le rôle joué par les toutes petites échelles sur les grandes échelles (avec notamment le rôle joué par des effets de confinements),
- La remontée des échelles (combinant interface du micro au méso et du méso au macro) incluant l'influence du désordre,
- Les couplages multiphysiques desquels émergent la complexité malgré une compréhension des phénomènes pris séparément,
- L'élaboration de nouveaux matériaux aux structures contrôlées permettant de nouvelles fonctions à la demande,
- La compréhension du vivant (étude de la dynamique et des mécanismes) pour s'en inspirer et concevoir de nouvelles technologies.

Matière, Lumière et processus quantiques

- Mesures de précision (horloges, interféromètres à atomes) basées sur des systèmes plus complexes que des atomes ou hybrides, associant différentes espèces.

- Usage de l'intrication dans les mesures de précision.

- Synthèse et caractérisation de matériaux quantiques, tels que les matériaux magnétiques, les supraconducteurs et la matière topologique. Au-delà de l'intérêt en recherche fondamentale, ces études sont nécessaires pour ouvrir de nouvelles voies en technologies de l'information (électronique, spintronique, technologies quantiques) et pour les problématiques liées à la production et aux échanges d'énergie.

- L'étude de systèmes hybrides est en plein essor. Par nature ils incluent des degrés de liberté de nature différentes (lumière/matière, classique/quantique, spin/charge, etc) dans un régime de fort couplage. Ce domaine est à accompagner et renforcer.

Physique du vivant

- Dans le domaine de la physique du vivant, la France se distingue par l'excellence de sa recherche sur les systèmes actifs, les biomatériaux, la physique de la cellule, tant eucaryote que procaryote, ainsi que sur les développements instrumentaux et technologiques associés.

- Les approches bio-inspirées constituent également un atout majeur de notre communauté, favorisant des synergies étroites avec la physique de la matière complexe. Ces thématiques, où les couplages entre matière, énergie et information jouent un rôle central connaissent un essor remarquable à l'échelle internationale.

- Le CNRS gagnerait à intensifier ses efforts dans l'étude des systèmes vivants hors équilibre, en s'appuyant sur l'analyse de la machinerie moléculaire, des processus de morphogenèse cellulaire et tissulaire, jusqu'aux dynamiques collectives des tissus, des organismes et des écosystèmes.

- L'intégration multi-échelle, du niveau moléculaire à celui des organismes, mobilisant les outils de la physique statistique et de la mécanique des milieux actifs, ouvre des perspectives majeures pour la compréhension de la complexité du vivant et des lois de l'évolution, et pour le développement d'applications innovantes en santé et en biotechnologie.

Lois fondamentales

La recherche française joue un rôle de leadership au niveau mondial dans les domaines de la physique des particules, des astroparticules, de la cosmologie et de la gravitation, et dans leurs aspects interdisciplinaires.

- Les avancées majeures des dernières années dans les ondes gravitationnelles, les neutrinos de basse et de haute énergie, les signaux

électromagnétiques et les rayons cosmiques ont ouvert la voie à des explorations observationnelles et théoriques entièrement nouvelles dans chacun de ces domaines, ainsi que dans des approches synergiques, avec les multi-messagers. Ces recherches foisonnantes s'appuient nécessairement aussi sur les développements importants dans l'étude des interactions fondamentales, dans le cadre des théories dites standard, ou grâce aux recherches de nouvelle physique où les approches interdisciplinaires constituent un véritable atout.

- Une autre direction majeure de recherche, étroitement lié à la première, est l'étude des aspects théoriques de la cosmologie primordiale et de la gravité, la modélisation des grandes structures de l'Univers, la compréhension de l'Univers sombre composé par $\frac{3}{4}$ énergie noire et presque $\frac{1}{4}$ matière noire, dont la nature est activement recherchée. Ces recherches aussi font appel à des nouveaux outils mathématiques ou calculs de précision, tandis que l'exploration de champs gravitationnels forts, e.g. par les ondes gravitationnelles, offre l'opportunité unique de tester les fondements de la relativité générale et pousser les frontières de notre compréhension des trous noirs.

Au vu du rôle majeur joué par la recherche française, des nouvelles ouvertures potentiellement porteuses de découvertes, et de la moisson d'observations à venir, le maintien d'un investissement théorique important de la part du CNRS, dans ces thématiques fondamentales, est crucial.

- La physique mathématique est un domaine d'excellence de la recherche française depuis les années 1970. En raison des départs massifs à la retraite d'experts du domaine, un renouvellement s'impose. Il est nécessaire de maintenir et renforcer cette activité, en particulier dans les domaines de la gravitation quantique, des systèmes intégrables, et des interactions entre physique théorique et mathématiques pures. Le développement d'outils théoriques novateurs (e.g. amplitudes de diffusion) est en particulier crucial pour les analyses de données de haute précision à venir, en ondes gravitationnelles, en cosmologie, et en physique des hautes énergies.

- Les mesures de précision de basse énergie exploitent des sensibilités extrêmes des systèmes quantiques pour pousser les frontières de la compréhension des lois qui régissent l'Univers, la recherche de variations des constantes fondamentales, ainsi que dans les tests de la validité du Modèle Standard et de la relativité générale. Les progrès dans le contrôle quantique des systèmes ouvrent aujourd'hui de nouvelles perspectives, en particulier dans

l'étude des systèmes moléculaires, qui présentent une sensibilité accrue à d'éventuelles signatures de physique au-delà du Modèle Standard.

- Des techniques telles que l'interférométrie à très longue base ou la détection directe des ondes gravitationnelles offrent des opportunités uniques pour tester les fondements de la relativité générale et approfondir notre compréhension de la physique des trous noirs.

Nouveaux enjeux pour les méthodes numériques

- Méthodologie *ab initio* : présence de forces, mais à soutenir.
- Physique des particules : présence d'une communauté, à soutenir notamment à l'interface avec cosmologie.
- Modélisation multi-échelle : différentes communautés à fédérer.
- Centres de calculs régionaux et nationaux : maintenir absolument l'accessibilité (gratuité) et la haute performance / compétence dans ces centres de calcul.

Physique pour la santé

- Imagerie et détection sans marquage et non invasives, de l'échelle cellulaire (microscopie Raman, interférométrique, de phase, ou Brillouin) à l'échelle des organes ou de l'organisme entier (imagerie basée sur les rayonnements ou les ondes acoustiques), avec des dispositifs multimodaux, implantables et/ou portables. Des avancées majeures sont attendues grâce aux nouvelles technologies, notamment l'intelligence artificielle et les métamatériaux. Il est crucial que la France reste compétitive dans ce domaine en pleine expansion.

- Mesure et exploitation des paramètres mécano-physiques à des fins diagnostiques et thérapeutiques, en s'appuyant sur les progrès considérables réalisés par la communauté biophysique dans la compréhension de la mécanobiologie des cellules et des tissus, ainsi que sur les apports de la matière molle et des nanosciences dans l'étude des propriétés mécaniques (structure, dynamique) de matériaux d'intérêt médical. Ces avancées ont un fort potentiel d'application en médecine : vectorisation efficace de médicaments, ingénierie tissulaire et organoïdes, médecine de précision, médecine régénérative, ou encore immunothérapie pour des pathologies non infectieuses comme les cancers ou les maladies neurodégénératives. La France possède une expertise historique en matière molle, déjà mobilisée dans l'étude du vivant, mais qui nécessite désormais un véritable soutien pour son transfert vers les applications médicales.

- Les modèles fondés sur la physique, appuyés par l'expérimentation, offrent une grande valeur grâce à leur capacité d'interprétation. La physique statistique, la théorie de la matière molle ou active, ou encore les approches par réseaux ont d'ores et déjà été appliquées à l'analyse du codage neuronal, à la propagation des épidémies et à d'autres problématiques médicales. La France dispose d'une expertise reconnue en biophysique théorique, et son intégration dans les politiques de santé doit être activement encouragée.

Physique pour l'énergie et le climat

Face aux crises climatique et énergétique, la France s'est engagée dans une transition énergétique vers un mix énergétique décarboné en 2050, avec un point critique à franchir en 2030, nécessitant de nombreux sauts conceptuels ou technologiques et des prédictions climatiques locales fiables. De nombreux physiciens et physiciennes seront ainsi impliqués dans des travaux liés à l'amélioration des dispositifs de conversion et de stockage de l'énergie, dans les scénarios de transition ou dans la physique du climat à l'horizon 2035.

Parmi les pistes identifiées, il a été pointé :

- Un besoin d'instrumentation de pointe, pour disposer de techniques d'imagerie des matériaux à différentes échelles, sensibles à la nature chimique et l'état électronique des différents constituants, utilisables en conditions opératoires, impliquant des développements spécifiques et une accessibilité accrue aux grands instruments et le développement à l'échelle du laboratoire de techniques couplées (par exemple associant sonde locale et technique spectroscopique à une surface).

- Un effort théorique portant sur les méthodes d'analyses et de simulation multi-échelle, de prise en considération des couplages non-linéaires.

- Le développement d'approches transdisciplinaires incluant les SHS (non seulement pour évaluer l'impact de la crise climatique sur nos sociétés et apprécier l'acceptabilité des scénarios de transition énergétique, mais aussi pour situer l'impact des travaux menés en physique sur l'évolution de la société).

- Un besoin de recherche pour améliorer la sobriété, le recyclage, l'efficacité dans tous ces domaines (ce qui implique en particulier des travaux fondamentaux pour mieux comprendre les phénomènes correspondants, comme par exemple la physique du vieillissement des matériaux).

Physique pour les technologies quantiques et les technologies numériques

Les sujets scientifiques relatifs à l'atelier se répartissent en trois grands secteurs clés : le traitement du signal et le calcul, les communications, et les capteurs et l'imagerie. Chacun de ces domaines fait face à des enjeux majeurs, portés par la nécessité de franchir des barrières technologiques et d'inventer de nouvelles approches pour répondre aux besoins.

- Dans le secteur du traitement du signal et du calcul, les limites atteintes par les architectures informatiques traditionnelles imposent un changement de paradigme. Il devient indispensable de repenser les fondements de l'électronique, en la faisant évoluer vers des architectures plus frugales, modulaires et adaptables. Cette transition s'accompagne du développement de nouvelles approches logiques non conventionnelles. Elle passe également par l'exploration de nouvelles architectures (telles que les architectures neuromorphiques ou quantiques) et l'intégration de composants émergents (spintroniques, supraconducteurs, moléculaires...). Dans le champ en forte émergence de la simulation et du calcul quantique, les défis sont nombreux : il s'agit notamment de maîtriser la montée en échelle, de concevoir des codes correcteurs d'erreurs efficaces, et d'identifier des algorithmes pertinents pour des applications concrètes.

- Le domaine des communications, qu'elles soient classiques ou quantiques, connaît lui aussi des transformations profondes. Pour les communications classiques, les enjeux se situent principalement autour de la montée en fréquence, du développement de nouvelles architectures d'antennes (intelligentes, reconfigurables, directionnelles), et d'une intégration photonique renforcée, incluant la convergence entre électronique et optique ainsi que des innovations dans le packaging. En parallèle, les communications quantiques requièrent des efforts soutenus pour améliorer la technologie des composants élémentaires, les intégrer dans des plateformes de test incluant des réseaux opérationnels, et renforcer le lien entre les approches de cryptographie quantique et post-quantique.

- Dans le secteur des capteurs et de l'imagerie classiques, les enjeux portent sur l'amélioration des sources cohérentes dans le moyen infrarouge (MIR), le développement de l'imagerie dans le domaine térahertz (THz), l'intégration de systèmes de détection toujours plus performants, et leur adaptation à des environnements contraints ou sévères. Quant aux capteurs et imageurs quantiques, ils ouvrent la voie à de nouvelles générations de

dispositifs, basés sur le développement de supports innovants pour la mesure, la mise en réseau de capteurs quantiques, avec à la clé une démonstration tangible de leur avantage, ainsi que la conception d'architectures embarquées adaptées à ces technologies.

Culture scientifique

Les Instituts de STEM (sciences techniques expérimentales et mathématiques), en particulier le CNRS Physique, devraient être plus présents dans les projets de recherche participative. Les physiciens et physiciennes devraient participer mais également porter de tels projets, car la physique est omniprésente dans ces projets, notamment à travers la mesure. En encourageant cette participation active, le CNRS pourrait mieux répondre aux préoccupations des citoyens et citoyennes et également faire émerger les problématiques de niche.

B/ Niches pour CNRS Physique

Électronique et photonique avancées

- La convergence entre électronique et photonique à l'échelle nanométrique, où l'hybridation de matériaux dans des dispositifs multifonctionnels ouvre la voie à de nouveaux paradigmes de traitement du signal et de calcul.

- Les métasurfaces dynamiques et reconfigurables, bien qu'encore peu développées, constituent une piste prometteuse pour l'optique intégrée.

- De même, le calcul in-matériaux reposant sur des composants moléculaires, bio-inspirés ou organiques, propose une approche interdisciplinaire innovante.

- L'étude des milieux complexes et de la photonique désordonnée permet de générer des fonctionnalités optiques inédites, pertinentes pour la cryptographie ou les technologies quantiques.

- Enfin, la phononique quantique, en particulier dans le domaine du transport balistique de chaleur, est un champ structurant pour la maîtrise des flux thermiques à l'échelle nanométrique.

Physique en régimes extrêmes

- La magnétoscience et la magnétohydrodynamique appliquées à l'astrophysique de laboratoire sont encore peu développées mais méritent un soutien.

- Les recherches combinant basses températures, hautes pressions et champs intenses pour étudier les matériaux quantiques fondamentaux sont rares et stratégiques.

- Les plateformes cryogéniques à très haute puissance frigorifique pour l'informatique quantique constituent un domaine émergent à soutenir.

- La détection de matière noire via des expériences longue durée en régimes extrêmes est une niche prometteuse.

- Les sources secondaires de rayonnement ultra-courtes (THz, X, gamma, particules) doivent être maintenues pour leur potentiel exploratoire inédit.

Physique des systèmes complexes

- Les liens entre thermodynamique stochastique et théorie de l'information peuvent permettre de s'attaquer à certain défis liés aux ordinateurs du futur (limite de Landauer, gestion de bits en environnement très bruité par exemple).

- La dynamique des écosystèmes, la dynamique des systèmes sociaux (foules, réseaux de transport, structures urbaines...), déjà présentes mais encore en émergence, offrent un important potentiel de développements pluridisciplinaires, en lien avec des questions environnementales et sociales telles que la biodiversité, la frugalité énergétique, ou la dynamique des opinions.

Physique de la matière complexe

Un point commun entre les différents défis est leur proximité avec les enjeux sociétaux tel que la santé ou la transition énergétique. Trois axes de développement prioritaire ont été identifiés par CNRS physique sur les cinq mis en avant par la communauté. Les deux premiers ont un lien fort avec le biomimétisme :

- Compréhension du vivant pour s'en inspirer : développement de solides actifs (métamatériaux) et de matériaux biologique à structure interne complexe, transport de l'eau en lien avec la physique des plantes... Ces avancées pourront révolutionner l'approche des structures biologiques complexes.

- L'élaboration de nouveaux matériaux aux structures contrôlées permettant de nouvelles fonctions à la demande : le développement de matériaux méso-architecturés ouvrira la voie à de nouveaux matériaux programmables. La recherche autour du biomimétisme, des métamatériaux mécaniques, et des solides actifs alimenteront ce défi.

- Comportement de la matière à l'échelle nanométrique (et plus particulièrement aux interfaces solides/liquides). Etude de la physique de

l'écoulement à cette échelle mettant en évidence l'influence des effets de taille finie, des fluctuations et forces intermoléculaires, associées au rôle des surfaces. De nombreuses applications sont attendues dans les domaines de la filtration et de la purification en exploitant des effets liés à la présence de parois et en situation d'écoulement ultra confiné.

Matière, Lumière et processus quantiques

- Mesures de précision à base d'ions piégés, qu'ils aient une structure conventionnelle ou exotique, comme les ions très fortement chargés (highly charged ions) ou les ions aux noyaux instables.
- Thermodynamique des systèmes quantiques et nanostructures.
- La simulation quantique sur des supports variés, des gaz d'atomes froids, aux condensats d'excitons-polaritons, en passant par les systèmes moirés et la matière quantique, permet d'aborder désormais des problèmes de physique très variés et enthousiasmants, de la physique des hautes énergies jusqu'à de la gravité analogue (trous noirs, etc).

Physique du vivant

Certaines thématiques de niche, encore peu représentées en France mais à fort potentiel, justifient un engagement pérenne.

- C'est le cas de la bioénergétique non canonique, qui étudie les flux métaboliques couplés à des structures dynamiques dans des systèmes modèles (cellules, tissus, voire organismes, ou populations entières d'organismes) ou encore de la compréhension des lois physiques à l'origine de l'émergence de la vie.

- La biophysique des organismes extrémophiles et des virus, tout comme les interfaces entre biologie synthétique, auto-assemblage dirigé et phénomènes d'auto-organisation, constituent également des axes d'exploration prometteurs.

- Par ailleurs, la modélisation des réseaux biologiques d'information, en particulier leur capacité à réguler et à répondre dans des environnements complexes, fluctuants ou stressés, mérite un soutien constant. Ces recherches ouvrent des perspectives majeures en bio-ingénierie, notamment pour la robotique, l'écologie, l'agronomie et la santé, ainsi qu'en médecine, où elles pourraient alimenter le développement de systèmes adaptatifs et résilients.

Lois fondamentales

- Le développement des outils numériques est devenu indispensable en physique des deux infinis, notamment face à l'abondance croissante de données

issues des collisionneurs, de la physique des astroparticules et des observations d'ondes gravitationnelles. Il est crucial de soutenir les approches non perturbatives du calcul de haute précision, en particulier les méthodes ab initio sur réseau — comme la QCD sur réseau — ainsi que le développement de nouveaux algorithmes pour l'étude des systèmes de fermions à haute densité.

Nouveaux enjeux pour les méthodes numériques

- Développement des codes particle-in-cell pour physique plasma, codes hydrodynamiques pour la fusion inertuelle.
- Renforcement de l'interface physique numérique / mathématiques appliquées (sur différentes sous-thématiques).

Physique pour la santé

Il convient d'encourager et de soutenir les approches fondées sur le multi-échelle qui relient la structure/mécanique et la dynamique/activité aux fonctionnalités émergentes appliquées à des disciplines biomédicales spécifiques telles que l'immunologie, l'oncologie, la pneumologie, les neurosciences, etc.

- Alors que de grands progrès ont été réalisés dans l'intégration des concepts physiques dans la biologie cellulaire et, dans une certaine mesure, dans la biologie du développement, d'autres systèmes biomédicaux ont reçu moins d'attention.

- Dans ce contexte, l'imagerie non invasive ainsi que les stimulations, y compris mécaniques, chimiques, électriques, photo/thermiques, etc. seront importantes.

- La physique des agents pathogènes, les interactions hôte-pathogène, ainsi que les microbes non pathogènes et le microbiote sont des domaines émergents qui commencent à peine à être explorés et qui pourraient avoir un impact important sur les questions de santé.

Physique pour l'énergie et le climat

- Physique non-linéaire, physique du climat, physique des fluides en général (très important du point de vue applicatif et sociétal, mais complètement oubliés dans les PEPR).
- Physique statistique et mathématiques.
- Thermo-hydraulique (pour réacteurs nucléaires).
- Physique des porteurs d'énergie au sein des matériaux (leur transport et leurs interactions, notamment aux interfaces et aux défauts).

Physique pour les technologies quantiques et les technologies numériques

Il ne s'agit pas nécessairement de domaines de niche, mais plutôt de champs de recherche encore sous-critiques à consolider.

- Pour l'ensemble des recherches décrites en section 1), un enjeu central réside dans l'hybridation. Celle-ci prend de multiples formes : analogique-numérique, classique-quantique, électronique-photonique... Elle implique une co-intégration de matériaux et de composants, capable de combiner des propriétés complémentaires pour créer des dispositifs plus performants, plus compacts et mieux adaptés aux besoins émergents.

- Un deuxième enjeu transversal majeur concerne l'efficacité énergétique et la durabilité. Améliorer la performance énergétique des dispositifs, tout en maintenant ou en augmentant leurs capacités fonctionnelles, constitue un défi commun à l'ensemble des technologies numériques. Cette quête de sobriété concerne également les matériaux eux-mêmes, avec des initiatives prometteuses telles que la recherche de matériaux respectueux de l'environnement, durables et recyclables.

- En parallèle, des enjeux de science fondamentale émergent et irriguent l'ensemble du paysage technologique. Il s'agit notamment de mieux maîtriser l'élaboration des matériaux conventionnels et de développer leur hybridation contrôlée, de favoriser l'émergence de matériaux aux propriétés innovantes, de soutenir la recherche en nanofabrication et en technologie des dispositifs, tout en intégrant les apports de l'intelligence artificielle, dont la convergence avec la physique ouvre de nouvelles perspectives tant pour la conception que pour le pilotage des systèmes.

C/ Manques/sous investissements pour CNRS Physique Électronique et photonique avancées

Les avancées scientifiques sont aussi obtenues en s'appuyant sur des connaissances établies de longue date et des compétences à préserver.

- Particulièrement, l'élaboration de matériaux, cruciale pour l'étude des phénomènes émergents et les nouvelles technologies, connaît dans certains secteurs une diminution critiques de compétences et de moyens, pénalisante pour toute la communauté (les cristaux massifs, les semi-conducteurs, matériaux 2D à consolider...);

- Les capacités de caractérisations structurales, physico-chimiques ultimes, multi-échelles et in-operando (spatiale, temporelle, spectrale), restent limitées et nécessitent un renforcement conséquent.

- La modélisation avancée, le couplage entre intelligence artificielle et modèles physiques, ainsi que la normalisation des figures de mérite à l'échelle nanométrique, constituent des besoins croissants.

- La recherche en électronique durable reste peu visible au sein de la communauté. Une démarche structurée, intégrant les enjeux de frugalité, de recyclabilité et d'impact environnemental dès les phases de conception, doit être développée de manière urgente pour répondre aux exigences de soutenabilité de la recherche scientifique.

- Il est enfin essentiel de soutenir les TGIR (par ex. l'activité des lignes de SOLEIL et les CRGs de l'ESRF).

Physique en régimes extrêmes

- La fusion inertielle et ses défis associés (instabilités laser plasmas et hydrodynamiques, laser, etc ...) restent insuffisamment explorés en France par rapport à leur importance mondiale.

- L'accès expérimental aux régimes d'électrodynamique quantique à champ fort est encore limité malgré les perspectives offertes par Apollon.

- Le développement d'accélérateurs innovants compacts (électrons/ions/neutrons) reste marginal alors que la compétition internationale s'intensifie.

- L'utilisation couplée de sources laser et rayons X extrêmes avec diagnostics avancés (TEM, EELS...) pour étudier la matière transitoire est encore à structurer.

- Le positionnement stratégique du CNRS sur les exoplanètes et les conditions extrêmes planétaires reste perfectible malgré les avancées techniques disponibles.

Physique des systèmes complexes

- Physique statistique et physique non-linéaire pourraient davantage contribuer à la compréhension de l'apprentissage profond, et à la création d'algorithmes plus efficaces et plus sobres, voire plus résistants par rapport aux fake-news.

- L'émergence de nouvelles techniques de mesures est à encourager : particules changeant de couleur selon les propriétés locales (cisaillement,

vorticité, pH...), ou avancées en mesures ultra-rapides par exemple. Les réseaux de neurones biologiques pourront inspirer de nouveaux types dits neuromorphiques d'ordinateurs ou de caméras permettant de sélectionner les informations pertinentes dès l'acquisition d'images.

Physique de la matière complexe

- La génération de seconde harmonique est une technique de caractérisation sensible aux effets des surfaces et est de ce fait un outil clé dans le domaine. Cependant la communauté, au travers des prospectives, fait remonter que sa pleine exploitation est encore difficile.

- La capacité à être pertinent sur plusieurs échelles, que ce soit expérimental ou numérique/théorique. C'est un domaine où les physiciens et physiciennes ont tendance à privilégier leur approche "technique", mais peu de gens ont une perspective globale et intégrative "science des matériaux". Le CNRS Physique devrait renforcer cette approche intégrative de la physique de la matière complexe.

Matière, lumière et processus quantiques

- Dans le cadre des mesures de précision basée sur des systèmes dilués, le lien théorie/expérience est beaucoup moins dynamique en France que chez nos collègues américains ou allemands.

- Il en est de même pour les projets qui pourraient fédérer des supports de nature différente comme atomes, molécules, ions et nanostructures. Il est difficile de rassembler des compétences qui lieraient l'expertise de type physique atomique et moléculaire à la physique nucléaire, ou la physique des surfaces. Pourtant de nombreux progrès sont à attendre de collaboration entre ces grands domaines.

- La synthèse de matériaux quantiques sous différentes formes mérite d'être soutenue. Elle nécessite en particulier un renforcement des synergies entre la physique, la chimie et l'ingénierie.

- Les techniques de mesure en conditions extrêmes, doivent être étendues et modernisées pour suivre la sophistication croissante des systèmes étudiés (manipulation quantique par exemple).

- Il est aussi urgent de développer des outils numériques adaptés à la grande qualité et au volume croissant de données générées par ces expériences. Malgré l'essor des simulations quantiques et classiques, le manque de

plateformes unifiées entre expérimental et numérique est un frein à la circulation rapide des résultats et à leur interprétation.

Physique du vivant

Le CNRS reste en retrait sur plusieurs fronts stratégiques.

- Parmi ceux-ci figurent l'interface entre physique et intelligence artificielle appliquée à la biologie par le développement de modèles combinant inférence statistique, analyse de données massives et modélisation physique, la physique des interactions hôte-microbiote, incluant les dynamiques de coévolution et les échanges d'information chimique, les phénomènes quantiques en biologie, ainsi que les approches quantitatives émergentes en neurobiologie.

- Par ailleurs, l'intégration explicite des flux d'énergie et d'information dans la modélisation des systèmes vivants complexes, ou bio-inspirés, reste à formaliser dans un cadre cohérent de physique statistique hors équilibre.

Ces champs de recherche requièrent des investissements structurants, tant sur le plan instrumental et conceptuel que sur celui des ressources computationnelles. Ils appellent aussi à un renforcement des dynamiques interdisciplinaires, par la MITI, ainsi que par exemple par un allongement des durées de thèse de doctorat afin d'accompagner la complexité croissante des projets.

Lois fondamentales

Les symétries généralisées et non inversibles ont récemment émergé comme un thème unificateur majeur en physique des hautes énergies, phénoménologie, théorie quantique des champs, théorie de la matière condensée et gravité quantique. Au cours des cinq dernières années, ce champ a connu une véritable explosion de résultats à l'échelle internationale, suscitant un renouvellement profond des concepts et des approches dans ces disciplines. Ce domaine reste très largement sous-représenté en France. Il mérite un soutien fort et ciblé, à la hauteur des avancées récentes.

Nouveaux enjeux pour les méthodes numériques

- Il faudrait augmenter l'utilisation de machine learning pour pousser les limites de la théorie, des calculs numériques, de l'interprétation des expériences, et des applications ambitieuses telles que la matière quantique, la physique des verres et des systèmes hors équilibre.

- La discipline Computational Material Sciences est sous-développée (en comparaison avec l'international) en tant que discipline fondamentale.

- Ils manquent des formations en physique numérique et en machine learning.

- Il faudrait avoir plus des postes d'IR calcul scientifique.

- Le CNRS est en retard sur le développement des programmes visant à la production de données à moindre impacts environnementaux, de petite taille et de grande qualité (modèle réduit, précision ajustée, prolongation de durée de vie de matériel informatique ...).

- Ce retard du CNRS concerne aussi la partie software et simulations sur les nouvelles plateformes / simulateurs quantiques.

Physique pour la santé

- De manière générale, l'interdisciplinarité demeure sous-financée, et en particulier l'utilisation de la physique au service de la médecine (et de la biologie) ne bénéficie d'aucune source de financement pérenne. Les soutiens accordés dépendent bien souvent de la présence fortuite, au sein des comités d'évaluation, de membres sensibles à ces deux champs disciplinaires.

- L'innovation et le transfert technologique dans le domaine de l'imagerie sans marquage et/ou non invasive — un champ très vaste allant de la microscopie optique/électronique à l'échelle cellulaire et subcellulaire, jusqu'à l'imagerie fonctionnelle à l'échelle de l'organe ou du corps humain entier — accusent un retard, malgré des initiatives déjà existantes. Il est essentiel d'encourager et d'inciter les hôpitaux et les laboratoires médicaux à collaborer avec les physiciens et physiciennes qui développent déjà des solutions dans ce domaine. Un obstacle majeur réside dans l'absence de langage commun : il conviendrait d'identifier et de mobiliser des chercheurs et des chercheuses ayant une double compétence en sciences physiques et en sciences de la vie/médecine, afin de jouer un rôle de passerelle entre les disciplines.

- Enfin, un domaine important mais largement négligé au niveau national comme international est le traitement des déchets médicaux. Une collaboration étroite entre la chimie et la physique est indispensable pour aborder cette problématique sous différents angles : impact médical des nanoparticules (notamment les nanoplastiques), élaboration de nouveaux protocoles de réduction des déchets, et traitement des déchets dangereux.

Physique pour les technologies quantiques et les technologies numériques

- Les manques ou sous-investissements concernent trois grands défis.

- Le premier défi concerne les matériaux et les techniques de nano- et micro-fabrication. Les matériaux représentent la clé de voûte de la prochaine génération de dispositifs optiques et électroniques.

- Le deuxième défi réside dans les problématiques d'intégration et d'interconnexion. À mesure que les architectures deviennent plus complexes et miniaturisées, l'interconnexion dense des composants, tant à l'intérieur d'une puce qu'entre plusieurs puces, soulève des verrous physiques importants.

- Enfin, un troisième défi concerne l'intégration hétérogène. Celle-ci vise à associer, au sein d'un même dispositif, des matériaux très diversifiés : nouveaux semi-conducteurs, matériaux magnétiques, diélectriques avancés, dissipateurs thermiques, etc. Cette approche implique une maîtrise fine des interfaces entre matériaux aux propriétés physiques distinctes, condition essentielle pour assurer à la fois la performance fonctionnelle, la stabilité et la durabilité des dispositifs hybrides.

- Un dernier défi est le décloisonnement des silos disciplinaires. Les architectures systèmes complexes nécessitent de rapprocher chercheurs de divers domaines pour intégrer toutes les expertises, favoriser l'innovation et couvrir l'ensemble de la chaîne de valeur. Le lien entre recherche publique et industrielle est également essentiel pour le transfert technologique et la création de collaborations durables.

Avis des sections pilotées par CNRS Physique

Les sections 2, 3, 4 et 5 s'associent au texte du CSI de CNRS Physique. Nous publions leurs contributions

Section 3

La direction du CNRS a sollicité plusieurs instances, dont les sections du CoNRS à propos de ses missions et sa politique scientifique. Deux questions sont posées : (i) Quel est notre avis sur l'organisation des unités, la stratégie d'association des unités au CNRS, et les critères à prendre en compte pour évaluer le caractère stratégique d'une unité ; (ii) Que pourrait être une bonne stratégie d'affectation de moyens humains et financiers aux unités ? La section 03 entend les contraintes budgétaires menant à cette réflexion. Cependant, l'avis partagé au sein de la section est qu'il n'y a pas un modèle unique et que la bonne marche des unités dépend étroitement de leur situation particulière, les équilibres variant d'un laboratoire à un autre. L'association d'une unité au CNRS,

en ce qui concerne les laboratoires liés à la section 03, est bénéfique tant à l'unité qu'au CNRS. La section a décidé de s'associer à la réflexion et aux conclusion du CSI .

Section 4

Préambule : Le CNRS, un Phare Scientifique dans un Monde en Mutation

Dans un contexte mondial caractérisé par l'incertitude et la prolifération d'informations souvent contradictoires, subjectives voire manipulées, le rôle de la recherche scientifique comme vecteur de connaissance rigoureuse et de vérité factuelle est plus crucial que jamais. Le CNRS, par sa multidisciplinarité unique et l'excellence internationalement reconnue de ses chercheurs, constitue un atout stratégique majeur pour la France face aux défis contemporains et futurs. Afin que cette institution puisse pleinement assumer sa mission et servir au mieux l'intérêt général, il apparaît essentiel de pérenniser ses forces fondamentales tout en optimisant son fonctionnement.

Consolidation des Fondamentaux du CNRS : Capitaliser sur une Richesse Unique

La force première et distinctive du CNRS réside dans son exceptionnelle pluridisciplinarité, qui en fait une institution sans équivalent à l'échelle mondiale. Cette capacité à mobiliser des expertises pointues dans l'ensemble des champs scientifiques est un trésor national qui doit non seulement être préservé mais également activement valorisé et mis à contribution.

Pérenniser le modèle de recrutement collégial et garantir la diversité thématique : Le processus de recrutement des chercheurs, conduit par leurs pairs au sein d'instances telles que le Comité National de la recherche scientifique, est un gage d'excellence et d'indépendance. Il doit être maintenu et continuer à viser une représentation équilibrée de l'ensemble des thématiques scientifiques et une couverture adéquate de tous les territoires, assurant ainsi la vitalité et la complétude du paysage scientifique national.

Renforcement de l'Impact Sociétal et de la Valorisation des Savoirs

Si la production de connaissance fondamentale est sa mission première, le CNRS a également un rôle crucial à jouer pour éclairer les débats publics, orienter les décisions politiques et contribuer au développement socio-économique.

Faciliter la mobilisation des expertises au service de la société : La connaissance produite par les chercheurs du CNRS doit pouvoir irriguer plus efficacement la société. Il est proposé de créer ou de renforcer une interface ou une structure dédiée, agile et réactive. Sa mission serait de faciliter la mise en relation rapide et efficace entre les chercheurs du CNRS (identifiés pour leur expertise pertinente) et les divers acteurs de la société civile (associations, citoyens, médias) et du secteur public (administrations, élus, collectivités).

Développer des outils d'identification et de cartographie des compétences : Pour rendre cette mise en relation effective, il est crucial de pouvoir identifier rapidement "qui fait quoi" au sein de l'institution. Le développement et l'utilisation d'outils avancés, potentiellement basés sur l'intelligence artificielle et le traitement sémantique des publications et projets, pourraient permettre de cartographier de manière dynamique les expertises, les travaux de recherche et les chercheurs eux-mêmes. Ceci faciliterait leur identification et leur mobilisation par les acteurs externes et favoriserait également les synergies interdisciplinaires internes.

Optimisation des Moyens et Conditions de Recherche pour une Performance Accrue

L'excellence de la recherche au CNRS repose sur la qualité intrinsèque de ses chercheurs et sur les conditions dans lesquelles ils peuvent exercer leur métier.

Soutenir l'ensemble du spectre thématique sans sélection a priori : Le recrutement des meilleurs talents doit se poursuivre sur toutes les thématiques de recherche, sans chercher à imposer des orientations restrictives ou à opérer des sélections basées sur des priorités conjoncturelles. L'histoire des sciences démontre que les ruptures et les innovations majeures émergent souvent de manière imprévisible, y compris de domaines jugés initialement comme purement fondamentaux.

Garantir un environnement de travail optimal et un soutien efficient : Un soutien technique et administratif performant, à la hauteur des enjeux scientifiques et adapté aux spécificités de chaque domaine, est indispensable. Une attention particulière doit être portée à la **simplification drastique des démarches administratives** et à la réduction des charges de gestion qui pèsent sur les chercheurs, afin de leur permettre de se consacrer pleinement à leur mission première de production et de diffusion des savoirs.

Sanctuariser la liberté académique et la recherche fondamentale

: La liberté de recherche, y compris celle menée sans objectif applicatif immédiat, doit être réaffirmée et protégée comme un principe cardinal. Les avancées scientifiques les plus transformatrices et les technologies les plus ambitieuses (à l'instar des ordinateurs quantiques par exemple) émanent fréquemment de recherches exploratoires et fondamentales, comme l'illustrent régulièrement les attributions des Prix Nobel.

Réflexions sur le Financement Stratégique et l'Interaction avec l'Écosystème

Bien que le CNRS ne soit pas une agence de financement de projets sur appel, son positionnement unique lui confère un rôle dans l'écosystème de la recherche.

Rôle dans les grands équipements et infrastructures de recherche

: Le CNRS doit conserver et renforcer son rôle stratégique dans la définition, le portage et la gestion des Très Grandes Infrastructures de Recherche et des plateformes technologiques mutualisées, essentielles à la compétitivité de la recherche française.

Transformer le Crédit d'Impôt Recherche (CIR) en levier de collaboration et de transfert : Si le CNRS n'a pas vocation à se substituer aux agences de financement pour les projets de recherche émergents (hors grands équipements), son expertise et ses ressources humaines peuvent constituer un levier puissant pour l'innovation et le transfert technologique. À cet égard, il est recommandé :

1- D'étudier, en concertation étroite avec les ministères concernés (Recherche, Économie et Finances), un mécanisme de fléchage incitatif d'une partie du Crédit d'Impôt Recherche.

2- **Ce mécanisme consisterait en une majoration de l'avantage fiscal pour les entreprises qui intègrent activement un chercheur du CNRS, une équipe ou un laboratoire mixte impliquant le CNRS dans leur programme de recherche et développement éligible au CIR.** Cette approche proactive transformerait une dépense fiscale en un investissement stratégique, créant un puissant levier pour accélérer le transfert de connaissances et de technologies issues des laboratoires du CNRS vers le tissu industriel. Elle permettrait également de renforcer de manière significative la visibilité et l'implication concrète du CNRS au cœur de l'écosystème d'innovation,

en parfaite cohérence avec l'objectif précédemment évoqué de mise en réseau des expertises scientifiques avec les acteurs socio-économiques.

Conclusion

Ces recommandations visent à consolider les atouts fondamentaux du CNRS, à fluidifier son fonctionnement et à amplifier son impact au service de la science et de la société. En cultivant son modèle unique de recherche multidisciplinaire et en se dotant des moyens pour une interaction renforcée avec son environnement, le CNRS sera encore mieux armé pour relever les défis scientifiques et sociétaux majeurs du XXIe siècle.

Section 5

Réponse de la section 5 du CoNRS au courrier d'Antoine Petit en date du 20 février 2025.

La section 5 a pris acte de l'abandon du projet des « key labs », et a pris connaissance du courrier adressé par Antoine Petit aux sections du Comité National en date du 20 février 2025. Dans cette note, transmise au Conseil Scientifique d'Institut de CNRS Physique, nous répondons aux questions adressées aux sections du comité national.

Le premier point concerne l'organisation des unités

Quelles sont les recommandations de la section ou de la CID en ce qui concerne l'organisation des unités de recherche, et d'appui et de recherches ? Quelle stratégie d'association des unités, et avec quelles modalités, vous semble-t-il la plus pertinente pour le CNRS ? Compte tenu des évaluations réalisées par la section ou la CID, quels sont les critères à prendre en compte pour mesurer le caractère stratégique d'une unité pour le CNRS ?

Nous pensons qu'une réorganisation des moyens ne doit pas se concentrer au niveau des unités de recherche, mais qu'elle doit se situer à un niveau plus global. La plupart des unités dans le périmètre de la section ont un spectre très large, dont telle ou telle activité peut se révéler "stratégique" suivant les circonstances. Une solution pour dépasser la simple échelle des unités de recherche serait de privilégier une organisation fondée sur des thématiques plutôt que sur les unités. Cet aspect semble particulièrement pertinent pour la section 5, donc les chercheurs et chercheuses sont répartis sur un nombre très

important d'unités. Par exemple, afin de mieux structurer la stratégie globale, il serait pertinent de renforcer les Groupements De Recherche (GDR) et les axes thématiques à l'échelle nationale.

Le second point concerne l'affectation des moyens

Quelles sont les recommandations de la section ou de la CID concernant la bonne stratégie d'affectations des moyens, humains et financiers, du CNRS dans les unités relevant du périmètre de la section ou de la CID ?

Concernant l'affectation des moyens, nous considérons que le CNRS, par le biais des Instituts, dispose déjà de leviers puissants tels que les concours fléchés et les Chaires de Professeur Junior (CPJ) pour orienter les moyens humains vers certaines thématiques de recherche, voire vers certaines unités de recherche – ces aspects étant particulièrement marqués dans le cas des CPJ. Nous suggérons d'impliquer plus largement les sections dans les discussions relatives aux postes coloriés ou fléchés et aux CPJ, afin d'avoir une prise de décision plus collective et transparente, et d'approfondir la discussion sur la stratégie scientifique, en lien avec les communautés que les sections représentent. Par ailleurs, il serait utile d'instaurer une lettre de cadrage en début de mandature, dans laquelle l'Institut pourrait formuler ses recommandations concernant les thématiques scientifiques qu'il conviendrait de privilégier pour les années à venir. Enfin, la question d'identifier des « laboratoires stratégiques », en particulier autour des infrastructures spécifiques et uniques au niveau national, mérite une réflexion très approfondie pour mieux définir leur place dans la stratégie globale, à laquelle la participation du comité national semble indispensable. Pour ce qui est des thématiques scientifiques à soutenir et de la lettre de cadrage, l'institut peut s'appuyer sur le travail de prospective déjà effectué récemment, qu'il serait par ailleurs souhaitable de renouveler périodiquement, pour associer au mieux à la stratégie de l'institut les communautés associées aux sections.