

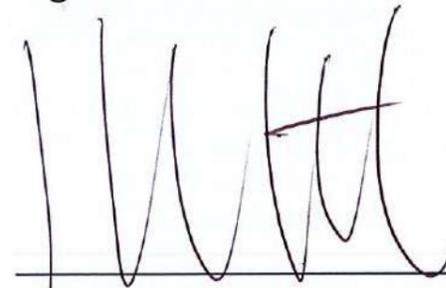


**Contrat d'objectifs, de
moyens et de performance
CNRS-État 2024-2028**

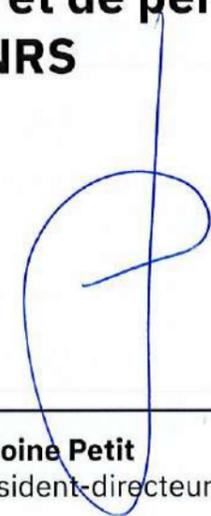
cnrs

Contrat d'objectifs, de moyens et de performance 2024-2028 entre l'État et le CNRS

Signé le 25 mars 2025



Philippe Baptiste
Ministre chargé de l'Enseignement
supérieur et de la Recherche

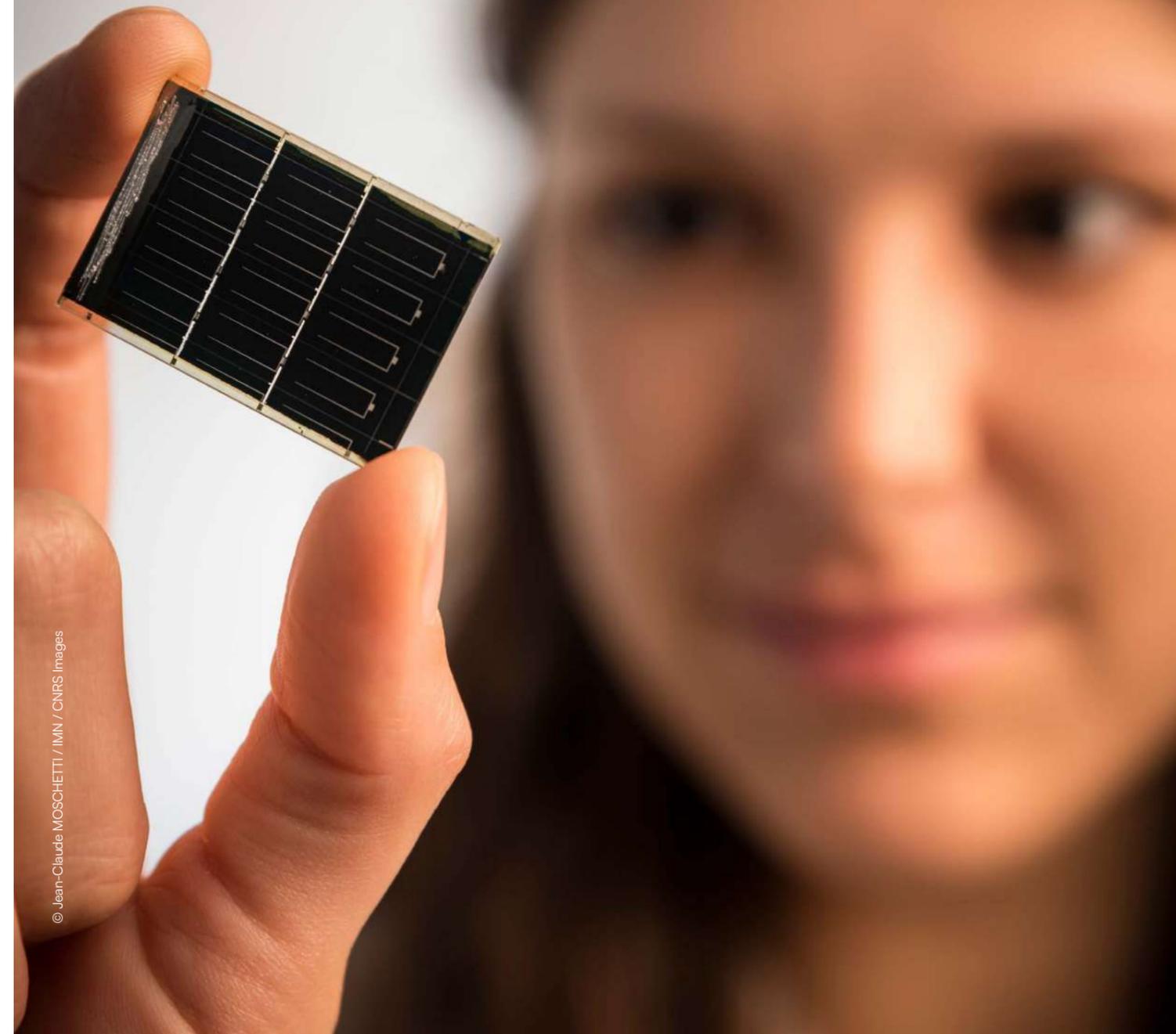


Antoine Petit
Président-directeur général du CNRS

Sommaire

01	INTRODUCTION	7
02	ATTIRER, ACCOMPAGNER, PROMOUVOIR ET FIDÉLISER LES TALENTS	9
	LES RECRUTEMENTS	10
	Les postes permanents	10
	Les postes non permanents	11
	LA PARITÉ	12
	L'ACCOMPAGNEMENT ET LE MANAGEMENT	13
	La prise de poste	13
	Les conditions de travail et le déroulé de carrière	13
	LES RÉMUNÉRATIONS	13
	Les promotions	14
	Les primes	14
	POLITIQUE RSO, Y COMPRIS DD	14
	Stratégie et gouvernance	14
	Intégration des enjeux DD&RS dans les activités du CNRS	15
	Politique sociale	15
	Transition environnementale	16
03	DÉVELOPPER UNE RECHERCHE FONDAMENTALE AU MEILLEUR NIVEAU INTERNATIONAL	19
	PRIORITÉS THÉMATIQUES	20
	LES « Outils » INCONTOURNABLES	20
	Les (très grandes) infrastructures de recherche	20
	Science ouverte	20
	Intégrité et déontologie, éthique	21
	INTER ET PLURIDISCIPLINARITÉ	22
	COOPÉRATIONS INTERNATIONALES ET ULTRAMARINES	24
	Augmenter les financements Horizon Europe et FP10	24
	International	25
	Outre-mer	27
04	METTRE CETTE RECHERCHE FONDAMENTALE AU SERVICE DE LA SOCIÉTÉ	29
	SIX DÉFIS TRANSVERSES	30
	Le cerveau	31
	Les matériaux du futur	32
	La vie dans l'Univers	34
	L'instrumentation sans limites	36
	L'IA générative pour les sciences	38
	Les sociétés en transitions	39
	LE MONDE ÉCONOMIQUE ET INDUSTRIEL	41
	Donner envie, partager et accompagner	42
	Renforcer et compléter les programmes d'accompagnement à la valorisation	43
	Programmes expérimentaux	44
	Créer une cellule d'analyse de données d'innovation	44
	AIDE À LA DÉCISION ET À LA COMPRÉHENSION	46
	La mission pour l'expertise scientifique	46
	Pôle Affaires publiques	47
	Communication grand public et médiation scientifique	48
05	LE CNRS, ACTEUR NATIONAL, AMPLIFICATEUR DES POLITIQUES DE SITE	49
	PROGRAMMES NATIONAUX, PEPR, PROGRAMME « RECHERCHE À RISQUE »...	50
	POLITIQUES DE SITE ET PARTENARIATS ACADÉMIQUES	51
	Simplifications « locales »	51
	Les unités communes	53
	Délégations d'enseignants-chercheurs et professeurs attachés	54
	Évaluation	55
	AGENCES DE PROGRAMMES	55
	Climat, biodiversité et sociétés durables »	55
	Les autres agences	56
06	SIMPLIFIER LE QUOTIDIEN DES UNITÉS	57
	L'ÉVOLUTION DES DÉLÉGATIONS RÉGIONALES	58
	LE RÉEXAMEN DES PROCESSUS	58
	LA DÉMATÉRIALISATION ET LES OUTILS D'AIDE AU PILOTAGE	60
07	CONFORTER LA TRAJECTOIRE BUDGÉTAIRE DU CNRS	61
08	CONCLUSION, À PROPOS DE L'IMPACT	63
09	INDICATEURS 2024-2028	65
	CAHIER SCIENTIFIQUE	69
	CHANGEMENTS GLOBAUX, 70	ONDES ET PARTICULES, 86
	INGÉNIERIE, 74	SOCIÉTÉS, 89
	MATIÈRE, 78	VIVANT, 92
	NUMÉRIQUE, 82	
	ANNEXE FINANCIÈRE	96

1. Introduction



Il n'y a probablement jamais eu une demande sociale et politique aussi forte de savoirs. La science est sollicitée pour aider à l'amélioration de la qualité de vie, au développement de l'innovation, à la réindustrialisation de notre pays, à la préservation de sa souveraineté, à l'adaptation au changement climatique et à ses conséquences, à la compréhension des relations entre les êtres humains et le vivant, entre les sociétés humaines, etc. Tous les conflits que nos sociétés traversent ou traverseront encore, qu'ils soient climatiques, énergétiques, sanitaires, sociaux ou géopolitiques, requièrent de nouvelles connaissances pour être mieux compris et pour tenter d'y répondre.

Mais il existe de nombreux genres de savoirs, dont certains ne sont que des illusions de connaissances, des savoirs mal construits, mal élaborés, sans hypothèse ni méthode, sans données ni démarche véritablement scientifique. À une époque où les croyances erronées se diffusent de façon massive et où l'accès à la connaissance et à l'éducation est très inégalement réparti dans le monde et cultivé tout au long de la vie, la recherche scientifique a un rôle particulier à jouer, autant dans ses résultats que dans sa démarche.

Tous ces savoirs, toutes ces connaissances sont le fruit d'histoires scientifiques et technologiques variées, qui s'inscrivent le plus souvent dans le temps long, mais qui commencent toutes de la même manière, par des activités de recherche fondamentale. Sans recherche fondamentale donc, il n'y a pas d'histoire et donc plus de progrès, plus d'innovation et pas de réponse aux grands enjeux de nos sociétés.

Depuis bientôt 85 ans, c'est précisément **la mission première du CNRS de conduire une recherche fondamentale**, au meilleur niveau international, dans tous les domaines scientifiques, et de la mettre au service de la société. Et si cette recherche fondamentale est principalement guidée par la curiosité (« *curiosity-driven* »), elle est aussi conduite pour répondre à des besoins de la société avec des finalités plus précises (« *mission-oriented* »). Ces deux parties se complètent et se nourrissent, répondant ainsi ou apportant des éléments de réponse, à la fois à des questions que chercheurs ou chercheuses se posent, et aussi aux questions posées par la société dans toutes ses dimensions. Ces questions, qu'elles soient sociales, économiques ou de compréhension, nécessitent des approches inter et pluridisciplinaires, faisant du CNRS, grâce à son spectre scientifique unique, un acteur de premier plan incontournable.

Comme l'a écrit le Comité 2024 d'évaluation du CNRS, mis en place sous la responsabilité du

HCERES : « *Le Comité considère le CNRS comme une institution de recherche majeure et de niveau mondial. Son histoire et son impact se reflètent dans sa réputation, sa taille et son envergure, et sa présence sur l'ensemble du territoire français, dans les initiatives scientifiques européennes et au niveau international.* » Le Comité a aussi placé le CNRS devant ses responsabilités, l'enjoignant d'intensifier son action en ajoutant : « **Cependant, le Comité estime que le CNRS peut faire mieux.** » Venant de la part d'expertes et d'experts internationaux particulièrement reconnus, c'est une source d'inspiration et de motivation qui a très largement inspiré ce nouveau Contrat d'objectifs, de moyens et de performance (COMP), objet du présent document.

Ce contrat tient également compte de la consultation des agents CNRS, réalisée au second semestre 2023, qui a confirmé l'impression du Comité (« **Le Comité a observé qu'il y a une grande fierté à être associé au CNRS** ») tout en faisant état d'attentes et de demandes fortes notamment en matière de ressources humaines. **Ce COMP vise à répondre, ou a minima à apporter des éléments de réponse, aux principales recommandations du Comité comme aux attentes des agents CNRS.**

Il s'articule autour de six axes majeurs :

- attirer, accompagner, promouvoir et fidéliser des talents;
- développer une recherche fondamentale au meilleur niveau international;
- mettre cette recherche fondamentale au service de la société;
- préciser le positionnement du CNRS dans l'écosystème français;
- simplifier le quotidien des unités;
- conforter la trajectoire budgétaire du CNRS.

Le succès de la recherche française à travers le monde doit beaucoup au CNRS qui, depuis plus de 85 ans, recrute des personnels de talent, joue un rôle clé d'animation et de structuration sur la scène nationale, et fait rayonner la science française sur la planète. Le présent contrat quinquennal vise à proposer une feuille de route, et à identifier les moyens nécessaires aussi bien via la subvention pour charge de service public que via les ressources propres, tout en restant attentif à la soutenabilité budgétaire. Il permettra au CNRS de continuer à assumer le rôle unique qui est le sien, au bénéfice de la France.

Ce contrat inclut un certain nombre d'actions concrètes qui s'entendent au regard des ressources allouées sur la période et d'indicateurs qui permettront de suivre la mise en œuvre de ces actions au cours de la même période considérée.

2. Attirer, accompagner, promouvoir et fidéliser les talents



Le Comité 2024 d'évaluation du CNRS a rappelé que **« l'excellence de la recherche du CNRS dépend de sa capacité à recruter, promouvoir et retenir les meilleurs talents à tous les niveaux, dans un environnement de recherche international très compétitif. Cet objectif nécessite de développer une politique forte pour soutenir les carrières de tous les personnels permanents, et une politique spécifique forte pour soutenir les jeunes chercheurs et chercheuses. »**

Cet avis a été conforté par la consultation interne effectuée fin 2023. Les personnels du CNRS ont rappelé à quel point ils souhaitent un accompagnement plus important et plus personnalisé dans le déroulement de leur carrière, une qualité de vie professionnelle et aussi de meilleures rémunérations.

Le CNRS doit conduire une politique RH ambitieuse, à la hauteur des attentes de la société envers la science. Il s'agira de prendre en compte les deux recommandations du Comité 2024 d'évaluation du CNRS invitant à **« mettre en œuvre une stratégie ambitieuse pour attirer, soutenir et retenir les meilleurs talents »** et à **« développer une culture du mentorat et de l'inclusion à tous les niveaux »**.

LES RECRUTEMENTS

La capacité du CNRS à attirer des talents dans des compétitions, essentiellement nationales pour les ingénieurs et techniciens (IT), et plus internationales pour les chercheurs et les chercheuses, dépend de nombreux facteurs, qualitatifs et quantitatifs.

Un élément transversal essentiel est que **cette politique soit pluriannuelle et connue sur les scènes nationale et internationale.** Il faut anticiper et préparer l'ensemble des recrutements.

Les postes permanents

Les postes permanents sont essentiels, car ce sont eux qui structurent le CNRS et lui permettent d'être attractif et efficient. De nombreux départs à la retraite sont prévus à la fin de la décennie et au début de la suivante, c'est-à-dire plutôt dans le cadre du contrat suivant. En attendant, la stratégie de remplacement des départs à la retraite sera poursuivie, en moyennant ces départs sur plusieurs années.

Dans ce cadre général, la politique du CNRS concernant le recrutement des chercheurs et chercheuses visera à :

1/ **Maintenir comme principale voie de recrutement l'accession au corps des chargés et chargées de recherche** en veillant à :

- conduire une politique de rajeunissement du recrutement dans le corps des chargés de recherche, en mobilisant les communautés scientifiques et en encourageant une démarche volontariste des jurys d'admissibilité et d'admission. L'objectif en fin de contrat est de recruter majoritairement moins de 5 ans après la thèse;
- prolonger une politique visant à fournir à chaque chargé ou chargée de recherche les conditions financières de son installation professionnelle et favoriser son indépendance scientifique avec pour objectif, selon les crédits disponibles, un package de 50 k€ à la fin du contrat.



Localisation en direct des bateaux dans le monde.

© Christian MOREL / LISN / CNRS Images



Tâche de spatialisation du son du Perceptrion, une table permettant une tâche de tri libre.

© Frédéric MALIGNE/MSH Toulouse/CNRS Images

2/ **Poursuivre et, selon les crédits disponibles, amplifier le recrutement de DR externes en se laissant la possibilité d'aller jusqu'à 20 ou 25 postes si le niveau des candidats et candidates le justifie.** Le concours dit « DR externe » privilégie le recrutement dans le corps des directeurs de recherche, de personnels n'ayant pas de poste permanent en France. C'est un succès qui a notamment permis de faire venir en France des chercheurs et chercheuses dont la carrière s'était déroulée jusque-là ailleurs, en offrant à notre pays une réelle chance d'augmenter son potentiel scientifique. Le CNRS a ouvert 10 postes en 2020, 2021 et 2022 (pour 240 postes de CR) et 15 en 2023 et 2024 (pour 255 postes de CR). Chaque personne recrutée a bénéficié de la part du CNRS d'un package d'accueil de 150 k€ en 2023. Le CNRS continuera à travailler avec les universités volontaires pour qu'elles accompagnent ce package CNRS d'un package supplémentaire (souvent via l'Idex ou l'iSite local).

3/ **Encourager les possibilités offertes par les « chaires de professeur junior »** qui permettent de compléter harmonieusement la palette de recrutements au sein du CNRS en offrant la possibilité d'intégrer le CNRS à des collègues trop expérimentés pour les postes de chargés ou chargées de recherche, mais pas encore assez pour candidater dans le corps des directeurs et directrices de recherche. Pour mémoire, depuis 2022, la mise en œuvre au sein de l'établissement de la politique de chaires de professeur junior (CPJ) a permis le recrutement d'environ 30 personnes par an.

Ainsi, les trois voies de recrutement dans les corps de chercheurs et chercheuses permanents sont clairement distinctes et complémentaires.

En ce qui concerne le personnel d'appui, il convient de garder un bon équilibre entre les fonctions support et soutien, et de maintenir le taux de fonctions support à 12,8 %, taux stable depuis près de quinze ans. À noter que l'obligation de se limiter au remplacement des départs en retraite a représenté sur la période 2019-2022 une diminution de plus de 90 personnels IT par an du fait des départs définitifs, autres que les départs à la retraite. Mécaniquement, ces non-remplacements induisent une charge supérieure de travail pour les collègues restants.

ACTION EN CONTINUITÉ

DU COP 2019-2023

Remplacer chaque année du contrat, les prévisions moyennes de départs à la retraite sur la période (ces nombres seront revus si les réalisations s'écartaient significativement des prévisions).

Les postes non permanents

Toutes les équipes de recherche du monde travaillent avec des doctorants et des post-doctorants. Si la majorité d'entre elles et eux sont recrutés sur des ressources propres obtenues par les unités de recherche, il est essentiel de **maintenir et développer une capacité à recruter des doctorants et des post-doctorants pour conduire notre politique scientifique.**

Le programme interne de doctorantes et de doctorants, créé en 2018, a permis d'en recruter 200 en 2019 et 180 chaque année depuis 2020. Ce programme a joué un rôle essentiel dans notre capacité à mettre en œuvre trois priorités, l'interdisciplinarité avec notamment le soutien aux projets Prime, aux défis sociaux et les coopérations internationales via les « PhD Joint Programs » (cf. page 13).

Le programme des ingénieurs de projets européens (IPE) a conduit au recrutement de 100 personnes (33 par an) sur les années 2022, 2023 et 2024. La dernière vague de recrutements est en cours et d'ici à la fin de l'année 2024 nous aurons donc recruté 100 IPE. Les premiers résultats préliminaires nous permettent d'être optimistes, même s'il est trop tôt pour conclure sur l'efficacité du dispositif : en effet, les premiers résultats du travail de la première vague d'IPE embauchés à l'automne 2022 sont prévus pour l'automne 2024 et le programme donnera sa pleine puissance à partir de mi-2025.

ACTIONS EN CONTINUITÉ**DU COP 2019-2023**

- Poursuivre le recrutement de 180 doctorants par an (cf. p. 22, Inter et pluridisciplinarité, et p. 24, Coopérations internationales et ultramarines).
- Poursuivre le recrutement de 33 ingénieurs projets européens par an (avec un objectif d'un stock de 100 ETPT), qui contribuent à l'objectif d'accroissement des ressources issues de l'Union européenne (cf. p. 24, Coopérations internationales et ultramarines).
- Poursuivre le recrutement de 33 ingénieurs transfert (avec un objectif d'un stock de 100 ETPT), qui contribuent à l'objectif de valorisation (cf. p. 41, Le monde économique et industriel).

LA PARITÉ

La question de la prise en compte de la parité est doublement importante. Le CNRS doit être exemplaire et offrir aux collègues femmes des possibilités de carrière identiques à celles de leurs collègues masculins. De plus, le CNRS, et plus généralement la recherche scientifique, ne peut faire l'impasse sur une partie importante des talents et des compétences disponibles en se privant de talents féminins.

Le CNRS porte depuis plus de dix ans des politiques d'égalité professionnelle volontaristes, qui s'inscrivent désormais dans un cadre législatif très structuré. En application de la loi de transformation de la fonction publique, le CNRS s'est doté d'un plan d'action égalité pour la période 2021-2023 et vient de valider celui pour 2024-2026. Son action depuis plusieurs années a été notamment saluée avec le **Prix européen de l'égalité entre les hommes et les femmes** qui lui a été décerné en 2024 et qui met en valeur, en particulier, les efforts du CNRS pour garantir l'égal accès aux corps, grades et emplois. Les mesures déployées ont déjà produit des résultats importants, notamment concernant la carrière des chercheuses. Elles consistent en la formation aux biais de genre et la mise en place de référentes et référents égalité pour les jurys de recrutement et de promotion, le principe de promotions en proportion égale ou supérieure à la proportion de femmes parmi les promouvables. En complément, le CNRS poursuit avec ses partenaires universitaires sa politique volontariste visant à augmenter le nombre de femmes directrices d'unité (DU). Cette politique

a permis, lors du contrat précédent, de passer d'un taux de 21 % en 2018 à 28 % en 2023.

À partir de 2024, l'extension de ces dispositifs s'appliquera au personnel IT en poursuivant deux objectifs principaux pour **accroître la mixité des métiers au sein des différentes BAP : réduire les biais de genre** dans les annonces de postes et fiches de postes par la création d'outils dédiés ; **réduire le plafond de verre**, notamment par la sensibilisation aux biais de genre dans les recrutements et promotions IT. Ce double objectif **contribuera aussi à réduire les écarts de rémunération**, analysés en profondeur dans le cadre du plan d'action pour l'égalité 2021-2023 et dont le nouveau plan proposera plusieurs mesures correctives.

Le soutien à la parentalité est un autre enjeu majeur. L'une des actions consiste à assurer le maintien des primes à leur taux plein pour les femmes prenant un congé maternité. Pour les femmes ayant une interruption pour maternité durant un CDD, un soutien financier aux unités permet désormais une prolongation du contrat d'une durée équivalente au congé. Des mesures ponctuelles de soutien financier au retour de congé maternité vont être étudiées à destination des chercheuses. Dans les limites de la réglementation, des mesures de prise en charge de frais de garde d'enfants (crèches éphémères...) pourront être mises en œuvre pour faciliter la participation des parents aux événements scientifiques qui ponctuent la vie d'un chercheur ou d'une chercheuse.

Avec la volonté d'améliorer encore la **politique de prévention et de lutte contre les violences sexistes et sexuelles**, les actions de sensibilisation et de formation à destination des encadrants et de tous les agents seront renforcées.

ACTIONS EN CONTINUITÉ**DU COP 2019-2023**

- Maintenir les primes à leur taux plein pour les femmes en congés maternité.
- Apporter un soutien financier aux unités permettant une prolongation du contrat d'une durée équivalente au congé.
- Contribuer à la prise en charge des frais de garde d'enfants pour faciliter la participation aux événements scientifiques.
- Développer un plan d'accès aux responsabilités des personnels féminins (avec notamment comme indicateurs la proportion de femmes DU).

L'ACCOMPAGNEMENT ET LE MANAGEMENT

En dehors de la question des rémunérations, le sujet principal exprimé par la consultation des personnels en 2023 a été celui de **l'accompagnement des carrières** et de **la qualité de vie au travail**. Ces thèmes ne sont évidemment pas nouveaux, mais ils feront l'objet d'une attention toute particulière lors du COMP 2024-2029.

La prise de poste

La mise en place d'une politique de mentorat facilitera l'intégration des nouveaux arrivants. Outre la désignation d'un mentor pour tout nouvel arrivant, il s'agit de travailler plus spécialement sur le dispositif en faveur des chercheurs et chercheuses, et d'améliorer celui en faveur des encadrants.

Dans un contexte de fort taux de rotation des fonctions support, il est important de **faciliter l'installation matérielle de la ou du nouvel arrivant**, ce qui permet également d'assurer la continuité des dossiers. Il faut aussi que chaque personne dispose de formations en ligne aisément et immédiatement accessibles. Elles ont été rénovées fin 2023 pour la filière finances, un important matériau existe pour la filière RH et est en cours d'enrichissement. Des projets sont par ailleurs engagés pour les filières valorisation et SI.

Le CNRS a formalisé fin 2022 un plan attractivité qui sera déployé sur la période du présent COMP, avec un accent en particulier sur le prérecrutement (apprentissage, stagiaires, développement de partenariats et de viviers, devenir des CDD...), la modernisation des sites web de recrutement du CNRS, la sollicitation de candidates et de candidats.

Les conditions de travail et le déroulé de carrière

La fonction de conseil et d'accompagnement RH doit être renforcée, tant dans les instituts que dans les délégations régionales. Il faut généraliser à tous les instituts les rendez-vous individuels de carrière réguliers, non seulement autour de cinq ans après le recrutement comme cela se fait déjà, mais également à d'autres étapes plus avancées de la carrière, par exemple passage de CR à DR, ou encore promotion au grade de directeur de recherche de première classe. De plus, les évaluations ou entretiens annuels, pour les chercheurs, chercheuses ou IT doivent faire l'objet

de retours plus précis aux agents, notamment en cas de difficulté identifiée ou anticipée.

Un **baromètre social et d'indicateurs de risques psychosociaux sera mis en place**, afin d'objectiver les situations collectives et de détecter les difficultés aussi en amont que possible. Cette action sera déployée au terme d'une concertation avec les organisations syndicales.

En lien également avec les partenaires sociaux, un **nouveau plan de formation et un nouveau plan handicap, associé à une nouvelle convention pluriannuelle avec le FIPHFP**, sont en cours.

Dans le même sens, **l'effort d'accompagnement de l'encadrement intermédiaire et de l'encadrement supérieur sera amplifié**. L'école du management, formalisée en 2023, est appelée à se développer. Un nouveau plan managérial couvrira la période de ce nouveau contrat.



Damien Gendry, médaille de cristal du CNRS 2024, transfère des collections paléontologiques.

© Jean-Claude MOSCHETTI / Géosciences Rennes / CNRS Images

LES RÉMUNÉRATIONS

Le Comité 2024 d'évaluation du CNRS a très clairement averti : **« La détérioration continue des niveaux de rémunération compétitifs pour les ingénieurs et les personnels techniques et administratifs (IT) et pour les chercheurs constitue un risque pour le maintien du niveau d'excellence du CNRS. »**

De plus, de manière plus marquée, le CNRS souffre de difficultés importantes à pourvoir les postes qu'il propose et à fidéliser les personnels qui les occupent.

Les promotions

Le CNRS a conduit durant le dernier contrat une politique très volontariste visant à atteindre les seuils maximaux autorisés de promotion pour les directeurs et directrices de classe exceptionnelle. Cela a aussi permis d'augmenter en cascade les promotions au grade de directeur de recherche de première classe.

La LPR a conduit à supprimer les quotas des différents grades au sein du corps des directeurs de recherche. Il convient d'en profiter et de se donner des objectifs ambitieux visant à avoir une meilleure répartition entre les classes du corps des directeurs de recherche.

Pour les IT, la problématique n'est pas tout à fait la même, car les taux de promotions sont décidés de manière centralisée par les règles de la fonction publique. **Le CNRS a toujours utilisé toutes les possibilités de promotion offertes et continuera à le faire.**

Les primes

Afin de tenter de répondre à son déficit d'attractivité, et de limiter le turn-over trop important, le CNRS verse une prime aux personnels des fonctions support, depuis juillet 2024. Selon les crédits disponibles, le CNRS souhaite pouvoir généraliser cette prime aux personnels des fonctions soutien. L'objectif est d'être en mesure de proposer des rémunérations comparables à la moyenne de la fonction publique pour un même métier.

Le CNRS poursuivra la mise en œuvre des revalorisations prévues dans la loi de programmation de la recherche et celles transversales à l'ensemble de la fonction publique. De manière générale, le CNRS sera attentif à l'attractivité des carrières proposées.

ACTION

Développer une culture du mentorat et de l'inclusion à tous les niveaux et assurer son suivi pour recruter, fidéliser et soutenir les personnels.

POLITIQUE RSO, Y COMPRIS DD

Dans son avis rendu le 5 décembre 2022, le Comité d'éthique du CNRS, saisi sur le sujet de l'intégration des enjeux environnementaux à la conduite de la recherche, déclare : « **La prise en compte des impacts environnementaux de la recherche doit être considérée comme relevant de l'éthique de la recherche, au même titre que le respect de la personne humaine ou de l'animal d'expérimentation.** » Il estime que « **s'il est indispensable de calculer autant que possible les impacts, la démonstration d'un impact n'est pas à elle seule une raison suffisante pour ne pas conduire une recherche** ».

L'objectif est un juste équilibre à trouver en s'engageant dans un schéma directeur « Développement durable et responsabilité sociétale » ambitieux, et en s'appuyant sur le plan climat du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Ce schéma directeur DD&RS du CNRS sera élaboré d'ici à fin 2024 ; il reposera sur quatre axes qui donneront lieu chacun à un ou plusieurs plans d'action, soit déjà existants et à renforcer, soit à créer.

Stratégie et gouvernance

Avec ce schéma directeur, les considérations environnementales, économiques et sociales du développement durable seront intégrées dans la stratégie d'établissement public du CNRS. Ce schéma directeur encourage la participation active des agents dans cette dynamique et en assure un suivi régulier. Il favorise la communication avec ses personnels, mais également avec toutes ses parties prenantes susceptibles d'enrichir sa démarche et ses actions ou de s'y rallier.

Les deux priorités en matière de pilotage pour la période considérée et qui feront l'objet d'un effort particulier concernent :

- la politique achats, avec la rédaction d'un schéma de promotion des achats socialement et écologiquement responsables pour mettre en œuvre des objectifs à caractères sociaux et environnementaux dans la politique d'achat public du CNRS ;
- le déploiement géographique et scientifique des actions dans tous les instituts et délégations du CNRS et avec le souci prioritaire du partage des bonnes pratiques entre délégations et unités.



Lydéric Bocquet, médaillé de l'innovation du CNRS 2024, et deux collaboratrices d'Illion Water, lors du test de Viro.

© Frédérique PLAS / LPENS / CNRS Images

Intégration des enjeux DD&RS dans les activités du CNRS

Aujourd'hui, par ses travaux et ses innovations, le CNRS participe à la dynamique mondiale organisée autour des objectifs de développement durable définis par l'Organisation des Nations unies.

Au-delà de l'enjeu de la connaissance fondamentale et de son apport pour l'élaboration de solutions, la question de l'adaptation à la transition écologique porte aussi un enjeu géostratégique fort autour de l'axe Nord/Sud, mais aussi de la zone intertropicale, dont on sait qu'elle est un indicateur de plus en plus fort du changement climatique. Pour cela, le CNRS a élaboré deux plans qui concernent cette zone et dont la période du présent contrat verra le développement : un concernant les territoires d'outre-mer répartis sur les trois océans et un plan Afrique à l'international.

Politique sociale

Le CNRS mène depuis de nombreuses années une politique des ressources humaines engagée afin de répondre aux attentes des agents et, à travers eux, aux enjeux sociaux. L'inscription du CNRS dans la stratégie européenne des ressources humaines pour les chercheurs (HRS4R) depuis 2017 et le renouvellement du label HRS4R en attestent.

Pour les années à venir, l'engagement social du CNRS se concrétisera par le développement des compétences et savoir-faire en proposant aux agents une nouvelle offre de service RH ambitieuse comprenant une politique d'attractivité, de formation et de mobilité interne efficaces.

Le développement du potentiel humain est une préoccupation majeure du CNRS qui se traduit notamment par la reconnaissance du travail et de l'engagement des agents ayant le plus contribué à son rayonnement et à l'avancée de la recherche, en les distinguant annuellement.

Le CNRS s'engage également en faveur de l'égalité professionnelle femme-homme, de l'emploi des personnes en situation de handicap et de la diversité. Il apporte une attention particulière à la lutte contre les conflits et à toute forme de discrimination et de harcèlement, un renforcement des cellules et structures affectées à ces problématiques constitue un des volets de cette politique.

En parallèle, la politique sociale participera à la conciliation des vies professionnelles, personnelles et familiales avec de nouvelles mesures pour bénéficier de places en crèches, d'une restauration sociale, de logements réservés ou encore d'un soutien à l'habitat et à la mobilité géographique.

Transition environnementale

Le CNRS est l'un des premiers contributeurs mondiaux aux travaux qui concourent à l'élaboration des rapports du GIEC ou de l'IPBES. Le CNRS a d'une part la responsabilité de réduire ses impacts environnementaux et d'autre part de se saisir de la transition environnementale comme d'un axe de recherche innovant, soutenable et attractif.

Cette mise en cohérence de pratiques de sobriété de la recherche donne du sens au travail des personnels, suscite la fierté d'appartenance au collectif et devient un facteur d'attraction de nouveaux talents.

Le CNRS s'est engagé dans une politique de diminution de son empreinte carbone en adoptant, en 2023, son plan de transition « bas-carbone ». Il s'est appuyé sur le premier bilan des émissions de gaz à effet de serre réalisé à l'échelle de

l'établissement sur les données 2019. Le deuxième bilan réalisé sur 2022 a mis en évidence un niveau moyen d'émissions de 14,7 tonnes équivalent CO₂ par agent au CNRS, dont 85 % liés aux achats, 6 % aux déplacements professionnels, 6 % aux bâtiments et 3 % aux trajets domicile-travail. Il faut donc « acheter mieux » et pour cela mettre en place une comptabilité du bilan carbone qui prenne en compte la politique bas carbone des fournisseurs. Il est en effet indispensable pour maintenir la compétitivité des recherches de continuer à acheter du matériel de pointe, mais fabriqué avec le plus faible bilan carbone possible. **L'une des priorités de la période sera de travailler sur la relation avec les fournisseurs afin de permettre la prise en compte de leur politique bas carbone dans le choix des matériels.** Par ailleurs, un effort particulier portera sur la politique de mutualisation des équipements scientifiques sur les sites en lien avec ses partenaires et une optimisation des achats sera encouragée.

En complément, un plan de transition environnementale, intégrant l'énergie, la biodiversité, les mobilités professionnelles, la gestion de la rareté des ressources, la gestion des risques et l'adaptation au changement climatique est en cours d'élaboration dans le cadre de ce schéma directeur DD&RS.

La condition de réussite de l'atteinte des objectifs de transition repose fortement sur le développement de compétences transversales et spécifiques, que ce soit dans les filières d'appui à la recherche, ou dans les métiers de la recherche. Afin d'assurer la pérennité de ces actions et un déploiement à l'échelle de l'établissement, la priorité va être donnée à un plan d'action RH, à travers le projet « Compétences TEDS 2030 » qui consiste à mettre en place une politique d'emploi et de compétences en transition écologique pour un développement soutenable (TEDS) afin de poursuivre et déployer la mise en œuvre de la transition environnementale de l'établissement pour répondre aux besoins de piloter la transition, acquérir de nouvelles expertises (métiers notamment) et développer une culture de l'impact.

ACTIONS EN CONTINUITÉ

DU COP 2019-2023

- Poursuivre la démarche de diminution de l'impact environnemental de la recherche permettant de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre et d'énergie, tout en maintenant la compétitivité de la recherche.
- Établir un schéma directeur développement durable et responsabilité sociétale.
- Établir un schéma de promotion des achats socialement et écologiquement responsables.



Mesure des flux gazeux de carbone sur un dispositif expérimental, tourbière de la Guette.

© Cyril FRESILLON / ISTO / CNRS Images

3. Développer une recherche fondamentale au meilleur niveau international



Dans le cadre de ce nouveau contrat, une quarantaine de priorités thématiques ont été identifiées par le CNRS. Elles traduisent sa vision des évolutions de la science dans les cinq prochaines années. Elles bénéficieront d'une focalisation d'une partie importante des moyens financiers du CNRS. Par ailleurs, nous avons identifié six grands défis transverses qui nous paraissent aujourd'hui particulièrement matures scientifiquement pour que l'on puisse y apporter une contribution significative en mobilisant l'ensemble des disciplines. Il s'agit de structurer les communautés scientifiques significatives à moyen terme, environ dix ans, en y consacrant en particulier une partie significative des recrutements de nouveaux chercheurs et chercheuses permanents.

PRIORITÉS THÉMATIQUES

L'ambition est d'apporter dans les cinq prochaines années une contribution marquante au meilleur niveau international pour chacune d'entre elles. Ces priorités tiennent compte des nombreux échanges que le CNRS a eus avec ses partenaires académiques et pourront être mises en œuvre conjointement. Elles ne couvrent évidemment pas l'ensemble des activités de recherche des équipes et des laboratoires du CNRS. Certaines de ces priorités thématiques traduisent des évolutions, voire des ruptures dans l'évolution de la science, alors que d'autres s'inscrivent dans la continuité de recherches déjà bien développées, mais dont la priorité reste d'actualité.



Damien Desbruyères, médaille de bronze du CNRS 2024, effectue un prélèvement d'eau.

© Adrien STELLA / LOPS / IFREMER / CNRS Images

Ces priorités thématiques sont regroupées dans le cahier scientifique (cf. page 69) au sein de sept grands domaines : changements globaux, ingénierie, matière, numérique, ondes et particules, sociétés, vivant. Chaque institut aura pour objectif d'engager un pourcentage significatif de ses moyens sur ces priorités.

LES « OUTILS » INCONTOURNABLES

La capacité du CNRS à conduire une politique scientifique au plus haut niveau international repose sur quatre éléments qui doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Les (très grandes) infrastructures de recherche

Le CNRS joue depuis longtemps un rôle national d'agence d'infrastructures de recherche, en opérant ou co-opérant 88 des 108 infrastructures de la feuille de route nationale définie par le MESR. Les plus importantes d'entre elles ont désormais des coûts d'investissement et de fonctionnement qui imposent des coopérations européennes, voire internationales. Ces infrastructures vont ainsi d'organisations scientifiques internationales (OSI) comme l'European Southern Observatory (ESO), et l'European Organization for Nuclear Research (CERN) aux infrastructures de recherche (IR) placées sous la responsabilité des opérateurs de recherche comme le CNRS (CONTINUUM, DATA TERRA, RENATECH, Infranalytics), en passant par les infrastructures relevant d'une politique nationale sous responsabilité scientifique des organismes de recherche IR* (SOLEIL, ESRF, GANIL, ILL, GENCI).

Ces infrastructures de recherche concernent aujourd'hui toutes les disciplines. Elles sont indispensables à la conduite de recherche au meilleur niveau international. Leur affaiblissement par un investissement insuffisant aurait des conséquences sur la qualité d'une grande partie de la recherche française.

Science ouverte

Le CNRS a fait du développement de la science ouverte une de ses priorités. Cela s'est traduit notamment par l'écriture d'une feuille de route sur le sujet en novembre 2019, d'un plan « Données de la recherche » en novembre 2020 et la création d'une nouvelle direction fonctionnelle des données ouvertes de la recherche.

Afin de lutter contre le développement rapide des APC (*articles processing charges* ou frais de publications), le CNRS soutient fortement le modèle « Diamant » pour l'édition scientifique, dans lequel ce sont les institutions qui financent, de sorte que l'auteur ne paie pas pour être publié et le lecteur ne paie pas pour lire. En cinq ans, près de 2,5 M€ ont été mobilisés par le CNRS pour soutenir ce modèle. Un plan d'action européen pour l'accès ouvert « Diamant » a été lancé en février 2022 et le CNRS est l'un des premiers signataires. Les plateformes comme le centre Mersenne et Episciences sont des modèles exemplaires qui doivent encore élargir leur couverture disciplinaire.

Le contrat précédent a été celui de l'ouverture des publications (aujourd'hui 95 % des publications des agents du CNRS sont en accès ouvert). Le présent contrat sera celui du dépôt massif des données de recherche, en coordination avec l'entrepôt national des données Recherche Data Gov. L'infrastructure HAL s'est engagée au sein de l'équipex+ Haliance (2022-2027) dans une initiative structurante visant à faire évoluer les services et l'infrastructure de l'archive HAL. Le CNRS est partenaire de 11 des 19 ateliers de la donnée labellisés par le MESR. Pour accompagner les chercheurs et les chercheuses dans la gestion de leurs données, une cinquantaine de supports IR CDD est à positionner au plus près des chercheurs et chercheuses.

Intégrité et déontologie, éthique

L'intégrité scientifique (IS) est le garant de la confiance que la société accorde à la communauté scientifique, elle est aussi essentielle pour les relations entre pairs. Le Comité 2024 d'évaluation du CNRS l'a rappelé dans sa 11^e recommandation « Encourager une culture de la durabilité, de l'intégrité scientifique et de la recherche responsable ». Le CNRS a nommé en 2018 un référent à l'intégrité scientifique (RIS) et mis en place une mission à l'intégrité scientifique (MIS) qui implique plusieurs délégués scientifiques issus de différentes disciplines. Cette mission vise précisément à sensibiliser à tous les niveaux aux questions éthiques liées à la recherche et à s'assurer que le message sur l'intégrité scientifique soit transmis à tous les niveaux, et à définir clairement les mesures à prendre en cas d'inconduite. Pour ce faire, le RIS travaille de manière étroite avec le référent déontologue, également référent lanceur d'alertes, du CNRS.

L'un des objectifs de la période du contrat en matière de soutien à l'intégrité scientifique consistera à tenter de réduire les temps d'investigation, tout en respectant le caractère contradictoire de



Étude du déplacement d'une phase aqueuse par du CO₂ injecté dans un modèle de fracture géologique.

© Jean-Claude MOSCHETTI / Géosciences Rennes / OSERen / CNRS Images

l'investigation et la mise en place, dans certains cas, de commissions d'experts indispensables pour accompagner le RIS.

La période de ce nouveau contrat sera également marquée par l'influence des nouveaux outils IA sur les pratiques scientifiques : optimisation des revues de littératures, rapidité de synthèses ou de codages assistés par IA, assistance à l'identification de nouvelles molécules ou matériaux...

ACTIONS EN CONTINUITÉ

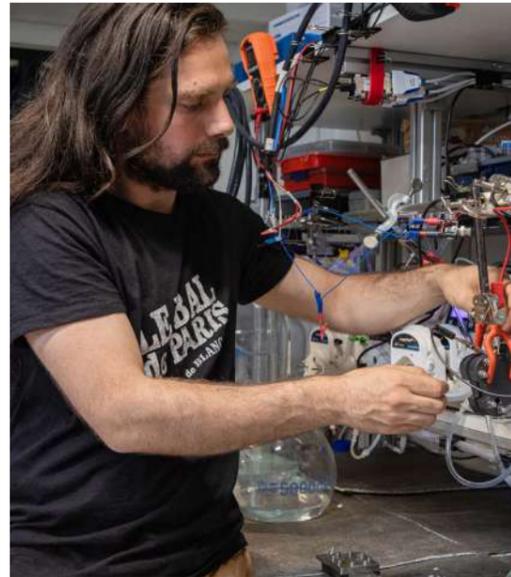
DU COP 2019-2023

- Consolider les acquis : expertise sur la façon de gérer des signalements.
- Réduire les temps d'investigation, en conservant cependant le temps nécessaire au caractère contradictoire.
- Maintenir des actions en matière de sensibilisation à l'intégrité scientifique en concertation avec la référente déontologue.
- Mettre en place un GT inter-organisme pour comprendre et prendre en compte l'IA dans les problématiques d'intégrité scientifique.

Le Comité d'éthique du CNRS (COMETS) a été, quant à lui, institué en 1994 pour examiner les questions éthiques que posent la recherche scientifique, ses pratiques, ses thématiques et son impact sur la société. Il formule des recommandations

permettant au CNRS de s'y préparer et d'y répondre et promeut les débats sur l'éthique de la recherche au sein des communautés scientifiques du CNRS. Il encourage les échanges du CNRS avec ses partenaires français, européens et internationaux en matière d'éthique de la recherche.

Dans ce cadre, il est proposé lors du prochain contrat que le COMETS apporte une attention particulière au développement des coopérations avec les instances éthiques des organismes de recherche en France et en Europe : en France, le Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé, le Comité national pilote d'éthique du numérique, le Comité d'éthique de l'INSERM, le Comité éthique en commun (INRAE-CIRAD-IFREMER-IRD), le Comité d'éthique du CNES et les comités d'éthique universitaires ou régionaux ; en Europe, via le G6 (le G6 est un réseau d'influence regroupant les principaux organismes pluridisciplinaires de recherche européens, c'est-à-dire le CNR italien, le CNRS, le CSIC espagnol, la Helmholtz Association, la Leibniz Association et la Max Planck Society allemandes) et plus particulièrement le réseau Éthique de la recherche du G6 lancé à l'occasion du 30^e anniversaire du COMETS en mai 2024.



Ajustement de la cellule d'un dispositif de conversion de l'énergie osmotique en électricité.

© Frédérique PLAS / LPENS / CNRS Images

ACTION

Créer un guide de la prise de parole publique des scientifiques, notamment destiné à clarifier les règles applicables et à sécuriser les actions des chercheurs.

INTER ET PLURIDISCIPLINARITÉ

Une des forces principales du CNRS réside dans sa capacité à mobiliser toutes les sciences, et à bénéficier ainsi d'un périmètre large pour mener à bien des travaux inter ou pluridisciplinaires. De tels travaux sont aujourd'hui plus indispensables que jamais si on veut apporter des réponses, ou des éléments de réponses, aux questions posées par les grands enjeux sociaux, les problématiques industrielles ou les demandes de connaissances ou d'expertise. Ce potentiel unique se reflète aussi par la place prise par le CNRS dans les programmes nationaux dont l'État, via France 2030, a confié pour les trois quarts d'entre eux le pilotage ou le copilotage au CNRS.

Le CNRS a lancé en 2019 le programme PRIME (Projets de recherche interdisciplinaires multi-équipes). Il soutient chaque année 80 projets sélectionnés, dans une démarche *top-down* sous la responsabilité des instituts et finalisée par le Comité de pilotage de la mission pour les initiatives transverses et l'interdisciplinarité (MITI) du CNRS. Il est difficile de faire un bilan du devenir des 80 doctorants embauchés chaque année, car les premiers étudiants ont commencé leur doctorat en 2019 et la durée de leur thèse a été prolongée à cause de la COVID. Ce sont au total 400 étudiantes et étudiants qui ont été embauchés dans le cadre de ce programme. Un premier bilan des premiers projets a eu lieu en septembre 2024. Il a montré que le pari de l'interdisciplinarité a été gagné. Chaque projet est proposé par deux instituts et porte sur des sujets sociétaux qui demandent une réponse interdisciplinaire. On constate que la moitié des sujets proposés chaque année s'est inscrite dans l'un des six défis sociaux que le CNRS a identifiés dans son COP.

Le CNRS a également initié et développé des outils d'animation et de traitement de sujets transversaux tels que la mission « Pôles », la cellule « Énergie », les groupes de travail sur les objectifs de développement durable de l'ONU et sur l'océan, le programme NEEDS, le GDR sport et activité physique, le GDR Océan, certains réseaux métiers...

Clairement, l'interdisciplinarité est présente à tous les niveaux, à travers les actions de la MITI, mais aussi au sein et entre les instituts et au sein de grands laboratoires interdisciplinaires comme dans les PEPR. Le développement de l'interdisciplinarité passe aussi par le recrutement de chercheurs et chercheuses permanents en soutien de projets pluridisciplinaires inter-instituts. Cela représente aujourd'hui environ 23 % des recrutements entre les postes mis au concours dans les commissions interdisciplinaires, les postes relevant d'un institut et mis au concours dans une section disciplinaire dépendant d'un autre institut et les lauréats au concours CR sélectionnés par une section dépendant d'un institut et affectés dans un laboratoire dépendant d'un autre institut.

Une dynamique s'est mise en place autour des six défis sociaux du précédent COP. Elle se poursuivra

avec l'animation inter-instituts autour des six sujets transverses identifiés dans ce contrat et présentés en Section 4. Cela passe par la réflexion sur les outils et les moyens humains. Il est enfin proposé de mettre en place quelques grappes de thèses et de postdocs pour soutenir des thématiques transverses (Océan, Sport, deux défis sociétaux par an, etc.) et en particulier les six sujets transverses identifiés dans ce COMP.

ACTION EN CONTINUITÉ

DU COP 2019-2023

Lancer chaque année 80 projets PRIME (Projets de recherche interdisciplinaires multi-équipes).



Scientifique tenant un flacon de nitrate de nickel.

© Jean-Claude MOSCHETTI / IMN / CNRS Images

COOPÉRATIONS INTERNATIONALES ET ULTRAMARINES

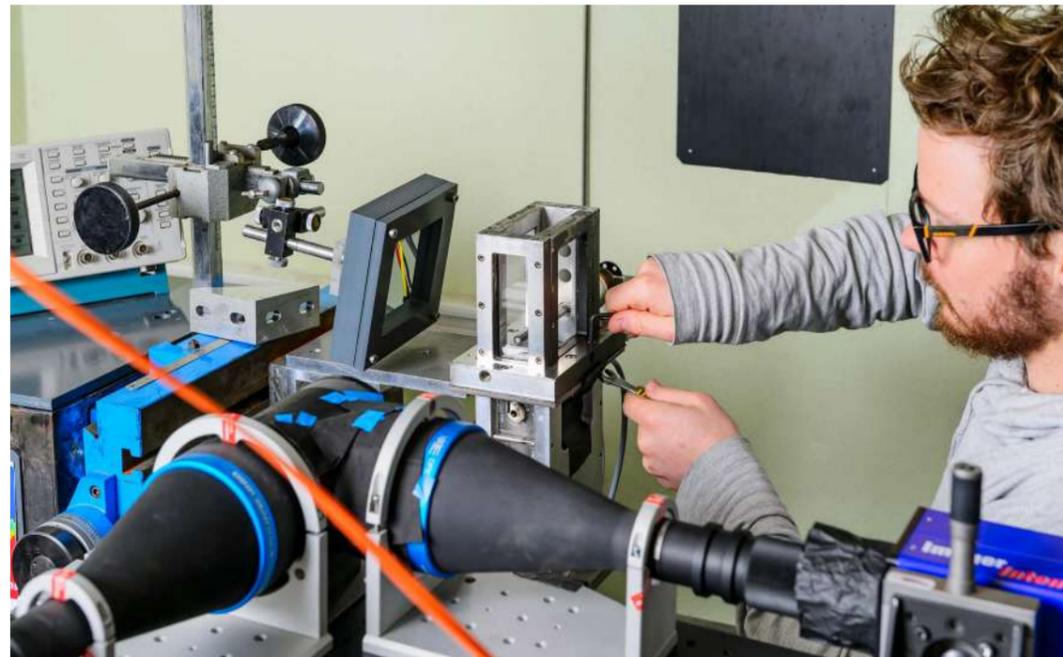
Augmenter les financements Horizon Europe et FP10

Premier bénéficiaire des programmes-cadres européens pour la recherche et l'innovation (PCRI), le CNRS doit encore renforcer cette dynamique et continuer à faire de l'Europe une de ses priorités, tant pour construire un espace européen de la recherche compétitif que pour promouvoir ses valeurs (liberté de la recherche, intégrité scientifique, égalité de genre), ses principes (libre circulation des chercheurs, science ouverte, excellence, création de valeur) ainsi que pour peser dans le choix de la programmation politique des programmes-cadres.

Le CNRS a lancé son plan Europe en 2021 afin de renforcer sa participation aux programmes européens : recrutement d'une centaine d'ingénieurs de projets européens, soutien au prémontage de consortiums, renforcement de sa présence à Bruxelles, mettre en place des groupes miroirs aux piliers et clusters d'Horizon Europe pour influencer la programmation européenne, animer des réseaux de Correspondants Europe dans les instituts et

dans les laboratoires, être force de proposition sur la définition des appels à projets européens en lien avec les partenaires d'autres États membres, renforcer la recherche de partenaires d'autres États membres pour les dépôts de candidature aux appels à projets, sont autant d'actions d'influence, d'accompagnement et d'incitation qui doivent être poursuivies.

Les premiers Ingénieurs de projets européens (IPE) ont été recrutés fin 2022, essentiellement pour aider au montage de projets européens collaboratifs, que le CNRS les coordonne ou qu'il en soit un simple partenaire. Les résultats de leur action seront mesurables à la fin 2024. On note toutefois une augmentation du volume financier correspondant à ces projets. L'appel à projets « Amorce » dont la vocation est de soutenir le montage de consortiums en vue de dépôts collaboratifs a déjà connu quelques succès. L'action des IPE devrait aboutir à une augmentation du nombre de contrats européens à conduire, en tant que coordinateur ou simple partenaire. Lorsque le contrat est coordonné par un chercheur ou un enseignant-chercheur français, il a la possibilité d'embaucher sur le contrat un ou une gestionnaire de projet européen (EPM pour European Project Manager). En revanche, s'il n'est que partenaire, cela est très difficile, voire impossible. Ainsi l'accroissement prévisible du nombre des contrats



Dispositif expérimental INTRIG.

© Cyril FRESILLON / IMFT / CNRS Images



Dispositif expérimental INTRIG.

© Cyril FRESILLON / IMFT / CNRS Images

européens va aboutir à une augmentation de la charge administrative pesant sur les chercheurs. Pour les aider, au sein du volume initialement prévu pour les IPE, il est proposé d'embaucher des EPM et de les placer, soit dans les gros laboratoires, soit dans les délégations régionales, en particulier pour l'aide aux lauréats de projets collaboratifs. Dans les laboratoires qui ont plusieurs lauréats ou lauréats de l'European Research Council (ERC), ils pourront aussi soutenir les porteurs pour alléger leur charge administrative.

En ce qui concerne les ERC, le CNRS, qui reste le premier bénéficiaire européen, est l'employeur des porteurs de la moitié des projets soutenus dont la « host institution » est en France. Toutefois, malgré une mobilisation des instituts, le nombre de dépôts reste encore trop modeste. Plus de la moitié des nouveaux chargés de recherche embauchés chaque année ne déposent pas de projet ERC alors qu'ils ont tous vocation à le faire. L'un des efforts portera sur la politique d'incitation afin d'augmenter le nombre de dépôts. Les taux de succès restent remarquables, avec une augmentation significative pour les « Advanced Grant » qui sont passés en dix ans de 11 % à 19 %.

Dans cette dynamique, le dispositif Europe sera consolidé : efforts de soutien aux personnels des unités dans le dépôt de tout type de projets européens, actions de mutualisation avec les partenaires de sites pour créer des guichets uniques, renforcement des dispositifs d'influence sur la programmation européenne, implication des Groupes

dans les actions de lobbying à Bruxelles, allocation d'un budget aux partenariats, couvrant les frais d'adhésion et les missions des chercheurs représentant le CNRS dans les réunions stratégiques des partenariats, augmentation de la fréquence des dialogues stratégiques entre la direction générale du CNRS et les décideurs bruxellois.

Par ailleurs, les activités du G6 européen (représentant 140 000 chercheurs) seront renforcées pour mieux en exploiter les leviers d'influence. Avec la perspective d'élargissement de l'UE, il est important pour le CNRS de développer sa présence dans l'Europe continentale et consolider sa place au sein de l'Espace européen de la recherche. Dans le même temps, des coopérations bilatérales avec des régions ou pays européens seront développées.

Les bénéfices d'une implication européenne consolidée dépassent les seules frontières de l'UE et permettent de consolider les collaborations, autour de grands défis portés par l'UE, avec les pays associés et les pays tiers.

La contribution toujours très active à la construction du prochain Programme Cadre (FP10) favorisera le soutien à des projets de recherche fondamentale et des projets d'innovation sur les grands défis auxquels le monde est confronté : changement climatique, préservation de la biodiversité, santé, sécurité alimentaire, technologies numériques, technologies quantiques, transition énergétique, nouveaux matériaux, migrations...

ACTIONS

- Augmenter de 20 % le nombre de dépôts de projets ERC.
- Augmenter le montant des financements Horizon Europe et FP 10, à enveloppe de financement constante.

International

Le réseau de relations internationales que le CNRS a construit depuis 85 ans est un atout extraordinaire qui contribue largement au rayonnement et à la réputation de l'organisme, et au-delà de la recherche française. Dans un contexte géopolitique général compliqué, et parfois même tendu, maintenir des relations entre les communautés scientifiques est aussi une nécessité pour le futur, tout en veillant à la protection du potentiel scientifique de la nation.



Creusement d'un trou dans la banquise à l'aide d'une tarière, à la sortie du fjord Young Sund, au Groenland.

© Erwan AMICE / LEMAR / CNRS Images

Au cours de la période précédente, des partenariats inédits ou renouvelés, originaux par les méthodologies employées, ont vu le jour comme les centres de recherche internationaux (IRC) ou le déploiement du plan Afrique, et ce grâce à des dialogues de haut niveau facilitant leur mise en œuvre. Trois nouveaux bureaux ont été ouverts au Canada, en Australie et, dans le cadre du plan Afrique, au Kenya, qui se développera en forte synergie avec les pôles d'attractivité majeurs tels que l'Afrique du Sud ou le Maroc.

Au cours des prochaines années, l'établissement ou la mise en œuvre de feuilles de route constitueront de véritables outils de pilotage des coopérations internationales, que ce soit dans le cadre de la coopération avec les pays africains ou sur d'autres secteurs géographiques.

À travers les programmes de thèses conjoints lancés avec des partenaires d'excellence et le déploiement d'écoles thématiques de recherche comme celles lancées dans le cadre du plan Afrique, le CNRS s'engage dans la formation des prochaines générations de chercheurs et de chercheuses. Les centres et laboratoires de recherche internationaux sont à cet égard des outils à exploiter pour coconstruire avec les partenaires

académiques (universités, écoles) des programmes de formation par et pour la recherche. Il s'agira ici d'augmenter le nombre d'écoles qui seront coconstruites avec les universités partenaires, mais aussi avec les universités ou écoles françaises qui proposeraient des programmes de formation. Enfin, il s'agira aussi de renforcer la coopération des écoles d'excellence (type école des Houches, ECT* Trento) avec leurs homologues internationaux.

Les onze bureaux de représentation internationale du CNRS et les personnels des unités dans les laboratoires à l'étranger et en outre-mer sont un atout pour promouvoir sur le terrain des coopérations avec des acteurs fédérés autour de thématiques souvent empreintes d'interdisciplinarité et rechercher des financements nouveaux. Inscrire les partenariats construits avec des institutions d'excellence dans des dynamiques régionales permettra de renforcer leur structuration.

Une ambition transverse à l'action internationale du CNRS sera de proposer aux universités françaises volontaires de l'accompagner dans le développement de ces coopérations internationales, en jouant « équipe France », sur la base de leurs propres priorités et en permettant d'ajouter une dimension de formation et d'échanges d'étudiantes et étudiants.

Outre-mer

Les DROM-COM font évidemment partie du territoire français et le développement d'activités dans ces territoires s'accompagne souvent d'opportunités majeures pour développer des synergies régionales autour d'écosystèmes communs d'interactions avec les pays étrangers de proximité. C'est notamment le cas en Guyane où des enjeux de pêche, de littoral, de biodiversité, de forêt amazonienne ou de démographie sont partagés avec le Surinam et le Brésil. Établir des coopérations transdisciplinaires et transfrontalières est une plus-value aux coopérations de recherche liées à ces enjeux. C'est pourquoi les actions en outre-mer sont inscrites dans cette section.

Le CNRS a élaboré en 2023 sa feuille de route outre-mer définissant ainsi une stratégie pour le CNRS dans les DROM-COM, lisible et visible aussi bien en interne qu'à l'externe. Basée sur un état des lieux qui a montré qu'il était important, pour construire la future stratégie, de prendre en compte les enjeux et défis de ces territoires qui sont inscrits dans leurs stratégies propres, la feuille de route CNRS entend s'appuyer sur les universités de site, organismes et l'ensemble des PIA existants coportés ou copilotés afin d'optimiser les moyens humains et de recherche et de mieux s'ancrer dans les enjeux des territoires. Il s'agit d'adapter

le pilotage CNRS de la recherche à la réalité des territoires, à la multiplicité des partenaires et à l'éloignement des centres de décision. Le CNRS souhaite également augmenter les forces sur des enjeux majeurs en facilitant les mobilités entre l'Hexagone et les outre-mer, et réciproquement...

Un premier appel à lettres d'intention pour la Pépinière interdisciplinaire des Antilles françaises (PIAF) a été lancé début 2024 avec l'objectif de faire émerger des projets interdisciplinaires et originaux d'une durée de deux ans (renouvelables un an) s'appuyant sur des consortiums structurants et ancrés sur le territoire avec un lancement en 2024 des financements des projets et des contrats doctoraux associés. Le même processus de coconstruction mené aux Antilles a été reproduit avec la Réunion et le sera prochainement avec la Guyane et la Polynésie française. C'est effectivement dans ces quatre territoires qu'est concentrée la très grande majorité des forces du CNRS.

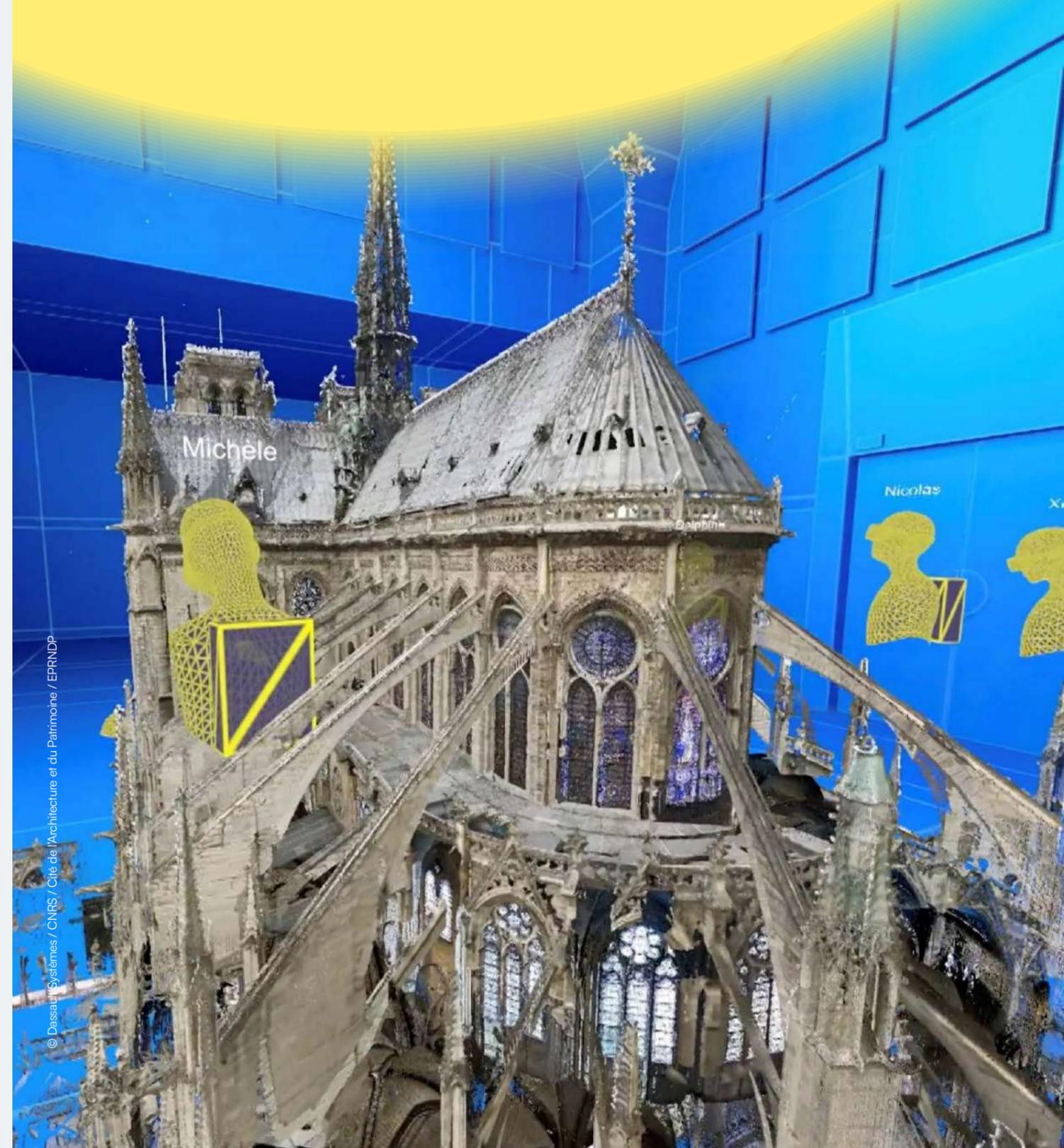
Dans ce cadre, le CNRS participe activement au groupe de travail du MESR sur les outre-mer réunissant l'ensemble des organismes et France-Université afin de coordonner les différentes actions ou les différents outils/infrastructures existant en outre-mer ainsi que des outils existant en métropole et dédiés aux outre-mer.



Camp de travail en forêt sur l'île de Montserrat.

© Fabrice MONNA / Biogéosciences-Dijon / CNRS Images

4. Mettre cette recherche fondamentale au service de la société



Le CNRS est un acteur pleinement investi dans la vie de la cité. Il prend notamment toute sa part pour relever les défis auxquels nos sociétés sont aujourd'hui confrontées. Au-delà d'un simple engagement, c'est une réelle responsabilité qui lui incombe, celle de mettre la recherche fondamentale au service de toute la société. Cette ambition s'exprime tant sur le plan des défis sociaux ou transverses que sur le plan du développement économique, elle concerne aussi l'aide à la compréhension et à la décision politiques.



Le robot humanoïde Neachy utilisé lors de recherches neurorobotiques.

© Pierre DE PARSCAU / ETIS / CNRS Images

SIX DÉFIS TRANSVERSES

Les défis du COP 2019-2023 ont créé une réelle dynamique et permis de structurer les communautés dans chacun des six domaines retenus. Ces défis ont joué aussi un rôle très important pour la compréhension par le grand public et les décideurs et décideuses des activités du CNRS et des apports potentiels de la science à ces enjeux majeurs pour nos sociétés. Bien évidemment, ces défis restent aujourd'hui d'actualité, les actions menées au cours des quatre années précédentes nous ont permis de nous organiser et de structurer les communautés. Les actions lancées vont se poursuivre, avec des modalités, des temporalités et des organisations qui varient d'un défi à l'autre. Par exemple, le défi « santé et environnement » a conduit à la création de la nouvelle Zone Atelier Camargue qui étudiera des scénarios de transfert de virus de l'animal vers l'homme, de toxicologie par élément polluant ou même d'écoanxiété. Le défi « inégalités éducatives » a permis de décloisonner une communauté jusque-là organisée en silos et d'asseoir la pertinence du travail interdisciplinaire sur l'éducation avec la création du groupement de recherche « Recherche autour des questions d'éducation » en janvier 2024 et de projets interdisciplinaires financés dans le cadre du défi, qui annoncent la structuration d'un champ

de recherche en plein essor. Le centre « Artificial Intelligence for Science, Science for Artificial Intelligence (AISSAI) » est un centre pluridisciplinaire dédié à l'IA, né du défi « intelligence artificielle » et qui a choisi comme positionnement le dialogue autour de l'IA des disciplines scientifiques afin d'accélérer les découvertes scientifiques.

Sur l'ensemble de ces sujets, des partenariats avec la société civile, les collectivités locales, les entreprises, les associations, les fondations sont susceptibles de dégager des ressources financières nouvelles. Il en va de même du concours de mécènes français et étrangers, notamment par le biais de la fondation CNRS.

Pour la période du présent contrat, le CNRS a identifié six nouveaux grands défis transverses auxquels il a l'ambition d'apporter des contributions substantielles à moyen terme, via une mobilisation coordonnée des instituts. Le CNRS apparaît particulièrement bien placé pour traiter ces défis, en pouvant mobiliser toutes les compétences nécessaires. Le choix des six sujets, décrits ci-dessous, a pris en compte leur pertinence scientifique, la nécessité de mobiliser de nombreuses disciplines pour les aborder et leur temporalité au sens où il est apparu que c'était le bon moment pour les considérer :

- le cerveau ;
- les matériaux du futur ;
- la vie dans l'Univers ;
- l'instrumentation sans limites ;
- l'IA générative pour les sciences ;
- les sociétés en transitions.

L'affichage de ces défis dans la stratégie du CNRS permettra de nourrir et d'intensifier un dialogue scientifique ouvert entre les instituts, et avec l'ensemble de nos partenaires, générant aussi des retombées dans les disciplines. Dans la continuité des actions menées ces dernières années, le CNRS continuera à soutenir et encourager des initiatives nouvelles de sciences participatives, associant citoyens, décideurs et scientifiques. Ces sujets fourniront également des illustrations pertinentes pour communiquer sur ce qu'est la science aujourd'hui, quelques-uns de ses enjeux, et aussi sur son impact potentiel sur nos sociétés, notamment par l'apport de connaissances.

ACTION

Augmenter de 10 % chaque année le pourcentage de recrutements de chercheurs et chercheuses sur des thématiques reliées à ces six défis.

→ LE CERVEAU

Communément perçu comme un centre de contrôle des actions, perceptions, pensées, volontés, interactions avec autrui, le cerveau est aujourd'hui l'objet d'une recherche qui entend répondre à des questions fondamentales sur la manière dont nous pensons, parlons, nous remémorons, apprenons, rêvons, nous émouvons, etc. Il s'agit aussi d'éclairer des questions relatives au fonctionnement des sociétés humaines, par exemple celle de la responsabilité pénale ou encore celle de la place à donner à la neurodiversité dans les parcours éducatifs. Il s'agit aussi de nous éclairer sur l'unicité et les limites de l'espèce humaine, ce qui nous inscrit dans l'évolution du vivant et en même temps nous en singularise ; et de s'intéresser à cette singularité humaine par rapport à des systèmes artificiels d'apprentissage qui permettent de simuler l'acquisition des fonctionnalités cognitives basiques de l'espèce (langage, vision, réalisation de tâches complexes).



Fibres nerveuses contenant de la relaxine -3 dans le cerveau d'une souris.

© Thibault DHELLEMES / Jérémie TEILLON / Marc LANDRY / IMN / BIC / CNRS Images



Observation au microscope confocal à balayage laser de coupes d'organoïdes cérébraux.

© Simon BIANCHETTI / CRNL / CNRS Images

Les enjeux méthodologiques et verrous technologiques sont considérables, car il s'agit d'intégrer en une vision cohérente des mécanismes mis en jeu à de très nombreux niveaux de complexité, avec des aspects biologiques communs à tous tissus vivants, mais aussi des aspects spécifiques au cerveau (algorithmes utilisés par le cerveau, représentations sensorielles, mémoire, apprentissage, comportement...), voire peut-être spécifiques au cerveau humain (conscience, pensée, langage, manipulation des symboles...). Il s'agit par exemple de comprendre les mécanismes de la variabilité inter-individuelle et ses relations avec la notion d'individus tous différents. Il s'agit également

de comprendre comment le fonctionnement de l'organe est constamment influencé et modelé, tout au long de la vie (des stades embryonnaires jusqu'à la vieillesse) par le fonctionnement du corps et son environnement (microbiote, social, économique, écologique, urbain...). Il s'agit encore de décliner pour chaque individu et à plusieurs échelles temporelles et taxonomiques une recherche sur les cerveaux, l'évolution des mécanismes des comportements et de la cognition, dans l'ensemble du spectre du règne animal, dans une perspective comparative et évolutive, par exemple en intégrant les données paléoneurologiques et paléophysiologiques ou les connaissances acquises sur des modèles de différentes branches du règne du vivant. La recherche sur le cerveau est enfin porteuse de questions épistémologiques cruciales : en quoi le cerveau est-il « cause » en matière de pensée, d'émotion, de croyance, etc. ? Peut-on expliquer les comportements par la seule étude du cerveau ? Mon cerveau peut-il agir presque malgré moi ? Quel rapport convient-il d'établir entre le social et le neuronal ? Elle recèle des enjeux majeurs : comment comprendre l'évolution du cerveau au sein de la lignée humaine ? Quel est l'impact de l'environnement et des innovations culturelles, telles que l'écriture, sur le fonctionnement du cerveau ?

Les enjeux translationnels de recherche sur le cerveau sont nombreux, car en découlent de nombreuses innovations. Compte tenu du lourd fardeau économique et social posé par les troubles

et maladies du cerveau et les difficultés associées au vieillissement naturel, toute avancée permettant un progrès significatif de la médecine du cerveau ou de l'autonomie des personnes a un impact majeur. Nombre d'enjeux portent également sur la mise au point de technologies bio/neuro-inspirées sobres et robustes, de nouveaux langages et nouveaux modes de communication, le calcul neuromorphique, les neurotechnologies (interfaces cerveau-machine, médecine personnalisée, médecine réparatrice et prothèses, robotique sociale, assistance à la personne...), sans compter de nouvelles pistes pour la construction de nouvelles stratégies éducatives et de la formation tout au long de la vie.

Face aux multiples et complexes défis ouverts par la compréhension du cerveau, il s'agit de convoquer les différentes ressources disciplinaires du CNRS en réunissant autour d'objets de recherche partagés la biologie fondamentale, les neurosciences cognitives et psychologiques, les sciences du langage et la linguistique, les sciences de l'évolution, la physiologie, la philosophie, l'économie, la sociologie, les neurosciences computationnelles, les sciences et technologies de l'information, la robotique, les mathématiques, la chimie, les sciences physiques ou bien celles de l'ingénieur, la physique statistique et tant d'autres disciplines encore.

→ LES MATÉRIAUX DU FUTUR

Les matériaux sont omniprésents dans notre quotidien, en tant que tels ou combinés entre eux pour assurer une fonction spécifique au sein d'un système. Notre monde moderne est en effet largement fondé sur des activités industrielles telles que celles de la chimie, du transport, de la construction, de l'électronique ou de la métallurgie, qui font appel à l'élaboration, la caractérisation et le traitement de matériaux et leur mise en forme. Jusqu'à une période très récente, les contraintes énergétiques et d'accès aux minerais permettant leur synthèse et mise en œuvre

n'étaient que peu prises en compte, ou uniquement pour des raisons économiques. Il est dorénavant nécessaire, dans le cadre de la transition énergétique et du développement durable, de recourir à des procédés plus économes des ressources disponibles, moins consommateurs d'énergie et d'eau pour leur élaboration, et tendant vers des solutions recyclables.

Les domaines d'application des matériaux sont de fait très larges, ce qui explique que le périmètre de la recherche qui leur est consacrée est mal défini.



Couplage innovant fusionnant la technologie microfluidique et la polarographie.

© Jean-Claude MOSCHETTI / Géosciences Rennes / CNRS Images



Valérie Castellani, lauréate de la médaille de l'innovation CNRS 2018, et Thibault Gardette à l'INMG

© Frédérique PLAS / INMG / CNRS Images

Les préoccupations contemporaines impliquent de mener des recherches soutenues dans le domaine de l'énergie et de son acheminement, et de chercher des solutions pour le stockage électrochimique — supercondensateurs, batteries —, pour les membranes et matériaux d'électrodes, ou les dispositifs photovoltaïques. Toujours pour l'énergie, les matériaux thermoélectriques ou supraconducteurs, les oxydes fonctionnels, les matériaux pour centrales nucléaires et ceux de structure pour la production d'éoliennes font l'objet d'une attention croissante et ouvrent des perspectives toujours plus importantes. Mais d'autres besoins spécifiques sont aussi exprimés en chimie et procédés avec les supports de catalyse pour la nécessaire transformation de petites molécules (CO_2 , NH_3 , H_2 ...), ou en physique avec les matériaux en basse dimensionnalité et les hétérostructures pour l'électronique, la spintronique et la photonique. Les matériaux de structure ne sont pas en reste avec des besoins forts pour le transport et le bâtiment, pour la défense ou la santé. Toutes ces applications font appel à des matériaux innovants (métamatériaux, matériaux biosourcés et bio-inspirés, autoassemblés...) qui restent souvent à mettre au point et font l'objet d'une demande continue de la part du monde socio-économique, à la recherche des solutions

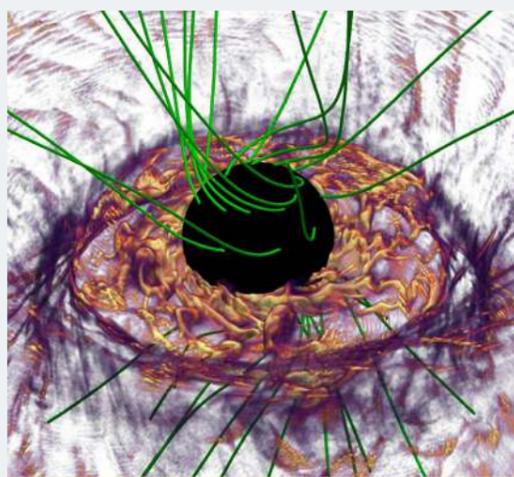
les mieux adaptées à des usages sobres et respectueux de l'environnement.

À cet égard, une attention soutenue sera portée à l'accroissement sous tous azimuts de la durabilité des matériaux en conditions d'usage (cyclage des batteries, présence de rayonnements ionisants, fonctionnement sous conditions extrêmes, corrosion...) et à leur réinsertion dans la chaîne de valeur.

Quelle actualité pour ce domaine de recherche qui remonte aux origines de l'humanité, depuis la taille des silex, la métallurgie du bronze ou la découverte du verre, et pourquoi s'en préoccuper particulièrement aujourd'hui? Le contexte scientifique actuel fait, de facto, écho aux exigences nouvelles en termes de sobriété énergétique et de bilan matière, des attentes vis-à-vis, par exemple, de véhicules plus légers et plus durables, moins gourmands en carburants et plus résistants à la corrosion. Toutes ces qualités passent par la mise au point rapide de matériaux fonctionnels encore mieux adaptés. Par ailleurs, l'entrée récente, mais massive, de l'intelligence artificielle dans la conception, l'élaboration et la mise en forme des matériaux (des copolymères aux alliages métalliques à haute entropie) bouleverse les stratégies de recherche dans ce domaine et nécessite d'en repenser les approches scientifiques.

→ LA VIE DANS L'UNIVERS

L'Univers est né il y a environ 14 milliards d'années ; il commence par une première période d'expansion accélérée, dite d'inflation, puis, se refroidissant, l'Univers évolue et les grandes structures que nous observons aujourd'hui, étoiles, galaxies, vides cosmiques notamment, se forment par effondrement gravitationnel des inhomogénéités primordiales. Les origines de cette accélération et de ces transformations nous demeurent largement inconnues. De grands projets sur terre et dans l'espace sont sur le point de démarrer et notre compréhension de la physique de l'Univers et de ses constituants va faire un bond spectaculaire, notamment sur la nature de l'énergie noire. Les télescopes au sol et dans l'espace scrutent toujours plus loin les origines de l'Univers ainsi que l'origine et la nature de planètes extrasolaires. La moisson du James Webb Space Telescope ne fait que commencer, et les grandes infrastructures LSST (Large Synoptic Survey Telescope), EUCLID (Large Synoptic Survey Telescope) ou SKA (Square Kilometre Array) livreront plus de données que toute l'astronomie depuis ses débuts. S'ajoutant à la détection d'ondes gravitationnelles, ces télescopes permettront une meilleure compréhension de la nucléosynthèse et viendront ainsi compléter celle des expériences menées en laboratoire pour confronter et améliorer les modèles théoriques d'astrophysique. Les progrès de l'optique adaptative quant à eux permettront dans la prochaine décennie d'observer directement les planètes extrasolaires pour y rechercher la vie.



Simulation numérique de l'environnement proche d'un trou noir tournant.

© Benoît CERUTTI / Benjamin CRINQUAND / IPAG / UGA / CNRS Images. Licence CC BY-SA

Ainsi les cinq prochaines années vont être cruciales pour notre compréhension des origines et de l'évolution de l'Univers et de la vie... et les équipes françaises sont prêtes !



Montage des patins de fixation du boîtier optique « doré », l'Obox, du spectromètre imageur infrarouge MIRS.

© Cyril FRESILLON / LESIA / CNRS Images

La vie telle que nous la connaissons est, pour l'instant, restreinte à la planète Terre et comprendre les origines de cette vie reste le mystère des origines. Il faut pour répondre à cette question pouvoir décrire les conditions chimiques et physiques qui ont permis l'éclosion de cette vie il y a au moins 3,5 milliards d'années. Dans les conditions extrêmes de l'espace, l'irradiation par le rayonnement cosmique a-t-elle pu conduire à l'émergence de molécules organiques complexes et à un ensemencement en matière prébiotique sur Terre ? Quel a été le rôle des océans primitifs dans ce développement et comment des molécules organiques complexes ont-elles pu devenir capables de s'auto-organiser et de s'amplifier ? La géologie elle-même a-t-elle joué un rôle clé, les minéraux contribuant, peut-être, à l'augmentation de la complexité des molécules organiques en affectant via leur surface non seulement la structure primaire des oligonucléotides précurseurs de l'ADN et de l'ARN, mais aussi leur structure spatiale ternaire ? Et quel rôle a pu jouer la radioactivité naturelle dans cette chimie prébiotique ? Au moment de l'éclosion de la vie, comment ont pu se développer le concept d'homéostasie essentiel en biologie, puis la diversification des trois grandes branches du vivant (bactéries, archées et eucaryotes) ?



Télescope COLIBRI de nuit à l'observatoire de Haute-Provence.

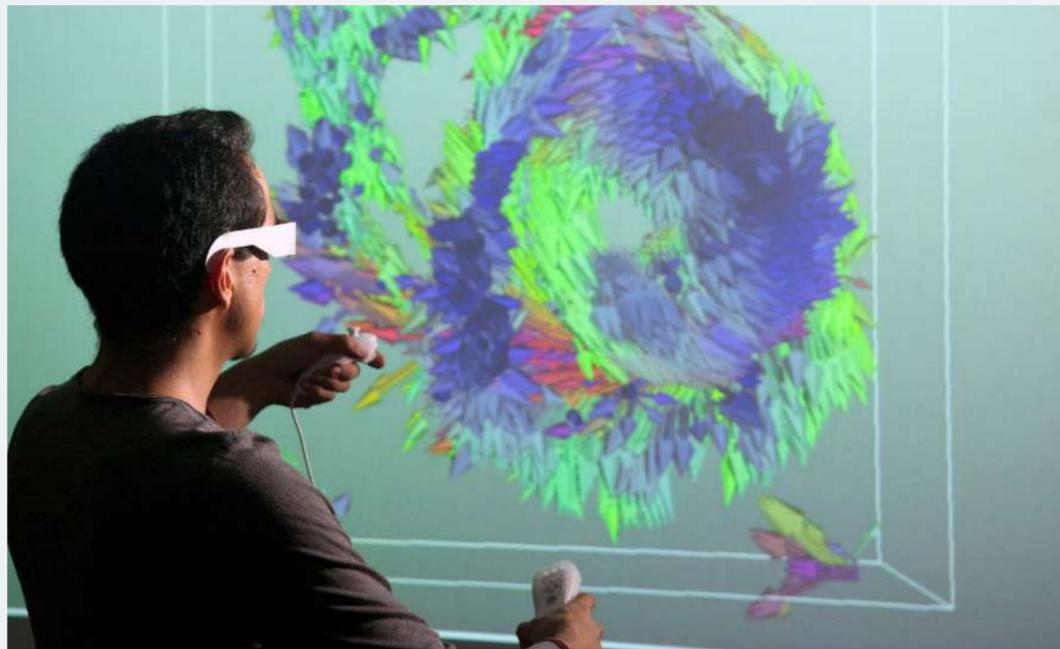
© Cyril FRESILLON / LAM / CNRS Images

Ces questions en induisent bien sûr d'autres, plus vastes encore : qu'est-ce que la vie et comment la définissons-nous, existe-t-elle ailleurs ou a-t-elle pu se développer sur des prémices chimiques radicalement différentes ? Finalement, comprendre comment la vie est apparue dans l'Univers questionne les conditions même ayant prévalu à l'habitabilité de son berceau terrestre et les limites de son adaptation aux bouleversements en cours. D'autres formes de vie sont-elles possibles ? Si oui, quels sont les éléments à rechercher pour les trouver ?

Ces questions, qui traversent de nombreux champs scientifiques, manquent d'un lieu où ces approches peuvent se confronter et s'additionner, où les nécessaires progrès instrumentaux et conceptuels seront pensés ensemble pour y être coconstruits. Une pluri et transdisciplinarité assez radicale doit se développer pour que les conditions d'émergence

et d'épanouissement de la vie puissent être comprises dans l'enchaînement des processus depuis la naissance de l'Univers, et que les conséquences d'une telle découverte puissent être accompagnées : comment nos sociétés vont-elles intégrer ce nouveau savoir, voire la preuve que nous ne serions pas seuls ?

Seul un espace pérenne de coconstruction et d'échange sur ces sujets, un centre pluridisciplinaire des origines, sera à même d'assurer la pérennité suffisante à cette grande quête. Il devra se développer comme un centre d'études avancées, où les ressources nécessaires à la prise de risque en recherche seront amenées par le CNRS et les partenaires volontaires, avant d'être pérennisées sous forme d'un programme nourri notamment par les grandes agences spatiales et scientifiques.



Technique de réalité augmentée en imagerie médicale tridimensionnelle.

© Cyril FRESILLON / CNRS Images

→ L'INSTRUMENTATION SANS LIMITES

Les technologies et les instruments à la pointe de l'innovation sont cruciaux à une recherche scientifique de haut niveau et offrent des opportunités qui vont au-delà de toute imagination, pour des applications sociétales variées. Réciproquement, les progrès de la recherche fondamentale fournissent une mine d'idées novatrices qui pourraient radicalement transformer la manière dont nous concevons, construisons et utiliserons de futurs instruments scientifiques. Le potentiel est immense pour la prochaine décennie en exploitant les nanotechnologies, les nouveaux matériaux, les capteurs quantiques et l'intelligence artificielle, avec des applications spécifiques dans des domaines tels que la médecine, l'environnement et notamment le bio-logging, les sciences de l'Univers, les technologies de l'information, la métrologie.

Les progrès dans la fabrication et la caractérisation in situ, operando et résolue en temps de dispositifs à l'échelle nanométrique et microscopique ouvrent la voie à des capteurs plus sensibles et à des systèmes d'analyse plus précis. L'intégration de nouveaux matériaux nanostructurés améliore l'efficacité des dispositifs de conversion et de stockage d'énergie tels que les cellules solaires, les batteries

et les supercondensateurs et offre des avantages en densité d'énergie et durabilité. Les matériaux organiques et les nanomatériaux permettent une électronique flexible qui ouvre la voie par exemple à des capteurs environnementaux révolutionnaires dans leur autonomie et au faible impact environnemental. Les nanoparticules fonctionnalisées peuvent être utilisées comme agents de contraste pour l'imagerie médicale. Elles ouvrent la voie à une spectrométrie de masse miniaturisée et portable dont la portée applicative est évidente dans les secteurs de la santé et de l'environnement. Les microtechnologies avancées facilitent la manipulation et l'analyse de liquides et de particules, notamment en biologie cellulaire et en diagnostics médicaux. Elles permettent déjà de conduire des analyses en un temps dix fois inférieur à celui des analyses classiquement employées de nos jours avec un volume de liquide dix fois moindre. Les techniques d'imagerie fonctionnelle telles que la résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et la tomographie par émission de positons (TEP) fournissent une cartographie précise de l'activité cérébrale et cardiaque. L'imagerie moléculaire en temps réel, l'imagerie intégrée multimodale, l'imagerie 3D et la réalité virtuelle améliorent la compréhension



Observation au microscope confocal à balayage laser d'un progéniteur neuronal en cours de division.

© Simon BIANCHETTI / CRNL / CNRS Images

des processus physiologiques et des maladies autant que des processus environnementaux. Les capteurs exploitant les propriétés quantiques offrent une sensibilité sans précédent, notamment dans la détection d'ondes gravitationnelles et la mesure de champs magnétiques, en plus des avancées dans l'imagerie médicale. Les progrès des optiques (guides neutrons, optiques RX ou visible) vont amener des augmentations spectaculaires de brillance ou même de flux des sources de neutrons (infrastructure ESS) ou de lumière (ESRF, Eu-XFEL, Apollon), qui, couplées aux progrès des détecteurs, vont découpler les possibilités expérimentales notamment à très petite échelle, in situ et operando. Ces progrès sont essentiels pour comprendre les relations entre structures et propriétés de nombreux matériaux. Le développement de champs magnétiques plus intenses, couplé à des progrès des méthodes de détection, permettra de disposer de spectroscopies de plus en plus puissantes, indispensables à l'étude de diagrammes de phase et à la caractérisation et l'analyse de mélanges complexes présents dans de nombreux mécanismes réactionnels.

Au-delà de la réduction des coûts et de l'encombrement, la miniaturisation, la portabilité et l'automatisation des instruments sont des enjeux majeurs. Elles ouvrent la voie à des systèmes de

mesure distribués et à des expériences à haut débit, facilitant ainsi la collecte de données à grande échelle. De même, les avancées dans la miniaturisation des satellites et des instruments d'observation spatiale permettront une surveillance continue et à haute résolution de la Terre, fournissant des données essentielles pour la gestion des ressources, la prévision des catastrophes et la compréhension des changements environnementaux à l'échelle globale. L'interconnexion des instruments scientifiques via l'Internet des objets (IoT) permettra une collecte de données en temps réel à partir de multiples sources, facilitant la collaboration entre les chercheurs et la mise en place de réseaux de surveillance distribués. De même, les technologies de réalité augmentée et virtuelle pour l'instrumentation scientifique permettront de visualiser et d'interagir avec des données complexes de manière immersive, facilitant ainsi la compréhension et l'analyse des phénomènes scientifiques. L'intégration de l'IA dans les instruments scientifiques permettra une analyse plus rapide et plus précise des données, une réduction des flux et stockage de données et une automatisation efficace des processus expérimentaux. Tous les futurs développements devront dans la mesure du possible s'inscrire dans un effort de sobriété en matériaux rares et énergétiques.



Cryopréservation de précurseurs neuronaux.

© Cyril FRESILLON / I2CT / CNRS Images

→ L'IA GÉNÉRATIVE POUR LES SCIENCES

L'émergence de grands modèles de langage a complètement rebattu les cartes dans le domaine de l'intelligence artificielle. Ce paradigme, qui va bien au-delà du langage, est souvent appelé « modèles de fondation ». Il consiste à préentraîner d'énormes réseaux de neurones sur des données massives pour ensuite répondre de façon précise à des tâches spécifiques : classification, prédiction ou génération (on parle alors d'IA générative), à même de transformer la recherche dans tous les domaines. L'épine dorsale de ces modèles est souvent constituée par des réseaux « transformers » qui exploitent de façon fine la structure des données provenant d'une grande variété de domaines tels que le texte, l'audio, les séries temporelles, les images, les vidéos, les séquences chimiques ou génomiques, etc. Ces modèles ouvrent de nouvelles perspectives pour accélérer la découverte dans tous les domaines scientifiques où des données massives, multimodales et/ou hétérogènes sont disponibles. Cela concerne tout le spectre couvert par le CNRS : mathématiques et sciences informatiques, physique, chimie, ingénierie, sciences de l'Univers et de la Terre, biologie, écologie et environnement, sciences humaines et sociales. En témoigne leur utilisation récente pour concevoir de nouvelles protéines, de nouveaux matériaux ou de nouveaux médicaments, des modèles climatiques, des réseaux de neurones artificiels et biologiques, etc. Les défis posés par les modèles de grande taille sont multiples et

couvrent des domaines économiques, sociologiques et philosophiques.

La réalisation des promesses offertes par les grands modèles de fondation pour les sciences exige un engagement profond envers l'interdisciplinarité. Il est essentiel de créer des architectures mutualisées tout en adaptant les modèles aux besoins et objectifs de chaque champ d'études, intégrant les connaissances propres à chaque discipline, comme les modèles physiques ou biologiques. Cela implique aussi la standardisation des méthodologies pour la préparation et la structuration des données. Le CNRS, seul organisme à couvrir l'ensemble des sciences concernées, pourra être le catalyseur de cette nouvelle manière de faire de la science, en s'appuyant sur ses instruments comme le centre AISSAI, qui centralise les efforts interdisciplinaires en IA, ou la MITI.

La révolution des sciences par l'IA nécessite des développements qui vont bien au-delà de l'exploitation des architectures existantes. Comprendre les fondements des capacités prédictives et génératives des réseaux de neurones de type transformer, dont la théorie reste à faire, permettra d'en explorer les limites et de concevoir de nouveaux modèles. Il faudra identifier des cas d'usage spécifiques, développer de grands modèles adaptés à valider rigoureusement, ainsi que préparer, conserver et prétraiter des ensembles de données pertinents et valorisables. Cela nécessite le développement et le maintien de plateformes de calcul à haute performance (HPC), adaptées aux besoins spécifiques, et du personnel d'appui. Les modèles de fondation permettront de mieux comprendre, extraire et raisonner à partir de vastes ensembles de données. Ils serviront aussi à simuler des scénarios complexes et assister la prise de décisions. L'IA générative promet d'accélérer la découverte scientifique, en permettant de générer de nouvelles hypothèses et d'appuyer de nouveaux modèles.

Des questions essentielles comme l'explicabilité, l'interprétabilité ou la robustesse des résultats se révèlent cruciales, surtout lorsqu'il s'agit de comprendre de nouveaux phénomènes révélés par ces technologies. Un autre défi majeur réside dans la gestion de la taille considérable de ces modèles, qui sont loin d'être frugaux : leur consommation énergétique et leur impact environnemental sont significatifs. Les questions de science ouverte et reproductible sont également primordiales, touchant non seulement les modèles et le code,

mais également les données d'entraînement, dont l'importance sur les biais et la question de la confidentialité est primordiale. Cela nécessitera une transformation des compétences.

La transformation se profile dans la manière dont la recherche est conduite, mais aussi dans la façon dont les scientifiques interagissent avec les données et entre eux. Cela nécessitera aussi

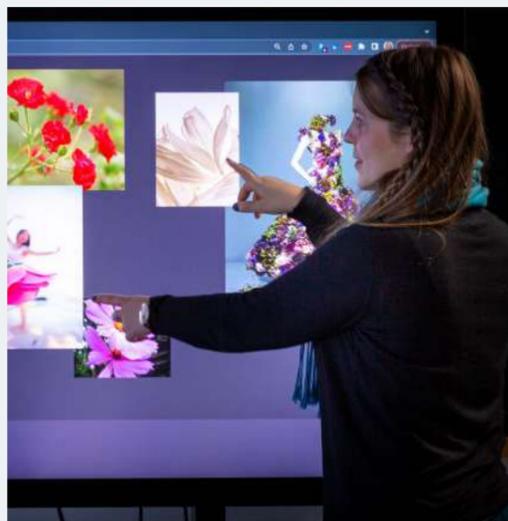
une adaptation des méthodologies et des cadres éthiques. L'étude de l'impact de cette transformation est au cœur de ce programme : comment la création en science sera-t-elle modifiée ? Se pose naturellement la question de savoir comment les métiers scientifiques seront impactés par ce changement de paradigme. Et finalement, que faut-il faire pour se donner les moyens d'anticiper ces transformations ?

→ LES SOCIÉTÉS EN TRANSITIONS

Sur le plan scientifique, l'idée de transition est utilisée dans diverses sciences — épidémiologie, démographie, économie, science politique, sans oublier son usage en physique et en sciences de la nature (changements d'état d'un système) et les outils d'observation et d'analyse qui en découlent — pour désigner un processus par lequel on passe d'un état à un autre ainsi que la période de temps et les transformations que suppose ce processus. Les questionnements scientifiques associés sont multiples et convoquent de nombreuses disciplines.

Nombreuses sont aujourd'hui les sociétés qui se perçoivent et se décrivent comme des sociétés en transition : on parle d'entrée dans l'Anthropocène, de franchissement des « limites planétaires », du changement global, de transitions énergétique,

écologique, démographique, numérique, épidémiologique, des mutations du monde du travail, des recompositions géopolitiques, de la crise de la démocratie... Il s'agit de décrire et d'analyser des dynamiques de transformations substantielles, qui font passer les sociétés d'un état à un autre différent en nature. La première question à laquelle se doit de répondre la science est alors de savoir si l'on a véritablement affaire à des transitions ou à de simples évolutions. Cette question oriente elle-même vers une série d'interrogations aux enjeux méthodologiques majeurs : qui est à même, dans quelle position, avec quels outils d'observation, à partir de quel moment, d'indiquer avec certitude que tel ou tel groupe social est engagé dans une transition ? Doit-on être en position d'extériorité pour constater une transition ou peut-on en être



Partenariat humain-machine pour la création collaborative de « mood boards ».

© Christian MOREL / LISN / CNRS Images



Berger et ses yaks dans le village de Manang au Népal.

© Théophile JOHNSON / LESC / CNRS Images

partie prenante sans que cela nous empêche de l'étudier? Quelles échelles de temps prendre en compte? Par ailleurs, certaines transitions paraissent orientées dans le temps de façon univoque et sans retour, mais elles peuvent aussi sembler relever de temporalités cycliques ou d'un schéma récurrent qui doivent être démontrés au-delà du postulat. Un enjeu est de trouver des indicateurs mesurables pour différencier de façon précoce ces différents types de transition et guider les actions pour mieux les accompagner.



L'immeuble Copan d'Oscar Niemeyer, à São Paulo, Brésil.

© Hervé THERY / CNRS Images

Si ces interrogations sont cruciales, c'est en lien avec le fait que les sociétés humaines ont intérêt à connaître les processus de transition dans lesquels elles s'inscrivent afin d'orienter la décision publique et plus largement, l'action humaine. En effet, ce processus et ces transformations peuvent être voulus ou non, maîtrisés ou non, organisés ou pas, (ré)orientés ou pas. Ces interactions complexes sont aujourd'hui abordées à travers le concept de nexus tel que le nexus eau-énergie-alimentation, et bien d'autres. Dans cet ensemble complexe, il est en

outre possible que certains phénomènes imposent leur agenda de sorte que si l'on peut distinguer différentes transitions pas toujours liées entre elles a priori, ces phénomènes impriment une dynamique dont l'impact est global tout en suivant différents scénarios. On peut faire l'hypothèse que c'est le cas du changement climatique et que celui-ci doit faire l'objet d'une attention particulière pour appréhender les transitions contemporaines.

Dès lors, au-delà de l'identification de transitions, comparables à des moments clés de l'histoire de l'humanité, tels que la sédentarisation, l'avènement de l'agriculture, l'invention de l'écriture, l'ère industrielle et urbaine, la transition démographique, l'avènement du numérique, voire de l'intelligence artificielle, il s'agit de les étudier et de les analyser, dans un objectif de compréhension et d'orientation. Cela requiert la mobilisation de compétences scientifiques multiples et en interdisciplinarité. Quelles données sont pertinentes pour en rendre compte? Comment représenter et modéliser chacune de ces transitions et leurs éventuelles imbrications, et ce à différentes échelles d'espace et de temps, pour identifier leurs mécanismes et simuler leur déroulement?

L'enjeu pour la recherche est d'être capable d'analyser des transitions et pas seulement des changements ou des transformations : comment construire un cadre théorique et des indicateurs partagés par des communautés scientifiques différentes pour appréhender ce qui constitue un changement « total »? Comment assurer une pluralité d'approches scientifiques et disciplinaires sur les processus de transition? Au-delà de la construction de méthodologies pour décrire et analyser ces objets, il s'agira de dépasser un second verrou : celui du transfert des fruits de cette recherche vers le monde extra-académique. Les transitions s'accompagnent souvent d'événements extrêmes, catastrophes naturelles ou sociales, qu'il serait précieux de savoir prédire et anticiper. Comment adresser un discours intelligible aussi bien à la société qu'aux décideurs publics sur des phénomènes et des processus de transition par nature complexes et qui ont des implications à de multiples échelles dans le fonctionnement de nos sociétés? Comment éclairer pourquoi certains individus, familles, groupes sociaux sont désireux de s'inscrire dans les dynamiques de changement tandis que d'autres les craignent, s'y opposent, se positionnent délibérément à l'écart?



Nœuds de calcul du supercalculateur Jean-Zay.

© Cyril FRESILLON / IDRIS / CNRS Images

LE MONDE ÉCONOMIQUE ET INDUSTRIEL

Dans le domaine de l'innovation, le CNRS poursuivra la politique très volontariste menée depuis plusieurs années et dont l'impact a été souligné par le Comité 2024 d'évaluation : **« Des efforts remarquables ont été déployés pour faciliter le transfert de la recherche vers l'innovation. (...) Des progrès significatifs ont été constatés dans l'engagement et les relations avec le secteur privé. (...) Son impact potentiel sur l'innovation pour l'économie et la société françaises est très élevé ».**

Il paraît nécessaire, en premier lieu, de **consolider la stratégie de valorisation existante** en pérennisant ses réalisations principales, qu'il s'agisse du programme de prématuration, de son articulation avec les SATT, de la stratégie « filières » ou du déploiement du réseau des ingénieurs transfert.

L'effort de développement des recettes propres et la recherche d'une diversification des financements au-delà de la SCSP seront également poursuivis, notamment auprès de l'UE et du secteur privé. Il paraît tout aussi nécessaire de compléter les actions existantes par des actions nouvelles, dont l'objectif premier est d'accroître la culture de l'innovation au sein du CNRS de manière à « donner envie » à un nombre croissant de personnels de recherche d'initier des actions de valorisation de leurs résultats.

Dès lors, quatre priorités spécifiques viendront compléter le dispositif actuel de valorisation des résultats de recherche, en mettant l'accent sur le partage d'expériences entre pairs, l'augmentation

de la capacité d'action **sur l'innovation dans les territoires** et le lancement de preuves de concepts venant tester l'acceptation d'idées plus novatrices qui concourent au développement de la culture de l'innovation au sein des unités.

Le programme des Ingénieurs transfert est dimensionné pour permettre le recrutement de 100 ingénieurs transfert par tiers sur une période de 3 ans (donc 33 par an) sur les années 2022, 2023 et 2024. L'ensemble des ingénieurs transfert prévu par le programme sera donc en poste au 31 décembre 2024 comme prévu initialement. Le programme des ingénieurs transfert nécessite une animation nationale, qui s'est progressivement mise en place afin d'harmoniser les habitudes de travail d'une population d'ingénieurs transfert aux compétences variées, de développer des méthodologies de travail collaboratives et centrées projet, d'accompagner les managers de proximité, notamment s'agissant de l'établissement et du suivi des objectifs des ingénieurs transfert, d'organiser une collecte de données pour l'inter-partage et la mesure de l'impact national du programme.

ACTIONS EN CONTINUITÉ

DU COP 2019-2023

- Augmenter les contrats de transfert en nombre et en montant.
- Maintenir le réseau des 100 ingénieurs transfert.
- Augmenter le montant des financements issus du secteur privé.

Donner envie, partager et accompagner

L'objectif est de susciter 500 nouveaux projets d'innovation par an et de constituer une base de plus de 1000 contacts industriels qualifiés et suivis.

Les personnels de recherche, à l'origine des connaissances issues de la recherche fondamentale, sont au cœur de la politique d'innovation portée par le CNRS. Parmi eux, seul un pourcentage réduit entretient une relation structurée et durable avec le monde socio-économique, qu'il s'agisse d'un transfert par création de start-up ou par valorisation auprès d'un industriel, ces chercheurs-innovateurs sont convaincus de la pertinence et de l'utilité d'initier des actions de valorisation. Ils partagent en outre volontiers leur expérience. Ils sont ainsi les plus légitimes auprès de leurs collègues pour diffuser la culture de l'innovation ; et leur donner envie de s'engager dans cette voie. Ils peuvent exemplifier, dans le cadre d'un dialogue entre pairs, l'intérêt d'une activité de recherche fondamentale en interaction avec le monde socio-économique. C'est parmi ces chercheurs-innovateurs **qu'un réseau de 200 « ambassadeurs de l'innovation » maillant le territoire national et les champs disciplinaires du CNRS est en cours d'identification**. L'objectif est de s'appuyer sur ce réseau pour augmenter significativement le nombre de personnels de recherche impliqués dans les processus d'innovation, contribuant ainsi à décupler le flux de projets de valorisation et à apporter, *in fine*, un nombre grandissant de solutions technologiques et d'usage.

En complément de ce travail de sensibilisation, il est nécessaire d'accompagner les personnels de recherche dans leurs projets et leurs démarches d'innovation. Cela nécessite un travail de proximité pour lequel les services partenariats et valorisation (SPV) des délégations régionales ne sont pas correctement dimensionnés, tant ils sont pour l'essentiel impliqués dans le montage administratif des projets de recherche ou des contrats de collaboration avec les industriels. **Afin de renforcer la dimension « innovation » sur les territoires, il serait utile de constituer un réseau de 50 ingénieurs-innovation en identifiant les personnes les plus pertinentes.** En parfaite symbiose avec les PUI, leur mission principale serait de participer à l'émergence de projets innovants sur le territoire, d'accompagner concrètement les personnels de recherche dans leur cheminement vers l'innovation et d'assurer le suivi des projets engagés. Ils assurent notamment la diffusion des programmes d'innovation du CNRS.

Créé et mis en place en 2022, afin de sensibiliser et acculturer les décideurs du monde économique aux enjeux scientifiques corrélés aux enjeux business, le club « CNRS Entreprises » réunit plus de 500 dirigeants et managers en charge de R&D et d'innovation, dans le cadre d'événements variés (décryptages scientifiques, mises en avant de start-up issues du CNRS, visites de laboratoires, etc.) qui ont comme dénominateurs communs de créer des lieux de débats permettant de confronter points de vue économiques et enjeux scientifiques, et d'alimenter les programmes de recherche par la prise en compte des contraintes et priorités



Modèle 3D d'un réseau vasculaire cérébral de souris placé sur une table optique pour y injecter un laser.

© Jean-Claude MOSCHETTI / Géosciences Rennes / CNRS Images



Les arbres du futur

© Cyril FRESILLON / BIAM / CNRS Images

des entreprises. La qualité relationnelle et le suivi personnalisé de chaque membre du club sont deux facteurs clés de succès. Afin de structurer une communauté pertinente, une programmation attractive et un suivi personnalisé des partenariats ainsi initiés, il serait utile de territorialiser le principe du club « CNRS Entreprises » dans chaque délégation régionale, en liaison avec les principaux partenaires académiques du site.

Renforcer et compléter les programmes d'accompagnement à la valorisation

Le programme de prématuration du CNRS s'est imposé depuis 2004 comme un outil essentiel d'incitation à la valorisation. Il répond à un besoin de financement des premières étapes de maturation technologique. Ce programme n'est pas thématique et s'inscrit dans une logique « techno push » notée par le Comité 2024 d'évaluation. En parallèle, le CNRS, au travers des actions conduites par sa direction des relations avec les entreprises (DRE) a su structurer une expertise par filière industrielle permettant de mieux appréhender les besoins des entreprises. En capitalisant sur la compréhension par la DRE des attentes de marché et l'expérience opérationnelle de CNRS Innovation, le CNRS a conçu **InnoBridge, un programme orienté-défis pour stimuler l'innovation de rupture**, c'est-à-dire identifier, sélectionner et cofinancer, de manière à bénéficier d'un effet de levier public-privé, des projets d'innovation répondant aux attentes thématiques spécifiques exprimées par des partenaires industriels amenant un cofinancement.

Les actions de valorisation et d'accompagnement à l'innovation existantes, et notamment le programme de prématuration, s'inscrivent dans une logique de recherche de retour sur investissement économique pour les projets accompagnés. Or la production scientifique du CNRS valorisable dépasse largement le strict cadre des projets à impact économique et la prise en compte d'impact à caractère sociétal et environnemental devient une préoccupation grandissante. S'appuyant sur l'expérience de valorisation du logiciel libre initiée en 2023, **la généralisation de l'approche aux projets à impact sociétal et environnemental (PISE)** est une perspective enthousiasmante qui rejoint l'une des recommandations émises par le Comité 2024 d'évaluation du CNRS. Les enjeux opérationnels sont forts, car il faut en même temps :

- structurer les modalités d'une nouvelle procédure d'accompagnement, qui pourra s'inspirer du programme existant de prématuration ;
- mieux connaître les attentes des « parties prenantes » de la sphère sociétale et environnementale (associations, collectivités territoriales, administrations publiques, etc.) ;
- comprendre le continuum de financement dans lequel inscrire de tels projets, pour lesquels une hypothèse de continuité de financement par les SATT paraît exclue en première analyse. On recherchera donc le meilleur effet de levier public-privé pour contribuer au financement de cette mesure.

La conduite de travaux de recherche en amont est une activité particulièrement risquée en l'absence de perspectives commerciales déjà clairement établies.



Étude du déplacement d'une phase aqueuse par du CO₂ injecté dans un modèle de fracture géologique.

© Jean-Claude MOSCHETTI / Géosciences Rennes / OSERen / CNRS Images



Observation d'un revêtement obtenu par un procédé chimique en phase gazeuse.

© Frédéric MALIGNE / CIRIMAT / CNRS Images

Une association entre entreprises privées et laboratoires publics de recherche au sein de laboratoires communs permet de mutualiser ce risque, de pérenniser les investissements de recherche et de bénéficier de compétences croisées. À date, près de 300 laboratoires communs sont actifs avec des entreprises de toute taille. Établis sur la base d'un programme de recherche commun, dotés d'une gouvernance partagée, les laboratoires communs public-privé actent des relations de long terme établies entre laboratoires de recherche et entreprises. Cette forme d'organisation souple et responsabilisante est très appréciée, tant par les entreprises que par les acteurs académiques. C'est un puissant levier d'accélération du transfert de connaissances scientifiques entre secteur public et secteur privé et donc de renforcement de la compétitivité des entreprises. Pour autant, **le nombre de ces laboratoires communs reste encore faible au regard du potentiel national**. L'un des leviers pour stimuler la création de 100 nouveaux laboratoires communs public-privé pourrait consister en un abondement direct versé aux laboratoires académiques impliqués dans ces initiatives, pour un montant proportionnel au montant contractuel investi par la, ou les entreprises associées. Cette somme permettrait à l'établissement de recherche de mobiliser des moyens supplémentaires, tant humains que matériels au service du laboratoire commun.

Programmes expérimentaux

Développée à titre expérimental sur quelques unités de recherche, cette action se propose d'évaluer, de dimensionner financièrement, de tirer les enseignements de deux volets spécifiques, afin de pouvoir éventuellement en proposer la généralisation lors d'un prochain COMP.

S'inspirant d'une des mesures phares du plan de relance permettant d'impliquer davantage les acteurs économiques dans les projets de recherche des laboratoires et faciliter ainsi le développement de projets interdisciplinaires, **le développement de l'initiative « Création d'un hôtel à projets d'entreprises (HPE) » au sein de quelques unités de recherche**, en mobilisant les moyens disponibles, permettrait d'accueillir des entreprises au sein de laboratoires pour :

- créer un écosystème favorable à l'innovation (accès plateformes, ressources scientifiques partagées, etc.);
- développer des projets interdisciplinaires;
- apporter un label CNRS aux projets scientifiques de l'entreprise. Ces HPE seraient une vitrine des savoir-faire des unités de recherche retenues, en collaboration étroite avec leurs partenaires industriels. L'objectif serait de pouvoir accueillir, pour chaque unité volontaire, une dizaine de projets d'entreprises sur la période.

Les laboratoires de recherche sous tutelle CNRS font de la recherche scientifique fondamentale et ne disposent généralement pas en leur sein de forces de développement technologique. Or, la valorisation des résultats de recherche nécessite souvent un dérisquage dans le cadre d'une montée progressive de l'échelle des niveaux de maturité technologique. C'est le sens des actions de prématuration et de maturation technologique. **Il est proposé, à titre expérimental sur quelques unités, typiquement trois ou quatre, de doter celles-ci d'une équipe faisant office de bureau d'études internalisé, assurant la réalisation technique de projets technologiques** et pouvant mobiliser des scientifiques du laboratoire en fonction des problématiques soulevées. Ces équipes de développement technologique initieraient et entretiendraient une dynamique relationnelle avec des entreprises, renforçant ainsi la dynamique de relation public-privé.

Créer une cellule d'analyse de données d'innovation

Les outils de pilotage en temps réel de l'activité innovation sont pratiquement inexistantes. Ils se heurtent à



Installation d'un module d'acquisition pour la numérisation 3D de collections muséales.

© Frédérique PLAS / MAP / CNRS Images

une double difficulté : une connaissance imparfaite des éléments d'activités réalisés par nos partenaires académiques d'une part, et d'autre part des outils CNRS manquant de capacités d'analyse modernes.

Le CNRS dispose d'un vaste ensemble de données numériques variées potentiellement utilisables dans une démarche d'innovation (publications à caractère technique, rapports de fin de projet, déclarations d'invention, contrats de collaboration de recherche, données issues du suivi des activités des ingénieurs-transfert...). Ces données peuvent être agrégées en entrepôt d'informations de manière à en permettre l'analyse pour mesurer des tendances thématiques ou de marché, comprendre les facteurs d'influence et réussir à anticiper pour piloter l'activité. La cellule d'analyse de données aura pour objectif de fournir des réponses précises, des informations exploitables et des recommandations stratégiques, facilitant ainsi la prise de décision éclairée. **Une telle cellule d'analyse de données pour l'innovation passe par la création d'une équipe dédiée d'experts métier** et comporte, dans un format initial, un analyste de données et un ingénieur de données (en charge de collecte, stockage, nettoyage et transformation des données).

Les quatre axes présentés ci-dessus sont en outre soutenus, au plan opérationnel, par la mise en œuvre concertée de deux évolutions :

- une meilleure harmonisation des processus métiers liés à l'activité de valorisation, tant en interne au CNRS qu'en lien avec ses partenaires rassemblés

au sein des PUI. Cela s'accompagne notamment par le partage d'informations numériques et l'équipement en solutions informatiques adaptées et performantes;

- la professionnalisation des pratiques dans le domaine des interactions avec les entreprises (prospection, négociation commerciale, suivi de réalisation) ainsi que le développement d'une culture de gestion par objectifs, associée à des exigences de reporting et d'évaluation.

La capacité d'innovation du CNRS — telle qu'illustrée par la mise en œuvre du programme de prématuration dès 2014, avant de le voir adopté de manière généralisée par d'autres acteurs de l'ESR — doit être cultivée. La capacité d'innovation du CNRS doit conserver un caractère différenciant par rapport à celle de ses partenaires locaux, tout en étant étroitement coordonnée avec ceux-ci, notamment dans le cadre des PUI. Cette différenciation repose sur la confrontation permanente entre les besoins des entreprises et des parties prenantes, d'une part, et les capacités de recherche et d'innovations présentes dans les laboratoires sous tutelle du CNRS, d'autre part, enrichie dans le cadre de la construction d'une vision nationale des thématiques scientifiques et industrielles, utilement complétée par une vision internationale. C'est en s'appuyant sur cette perspective unique que le CNRS doit continuer à faire évoluer son approche de la valorisation des résultats de recherche, en faisant naître des propositions de programmes d'accompagnement pertinents.



Audrey Dussutour donne une conférence au lycée Blaise-Pascal de Châteauroux, le 3 juin 2022.

© Cyril FRESILLON / CRCA / CNRS Images

AIDE À LA DÉCISION ET À LA COMPRÉHENSION

La demande sociale de connaissances scientifiques n'a jamais été aussi forte même si, paradoxalement, les « anti-sciences » sont très audibles et les « fake news » et contre-vérités très répandues. Le CNRS poursuivra, et amplifiera, sa politique volontariste visant à répondre aux diverses sollicitations, à partager ses connaissances, à expliquer la démarche scientifique et à dialoguer. Et il le fera en étant particulièrement vigilant à ne pas prétendre expliquer aux citoyens ou décideurs ce qu'ils doivent faire ou penser. Il en va de la crédibilité de la parole scientifique qui doit rester neutre, tant que la démocratie et les valeurs de la science ne sont pas remises en question. Le rapport du Comité d'évaluation 2024 a souligné à la fois l'importance de ces activités, mais aussi le fait que le CNRS a encore des marges de progrès qui se déclinent de manières diverses.

La mission pour l'expertise scientifique

Créée en 2022, la mission pour l'expertise scientifique (MPES) a l'ambition de **produire des expertises institutionnelles pour éclairer les décideurs**

et décideuses, les citoyennes et citoyens sur de grands enjeux de société. Elle s'appuie sur une méthode rigoureuse garante de sa qualité et de son objectivité pour rassembler et croiser les connaissances issues de la recherche, forte du potentiel pluridisciplinaire du CNRS, ainsi que de son réseau de partenaires académiques international. Les expertises produites engagent ainsi l'établissement.

Les expertises scientifiques collectives lancées en 2023 et 2024 seront livrées au cours de la période du prochain COMP. Elles s'inscrivent dans les enjeux et priorités nationales de France 2030 en réponse à des défis pluridisciplinaires, systémiques, planétaires.

En complément de la production de travaux d'expertise collective seul ou en partenariat avec d'autres organismes de recherche, sur saisines et en autosaisine, **l'offre de services sera diversifiée, en expérimentant des formats plus courts, sur des périmètres plus resserrés**, pour répondre aux défis de la temporalité et des aléas des agendas politiques.

En parallèle, **une formation dédiée à l'expertise sera mise en place** pour acculturer les chercheurs et chercheuses à l'expertise et les familiariser avec les mécanismes de la décision publique. En lien avec le pôle des affaires publiques, la MPES mobilisera ses forces pour garantir l'impact et la visibilité de ses livrables en tant que référentiels reconnus pour leur fiabilité, leur objectivité et leur accessibilité aux

décideurs et décideuses, aux citoyennes et citoyens. Le CNRS s'appuiera sur sa présence dans les réseaux européens et internationaux de l'« evidence-based policy », en lien avec la direction Europe et international (DEI).

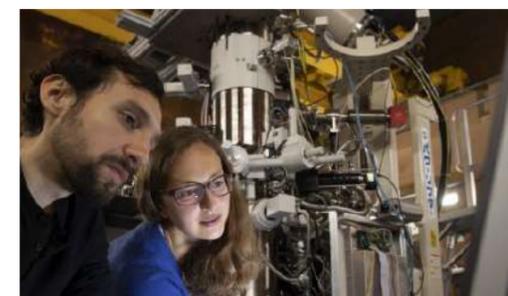
ACTIONS

- Proposer un portefeuille d'expertises en expérimentant des formats plus courts, sur des périmètres plus resserrés, pour répondre aux défis de la temporalité et des aléas des agendas politiques.
- Mettre en place une formation dédiée à l'expertise, pour acculturer les chercheurs et chercheuses à l'expertise et les familiariser avec les mécanismes de la décision publique.

Pôle Affaires publiques

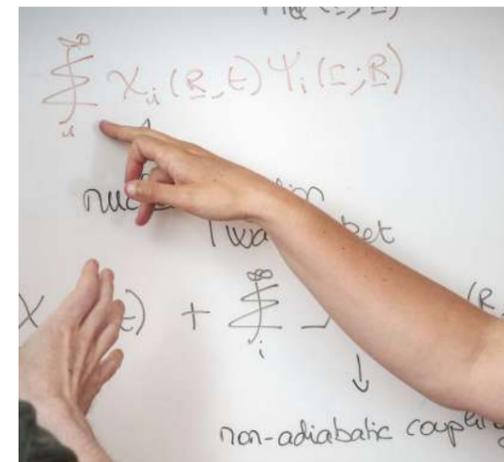
Créé en 2020, le pôle « Affaires publiques » tisse des **relations de travail et d'échanges avec les structures et acteurs de la décision en France** : exécutif, législatif, ONG, autorités indépendantes, organisations spécialisées, leaders d'opinion, etc. Dans le cadre du présent contrat, trois actions prolongeront et renforceront celles déjà en place pour apporter les éléments d'aide à la décision en appui aux politiques publiques et mettre à la portée de tous et toutes les résultats produits par les équipes dans les laboratoires.

Dans l'esprit de la feuille de route Europe du CNRS, un effort particulier portera sur **le relationnel avec les structures de la décision européenne**, en lien avec le bureau de Bruxelles, et dans l'objectif d'accroître plus encore la diffusion des priorités et des orientations soutenues par le CNRS sur la scène européenne.



Observation d'un nanofil de GaN par microscopie électronique en transmission (MET)

© Frédéric MALIGNE / CEMES / CNRS Images



Explication de concepts théoriques liés aux simulations de réactions atphotochimiques par Morgane Vacher, médaille de bronze du CNRS 2024.

© Jean-Claude MOSCHETTI / CEISAM / CNRS Images

En écho aux sollicitations et demandes que le CNRS reçoit chaque semaine pour apporter son expertise sur tel ou tel autre sujet de science ou lié à des enjeux de connaissance, il est prévu d'expérimenter « **l'Académie du CNRS (nom provisoire)** » qui, en lien avec CNRS formation (spécialisé dans les technologies de pointe) et les autres instituts sous égide des ministères (IHEMI, IHESI, IHEDN, Institut du Sénat...), visera à mettre en place, pour les professionnels, des programmes thématiques de compréhension des questions scientifiques majeures et des liens qu'elles entretiennent entre elles.

Les approches scientifiques étant désormais au cœur de la plupart des questions de société, il devient nécessaire de clarifier les processus (amont, pendant, aval) de gestion de crise, en prenant en compte les différents types de crises auxquelles le CNRS peut avoir à faire face, les exemples sont malheureusement nombreux et plutôt en augmentation.

ACTIONS

- Clarifier les processus (amont, pendant, aval) de gestion de crise.
- Construire un programme de compréhension des questions scientifiques pour les professionnels : création de « l'Académie du CNRS ».

Communication grand public et médiation scientifique

La communication auprès du grand public constituera une des priorités de ce contrat. Il s'agit de multiplier les contenus corporate et les actions de médiation scientifique à son intention. L'enjeu est de contribuer à renforcer les interactions entre les sciences et la société, afin d'élargir la démocratie et les choix collectifs, favoriser le développement de l'autonomie intellectuelle et de l'esprit critique, ou promouvoir une formation de meilleure qualité.

Dans cette perspective, le dispositif de communication pour mettre la science à disposition du plus grand nombre sera renforcé avec un écosystème numérique qui fera la part belle aux formats vidéo pour parler de science; des chaînes sur YouTube vont s'étoffer pour afficher plus de formats courts destinés aux 15-20 ans ainsi que des événements scientifiques « live » en partenariat avec des carrefours d'audience (musées, médias), sur le modèle de l'événement « Ma thèse en 180 secondes ».

Par ailleurs, notre campus de Meudon accueillera un centre de médiation scientifique, à la fois showroom science et innovation, lieu de dialogue

sur les grands enjeux scientifiques, et incubateur de projets autour des thématiques « Science et Société ».

Des opérations en partenariat visant à combler les écarts de connaissances scientifiques dans la société seront mises en place, comme des émissions télé « tout savoir ou presque », des soutiens au dispositif « jouer à débattre », des partenariats avec les musées et centres de culture scientifique (Universciences), avec des associations ou encore avec des centres culturels.

Enfin, la poursuite des années thématiques avec l'Éducation nationale et l'UNESCO ainsi que les partenariats dans le cadre du grand oral ou encore l'accueil de stages de seconde viendront renforcer l'impact auprès du public scolaire, notamment lycéen.

ACTION

Créer et animer un centre de médiation scientifique à Meudon.

5. Le CNRS, acteur national, amplificateur des politiques de site



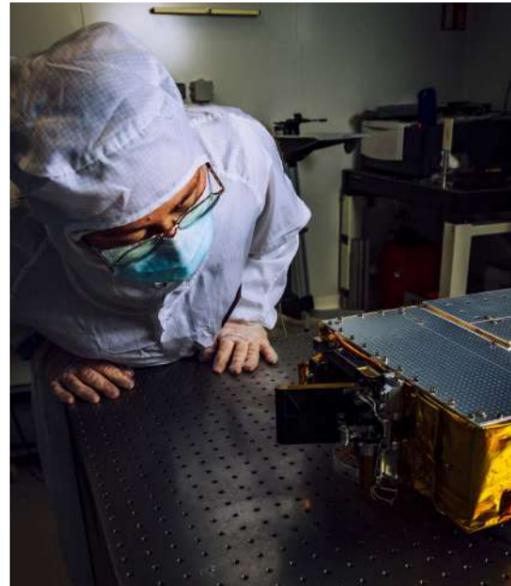
PROGRAMMES NATIONAUX, PEPR, PROGRAMME « RECHERCHE À RISQUE »...

Le CNRS pilote ou copilote près de trois quarts des programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) de France 2030, dont tous les PEPR exploratoires. Et il participe, via ses équipes, à tous les autres, ou presque. Ce n'est pas un hasard, car ces programmes se caractérisent précisément par le fait qu'ils mobilisent des compétences variées, issues de nombreux domaines scientifiques, permettant une approche holistique des verrous et des questions scientifiques identifiés. La grande majorité de ces PEPR sont copilotés avec d'autres institutions de recherche, essentiellement des organismes (BRGM, CEA, IFPEN, IFREMER, INRAE, INRIA, INSERM, IRD, Météo-France) et, dans une moindre mesure, des universités (Aix-Marseille, Grenoble-Alpes, Gustave-Eiffel, Institut Mines-Télécom, Paris-Saclay).

Dans ce contexte, le CNRS a mis en place en 2023 la mission aux programmes nationaux (MiPN) pour coordonner, en lien avec les instituts, les délégations régionales et les directions fonctionnelles, le suivi et l'appui des programmes nationaux, l'animation des directeurs et directrices de programmes, des managers de programmes et des chargées et chargés de valorisation et de communication. La MiPN apporte aussi un support à la mise en œuvre des programmes, en lien avec l'ANR et les établissements copilotés. La MiPN a enfin pour vocation d'animer la transversalité entre les programmes en termes de perspectives croisées et de projets aux interfaces.

Un enjeu majeur est maintenant de créer les **interfaces entre programmes, opérés par les dispositifs CNRS existants** (cellules thématiques, MITI, MiPN, en fonction des périmètres couverts) afin de faire émerger des interactions aussi bien dans les domaines thématiques des agences de programmes en construction que de manière transverse.

Par ailleurs, les procédures de sélection des projets du nouveau programme national de France 2030 « Accélérer la recherche à risque » ont démarré au second semestre 2023 et **le CNRS a fait le choix, validé par le MESR et le SGPI, de soutenir des projets importants dont le budget se rapproche de 3 M€**, somme maximale suggérée. Le CNRS sélectionne des **projets scientifiques risqués et**



Ouverture du couvercle de protection du spectromètre imageur infrarouge MIRS.

© Cyril FRESILLON / LESIA / CNRS Images

non finançables, facilement ou rapidement, par les canaux habituels. Les projets retenus se démarquent ainsi de ceux financés par l'ANR, les différents PEPR ou l'ERC.

Une priorité forte est donnée aux projets qui :

- sont portés par un petit nombre de scientifiques, typiquement de un à trois, aux compétences complémentaires. Ils font la démonstration d'un positionnement original et assez unique. Cela n'exclut nullement les jeunes qui démontrent souvent, dès leur entrée au CNRS, de telles qualités ;
- proposent une idée originale et sans garantie de résultat, devant déboucher en cas de succès, sur des avancées importantes en termes de connaissances et de savoir-faire ;
- identifient un fort impact potentiel applicatif envisagé en cas de succès à moyen ou long terme, impact qui peut être scientifique, industriel ou social.

ACTION

Poursuivre la mise en œuvre du programme « Accélérer la recherche à risque », en fonction des financements disponibles.

POLITIQUES DE SITE ET PARTENARIATS ACADÉMIQUES

La vraie originalité du système français ne réside pas dans l'existence d'organismes de recherche, tous les grands pays scientifiques en ont, mais dans l'intensité et la qualité des interactions et des coopérations qu'ils entretiennent avec les universités. Objet de débats sans fin en France, ce modèle est souvent admiré et envié à l'étranger. Il fait historiquement la force de la recherche française, et sa visibilité ; il doit donc être préservé. Mais il peut sans nul doute être encore amélioré et simplifié, comme le Comité d'évaluation 2024 du CNRS l'a recommandé en *suggérant d'« approfondir le partenariat avec les universités, renforcer le comanagement des UMR et l'implication des chercheurs CNRS dans l'enseignement »*.

Dans le cadre de l'autonomie accrue des universités annoncée comme un objectif de l'État, et de ce contrat, le CNRS **accordera une priorité aux relations bilatérales avec chaque université**, dans le respect de son rôle de « cheffe de file » de son site. En tant qu'établissement autonome, chaque université a ses spécificités et doit prendre en compte les caractéristiques du site dont elle est « cheffe de file ». Ainsi, même s'ils reposent globalement sur les mêmes briques de base (statuts des personnels, UMR...), les partenariats du CNRS peuvent varier d'une université à une autre, comme le démontre au fond la situation actuelle. Tout en visant à partager les bonnes idées et les meilleures pratiques, **le CNRS souhaite ainsi**

« individualiser » ses partenariats avec chaque université. Les actions proposées ci-dessous doivent donc être lues comme une espèce de « menu » que le CNRS va proposer aux universités, charge à chacune d'elles de décider quels sujets elle souhaite développer.

En complément de ces relations bilatérales, le CNRS poursuivra ses interactions avec les confédérations d'universités et d'écoles sur les sujets globaux comme, pour ne citer que quelques exemples, les questions d'attractivité des métiers de l'enseignement supérieur et de la recherche, la reconnaissance du doctorat, les infrastructures de recherche, la science ouverte...

Simplifications « locales »

Le CNRS est convaincu que positionner chaque université comme « cheffe de file » de son site est une vraie source potentielle de simplification et de clarification. Il faut, pour cela, définir clairement les droits et devoirs d'une « cheffe de file ». Le CNRS retiendra naturellement ceux définis par le G5 (CEA, CNRS, INRAE, INRIA, INSERM) et France Universités, et validés par le MESR :

- la coconstruction avec ses partenaires de la stratégie scientifique du site universitaire intégrant les grandes priorités nationales, mais aussi les spécificités locales ;
- le pilotage coordonné de sa déclinaison à l'échelle du site comme des unités de recherche (Recherche et Valorisation) ;



Tests instrumentaux de mesures distribuées de température, pôle Eau souterraine de l'OSERen.

© Jean-Claude MOSCHETTI / OSERen / CNRS Images

- la coordination de la gestion de l'ensemble des moyens alloués aux activités de recherche et d'innovation, dans le respect des différents statuts concernant les RH ;
- pour les échanges qui auraient des conséquences spécifiques pour le site considéré, la coordination des relations avec les partenaires locaux (collectivités, entreprises, acteurs culturels, etc.) et internationaux, ainsi qu'en matière de relations entre la science et la société ;
- l'interface entre les organismes nationaux et l'ensemble des acteurs du site, université, établissements composantes et autres établissements locaux.



Claire Hellio, lauréate de la médaille de l'innovation du CNRS 2023.

© Frédérique PLAS / LEMAR / CNRS Images

Au-delà des unités communes de recherche et de manière complémentaire, le CNRS a commencé à construire, avec certaines universités volontaires, des cellules partagées, points d'entrée unique pour nos unités communes et leurs personnels. Le dernier exemple en date est la création de la Maison européenne de la Recherche à Marseille, commune à l'université Aix-Marseille, le CNRS, l'INSERM et l'IRD. Le CNRS considère que ces structures fonctionnent bien en étant une réelle source de simplification pour les unités communes.

Le CNRS est volontaire pour augmenter ces cellules partagées sur des sujets aussi variés que l'aide à la création de start-up, le montage de projets européens, les partenariats internationaux, la science ouverte, la déontologie et l'intégrité scientifique...

Tout le monde appelle de ses vœux plus de simplification, et partage l'objectif de redonner aux chercheurs et aux chercheuses plus de temps pour faire de la recherche. Mais tout le monde en convient aussi, simplifier n'est pas simple. Si l'on veut être efficace, il faut distinguer, clairement et sur un site donné, ce qui est de la responsabilité de chaque acteur, ce qui est de la responsabilité des relations entre partenaires sur le site (deux partenaires peuvent avoir chacun des procédures simples, mais non compatibles entre elles, ce qui complexifie grandement la vie de leurs unités communes) et enfin ce qui est de la responsabilité d'acteurs extérieurs au site (État, ANR, France 2030, Programme cadre européen...).

Dans la continuité du chantier de simplifications initié par le MESR, le CNRS s'impliquera avec volontarisme dans tout chantier de simplifications piloté sur un site par l'université « cheffe de file », sous réserve bien sûr que ce chantier ne conduise pas à remettre en cause le fonctionnement global unique de l'organisme. Le CNRS a fourni à ses délégations régionales en amont une « boîte à outils » pour nourrir les discussions avec des propositions concrètes et s'emploiera à faire fructifier ces travaux.

De tels chantiers doivent avant tout avoir pour objectif d'améliorer les « performances » du site en veillant à ne pas instaurer des concurrences stériles et inutiles entre les acteurs du site. Pour vérifier que nous travaillons collectivement efficacement, le CNRS souhaite la mise en place, site par site, d'indicateurs de site (par exemple, le nombre d'ERC, de projets ANR, de recrutements exogènes, de pourcentage de dépôt dans une archive ouverte...).

ACTIONS

- Coconstruire des cellules partagées avec les acteurs du site, sous la responsabilité des universités « cheffes de file de leur site » volontaires.
- Contribuer à l'élaboration d'une proposition d'indicateurs de site pour le suivi des activités portées par les acteurs du site, sous la responsabilité des universités « cheffes de file de leur site » volontaires.



Patricia Rousselle, lauréate de la médaille de l'innovation du CNRS 2023, et une collaboratrice.

© Frédérique PLAS / LBTI / CNRS Images

Les unités communes

Si l'UMR doit rester la cellule de base de son organisation scientifique, le CNRS est convaincu qu'elle ne doit pas être l'unique outil possible de coopérations avec les universités et les autres organismes de recherche.

Dans tous les cas, le fait d'avoir le CNRS comme tutelle ne doit plus être le garant de la qualité des laboratoires universitaires, il y a de très bons laboratoires qui ne sont pas sous tutelle du CNRS. Il faut définitivement sortir de cette logique et assumer collectivement que le rôle du CNRS est d'aider les très bons à devenir encore meilleurs, parmi les meilleurs au niveau international. Dans ce cadre, le CNRS se propose de mettre en valeur, parmi les laboratoires dont il assure la tutelle, les plus remarquables d'entre eux, ceux qui sont réellement « de rang mondial ». Ce statut serait un facteur de visibilité et de reconnaissance internationale et, pour les établissements cotutelles, signe de leur rayonnement international dans la thématique concernée.

Naturellement, l'implication du CNRS serait plus forte, et plus pérenne, dans ces laboratoires qui resteraient sous la double responsabilité d'une université et du CNRS. Dans tous les cas, l'université serait cheffe de file sur le site et aurait la charge des relations avec les autres établissements du site.

De manière complémentaire, il est très souvent intéressant de **jouer sur le principe de mutualisation entre plusieurs unités, UMR ou unités propres de certains établissements,**

universités ou organismes. Il s'agit alors de partager une infrastructure ou des plateformes technologiques. Les fédérations de recherche (FR), les observatoires ou encore les Unités d'Appui et de Recherche (UAR) sont les bons outils pour cela.

En s'appuyant sur ces différentes structures, le CNRS souhaite conduire une politique visant à être significativement présent, en tant qu'employeur, dans les structures (co)pilotées.

De plus, il semble essentiel de travailler entre partenaires pour renforcer l'attractivité de la fonction de directeur ou directrice d'unité (DU). Cette fonction est de plus en plus lourde et les candidats et candidates de moins en moins nombreux. L'objectif est de conduire ensemble, CNRS et partenaires universitaires, une véritable politique concernant les DU visant à :

- systématiser les lettres de mission en début de mandat ;
- renforcer leurs capacités à mettre en œuvre dans leurs unités la politique scientifique définie conjointement avec les tutelles, notamment en systématisant un reversement à l'unité d'une partie des frais de prélèvements sur contrats ;
- décharger les enseignants-chercheurs d'une partie de leur charge d'enseignement (avec une quotité dépendant de la taille de l'unité) sous forme de décharges d'enseignement proposées par les universités ou de délégations partielles financées par le CNRS, attribuées pour la durée de leur mandat.



Dispositif pour observer les dynamiques bactériennes à l'échelle microscopique dans une puce microfluidique.

© Jean-Claude MOSCHETTI / OSERen / CNRS Images

Un point essentiel au bon fonctionnement des unités communes est le **partage d'informations entre tutelles**. Le fait d'avoir une unité commune doit être un plus et non une source de complexité supplémentaire.

De plus, pour chaque unité partagée, en donnant une priorité aux unités de « rang mondial », le CNRS proposera aux autres tutelles de :

- **généraliser les dialogues objectifs moyens (DOR)** en adoptant leur rythme à la taille et la criticité de l'unité, en veillant à en faire un la première année de prise de fonctions de chaque DU ;
- **définir ensemble un socle minimum d'informations à partager**, et mettre en place une procédure simple pour le faire a minima une fois par an.

La gestion de leurs unités est un sujet de préoccupation de tous les directeurs et directrices d'unité. Même si elle est loin de faire l'unanimité, et si elle ne règle pas non plus tous les problèmes, la délégation générale de gestion (DGG) apparaît au CNRS comme une vraie source de simplifications. Elle conduit en effet un gestionnaire à n'avoir à utiliser, et donc à connaître, qu'une seule suite logicielle. Pour mémoire, la moitié de ses laboratoires sont déjà en délégation de gestion pour les contrats de recherche, l'autre moitié relevant du choix du directeur d'unité pour chaque contrat.

Pour des questions de déroulement de carrière des gestionnaires, et aussi de qualité de service, le CNRS est par contre convaincu que la DGG ne peut s'envisager sans qu'à terme les gestionnaires soient des employés de l'établissement gestionnaire.

Toute évolution requiert naturellement l'accord des partenaires académiques, site par site. Il s'agit collectivement de mieux faire face à l'augmentation des ressources propres, dans un contexte de ressources contraintes sur subvention d'État et de clarification des responsabilités.

Le CNRS poursuivra dans cette voie. Un important travail conduit avec les délégations régionales en 2022 a permis de les outiller en vue de telles évolutions.

ACTIONS

Proposer aux partenaires une véritable politique concernant les DU visant à :

- systématiser les lettres de mission en début de mandat ;
- décharger partiellement les enseignants-chercheurs de leur charge d'enseignement (avec une quotité dépendant de la taille de l'unité) ;
- proposer aux tutelles de l'unité, pour chaque unité partagée, de généraliser les dialogues objectifs moyens (DOR) en adoptant leur rythme à la taille et la criticité de l'unité, en veillant à en faire un la première année de prise de fonctions de chaque DU ;
- définir ensemble un socle minimum d'informations à partager, et mettre en place une procédure simple pour le faire a minima une fois par an.

Délégations d'enseignants-chercheurs et professeurs attachés

Il semble intéressant de travailler à des modalités permettant, pour chacun des statuts considérés, d'un côté de moduler la charge d'enseignement des enseignantes-chercheuses et des enseignants-chercheurs, et inversement de reconnaître l'implication des chercheurs et des chercheuses qui souhaitent s'investir dans des activités pédagogiques.

Le CNRS poursuivra ainsi sa **politique volontariste d'accueil en délégation d'enseignants-chercheurs, en interaction étroite avec les universités**. Rappelons que le CNRS octroie chaque année près de 550 années de délégation. Avec les délégations à temps partiel, ce sont plus de 800 collègues qui bénéficient de ce système vertueux. Le CNRS réservera en particulier une partie des délégations pour l'aide à la soumission de projets européens, au pilotage des PEPR, aux coopérations internationales et à la mise en œuvre de la feuille de route outre-mer.

Évaluation

Le CNRS considère comme **indispensable de travailler sur le « pour quoi » et « pour qui » des évaluations des unités**. Le système actuel n'est ni complètement satisfaisant ni optimal. Il faut viser une évaluation de type « conseil/accompagnement ». Il faut aussi prendre en compte le fait qu'un certain nombre d'unités, essentiellement en biologie et en chimie, ont de plus mis en place des « Scientific Advisory Boards (SAB) », souvent très internationaux, et qui les suivent dans la durée.

Chaque évaluation d'une unité par le HCERES doit être précédée de l'élaboration d'une lettre commune des tutelles principales de l'unité précisant leurs attentes et leurs demandes. Cette lettre doit faire l'objet d'un échange avec le HCERES, afin de s'assurer que ses objectifs sont conformes aux missions du Haut Conseil, puis envoyée aux panels d'évaluation dont elle serait ainsi la feuille de route. Et bien entendu, les panels seraient libres d'attirer l'attention des tutelles sur tout sujet qu'ils jugeraient important, qu'il soit ou non dans cette feuille de route.



Collecte hivernale de pucerons dans un champ de blé sur la commune de Domagné.

© Jean-Claude MOSCHETTI / ECOBIO / CNRS Images

AGENCES DE PROGRAMMES

« Climat, biodiversité et sociétés durables »

Le CNRS s'est vu confier fin 2023 une **mission supplémentaire, la mise en place et la responsabilité de l'agence de programmes « Climat, biodiversité, sociétés durables »** pour le compte de l'ensemble des acteurs concernés. Jamais l'être humain n'avait jusqu'ici eu un impact global et rapide sur la planète au point de mettre en péril la survie de ses sociétés et de ses écosystèmes. Sans actions fortes, la capacité d'adaptation des systèmes socio-écologiques va être dépassée par les changements globaux induits par l'homme. Ainsi, parallèlement au développement de politiques internationales ambitieuses de réduction de nos émissions de gaz à effet de serre et de lutte contre le changement global, développer une capacité d'adaptation à l'échelle nationale est indispensable pour assurer la résilience de l'économie et la continuité des services essentiels, préserver les milieux naturels et culturels et, globalement, protéger les populations. Dans ce contexte, l'agence de programmes « Climat, biodiversité, sociétés durables » visera à faire progresser les connaissances sur le fonctionnement du Système Terre dans sa globalité en traitant le climat, la biodiversité et les sociétés humaines comme des systèmes couplés. Les perspectives scientifiques ou technologiques qui sont régulièrement menées dans les différentes communautés serviront de socle aux réflexions

stratégiques des partenaires de l'agence pour dégager des propositions de programmes prioritaires ou d'équipements d'ampleur nationale. De plus, l'agence, en réunissant des partenaires issus de l'ensemble du monde socio-économique aux côtés des acteurs de la recherche et de la formation, pourra à la fois apporter une aide aux décideurs publics sur la base des connaissances acquises via les programmes de recherche et aussi coconstruire de nouveaux projets à partir, par exemple, des manques de connaissances identifiés dans l'interaction avec les acteurs socio-économiques.

Les interfaces de l'agence de programmes « Climat, biodiversité, sociétés durables » avec les autres agences seront nombreuses. En effet, qu'il s'agisse de biodiversité, de forêts, de sols ou d'eaux, les activités seront étroitement liées aux travaux de l'agence de programmes portée par l'INRAE « Agriculture, alimentation, forêts et ressources associées ». De même, sur les sujets relatifs à la santé globale (« *one health* »), les travaux seront partagés également avec l'agence de programmes « Santé » portée par l'INSERM. L'impact de l'énergie sur le climat et l'environnement étant majeur, des actions communes seront également à construire avec l'agence de programmes « Energie » portée par le CEA. Enfin, les technologies spatiales et les moyens d'observation qu'elles apportent conduiront à poursuivre nos interactions (déjà majeures) avec l'agence de programmes « Spatial » portée par le CNES.

Des organisations spécifiques autour des enjeux communs seront à construire avec chacune de ces agences, particulièrement avec l'agence portée par l'INRAE sur la thématique des infrastructures de recherche.

Le CNRS installera l'agence « Climat, biodiversité, sociétés durables » en veillant avant tout à sa plus-value pour l'ensemble des acteurs. Il s'inscrira notamment dans **une logique de maîtrise d'ouvrage**. Une fois un programme ou une action décidés, il convient à chaque fois de déterminer le partenaire, ou les partenaires, plus

à même d'être maître d'œuvre. De cette manière, l'agence atteindra l'objectif de faire coopérer les acteurs, d'exploiter leurs savoir-faire et spécificités, et de créer des synergies entre les uns et les autres.

ACTION

Installer l'agence « Climat, biodiversité, sociétés durables ».

Les autres agences

Au-delà de l'agence « Climat, biodiversité, sociétés durables », le CNRS va participer aux activités de toutes les agences, étant concerné par leurs thématiques respectives. Il est souhaitable que les « philosophies » de ces différentes agences ne soient pas trop différentes de l'une à l'autre, à la fois par souci de visibilité et d'efficacité, et aussi par respect des communautés scientifiques qui risquent, en cas d'orientations et de positionnement trop différents d'une agence à l'autre, d'être décontenancées et donc peu mobilisables.



Mesure des traits fonctionnels de plantes.

© Hubert RAGUET / LECA / CNRS Images

6. Simplifier le quotidien des unités



Cette section se concentre sur les simplifications internes de la seule responsabilité du CNRS. Elle complète la Section 5 dans laquelle les sujets de simplification liés aux partenariats avec les universités ont été traités. L'ensemble apporte des éléments de réponse à la recommandation « **Lancer une opération commando pour répondre de manière urgente et décisive à la nécessité de simplifier les processus administratifs et de réduire le fardeau bureaucratique qui pèse sur la communauté du CNRS** » du Comité 2024 d'évaluation du CNRS.

L'ÉVOLUTION DES DÉLÉGATIONS RÉGIONALES

Les dialogues de gestion entre le siège du CNRS et les délégations régionales (DR) ont été refondus en 2023 et ils continueront à être mis en œuvre à partir de 2024. En s'alignant sur les vagues d'évaluation par le HCERES, des dialogues de gestion « stratégiques » ont été instaurés pour décliner les objectifs nationaux de manière pluriannuelle en tenant compte des spécificités de chaque territoire.

Parallèlement, la méthode de répartition des ressources dans chaque délégation a été redéfinie afin de tenir compte de la charge supplémentaire que représentent, à partir de 2023, la mise en place des PEPR comme l'accroissement des enveloppes de l'ANR et de l'Union européenne.

Depuis l'automne 2023, chaque DR a également constitué des groupes de travail avec des directeurs et directrices d'unités pour formaliser une offre de service. Ces travaux ont plusieurs fois été précédés par une enquête de satisfaction auprès des laboratoires. Les 17 documents ont été livrés fin décembre 2023. Ces offres de service sont l'occasion pour les DR d'explicitier, au vu de leurs ressources réelles et du taux de rotation de leur effectif, des critères de priorisation des dossiers et des engagements de qualité.

Une offre de service « socle » a été établie sur cette base. Les services correspondants ont vocation maintenant à être mis en œuvre.

Ces démarches n'excluent pas des actions de mutualisations inter-DR ou nationales dans un souci de plus grande efficacité pour des sujets nécessitant une expertise rare ou pointue. C'est le cas en matière d'opérations immobilières complexes (cellule nationale d'appui à des opérations locales) ou d'accompagnement à l'arrivée de chercheurs

ou chercheuses internationaux (cellule à la DR de Gif-sur-Yvette), par exemple. Le CNRS poursuivra dans cette voie.

ACTIONS

- Mettre en œuvre des tableaux de bord des DR comportant des indicateurs tels que les délais de traitement des recrutements ou des contrats.
- Formaliser et mettre en œuvre une offre de service dans les délégations régionales, accompagnée de la mise en place d'indicateurs de performance.

LE RÉEXAMEN DES PROCESSUS

Les sources profondes des sujets d'insatisfaction, tels qu'ils ressortent plus spécialement des résultats de la consultation des agents de septembre 2023, semblent triples :

- la prééminence de la recherche sur projets ;
- les règles de gestion publique ;
- la capacité à recruter et valoriser les talents, notamment dans les fonctions support.

Pour chaque sujet, il convient de distinguer clairement ce qui dépend du CNRS de ce qui dépend d'autres acteurs.

S'agissant de la recherche sur projets sous sa responsabilité, le CNRS s'efforcera autant que possible de **privilégier l'allocation directe pour des projets ciblés**, et de ne recourir aux appels à projets que lorsque vraiment nécessaire d'un point de vue scientifique.

Concernant le montage administratif, le CNRS s'appuiera sur le module d'aide au montage financier des projets ANR et ERC mis en place dans Webcontrat : des modules pour les projets collaboratifs, les contrats industriels et la génération automatique de contrats seront déployés dès 2024 ; des propositions d'allègement seront faites sur la gestion des PEPR et du programme « Recherche à risque ». Enfin, concernant la justification des dépenses, **le CNRS continuera de promouvoir le régime européen du forfait (lump sum) et sa généralisation aux financements nationaux.**



Morgane Vacher, médaille de bronze du CNRS 2024, échange avec les étudiants et étudiantes de son groupe.

© Jean-Claude MOSCHETTI / CEISAM / CNRS Images

S'agissant des règles de la gestion publique, le CNRS capitalisera sur plusieurs acquis. On peut citer en premier lieu les « **autorisations globales de dépenses** », permettant aux laboratoires d'engager les crédits dès que le contrat est signé, sans attendre l'encaissement des fonds. Enfin, dans le cadre de la gestion déconcentrée dans les DR, le CNRS est prêt à étudier des délégations de signature différenciées en faveur de certains directeurs et directrices de grosses unités, dans des champs à préciser.

Au plan méthodologique, le CNRS pratique depuis près de dix ans une démarche d'amélioration continue (DAC), participative et partant du terrain, avec à la clé un partage des bonnes pratiques. Cette méthode a été déclinée dans les différentes filières métiers et vient d'être relancée, avec le soutien de la DITP pour être notamment utilisée pleinement en région.

L'effort portera d'abord sur les processus RH, au croisement des problématiques d'attractivité et de simplification. Un important travail avec les services ressources humaines des DR à l'automne 2023 a permis d'identifier onze irritants et de lancer des groupes de travail, pour une restitution au printemps 2024. La priorité est de simplifier les processus de recrutement. Sur un marché du travail très tendu, il convient de raccourcir les délais d'instruction en matière de rémunération et de ne pas attendre les documents nécessaires à la reconstitution de carrière pour formuler une proposition salariale. Il faut ensuite bien structurer

la procédure d'arrivée des nouveaux recrutés (cf. page 13, L'accompagnement et le management).

Il s'agit aussi de faire évoluer la filière RH dans son ensemble pour prendre en compte différemment les tâches de gestion (réorganisation interne à la DRH, déconcentration supplémentaire, mutualisations) et renforcer le temps disponible pour le conseil RH.

Concernant la gestion des missions, des améliorations sont en attente et d'autres devront intervenir également par la suite ; la capacité du prestataire actuel à les prendre en compte conditionnera le devenir de l'outil Notilus.

Avec le fort taux de rotation dans les fonctions support, on peut constater au fil du temps un décalage entre la norme et son application par tel ou tel gestionnaire, en DR ou en laboratoire. Le CNRS souhaite s'attaquer à ce sujet difficile. Chaque DR effectuera une revue de ses pratiques par rapport aux normes pour les pièces justificatives.

ACTION

Simplifier ce qui dépend du CNRS en matière de recherche sur projets, de règles de gestion publique et de processus internes, en particulier en matière RH ; s'appuyer sur les travaux de la mission engagée par l'agence de conseil interne de la DITP.

LA DÉMATÉRIALISATION ET LES OUTILS D'AIDE AU PILOTAGE

La dématérialisation est un vecteur important de simplification. Déjà très avancée au sein du CNRS, elle va se poursuivre avec notamment une attention particulière aux projets suivants :

- promotion et accompagnement du recours aux **cahiers de laboratoire électroniques sécurisés**, depuis leur mise à disposition à l'été 2023 ;
- possibilité pour les laboratoires le souhaitant de **dématérialiser les bons de commande**, en s'appuyant sur l'expérimentation lancée auprès de laboratoires pilotes à l'été 2023 ;
- rénovation de l'**outil collaboratif Mycore (projet Drive)** ; il s'agit de pouvoir travailler de manière sécurisée sur un même document, quels que soient son unité de rattachement et son employeur ;
- extension de **portail data** aux publications et données financières ; cet outil permet de réaliser des croisements de données brutes pour répondre aux besoins de pilotage des laboratoires ;

- poursuite des échanges avec l'ANR pour créer un flux vers sa plateforme de dépôt afin d'éviter une double saisie entre Webcontrat et celle-ci ;

- **automatisation des prélèvements sur contrats et gestion des encaissements** ; cela concerne surtout la filière finances, avec un gain significatif en termes de simplification.

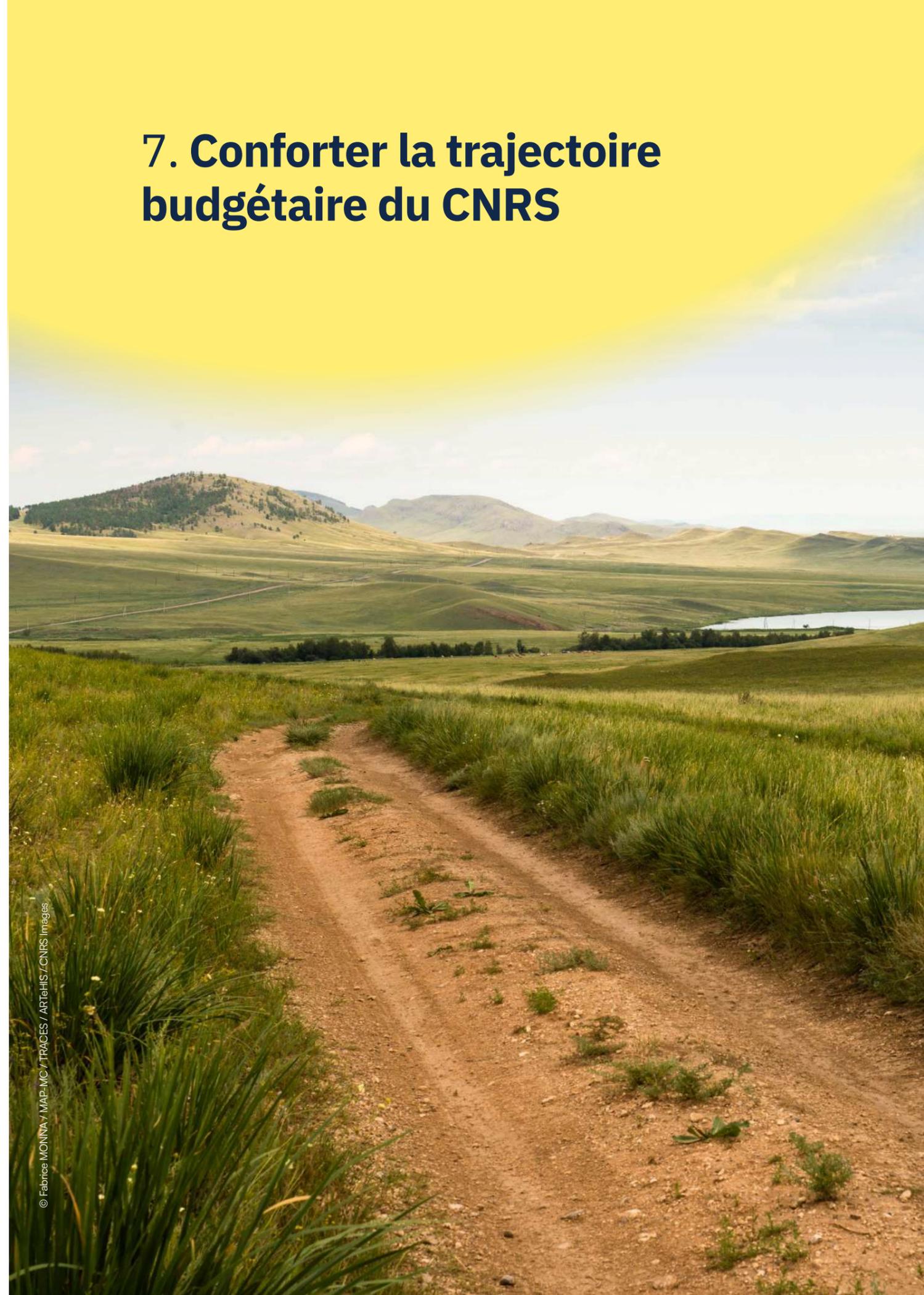
Le CNRS continuera à promouvoir en particulier deux outils partenariaux très appréciés, DIALOG, qui permet de traiter les demandes de ressources (RH et finances) d'un laboratoire, entre les tutelles qui le souhaitent, que le CNRS en fasse partie ou non, et PCRU, qui permet de partager les contrats de recherche d'un même laboratoire entre toutes les tutelles qui le souhaitent, que le CNRS en fasse partie ou non.

Ces différents projets supposent un cadre SI aussi sécurisé que possible : le plan d'action pour la sécurité des SI, formalisé en 2023, sera ainsi mis en œuvre.

ACTION

Poursuivre les actions de dématérialisation et développer l'interopérabilité des outils informatiques, tant en interne CNRS qu'en lien avec nos partenaires.

7. Conforter la trajectoire budgétaire du CNRS



Le CNRS a vu ses ressources passer de 3,5 à 4,1 Md€ entre 2017 et 2023, traduisant à la fois l'engagement de l'État à l'appui de l'établissement et la mobilisation de ce dernier pour aller chercher de nouvelles ressources propres.

La poursuite du développement des recettes propres et la diversification des financements, en complément de la subvention pour charges de service public, en particulier auprès de l'Union européenne, du secteur privé, mais aussi de la société civile est un élément important de la trajectoire budgétaire du CNRS et fait écho à la recommandation du HCERES.

Dans ce cadre, le CNRS continuera de s'inscrire dans la politique ministérielle en matière, notamment, de sobriété énergétique et de gestion de ses locaux.

Enfin, le CNRS poursuivra ses échanges en amont avec ses tutelles sur ses projets de budgets.

ACTIONS

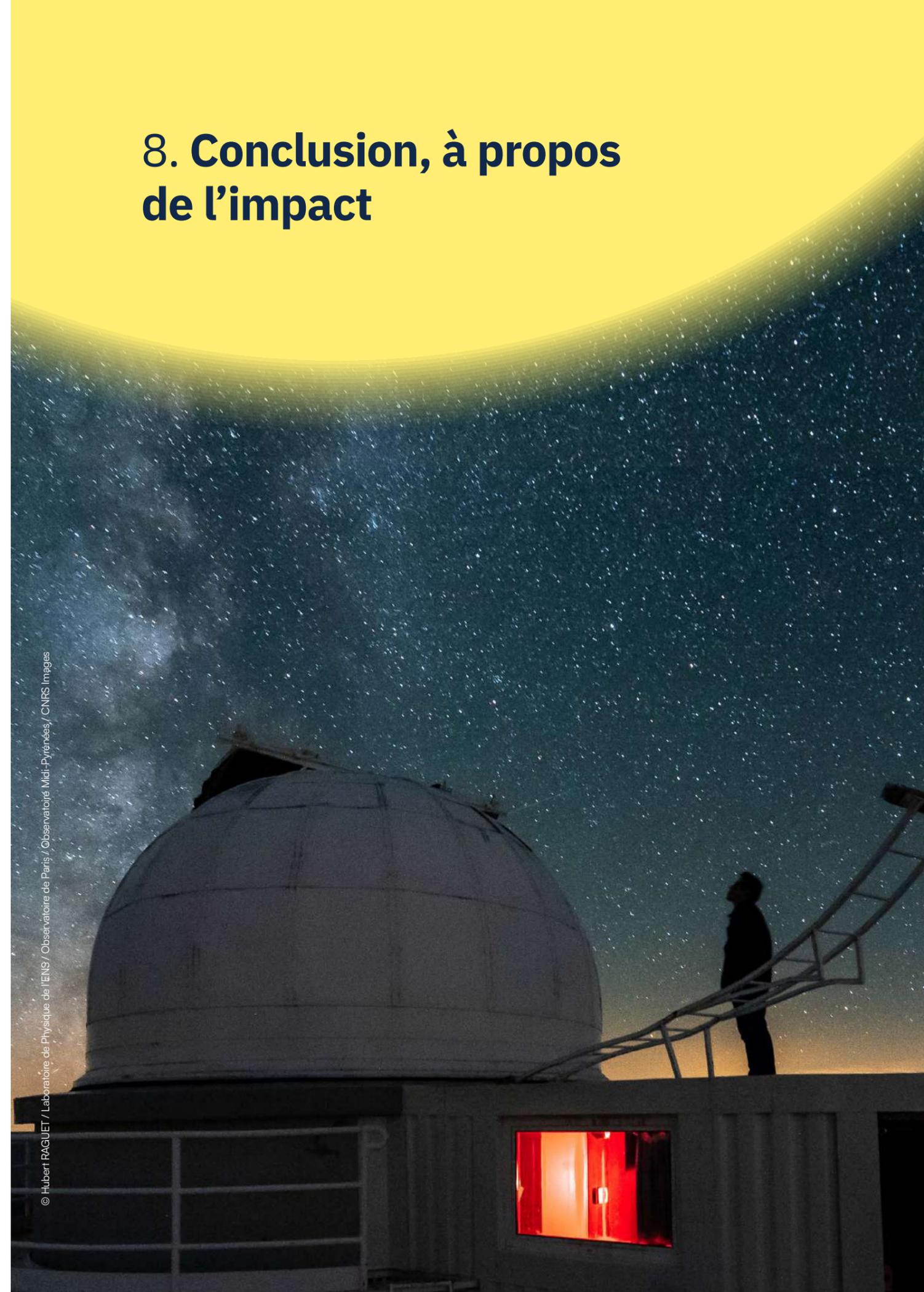
- Poursuivre le développement des recettes propres, en particulier issues des financements européens et du secteur privé.
- Poursuivre la politique de sobriété énergétique.
- Poursuivre le schéma pluriannuel de stratégie immobilière.



Tubes de Plexiglas recouverts de solutions de nanocristaux de différentes tailles pour ajuster leur couleur.

© Timothé PAIRE / LPENS / CNRS Images

8. Conclusion, à propos de l'impact



© Hubert RAGUET / Laboratoire de Physique de l'ENS / Observatoire de Paris / Observatoire Midi-Pyrénées / CNRS Images

Le CNRS a trouvé particulièrement intéressante et stimulante la sous-recommandation du Comité 2024 d'évaluation du CNRS invitant à « **créer un cadre général pour évaluer l'impact global du CNRS dans tous les aspects de ses contributions à la société** ».

Le sujet de l'impact de la recherche n'est pas nouveau, c'est une préoccupation complexe et partagée par l'ensemble des institutions de recherche nationales et internationales. Toutes poursuivent le même objectif de convaincre les citoyens et citoyennes, et ainsi les décideurs et décideuses, que **financer des activités de recherche est un investissement pour le futur**.

Selon la définition adoptée par la Commission européenne en 2010, l'impact de la recherche, ou impact sociétal, englobe tous les effets de la recherche sur l'économie, la société (santé, qualité de vie, politiques publiques, questions sociales), la culture et l'environnement. L'impact est protéiforme, il est donc préférable de parler, au pluriel, des impacts. Et les impacts recherchés varient d'une institution à l'autre, en fonction des sujets d'étude, des attentes des financeurs et des politiques conduites.

Certains de ces impacts ne se mesurent que quelques années, voire quelques dizaines d'années, après la découverte scientifique elle-même, comme en témoigne par exemple le concept d'ARN messenger émis puis démontré par François Jacob et Jacques Monod qui ont reçu le prix Nobel en 1965, sans imaginer pour autant qu'il serait, près de soixante ans plus tard, à la base de plusieurs vaccins contre la COVID. Il a fallu attendre près de trente ans également pour que les algorithmes de *deep learning* (ou apprentissage profond), inventés à la fin des années 1980 par Yoshua Bengio, Jeff Hinton et Yann Le Cun, se révèlent au cœur de la révolution de l'intelligence artificielle actuelle, leurs auteurs étant récompensés par le prix Turing en 2019. Probablement personne, pas même leurs inventrices Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna, n'imaginait toutes les applications pos-

sibles des ciseaux génétiques, « CRISPR-Cas9 », qui leur ont valu près de dix ans après leur découverte le prix Nobel de chimie 2020.

Il faut accepter le fait que certains impacts ne puissent être programmés et que l'activité de recherche ne se planifie pas via des feuilles de route et des points de rencontre. Une avancée scientifique dans un domaine donné peut avoir des conséquences inattendues dans d'autres domaines. L'intelligence artificielle et le traitement des données massives fournissent des exemples récents sur le sujet. Si, à l'inverse, un impact précis est recherché, il convient de l'identifier le plus en amont possible et une politique volontariste doit être mise en place pour essayer de l'atteindre. Par exemple, l'État peut demander au CNRS de créer plus de start-up. Mais le passage d'une découverte scientifique à la création d'une start-up n'a rien d'évident, de facile et d'immédiat. Ce n'est que via une politique d'accompagnement et des personnels dédiés, et c'est un investissement, qu'une réelle inflexion peut être donnée et des résultats globaux obtenus sur la durée.

Enfin, il faut probablement accepter que le plus grand impact d'une avancée scientifique soit l'effet qu'elle produit sur les pairs. Elles et ils sont les mieux placés pour apprécier la portée d'une avancée ou d'une découverte. Et la reconnaissance par les pairs de la levée d'un verrou scientifique, la compréhension fine d'un phénomène ou encore la résolution d'une conjecture difficile est le signe avant-coureur, et même souvent le passage obligé, pour que cette avancée ait, un jour, un impact direct sur la société, ses citoyens et citoyennes.

Dès le début du contrat, une réflexion partagée sera menée, avec une dimension internationale, pour travailler à cette notion, ou plutôt ces notions, d'impact sous l'égide d'une mission « impact » placée auprès du PDG, pour permettre la création d'ici à fin 2026 d'un cadre général pour évaluer l'impact de la recherche, et du CNRS, dans tous les aspects de ses contributions à la société, recommandé par le Comité 2024 d'évaluation du CNRS.

INDICATEURS 2024-2028

INDICATEURS	VALEUR DE RÉFÉRENCE (2023)	VALEUR-CIBLE
ATTIRER, ACCOMPAGNER, PROMOUVOIR ET FIDÉLISER LES TALENTS		
Par institut, nombre moyen d'années entre celle de recrutement dans le corps des chargés de recherche et celle de soutenance de la thèse.	-	≤ 5 ans après la thèse
Proportion de femmes dans les recrutements		
DR2	37%	Suivi du pourcentage d'accès aux corps, grades et emplois des personnels féminins
CRCN	40%	
IR2	35%	
IECN	55%	
AI	60%	
TCN	70%	
ATR	100%	
Proportion de femmes dans les promotions au regard des promouvables		
DRCE2 DRCE1 DR1 CRHC IRHC IR1 IEHC TCE TCS ATP1 ATP2	≥ aux promouvables dans tous les grades	Au moins la proportion de promouvables dans le grade d'origine
Proportion de femmes dans les lauréats des distinctions du CNRS		
	50% pour chaque distinction	50% chaque année
Pourcentage de directrices d'unité		
	26%	+ 5% chaque année
Réalisation du plan DD/RS* • Réactualisation du plan DD/RS tous les trois ans avec tableau de bord associé, présenté annuellement en CD et CA • Évaluation annuelle de la réalisation des objectifs DD&RS formulés par les directions fonctionnelles, des instituts et des délégations régionales • Nombre de personnes mobilisées sur la transition environnementale de l'établissement (avec lettre de mission)	-	1 plan tous les 3 ans 1 tableau de bord annuel

* Développement durable et responsabilité sociétale

INDICATEURS	VALEUR DE RÉFÉRENCE (2023)	VALEUR-CIBLE
DÉVELOPPER UNE RECHERCHE FONDAMENTALE AU MEILLEUR NIVEAU INTERNATIONAL		
Pourcentage du soutien scientifique compétitif consacré aux priorités thématiques	66 % chaque année	66 % chaque année
Pourcentage des recrutements annuels de chercheurs et chercheuses permanents en soutien de projets pluridisciplinaires inter-instituts	20 %	20 % chaque année
Pourcentage de recrutements de chercheurs et chercheuses permanents sur des thématiques directement reliées aux défis transverses	44 %	+10 % chaque année
Pourcentage des publications des personnels CNRS publiées en accès ouvert	90 %	100 %
Nombre de projets européens déposés dont le CNRS est partenaire ou coordinateur :		
• Pilier 1:	780	+20 %
• Pilier 2:	285	
• Pilier 3:	135	
• Pilier transverse	50	
Nombre de projets européens retenus dont le CNRS est partenaire ou coordinateur :		
• Pilier 1:	190	+15 %
• Pilier 2:	85	
• Pilier 3:	20	
• Pilier transverse	10	
Nombre de projets ERC portés par des chercheurs et chercheuses CNRS :		
• Déposés	400	+25 % — globalement (dépôts & retenus) sur les cinq ans du COMP
• Retenus	70	
Montant annuel des recettes de la Commission européenne (à la signature des contrats)	170 M€	+25 % par rapport à l'année de lancement du COMP

INDICATEURS	VALEUR DE RÉFÉRENCE (2023)	VALEUR-CIBLE
METTRE CETTE RECHERCHE FONDAMENTALE AU SERVICE DE LA SOCIÉTÉ		
Nombre annuel de start-up créées sur la base de transferts de technologie ou de savoir-faire issus des unités dont le CNRS est tutelle (dont nombre de start-up à fort potentiel de développement)	80 dont 5	100 (dont 20 fort potentiel)
Nombre annuel de nouveaux projets candidats aux programmes de prématuration (cible au 31/12/2028)	90	200
Montant annuel du montant des contrats de recherche avec des entreprises	52 M€	+5 %
Nombre d'entités communes CNRS-entreprises en activité au 31/12/N	247	+5 %
Nombre de licences d'exploitation issues des inventions des unités dont le CNRS est tutelle	140	200

LE CNRS, ACTEUR NATIONAL, AMPLIFICATEUR DES POLITIQUES DE SITE		
Proportion de chercheurs non nationaux recrutés chaque année	30 % / an (33,8 % en 2023)	Au moins 30 % / an
Nombre de scientifiques n'ayant pas déjà un poste permanent en France dans le milieu académique recrutés sur des postes de DR	15	Au moins 5% du total des nouveaux postes ouverts
Nombre d'enseignants-chercheurs accueillis chaque année en délégation, dont nombre d'enseignants-chercheurs accueillis pour faciliter la préparation d'un projet européen	831 dont 97	Au moins 800 par an et au moins 10 % consacrés à des PE
Taux de fonctions support de l'établissement	12,8 %	12,8 %

Cahier scientifique

Dans le cadre de ce nouveau contrat, **43 priorités thématiques ont été identifiées par le CNRS**. Elles traduisent sa vision des évolutions de la science. L'ambition est d'apporter dans les cinq prochaines années une contribution marquante au meilleur niveau international pour chacune d'entre elles.

Ces priorités tiennent compte des nombreux échanges que le CNRS a eus avec ses partenaires académiques et pourront être mises en œuvre conjointement. Elles ne couvrent évidemment pas l'ensemble des activités de recherche des équipes et des laboratoires du CNRS. Ces priorités thématiques sont regroupées au sein de **sept grands domaines : changements globaux, ingénierie, matière, numérique, ondes et particules, sociétés, vivant**.

CHANGEMENTS GLOBAUX



© Frédéric ZUBERER / OSU Pytheas / CNRS Images

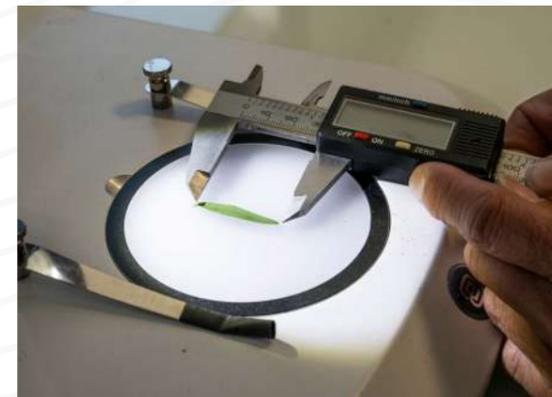
Grands fonds

L'océan profond et les fonds marins sont des environnements largement inexplorés qui couvrent plus des deux tiers de la surface de la Terre. Ils constituent également une interface cruciale entre la lithosphère, la colonne d'eau de l'océan et la biosphère, de plus en plus affectée par les activités humaines et le changement climatique. Les processus qui se déroulent dans l'océan profond impliquent des échanges de chaleur, de masse et de composés chimiques à différentes échelles temporelles et spatiales. Certains de ces processus produisent des ressources économiquement précieuses qui pourraient être exploitées à l'avenir, ce qui aurait un impact sur les fonds marins et les écosystèmes associés. Il est indispensable de mieux comprendre ces différents processus (géologiques, physiques, biogéochimiques, océanographiques), leurs interactions et leur dynamique, tout en documentant et en évaluant les différents impacts environnementaux et anthropiques. Il est donc primordial d'acquérir des données, des échantillons et des observations qui permettent de combler ces lacunes majeures dans les connaissances, grâce à une approche basée d'abord sur l'exploration, et qui inclut une approche transdisciplinaire.

→ L'objectif à 5 ans est de proposer un modèle sur le rôle des grands fonds dans l'écosystème océanique et la régulation des grands équilibres chimiques et biologiques du système Terre : puits et sources des éléments chimiques dans l'océan profond ; diversité des organismes vivants ; transfert de chaleur, de masse et de produits chimiques ; impact des processus anthropiques.

Évolution et gestion de la biodiversité

Dans le contexte du changement global, l'exploration du rôle de la biodiversité dans les processus d'adaptation et de résilience des écosystèmes, à toutes les échelles temporelles et spatiales, est cruciale. Ces connaissances scientifiques, essentielles pour orienter les politiques de gestion de la biodiversité, requièrent une vision systémique et intégrée de tous les biomes. Les données issues des écosystèmes passés, terrestres et marins, ainsi que de leurs espèces et les crises d'extinctions récurrentes, peuvent aider à anticiper les réponses de la biodiversité actuelle. Par ailleurs, des approches d'observations et de suivis à long terme des faunes et flores actuelles, combinées à des expérimentations *in natura* et dans des structures dédiées, comme les écotrons ou les stations d'écologie ou de biologie marine, sont requises pour affiner les modèles prédictifs avec des données sur les mécanismes génétiques, épigénétiques, physiques, écophysiologiques et populationnels d'adaptation. Dans ce contexte, comprendre l'importance relative de l'évolution en termes de sélection génique et de plasticité phénotypique sur la réponse adaptative est essentiel.



© Hubert RAGUET / LECA / CNRS Images

→ L'objectif à 5 ans est de développer des approches longitudinales *in natura* sur un large éventail d'écosystèmes et d'espèces, de développer les approches de modélisation basées sur les données obtenues, ainsi que de mettre en place un réseau de programmes intégrés pour comprendre les réponses du vivant aux impacts passés et actuels des changements globaux, dont climatiques.

Villes résilientes

L'humanité est majoritairement urbaine, impliquant un basculement dans les relations que les sociétés entretiennent avec leur environnement. Cet environnement essentiellement citadin concentre l'usage de ressources produites à des distances de 50 à 5 000 km et la génération de déchets en partie exportés, avec des conséquences environnementales délocalisées jusqu'au niveau global. La ville doit être étudiée comme le serait un organisme vivant échangeant matière et énergie, en incluant les habitants. Un effort particulier doit être porté sur la quantification et la prédiction des risques en milieu urbain, aléas spécifiques ou risques induits ou aggravés par le milieu urbain, notamment la vulnérabilité de la ville vis-à-vis des événements extrêmes climatiques, de la qualité de l'air, ou du mouvement du sol produit par une sismicité naturelle ou induite et ses effets sur les services de support vitaux. Le développement de modélisations intégrées pour la ville, appuyées par l'observation et l'intelligence artificielle, répond ainsi à la volonté de mieux caractériser les risques pour les habitants. La compréhension des interactions entre climat urbain et changement climatique passe également par celle des pratiques humaines qui jouent sur et sont influencées par les microclimats urbains (aménagement, densité, mobilités, etc.). Enfin, pour faciliter le passage de la recherche à la solution, on s'appuiera sur les sciences participatives via des habitants impliqués et concernés.

→ Les objectifs à 5 ans sont la réalisation d'une analyse quantitative/qualitative de la résilience aux aléas fondée sur la prise en compte des risques liés en particulier aux événements extrêmes, de la qualité de l'air et des vulnérabilités humaines et sociales qui amplifient les conséquences des aléas et aussi l'élaboration d'un jumeau numérique de la ville.

Exposome, pollution et santé en contexte de changement global

Le concept d'exposome émerge au croisement des activités socio-économiques, industrielles, géopolitiques et du changement climatique, conduisant à des contaminations (chimiques et/ou microbiologiques) multiples et à de nouvelles voies d'exposition des êtres vivants. Les populations font face à des contaminations chroniques et aiguës, notamment lors d'événements climatiques extrêmes ou dans des zones particulièrement contaminées, mais dans lesquelles ces contaminations sont moins visibles. L'exposome explore les liens entre les sociétés, l'environnement et la santé de manière systémique, identifiant les voies d'exposition et les phases critiques tout au long de la vie. Les enjeux incluent une meilleure connaissance des risques, la création de scénarios épidémiologiques prédictifs, la caractérisation des liens santé-environnement-travail, et la prévention par le suivi de proxys physiologiques en parallèle des paramètres environnementaux ainsi qu'une attention particulière aux inégalités (sociales, raciales et de genre) des expositions et de leurs conséquences. Comprendre les inégalités durables, les comportements humains et les organisations économiques est crucial dans ces expositions qui touchent l'ensemble du vivant.



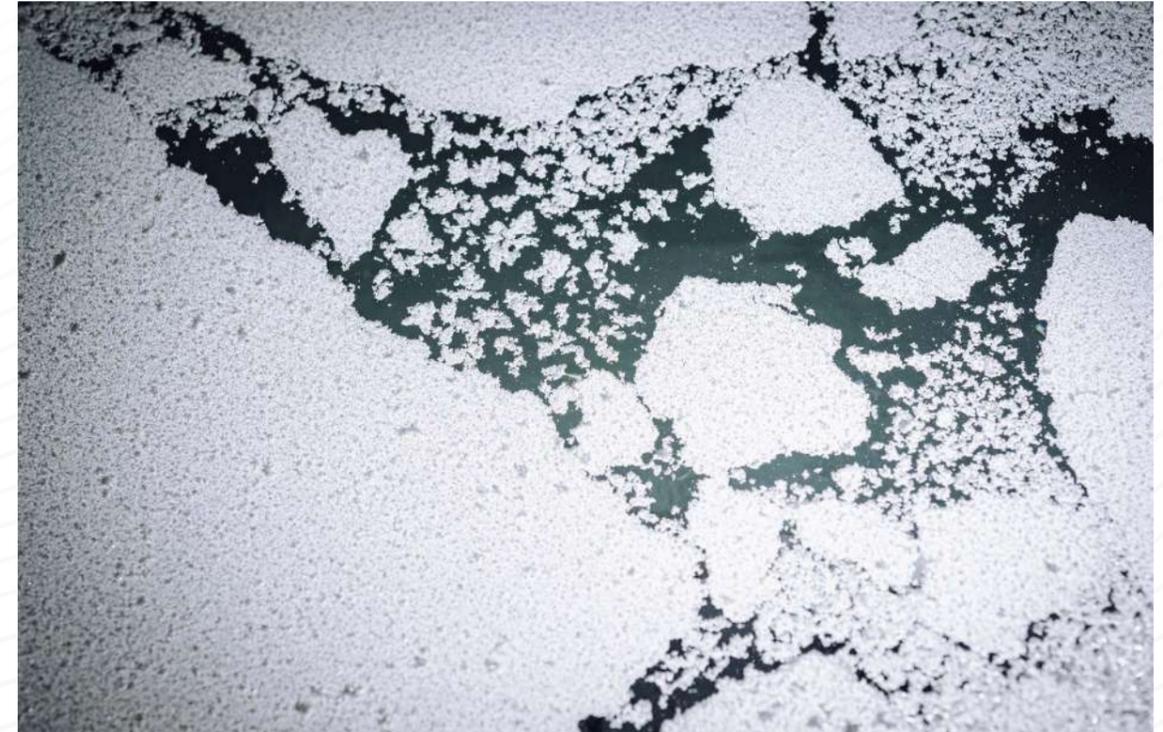
© Thibaut VERGOZ / PRESHINE / PASSAGES / IRD / CNRS Images

→ L'objectif principal à 5 ans est la mise en place d'un « Observatoire distribué Santé-Environnement-Travail » afin de cartographier et répertorier une première catégorie de risques à partir de produits particuliers ou de zones particulièrement exposées et d'identifier de nouvelles voies d'exposition liées à l'activité humaine et au dérèglement climatique.

L'adaptation des socio-écosystèmes

Pour répondre aux défis des changements globaux, une recherche axée sur des solutions est nécessaire. Elle requiert une approche socio-écosystémique à l'échelle des territoires pour caractériser les conditions d'adaptation, de non-adaptation ou mal-adaptation et de résilience des populations humaines et non-humaines. La compréhension de la complexité des socio-écosystèmes, de leurs évolutions et dynamiques, implique l'exploration de nouveaux paradigmes pour répondre aux transformations d'habitabilité de la Terre à travers des observations à long terme, modélisations, expérimentations, perceptions et mesures quantitatives et qualitatives. Seule une approche pluridisciplinaire, rassemblant sciences du climat, géosciences, hydrologie, écologie, biologie, histoire, géographie, économie, droit, sociologie, science politique, anthropologie, sciences pour l'ingénieur, physique, chimie et d'autres permettra d'aborder l'ensemble des enjeux environnementaux, sanitaires, socio-économiques et politiques liés aux changements globaux. Cet objectif exige de dépasser le mode « projets » pour adopter une perspective à long terme, s'appuyant sur le passé pour comprendre le présent et anticiper le futur, observer, expérimenter et scénariser l'évolution des socio-écosystèmes. Il nécessite également de nouvelles pratiques de recherche, impliquant la coconstruction avec tous les types d'acteurs, mobilisant la diversité des savoirs et des pratiques, renforçant les compétences partagées et innovant dans les modes d'action à tous les niveaux.

→ L'objectif à 5 ans est la production et la valorisation des connaissances fondamentales issues des approches socio-écosystémiques sur les territoires pour soutenir les décideurs, gestionnaires et aménageurs des territoires.



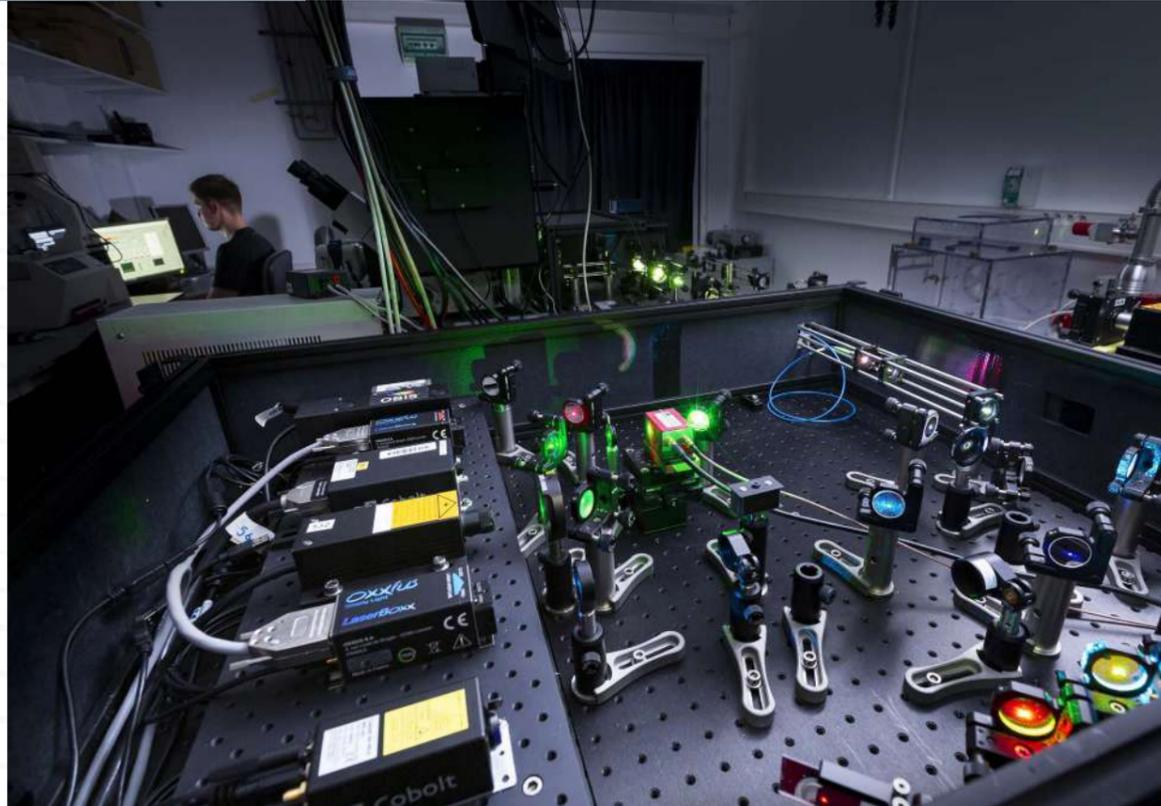
© Cyril FRESILLON / PMMH / CNRS Images

Bascules climatiques : quantifier et prédire dans un monde des extrêmes

Il est prouvé que le climat se réchauffe globalement sous l'effet des activités humaines. Cependant, si on sait maintenant assez bien prédire les tendances à grande échelle, de nombreuses incertitudes demeurent sur la variabilité que ce réchauffement crée dans le système climatique, avec par exemple la possibilité de points de bascule progressifs ou brutaux entraînant des changements irréversibles des conditions environnementales, ou d'une augmentation du nombre et de l'intensité de phénomènes climatiques extrêmes. Ces questions sont importantes pour la société comme pour la recherche fondamentale, des questions similaires se posant pour d'autres systèmes. Y répondre nécessitera des recherches théoriques sur la dynamique des systèmes hors d'équilibre et la physique statistique des événements extrêmes, en parallèle d'études spécifiques sur le système climatique. Il faudra également améliorer les observations, ainsi que notre compréhension des processus et des couplages physiques et biologiques, y compris ceux à petite échelle qui affectent les grandes échelles via la cascade d'énergie et les boucles de rétroaction. Cela nécessitera de nouveaux capteurs in situ et dans l'espace, de nouveaux outils génomiques ou de bio-informatique, des progrès dans la modélisation théorique et mathématique et les simulations numériques afin de prédire les risques et d'évaluer la résilience des sociétés.

→ L'ambition à 5 ans est de mieux comprendre la théorie de ce type de phénomènes et les particularités mal élucidées du système climatique (convection profonde, circulation thermohaline...) pour préciser le lien entre réchauffement et variations du climat, afin d'identifier les points de bascule, les observables permettant leur détection et les seuils associés.

INGÉNIERIE



© Christian MOREL / IBS / CNRS Images

Méthodologies sobres et durables pour la synthèse moléculaire

Les méthodologies récentes en synthèse organique (organocatalyse, catalyse au nickel, chimie radicalaire, chimie photoredox, photochimie, électrochimie, etc.) sont adossées de façon croissante à la chimie en flux, l'intelligence artificielle ou la biocatalyse. Parmi ces concepts émergents, trois axes prioritaires sont identifiés. La chimie verte, incluant le recyclage et l'utilisation de la biomasse et s'attachant au remplacement des réactifs stœchiométriques par des catalyseurs, des réducteurs ou des oxydants par de l'électricité ou de la lumière, des solvants courants par des solvants moins toxiques, plus durables ou moins chers, reste une thématique à explorer. En parallèle, la photochimie qui s'appuie sur l'utilisation de l'énergie lumineuse pour déclencher des réactions chimiques sélectives, combinée à la chimie en flux, permet de réaliser de nouveaux types de réactions qui ne sont pas accessibles par d'autres méthodes. L'exploration de la généralisation de ces méthodes est un défi à relever. Les enzymes, enfin, peuvent permettre de réaliser des réactions dans l'eau ou dans des solvants essentiellement aqueux, mais peuvent être aussi modifiées (évolution dirigée par exemple), pour fonctionner dans des solvants organiques, réduisant ainsi les coûts de synthèse. L'élargissement du spectre des réactions par la biocatalyse reste un défi.

→ L'objectif à 5 ans est de soutenir l'émergence et le développement de méthodes sobres et durables afin d'explorer l'étendue des possibles en synthèse de molécules, nouveaux médicaments, produits chimiques ou matériaux.



© Cyril FRESILLON / IPVF / CNRS Images

Défis de l'électrification

La nécessité de transiter vers des sources d'énergie décarbonées, incluant le nucléaire et les énergies renouvelables (solaire, éolien, marine, biomasse...), va conduire à une électrification massive de nos usages. L'Agence internationale de l'énergie prévoit dans son scénario « Net Zero by 2050 » que l'électricité représentera plus de 50 % de l'énergie finale en 2050 dans le monde, et plus de 55 % en France. Les défis de cette électrification sont multiples, tant du point de vue technique que méthodologique, à chaque étape de la chaîne énergétique, de la production à la consommation, en passant par la distribution et le stockage. Les enjeux vont concerner les matériaux (pour la production et la conversion d'énergie), les nouvelles formes de stockage, l'exploitation et l'intégration d'énergies renouvelables délocalisées et intermittentes, les problématiques d'optimisation et de contrôle des réseaux. Un enjeu majeur concerne aussi la sécurité et la fiabilité des infrastructures, tant vis-à-vis des pannes physiques (vieillesse ou défaillance de nouveaux composants) que des attaques logicielles ou matérielles. Enfin, l'intégration et la compatibilité des nouveaux types de circuits intégrés sur les plateformes technologiques existantes devront être prises en compte dès leur conception.

→ L'objectif à 5 ans concerne la conception de systèmes de production, la distribution, la consommation intégrant des enjeux environnementaux (durabilité, réduction des matériaux critiques), la conception de systèmes de stockage distribués, la gestion intelligente des réseaux électriques marqués par l'intermittence et leur sécurité.

Électronique durable

Le défi majeur de l'électronique et plus généralement du numérique est de réduire significativement son impact environnemental et son empreinte carbone dans un contexte de croissance importante et régulière du secteur qui consommera 15 à 20 % de la production mondiale d'électricité en 2030. Les défis associés sont multiples et concernent à la fois les composants, les architectures, les algorithmes et les usages. Il faut notamment amplifier les efforts vers une électronique basse consommation dont la frugalité deviendra un critère de performance essentiel, en optimisant la consommation énergétique des technologies actuelles, tout en explorant de véritables ruptures conceptuelles. Il faut développer des matériaux, composants, technologies et systèmes à plus faible impact environnemental, en réduisant notamment l'utilisation des matériaux critiques et en intégrant des matériaux alternatifs sur la voie de l'électronique biosourcée. Il faut concevoir des circuits multitâches, modulaires et réparables, plus résilients et robustes, pour en allonger la durée de vie. Enfin, des enjeux majeurs concernent l'écoconception numérique, l'analyse du cycle de vie et le développement de filières de circularité, ainsi qu'une réflexion sans cesse renouvelée sur la place du numérique et ses usages dans notre société avec l'apport des sciences humaines et sociales.

→ L'ambition à 5 ans sera d'accompagner la création d'équipes-projets pluridisciplinaires pour explorer la convergence des technologies émergentes (neuromorphique, quantique, spintronique...) et identifier des innovations de rupture pour l'électronique frugale et durable.



© Cyril FRESILLON / LAM / CNRS Images

Nouvelles technologies matérielles et numériques pour les observatoires du futur

Les grandes questions concernant les origines et l'évolution de l'Univers, depuis les objets, particules et rayonnements qui le constituent à toutes les échelles (planètes, étoiles, trous noirs, galaxies), les conditions d'apparition de la vie, jusqu'à l'Univers considéré dans son ensemble avec la connaissance des lois physiques qui le gouvernent (y compris la nature de la matière noire et de l'énergie noire), exigent la levée de verrous technologiques majeurs pour la construction des observatoires futurs et de leurs instruments.

Les observatoires concernés seront au sol ou dans l'espace, utilisant les ondes électromagnétiques ou les nouveaux messagers (ondes gravitationnelles, neutrinos, rayons cosmiques).

Ces défis concernent les systèmes matériels, logiciels, parfois pris ensemble, à travers la conception de systèmes hybrides nécessaires notamment pour relever les défis posés par les systèmes d'observation et de mesure ayant une exigence forte en termes de volume de données et de réactivité temporelle (temps réel).

→ Les objectifs à 5 ans sont la maîtrise de la qualité optique et la mise en forme des faisceaux de lumière, les développements électroniques pour permettre le *real time* de très grands volumes de données et la conception des infrastructures numériques frugales.

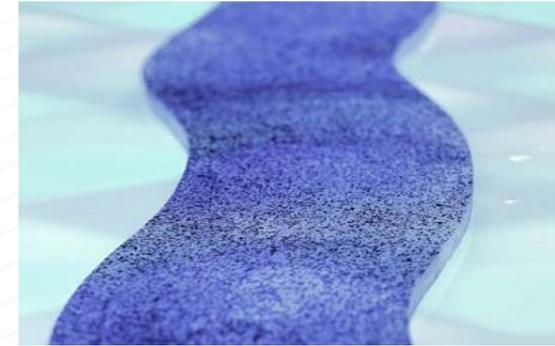
Systèmes, matériaux et procédés à impact environnemental réduit

Il existe aujourd'hui des enjeux majeurs et une demande très forte pour concevoir des matériaux à hautes performances thermiques et mécaniques spécifiques (c'est-à-dire légers, durables, recyclables, biodégradables) et produits à faibles coûts énergétiques tout en minimisant les impacts environnementaux. Ces exigences sont très difficiles à concilier. Dans de nombreux cas, les matériaux issus de la biomasse végétale ont le potentiel pour répondre à ces exigences en raison de l'abondance, qui plus est renouvelable, de la ressource végétale de départ (bois, plantes...), des coûts énergétiques de transformation, de leurs fortes biodégradabilité et recyclabilité et de leurs propriétés physiques et mécaniques intrinsèques tout à fait pertinentes. Ainsi, l'enjeu des années à venir est d'aller plus loin dans le savoir et l'optimisation de l'extraction et de la bioraffinerie de briques de base, la synthèse et l'élaboration, la mise en forme, la caractérisation et l'optimisation par la modélisation des propriétés structurales et fonctionnelles des matériaux biosourcés, avec pour objectif de les faire devenir des alternatives incontournables aux matériaux classiques (en particulier les polymères pétrosourcés et les matériaux composites associés) dans de nombreux secteurs comme le transport, le packaging, la construction, le textile, l'électronique... L'ensemble de ces nombreux challenges doit être abordé en associant les spécialistes des glycosciences, du génie des procédés, avec des thermomécaniciens des matériaux.

→ Les objectifs à 5 ans sont de réaliser le design vertueux et frugal de nouveaux matériaux afin d'obtenir des progrès substantiels dans le domaine de la minimisation des impacts énergétiques et environnementaux lors de leurs phases d'extraction, de synthèse, d'élaboration et de mise en forme.



© Cyril FRESILLON / Mecaware / CNRS Images



© Maxime LANOY / Fabrice LEMOULT / LAUM / Institut Langevin / CNRS Images

Robotique molle

La robotique molle traite des robots construits à partir de matériaux ou structures souples, élastiques ou déformables. Les applications des robots mous portent aussi bien sur l'exploration de nouveaux environnements que sur des actionnements spécifiques. Adaptables, les robots mous ont de potentielles applications dans le domaine du vivant telles que le médical (exploration de certains organes, muscles artificiels, chirurgie...), en agriculture (récolte de légumes et fruits fragiles...), dans l'industrie (préhension robuste...), et ceci en environnement aérien ou aquatique. Tout un champ d'ingénierie doit se réinventer pour obtenir les propriétés physiques ad hoc des dispositifs pour la robotique molle. Ainsi, les nouvelles aptitudes attendues sont la compression, l'étirement, la torsion, le gonflement, le morphing... Par ailleurs, les défis auxquels les robots souples sont confrontés concernent la disponibilité de matériaux souples performants, leur fonctionnalisation, leur miniaturisation, leur capacité à s'auto-adapter à un environnement nouveau, leur autoréparation, leur résilience face à un événement externe, voire leur réplification (autoconstruction à partir de matières premières), ainsi que leur recyclage et leur biodégradation. Ces nouvelles aptitudes imposent des changements de paradigme de modélisation (mécanique des milieux continus, grandes déformations) et de commande (commande de systèmes modélisés par des équations aux dérivées partielles, robustesse aux variabilités de caractéristiques de matériaux).

→ L'objectif à 5 ans concerne d'une part l'exploration et la mise à disposition de matériaux souples et fonctionnels et d'autre part le développement de nouvelles approches de modélisation, conception, fabrication et commande de plusieurs classes de robots souples permettant de tirer pleinement parti de leurs potentiels applicatifs disruptifs.

Vers de nouvelles formes d'interaction avec les machines

L'essor des dispositifs numériques d'interaction avec les machines et entre les humains (smartphones, casques de réalité virtuelle, agents conversationnels, traducteurs automatiques, dispositifs haptiques, robots, etc.) est en passe de transformer l'essentiel des activités humaines — la formation, le soin, l'accompagnement, les transports, la conception, le tourisme, la communication sous toutes ses formes, etc. — comme ils ont déjà transformé le jeu. Il est essentiel d'accompagner cette évolution en développant de futures générations de machines capables d'interactions fluides et naturelles avec les utilisateurs, voire pour certaines d'adaptation sociale dans leurs interactions. De la même manière, les outils numériques seront à l'origine des futurs espaces collaboratifs et dispositifs virtuels immersifs favorisant l'interaction avec et via les machines. Tous ces travaux ne pourront se faire sans explorer, dans le même temps, les multiples formes de relations qui se nouent dans les sociétés entre les êtres humains d'une part et avec les machines, robots, appareils prothétiques, interfaces et espaces virtuels d'autre part.

→ L'objectif à 5 ans est de développer des recherches interdisciplinaires permettant d'explorer de nouvelles formes d'interactions humains-robots (haptique, biomécanique, prothèses...) et d'apprécier l'impact de ces nouvelles formes d'interactions sur les relations interpersonnelles et sur les sociétés.



© Cyril FRESILLON / C2N / Ion-X / CNRS Image

MATIÈRE



© Timothé PAIRE / LPENS / CNRS Images

Comportements collectifs, de la matière active à la dynamique des foules en passant par les robots ou les drones

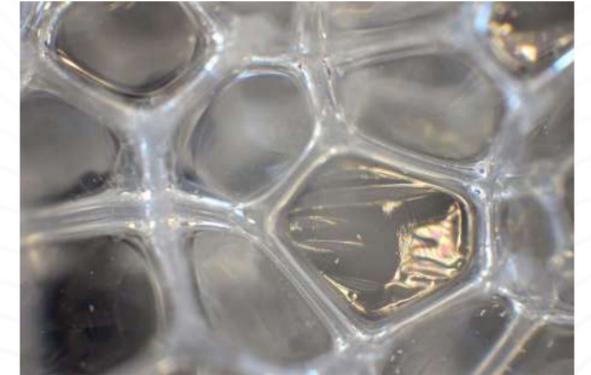
L'étude des comportements collectifs d'agents individuels permet de prédire ou de contrôler la dynamique d'ensemble de ces agents. Une nouvelle approche se développe qui permet de comprendre comment des comportements individuels parfois très simples mènent par auto-organisation à des systèmes dont les évolutions sont complexes et difficilement prévisibles. Ces phénomènes se produisent autant à très petite échelle qu'aux grandes échelles, depuis les expériences de matière active jusqu'à l'organisation de groupes d'êtres vivants dans un écosystème, dans les mouvements de foule, mais aussi en robotique, pour le contrôle et l'organisation d'essaims de drones ou de mini-robots. Une meilleure compréhension de ces comportements collectifs nécessite de développer des outils entre des champs disciplinaires très variés, exigeant des outils mathématiques raffinés, le développement d'expériences de pointe, des analyses multi-échelles des problèmes et concepts, des programmes informatiques novateurs. Également, l'étude des comportements collectifs, dans le cas des groupes humains, mobilise outils et méthodes issus des sciences cognitives et des sciences sociales, ainsi qu'une réflexion éthique et politique s'il s'agit de réguler ou contrôler ces mouvements collectifs.

→ L'ambition à 5 ans est de développer le cadre fondamental et les applications pratiques de cette nouvelle approche interdisciplinaire, en mettant en synergie les concepts et outils venus de la physique, des mathématiques, de l'ingénierie, de l'informatique, de la biologie et des sciences sociales.

Contrôler les fluides à toutes les échelles

Les fluides sont une partie cruciale de la matière et sont importants pour la compréhension de nombreux systèmes, depuis les océans et l'atmosphère terrestre, jusqu'aux échanges dans les êtres vivants ou les objets astrophysiques. Ils sont également importants dans de nombreux processus d'ingénierie, notamment pour les transports, et dans les systèmes industriels. Leurs propriétés influent aussi sur la dynamique de nombre d'écosystèmes. Malgré l'omniprésence des fluides, il existe de nombreuses zones d'ombre dans notre compréhension de leurs propriétés, par exemple les phénomènes turbulents ou extrêmes sont toujours mal compris, bien qu'ils soient cruciaux pour de nombreuses applications industrielles ou pour mieux comprendre le climat. Aux petites échelles, notre compréhension du comportement des fluides aux échelles nanométriques, au voisinage des interfaces, en particulier liquide/solide, est en évolution rapide ; à des échelles macroscopiques, les modèles intégraux multiphysiques impliquant les fluides sont toujours plus sophistiqués. Les enjeux socio-économiques sont majeurs, notamment avec des problématiques de développement durable et de santé, de contrôle et de prédiction du climat, la filtration des eaux usées, la désalinisation de l'eau de mer et l'utilisation de l'énergie bleue, les supercondensateurs, le stockage du CO₂ en matrices poreuses ; les enjeux sur les écosystèmes concernent le stress hydrique des plantes et la compréhension de la dynamique de nombreux micromoteurs essentiels à la vie, comme la pompe à protons dans nos cellules.

→ Les ambitions à 5 ans sont d'une part de développer des expériences de pointe, des techniques de modélisation raffinées et des simulations numériques afin d'élaborer de nouvelles stratégies pour l'étude et le contrôle des fluides à toutes les échelles, et d'autre part d'élaborer de nouveaux matériaux de filtration sélective et des systèmes bio-inspirés afin de contrôler l'échelle nanométrique.



© Juliette PIERRE / DALEMBERT / CNRS Images

Nouvelles phases de la matière

Depuis quelques années, notre compréhension de la matière a beaucoup évolué, et a permis de mettre en évidence de nouveaux types de comportements très originaux, aussi bien dans les systèmes classiques (matière active, fluides complexes, métamatériaux) que dans les objets quantiques (phases topologiques de la matière, localisation à plusieurs corps). Ce type de recherche est en plein développement, avec l'arrivée de nouvelles méthodes expérimentales de pointe et de nouvelles techniques de prédiction (outils théoriques et mathématiques nouveaux, modèles et lois de comportement, simulations numériques de plus en plus précises, utilisation de l'intelligence artificielle). Ces recherches accompagnent et nécessitent de nouvelles techniques de détection et de caractérisation, et de nouveaux procédés de fabrication des matériaux. Les nouvelles phases de la matière mises en évidence permettent de jeter un regard nouveau sur les fondements de la mécanique ou de la thermodynamique. En parallèle les progrès dans ce domaine font envisager de nouveaux dispositifs performants, de nouvelles possibilités pour les technologies quantiques ou de nouveaux matériaux ayant des propriétés originales.

→ L'objectif à 5 ans est de contrôler l'apparition des nouveaux états de la matière en revisitant les fondements théoriques afin de mieux comprendre l'existence et les conditions d'apparition de ces nouveaux états de la matière par des avancées théoriques et expérimentales et la modélisation pour développer des applications dans différents domaines : physique, ingénierie et chimie.



© Christophe HARGOUES / IRCP / CNRS Images

Systèmes désordonnés, du microscopique au macroscopique

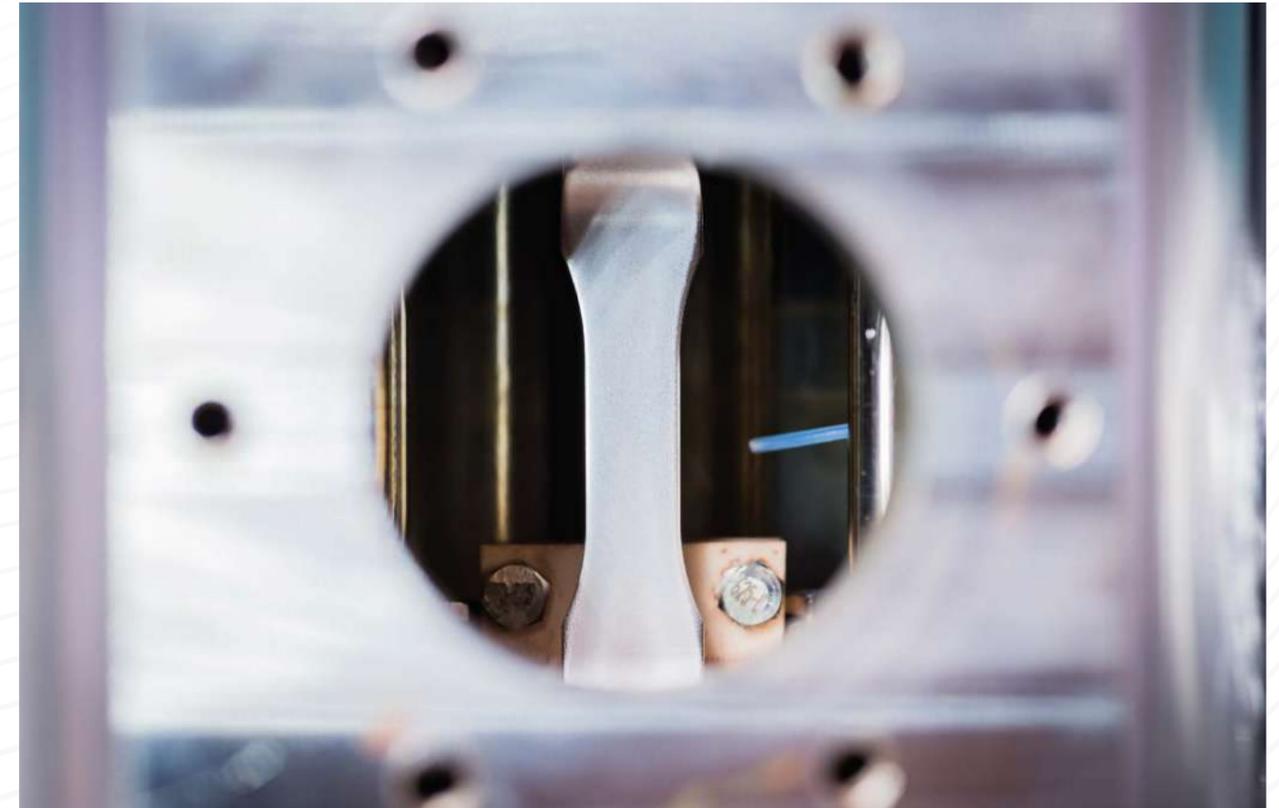
Les grands systèmes de particules en interaction, en physique ou en biologie, où les comportements collectifs résultent des forces et des interactions entre les particules individuelles, donnent lieu à une richesse de phénomènes dynamiques et de structures. Pour ces systèmes désordonnés, les mathématiques et la physique constituent un socle fondamental pour étudier les phénomènes allant du microscopique au macroscopique. Ce passage au macroscopique, où la limite d'échelle est centrale, permet d'obtenir des équations réduites, mais capturant la complexité du système microscopique. En physique statistique, par exemple, les systèmes de spin classiques et quantiques ou certains systèmes modèles exactement solubles permettent d'étudier un large éventail de phénomènes, allant des transitions de phase, brusques changements de réponse par rapport aux variations de paramètres, aux propriétés magnétiques globales des matériaux, en passant par les lois d'échelle reliant des systèmes de différentes tailles. L'étude des systèmes désordonnés, liant physique et mathématique, ouvre ainsi un vaste champ de recherche pour comprendre la complexité du monde réel à différentes échelles.

→ L'objectif à 5 ans est la justification mathématique d'équations macroscopiques de la physique : des lois de Newton aux équations des fluides (Navier-Stokes) en passant par des équations cinétiques (Boltzmann), des modèles avec interaction coulombienne aux plasmas, du gaz sur réseau au mouvement par courbure moyenne dans des régimes de transition de phases...

Capture de petites molécules et leur valorisation (CO₂, N₂, H₂O, O₂)

Le changement climatique et les pollutions de l'air font de la capture et de la valorisation des petites molécules des enjeux importants dans le cadre de la transition énergétique et de la préservation des ressources rares. Valoriser CO₂ en méthanol/formiate/CO, N₂ en NH₃ ou O₂ en H₂O₂, permet, dans le premier cas, de réduire la quantité de CO₂ et d'accéder à de nouvelles molécules substitués des ressources fossiles. Les solutions actuelles de valorisation de CO₂ ou N₂ sont très énergivores. La capture du CO₂ dans l'air reste ainsi un enjeu majeur. Elle peut être réalisée via des matériaux nanoporeux ou par des procédés bio-inspirés exploitant les mécanismes de biosynthèse et de biominéralisation associés à des micro-organismes. La valorisation de CO₂ peut, elle, faire appel à la photo(électro)catalyse, via l'utilisation de semiconducteurs ou de molécules enzymatiques. L'eau est une petite molécule centrale par au moins deux aspects. D'abord, l'accès à l'eau potable est l'un des grands enjeux à venir et la recherche de matériaux à bas prix pour la capture de l'eau atmosphérique constitue une solution qui permettrait d'en produire dans les régions arides. Par ailleurs, l'amélioration des procédés d'élimination des polluants dans les effluents est nécessaire pour permettre un usage circulaire. Ensuite, la valorisation de l'eau, même saline, pour la production électrochimique de l'hydrogène ou de l'ammoniac, vecteurs énergétiques importants pour la transition énergétique.

→ Les objectifs à 5 ans sont : l'identification, la mise en réseau et le renforcement des équipes engagées dans ces thématiques dans le but de renforcer significativement la recherche sur les solides poreux et la capture du CO₂ ainsi que sur les catalyseurs de transformation vers des intermédiaires chimiques clés; et l'élaboration de nouveaux matériaux pour la capture et le filtrage de l'eau à bas coût afin de répondre aux réels besoins du marché.



© Cyril FRESILLON / MATEIS / CNRS Images

Corrosion

Les objectifs en termes d'économie circulaire fixés par l'Europe dans son programme 2020 définissent la durabilité des produits comme un axe majeur. Or, la corrosion est une forme d'endommagement critique de tous les produits dans la mesure où elle dégrade les propriétés d'usage des matériaux. Nos recherches viseront à conférer aux matériaux une composition, une microstructure, des traitements de surface les rendant plus résistants à la corrosion sous toutes ses formes. Elles guideront les industries nationale et européenne dans la définition de nouvelles solutions technologiques durables. Cette démarche passe par la compréhension des étapes de corrosion (incubation, amorçage et propagation du défaut en corrosion aqueuse), et abordera les processus affectant les surfaces, ainsi que les mécanismes élémentaires de nature chimique, électrochimique, physique et mécanique, et leurs interactions, conduisant à la propagation. Il s'agira aussi de considérer toute la diversité des situations réelles, jusqu'aux conditions extrêmes, en prenant en compte les actions couplées de paramètres physico-chimiques et les sollicitations mécaniques. La corrosion reposant sur des processus lents et multiparamètres, cette thématique fera appel à des développements originaux en modélisation multiphysique et simulation numérique multi-échelle.

→ Les objectifs à 5 ans sont d'une part de rassembler et renforcer la communauté, à l'intersection de la chimie, la physique et l'ingénierie, afin de faire un état des lieux des défis et des besoins, et d'autre part de développer des moyens expérimentaux operando et les outils de simulation numérique multiphysique et multi-échelle, dédiés à la corrosion.

NUMÉRIQUE



© Christian MOREL / LISN / CNRS Images

Géométrie arithmétique

L'étude des solutions entières ou rationnelles des équations, illustrée par des exemples tels que la solution $3^2 + 4^2 = 5^2$ de l'équation du cône $x^2 + y^2 = z^2$, constitue l'une des questions essentielles de la théorie des nombres. Les approches modernes reposent sur une combinaison habile d'outils analytiques, géométriques et algébriques et se révèlent d'une remarquable efficacité. Cette démarche s'inscrit dans le cadre plus vaste de la géométrie arithmétique qui a connu des avancées significatives ces dernières années, et dont l'objet est l'étude des problèmes d'arithmétique à partir des méthodes de la géométrie algébrique. Dans ce contexte, le programme de Langlands constitue un projet d'envergure visant à formaliser les liens entre analyse, géométrie et algèbre. Les récents travaux de Scholze (médaille Fields 2018) et de ses collaborateurs présentent une approche novatrice et prometteuse du programme de Langlands. Par ailleurs, l'approche effective et expérimentale de la géométrie arithmétique offre des outils puissants pour le développement des systèmes de communication actuels et futurs, tels que la cryptographie et les codes correcteurs d'erreurs, démontrant ainsi la pertinence et l'applicabilité concrète de ces recherches.

→ L'objectif à 5 ans est d'explorer le programme de Langlands au travers de la formulation de Scholze qui prédit un lien profond entre différents domaines des mathématiques : arithmétique, algèbre et théorie des groupes. Des résultats dans cette direction révolutionneraient la géométrie arithmétique et auraient un impact majeur en mathématiques.



© Christian MOREL / LISN / CNRS Images

Fondements de l'IA

L'intelligence artificielle (IA) est actuellement fortement mise en lumière et représente un enjeu transverse à la plupart des sciences, avec comme socle l'informatique et les mathématiques. Les réseaux de neurones présentent des défis scientifiques majeurs, notamment à cause du déploiement à large échelle de techniques d'entraînement non supervisées et autosupervisées. Ils posent également des défis sociétaux en raison de leur déploiement rapide et à grande échelle, y compris les risques cyber, tels que la divulgation des données d'apprentissage. L'informatique et les mathématiques sont au cœur de cette révolution, utilisées comme le langage naturel pour décrire les processus complexes effectués par ces nouveaux types de réseaux de neurones, et pour analyser et perfectionner les techniques d'entraînement. De plus, des développements issus de diverses théories (statistique, probabilités, équations aux dérivées partielles, jeux, groupes, graphes, topologie, géométrie...) ainsi que les méthodes hybrides neuro-inspirées ou informées par des modèles physiques sont à exploiter pour aborder les questions théoriques et algorithmiques soulevées par les réseaux neuronaux de très grande taille comme les transformeurs ou les modèles génératifs.

→ L'objectif à 5 ans est d'associer les compétences mathématiques et informatiques pour dépasser les paradigmes actuels d'entraînement, analyser les biais des réseaux de neurones, optimiser les performances en termes de vitesse et d'efficacité et améliorer leur explicabilité afin de développer des réseaux mieux maîtrisés, certifiés, plus sobres et capables de passer à l'échelle.

Expériences, simulations et modélisation à l'ère de l'intelligence artificielle

Le triptyque expérience, simulation et modélisation fournit un cadre complet pour explorer, comprendre et interpréter des phénomènes complexes. La diversité des approches expérimentales, la production massive de données et l'intelligence artificielle vont transformer la manière dont nous abordons ce triptyque, contribuant à un enrichissement des modèles. Ainsi, les algorithmes d'IA vont permettre d'optimiser les modèles et les protocoles expérimentaux, d'identifier des tendances dans les données expérimentales brutes et de détecter les anomalies. Ce dialogue dynamique et interactif entre un système réel et son clone virtuel est le concept de base de jumeau numérique. Il ouvre de nombreuses applications, à différentes échelles (de la planète aux nanosystèmes) et dans de nombreux domaines (médecine, patrimoine, urbanisme, ingénierie, environnement, climat, industrie, etc.). L'une des spécificités des jumeaux numériques, par rapport aux approches de modélisation numérique classiques, est leur capacité à simuler le comportement d'un système complexe dans sa réalité, en tenant compte des caractéristiques des éléments qui le composent, de leurs variations dans le temps et de la complexité de son environnement. La mise en œuvre de jumeaux numériques requiert un vaste ensemble de compétences par essence fortement interdisciplinaires. Il faut des innovations en physique, ingénierie, chimie et biologie pour améliorer leur fiabilité à travers une diversification des méthodes expérimentales et une approche plus holistique pour collecter les données. Il faut de nouvelles approches en physique, sciences informatiques et mathématiques pour combiner de manière adéquate des modèles basés sur des lois avec des approches basées sur des données. Leur utilisation, dans une dynamique d'interaction homme-système, pour appuyer la prise de décision nécessite aussi de formaliser, voire de contrôler et de réguler, leur utilisation pour faciliter la confiance dans leurs usages.

→ Les objectifs à 5 ans sont : consolider l'analyse prédictive, développer des simulations multiphysiques et multi-échelles, adapter en temps réel les paramètres du modèle de la simulation, réduire les incertitudes et détecter les anomalies ; construire la confiance dans les jumeaux numériques ; développer des méthodes innovantes pour l'intégration de données en temps réel et déployer une réflexion sur l'utilisation des simulations dans un cadre d'appui à la décision publique.



© Frédérique PLAS / LIP6 / CNRS Images

Garantir la confiance dans des logiciels toujours plus complexes

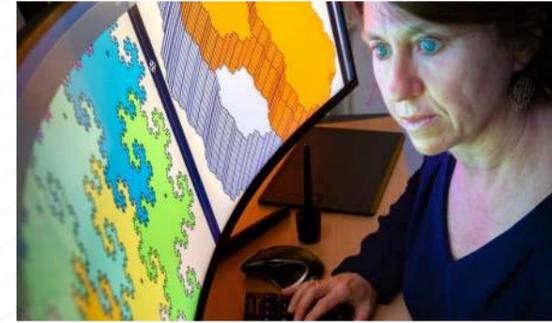
La dépendance sans cesse croissante du tissu socio-économique aux systèmes informatiques impose d'assurer la confiance dans les outils numériques. Si cela passe naturellement par la poursuite des efforts sur des thématiques socles comme la cybersécurité, il devient également nécessaire de repenser les sciences du logiciel, en particulier dans un contexte où la génération automatique de code par de grands modèles de langue (tels que CoPilot ou ChatGPT) bouleverse les pratiques. Le code ainsi produit n'étant généralement pas assez fiable pour se passer de révisions par un programmeur humain, il faut concevoir des approches pour tester ces générations ou y intégrer des garanties de qualité. Un second enjeu est d'améliorer la génération de code lorsque celui-ci doit être intégré au sein d'applications préexistantes, en particulier si celles-ci sont écrites dans des langages de programmation spécialisés. Enfin, la vérification formelle des systèmes informatiques à base d'IA est cruciale, ainsi que le besoin croissant d'explicabilité. Des approches pour la vérification et la validation des réseaux de neurones ont certes été proposées, mais elles ne sont pas encore prêtes à passer à l'échelle des modèles réels. Or, être capable de tester automatiquement ces systèmes est d'autant plus important qu'ils peuvent être réentraînés afin d'en changer le comportement sans que cela soit par ailleurs facile à détecter.

→ Les objectifs à 5 ans sont d'une part d'intégrer dans les systèmes de génération automatique de code des outils permettant de certifier ou de vérifier des propriétés de fiabilité (absence de bugs ou de code obsolète, propriétés de sécurité) et d'autre part d'améliorer la confiance dans les systèmes à base d'IA par des approches issues des sciences du logiciel.

Nouveaux paradigmes de calcul

Le calcul et le stockage sont deux piliers de la recherche en informatique, en électronique et plus généralement en sciences de l'ingénierie qui sont aujourd'hui au cœur d'enjeux importants, souvent interdisciplinaires, et appellent de nouvelles ruptures scientifiques. La simulation numérique — pour le climat, la biologie, la mécanique ou la chimie par exemple — nécessite l'exploitation de supercalculateurs exaflopiques, avec des questions de passage à l'échelle des codes tenant compte de l'hétérogénéité des architectures. Le développement de nouveaux paradigmes de calcul et de stockage pourrait offrir une perspective intéressante. Qu'ils soient quantiques, neuromorphiques (inspiré du fonctionnement du cerveau) ou moléculaires (sur ADN synthétique ou polymères artificiels), ils devront faire appel à de nouvelles architectures matérielles et logicielles tout en démontrant leur efficacité énergétique et leur robustesse pour des prédictions de haute fidélité. Un autre enjeu concerne la gestion de volumes de données toujours plus importants, dont les flux ne doivent pas constituer un goulot d'étranglement. Les progrès réalisés dans ces domaines sont de plus en plus importants. Ils laissent entrevoir des applications en rupture dans de nombreux domaines et pourraient dans un avenir proche révolutionner notre mode de vie.

→ L'objectif à 5 ans est d'explorer ces nouvelles architectures de calcul dans leurs composantes à la fois matérielle, logicielle et de données tout en évaluant leur potentiel algorithmique et applicatif.



© Christian MOREL / IRIF / CNRS Images

Vers une informatique à empreinte maîtrisée

Les dimensions environnementales, énergétiques et d'usage deviennent des composantes essentielles de l'évaluation des réponses scientifiques aux questions sociétales. Qu'elle soit énergétique, en lien avec la sobriété ou la résilience, cette problématique touche l'ensemble des sciences informatiques qui sont ainsi appelées à renouveler leurs approches. Il s'agit en particulier d'intégrer plus fortement la notion de soutenabilité. Les questions de la frugalité des modèles d'apprentissage profond par exemple et leur capacité à être utilisés dans des contextes applicatifs à différentes échelles (du système embarqué aux bâtiments intelligents par exemple), les enjeux de portabilité, de robustesse et de fiabilité sont différentes facettes d'un même problème scientifique qui doit répondre à des attentes fortes dans de nombreux domaines applicatifs comme notamment la santé, les véhicules intelligents ou les télécoms. À côté des enjeux au cœur des sciences informatiques, il faut relever des défis interdisciplinaires concernant la gestion de l'énergie et des ressources dans un futur énergétique décarboné et respectueux de l'environnement. En particulier les sciences humaines et sociales apporteront un regard indispensable à une compréhension globale des usages et des impacts en termes d'empreinte des travaux scientifiques et des choix technologiques. Il faut en effet aborder dans toutes leurs dimensions les questions de résilience et de développement d'outils numériques low-tech prenant mieux en compte les limites planétaires. Cela suppose notamment de mieux comprendre et anticiper des phénomènes tels que l'effet rebond.

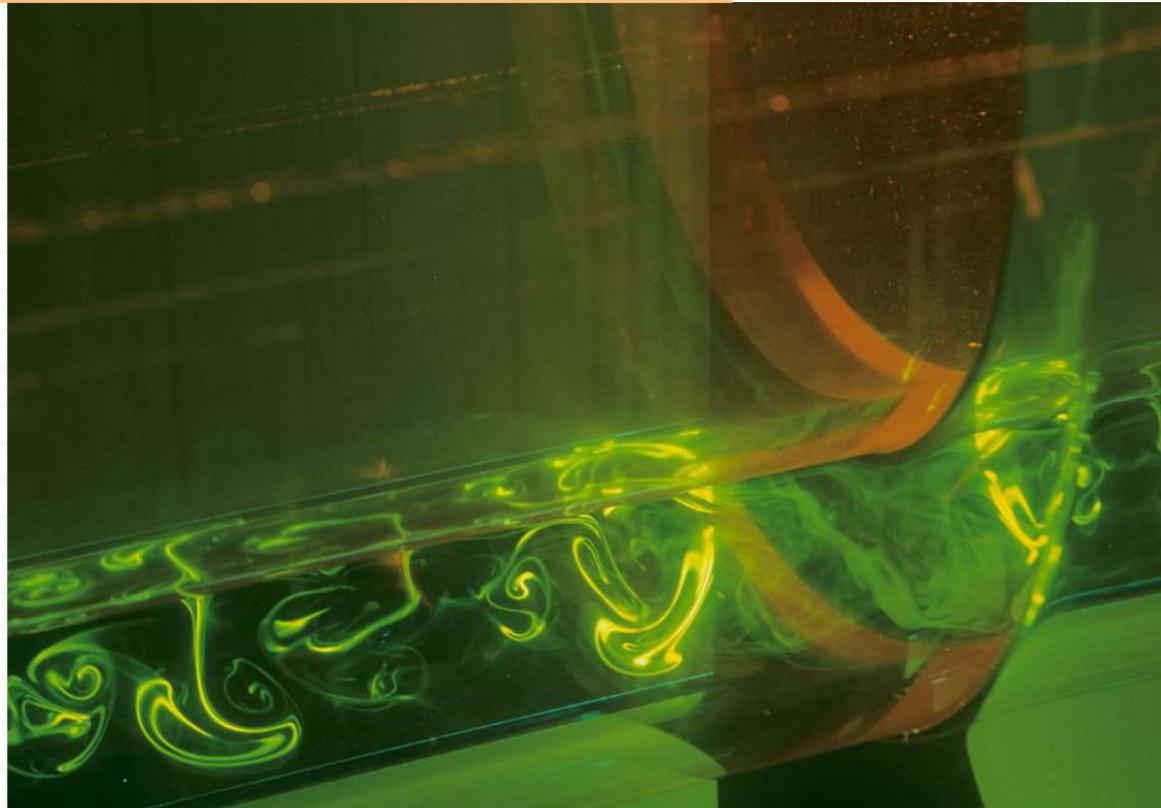
→ Les objectifs à 5 ans sont de structurer la communauté sur les enjeux du numérique soutenable autour d'un groupement de recherche et des actions de recherche déjà en cours puis d'initier des projets ambitieux sur la question de la sobriété et de la résilience dans une approche interdisciplinaire.

Sciences des données pour la modélisation des systèmes complexes

De nombreux domaines scientifiques font aujourd'hui un usage intensif de la modélisation numérique en exploitant des masses de données pour générer des modèles ou pour en alimenter l'exécution. L'explosion des données s'accompagne donc d'une explosion de modèles représentant différentes facettes d'un même système complexe (climat, environnement, santé publique, jumeaux numériques de l'industrie, etc.). Derrière ce double constat de l'explosion des volumes de données et de modèles émerge le défi de l'interaction entre données et modèles. Il s'agit d'abord de rendre possible le couplage de sources de données, en introduisant des approches dirigées par le niveau d'abstraction des données relatif aux niveaux d'observation de l'analyse plutôt que par l'hétérogénéité des données. Il faut ensuite pouvoir coupler les modèles d'un système, au travers de représentations multimodèles ou multiniveaux passant d'une abstraction à l'autre. L'enjeu est de rendre évolutifs et interopérables ces systèmes qui manipulent de grandes quantités de données et/ou qui impliquent des modèles complexes. Cela suppose de trouver un compromis entre les contraintes imposées par un modèle et la qualité et la représentativité des données disponibles. Le recours à des méthodes statistiques ou l'apprentissage machine pourrait, par exemple, améliorer le processus d'assimilation de données et donc la pertinence des analyses et la capacité prédictive des modèles.

→ Les objectifs à 5 ans sont de développer des méthodes de couplage de données intégrant leurs caractères temporel et multidimensionnel, de couplages de modèles et de couplage données-modèles en capturant formellement les dépendances entre données et processus dans des environnements dynamiques et sécurisés.

ONDES ET PARTICULES



© Emmanuel PERRIN/CNRS Images

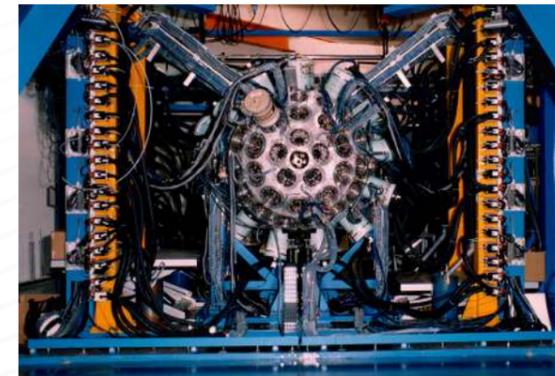
Origine de la masse des particules et nouvelle physique

La nature de la physique au-delà du modèle standard reste une des questions les plus mystérieuses à élucider. L'exploration des constituants élémentaires et de leurs interactions à la frontière en énergie se poursuit auprès du grand accélérateur de hadrons (LHC) du CERN, infrastructure unique au niveau mondial qui sera exploitée jusque vers 2040. À ce jour, les données recueillies ne représentent que 7 % du total attendu à la fin du programme, augurant donc de très nombreux résultats à venir. En particulier, le fonctionnement du LHC à haute luminosité (HL-LHC) permettra un taux de collisions dix fois plus élevé. Cette nouvelle phase permettra de mesurer avec plus de précision les propriétés du boson de Higgs, d'explorer de nouvelles observables comme son couplage aux fermions de 2^e génération, et potentiellement de découvrir une nouvelle physique directement par la production de nouvelles particules ou par la mise en évidence de déviations au modèle standard de la physique des particules.

En parallèle, la conception, le développement et le prototypage des nouveaux accélérateurs de particules doivent s'intensifier pour préparer la génération suivante de ces installations.

Ces progrès devront s'accompagner d'efforts théoriques soutenus, permettant de construire de nouveaux modèles et de les confronter aux résultats des expériences.

- **L'objectif à 5 ans est de livrer puis réussir la mise en route des détecteurs améliorés et optimisés des expériences pour le fonctionnement du LHC à haute luminosité, ainsi que de finaliser l'étude de faisabilité du projet de collisionneur circulaire (FCC) et d'avancer dans le développement des technologies nécessaires à la réalisation des futurs accélérateurs de haute énergie et intensité, ainsi que des détecteurs de particules novateurs associés.**



© Charles MUNCH / IN2P3 / CNRS Images

Les noyaux atomiques comme laboratoire pour explorer les limites de leur stabilité et les symétries fondamentales

La mise en service de l'accélérateur SPIRAL2 du GANIL est l'un des grands succès de ces cinq dernières années. Une partie du programme expérimental relié au spectromètre S3 se focalisera sur la synthèse d'éléments super-lourds, à la limite de cohésion des noyaux atomiques, une première à GANIL. Des mesures et des résultats uniques, à très fort impact international, sont attendus dans ce domaine. L'installation de basse énergie DESIR sera entre-temps complétée et mise en opération, et disposera de faisceaux d'ions d'intensité et de qualité inégalées, qui promettent des avancées significatives dans la compréhension de la structure nucléaire. La grande pureté des faisceaux et la conception puis la construction d'outils de détection extrêmement précis feront de DESIR une installation unique au monde. Elle permettra en particulier des mesures de très haute précision d'observables reliées à l'interaction électrofaible (décroissance bêta). Ces mesures pourraient permettre de mettre en évidence d'éventuelles violations du modèle standard de la physique des particules.

- **L'objectif à 5 ans dans ce domaine est le démarrage des expériences de nouvelle génération auprès de l'accélérateur SPIRAL2 au GANIL, en particulier avec la mise en opération du spectromètre S3 et de l'installation de basse.**

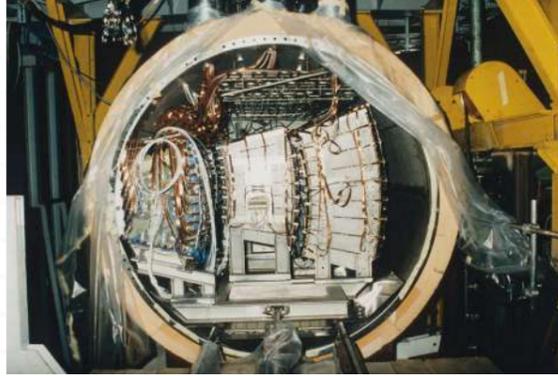
Éclaircir les mystères des neutrinos

Les deux dernières décennies ont vu des avancées majeures dans le domaine de la physique des neutrinos, les particules de matière les plus abondantes de l'Univers, avec la découverte que ces neutrinos ont une masse, qu'ils peuvent changer de saveur et qu'ils ouvrent une nouvelle fenêtre sur la compréhension de l'asymétrie matière-antimatière. Les neutrinos sont la première preuve qu'il existe une physique au-delà du modèle standard de la physique des particules. La programmation des diverses expériences, en opération ou en construction, va permettre d'obtenir les premières mesures de l'ordonnement des masses des neutrinos, mais aussi d'apporter des réponses à la question de savoir si cette particule est sa propre antiparticule, si de nouveaux types de neutrinos existent ou encore sur la balance de la matière et de l'antimatière dans l'Univers.

- **L'objectif à 5 ans est de mettre en service et d'obtenir les premiers résultats de l'expérience JUNO en Chine (neutrinos issus de réacteurs), ainsi que de finaliser la construction du détecteur KM3NeT/ORCA au large de Toulon (neutrinos atmosphériques). Il s'agira aussi de préparer les expériences de nouvelle génération, comme les expériences Hyper-Kamiokande au Japon et DUNE aux États-Unis qui verront leurs premiers neutrinos à l'orée 2030.**



© Nicolas BAKER / CPPM / CNRS Images



© CNRS Images

Comprendre la structure et les propriétés des hadrons

L'une des principales questions non résolues en physique est la compréhension de l'interaction forte à basse énergie qui confine les quarks et les gluons à l'intérieur de hadrons.

Aujourd'hui, l'étude de la structure interne du nucléon et de l'organisation de ses constituants a lieu aux États-Unis principalement avec les expériences à Jefferson Laboratory. Un nouveau projet de collisionneur Electron Ion Collider (EIC) voit le jour toujours aux États-Unis, offrant des perspectives nouvelles pour les décennies à venir. L'EIC permettra de réaliser des collisions entre des électrons et des protons, ainsi qu'entre des électrons et des ions, avec l'objectif de comprendre l'organisation des quarks et des gluons qui composent le nucléon et de dévoiler ainsi certaines propriétés de l'interaction nucléaire forte qui confine les quarks dans le nucléon. Les gluons jouent un rôle fondamental dans ces propriétés en liant les quarks et en interagissant aussi entre eux. Cependant, la compréhension de la dynamique des gluons est loin d'être acquise aujourd'hui. À haute énergie, les gluons dans les nucléons et les noyaux forment un système très dense qui pourrait saturer. Une telle saturation serait accompagnée par une évolution non linéaire qui convergerait vers une solution asymptotique décrite par des propriétés universelles, appelée condensat de verre de couleur.

→ L'objectif à 5 ans est de préparer la décision stratégique à prendre d'ici deux ans pour s'impliquer dans la construction de ce programme de physique hadronique pour une prise de données dès 2033.

Explorer l'Univers

L'exploration de l'Univers et de son contenu se fera à plusieurs échelles et grâce à l'observation directe des ondes électromagnétiques et à de nouveaux observatoires astronomiques qui se développent à l'interface de la physique des particules, de l'astrophysique et de la physique.

Les nouvelles sondes astronomiques seront utilisées soit en observation indirecte (effet des ondes gravitationnelles primordiales sur la polarisation du rayonnement fossile primordial, distorsions de l'espace-temps sur le parcours de la lumière), soit en observation directe (rayons cosmiques et photons de haute énergie, neutrinos, ondes gravitationnelles). La mesure des modes polarisés B du rayonnement fossile primordial sera l'enjeu des prochains grands observatoires sol Simons Observatory, puis CMB-S4.

La mise en exploitation récente du projet spatial européen EUCLID, l'observation spectrale du ciel avec le projet au sol DESI et le démarrage prochain du sondage systématique de l'espace lointain au sol (LSST) promettent des avancées significatives dans les prochaines années dans la compréhension de l'énergie noire. Ces expériences permettront aussi une mesure de la densité de matière noire, dite « non baryonique ». Les efforts expérimentaux engagés depuis plusieurs décennies vont être renforcés pour détecter la matière noire de façon directe (XENONnT, TESSERACT) ou indirecte (expériences au LHC, observation en rayons gamma et rayons cosmiques). Les observations de plus en plus sensibles et à venir des rayons gamma de haute énergie (CTA, SVOM), des ondes gravitationnelles (Virgo, LISA, ET), ou encore des rayons cosmiques chargés (Auger) et des neutrinos de haute énergie (KM3NeT) vont jeter une nouvelle lumière sur le contenu de l'Univers.

→ L'objectif à 5 ans repose d'une part sur la participation à la construction des détecteurs CMB-SO puis CMB-S4, ainsi que du satellite japonais LiteBird, et d'autre part sur l'exploitation des données de DESI et d'EUCLID, et sur le démarrage du grand relevé LSST. La matière noire sera traquée par des expériences telles XENONnT ou TESSERACT. L'objectif consiste aussi à continuer à augmenter la sensibilité de l'antenne gravitationnelle Virgo et à finaliser la construction de CTA.

SOCIÉTÉS



© Dassault Systèmes / CNRS / Cité de l'Architecture et du Patrimoine / EPRNDP

Cultures, langues et liens sociaux

Loin d'être un patrimoine passif ou inerte, la culture, catégorie construite, peut être entendue comme un ensemble de représentations, héritées, inventées, transmises, échangées, comme de manières communes de vivre, de penser, de parler et de se comporter, et comme un ensemble de créations et de productions artistiques, des connaissances. Les recherches sur la culture en général et les arts en particulier, sur les processus de patrimonialisation et les émotions patrimoniales, sur les conditions de la création, les industries culturelles, sur la transmission culturelle et linguistique, sur les politiques culturelles participent donc d'une compréhension des mécanismes fondamentaux d'une société, du local au global, en passant par le national. Ces recherches sont souvent liées à celles sur les langues et, partant, renvoient aux questions de construction des identités, celles-ci s'appuyant sur la médiation de langues singulières. Aussi la connaissance fine des aires linguistiques, souvent constituées au-delà d'espaces particuliers, le travail sur la traduction ou les difficultés que cette dernière entraîne sont des moyens d'accéder à la compréhension des mécanismes fondateurs de cultures communes, proches ou, au contraire, éloignées et antagoniques.

→ L'objectif à 5 ans est d'élaborer des outils de mise en partage des connaissances sur les patrimoines au niveau européen et de ressources numériques plurilingues, en particulier au regard de contextes où le plurilinguisme et la francophonie constituent des enjeux politiques sensibles, et de développer une dynamique de recherche sur les cultures populaires et l'éducation morale et politique.



© Cyril FRESILLON / STMS / CNRS Images

Inégalités

Nos sociétés contemporaines sont confrontées à un défi de plus en plus central, celui des inégalités de tous ordres et, à l'échelle du monde, des situations très disparates, avec le maintien d'une part importante de la population dans la pauvreté et le chômage, et l'enrichissement rapide des 1 % et, plus encore, des 0,1 % les plus riches. Ces inégalités sont socio-économiques, mais aussi territoriales, culturelles et éducatives, de genre, liées à l'âge, aux discriminations raciales, etc. Des phénomènes de réduction des inégalités ont pu être observés, de manière très variable selon les périodes, les espaces et les modalités. Cependant, aujourd'hui, les transformations de certaines politiques fiscales et des politiques redistributives conduisent à penser à nouveaux frais les inégalités, perceptibles dans toute une série de domaines de la vie, et à analyser des effets inégalitaires liés à des chaînes de causalités multiples (accès aux technologies, mutations démographiques, transformations des liens sociaux, etc.). Les recherches doivent aussi intégrer, au-delà des questions relatives aux trajectoires sociales des individus et des familles, la question des âges de la vie, du devenir des jeunes à celui de populations vieillissantes.

→ **L'objectif à 5 ans est de mettre en place des dispositifs de recherche permettant, notamment sur la base d'enquêtes nationales ou européennes et le recours à des méthodes mixtes, de développer une approche intégrée des inégalités : depuis l'étude des logiques de leur production et reproduction à différentes échelles, croisant différents types d'inégalités, jusqu'à l'analyse et l'évaluation des modalités d'intervention déployées dans les sociétés contemporaines pour les résorber.**

Transition numérique et évolution du travail

Les recherches sur le travail et son articulation au sein de l'ensemble des activités humaines explorent actuellement les profondes mutations qui en affectent les formes, les conditions, le cadre juridique et les rapports sociaux au travail. En particulier, alors que le travail connaît aujourd'hui un ensemble d'évolutions importantes — on parle de « quatrième révolution industrielle » —, l'enjeu de sa dématérialisation, de sa numérisation, voire de sa plateformesation, doit recevoir une attention centrale. Il s'agit d'éclairer comment les technologies numériques transforment les mondes professionnels et les manières de travailler, comment ces mondes s'approprient à leur tour ces technologies, explorent et mettent en œuvre de nouvelles formes d'interface humains-machines, de nouvelles relations avec le numérique, en vue notamment d'augmenter les performances au travail, ou de modifier ses formes et son cadre. Il s'agit également de comprendre quels rôles jouent la diffusion du numérique et de l'intelligence artificielle sur les autres dimensions du travail pour lesquelles des transformations sont également en cours (localisation des chaînes de valeur, systèmes d'organisation et de hiérarchie, etc.). Enfin, il s'agit d'examiner les effets de la dématérialisation et de la numérisation.

→ **L'objectif à 5 ans est de parvenir à un cadre théorique renouvelé sur le sujet, en s'appuyant sur la prospective initiée par le CNRS sur le sujet, de créer des dispositifs de recherche ad hoc pour développer des recherches en interaction avec les acteurs privés et publics concernés — associations, entreprises, institutions publiques —, de déployer des travaux interdisciplinaires par exemple sur les interfaces humains-machines.**



© Cyril FRESILLON / EDYTEM / CNRS Images

Une planète habitable, des êtres humains en bonne santé

La perspective de plus en plus réaliste d'une planète Terre en partie invivable pour les êtres humains exige de s'emparer des enjeux que constituent les changements environnementaux globaux. Ces évolutions convoquent l'ensemble des disciplines en sciences humaines et sociales et les invitent à élaborer une analyse multifocale, fondée sur les données, critique et réflexive : sur la façon dont les changements sont perçus, décrits, pris en compte (ou non) par les sociétés, sur les scénarios envisagés et mis en œuvre, sur leur transférabilité et leur généralisation possible, sur les formes de vulnérabilités des individus et des groupes face à ces changements. L'horizon privilégié est celui des transitions justes, autrement dit l'exigence faite aux sociétés contemporaines de limiter les conséquences du changement climatique et plus largement des changements environnementaux en s'adaptant, par le développement d'économies réellement soutenables, non seulement d'un point de vue de l'utilisation des ressources naturelles que du respect et de la santé de la planète et du vivant humain et non humain. Doivent être mobilisés : la prise en compte de temps long et très long permettant de tirer des enseignements des changements, voire des disparitions de sociétés anciennes ; les approches comparatives et croisées tant les déclinaisons possibles sont variées ; les analyses multi-échelles ; les analyses microlocales et expérientielles pour comprendre les ressorts des usages ; les grands jeux de données permettant de monter en généralité autant sur la compréhension des processus que sur les trajectoires possibles.

→ **L'objectif à 5 ans est, en particulier via l'implication dans le PEPR TRANSFORM des communautés en sciences humaines et sociales, de produire un corpus de connaissances nécessaire à l'élaboration de conduites et de politiques à même de faire face à différentes échelles aux changements environnementaux globaux, et à leurs conséquences économiques, sociales ou sanitaires.**

Gouvernances nationales et transnationales

Crises de gouvernance associées notamment aux régimes démocratiques ; prégnance des enjeux géopolitiques ; émergence de nouvelles formes de mobilisation collective et rôle croissant des acteurs non étatiques dans l'évolution des sociétés : ce triple constat invite à mettre en avant la question des gouvernances nationales et transnationales comme un enjeu de recherche majeur aujourd'hui. Ces gouvernances sont d'autant plus importantes à étudier qu'elles s'inscrivent dans un contexte international marqué par des conflits ou a minima des tensions entre des États ou des groupes d'États, qu'ils soient liés à des questions de ressources, d'approvisionnement ou de circulations de marchandises, des dissensions politiques, des différends d'ordre religieux ou encore des dynamiques de rééquilibrage entre les États dans différentes aires du monde. Ainsi, de nouvelles formes de gouvernement et d'action publique émergent-elles actuellement, autant confrontées qu'articulées à des modalités d'action politique, de politisation et de régulation privée ou publique, nationale et transnationale, complexes. Elles portent aujourd'hui des formes de régulation « inversée » souvent alternatives au cadre « stato-démocratique » de production de l'intérêt général : soit au nom de l'efficacité marchande, soit au nom des « communs » qui impliquent des biens et services non marchands, soit au nom d'une expertise scientifique ou technique revendiquée. Entre auto et corégulation, les acteurs non étatiques sont aujourd'hui tout à la fois « partenaires » et « rivaux » des États et des formes de régulation publique internationale.

→ **L'objectif à 5 ans est de développer une recherche sous un angle à la fois critique et prospectif, sur les nouvelles formes de régulation économique, juridique, politique et sociale impliquant les acteurs non étatiques, et de lui donner les moyens de constituer un nouveau cadre théorique.**

VIVANT



© Cédric SUEUR / IPHC / CNRS Images

Instruments, données et modèles pour la santé et éthique de leurs usages

L'innovation en santé structure un continuum de recherches faisant appel au domaine des sciences technologiques et numériques, allant de la prise en charge individuelle des personnes malades jusqu'à l'organisation des parcours de soins. Au cœur de ce continuum allant de l'instrumentation à la modélisation se trouvent la production et l'exploitation de données de santé, qui peuvent être massives, complexes et hétérogènes, issues notamment des systèmes d'information de santé ou de la recherche clinique. Au-delà des données individuelles, sont également collectées des données socio-économiques, environnementales ou relatives aux parcours de soins des personnes.

L'évolution des pratiques de soins basées sur des décisions automatisées représente un défi majeur pour la conception des dispositifs associant l'acquisition et l'analyse des données au bénéfice de la population et du système de santé. Les défis concernent l'éthique des usages (consentement éclairé, sobriété de la production de données, minimisation du côté invasif des méthodes d'exploration fonctionnelles et des approches thérapeutiques...), l'acquisition, le traitement et l'utilisation des données (accessibilité, protection des données personnelles, droit à l'oubli, dépersonnalisation des processus, etc.), mais aussi la prise en compte des enjeux liés aux changements globaux (utilisation de ressources rares, impact environnemental des solutions de santé, traitements biocompatibles...).

Un dernier défi concerne la transparence, l'équité et la confiance associées aux modèles et aux décisions auxquels elles conduisent : des indicateurs d'explicabilité et d'interprétabilité comme des validations expérimentales des hypothèses issues des modèles sont nécessaires pour permettre une utilisation de confiance.

→ **Les objectifs à 5 ans sont : la conception de méthodes numériques robustes pour l'appui à la décision clinique et à l'organisation des soins basée sur le traitement de données, dans le respect d'enjeux éthiques, socio-économiques et environnementaux associés au développement et à l'usage des instruments et des données; la conception de dispositifs médicaux précis et fiables garantissant une sobriété dans la production de données; et la validation expérimentale des modèles et des hypothèses issues de ces modèles.**



© Cyril FRESILLON / ATLASa / CNRS Images

Organisation des génomes, régulation de leur expression et épigénétique

Les acides nucléiques portent au sein de chaque cellule l'information nécessaire au fonctionnement et à la reproduction de toute forme vivante. Les régions dites non-codantes apparaissent de plus en plus comme contenant une information de régulation de l'expression des gènes soit par la production d'ARN régulateurs, soit par leur capacité à organiser en 3D les chromosomes pour permettre des corégulations ou le « *silencing* » de certains gènes. De plus, les marques épigénétiques régulent l'expression des génomes et participent à la transmission de traits d'adaptation à l'environnement ainsi que ceux issus de stress environnementaux.

→ **L'objectif à 5 ans est de comprendre les différents niveaux de régulation de l'expression du génome pour pouvoir prédire les comportements des cellules et le fonctionnement des organismes en couplant les dernières approches telles que Crispr-Cas, la biophysique, la bio-informatique et la modélisation mathématique couplées avec différentes approches de biologie comme la Cell-ID.**

Substances naturelles : la nature comme source d'inspiration

Les produits naturels et leurs analogues structuraux ont historiquement apporté beaucoup à la médecine : produits pharmaceutiques, produits agrochimiques et, dans les domaines des arômes, colorants et parfums. Néanmoins, la richesse naturelle est loin d'avoir été entièrement explorée, et l'accès à ces produits naturels représente encore aujourd'hui un défi, avec des verrous liés à leur détection dans l'environnement, leur isolement, leur caractérisation chimique, leur synthèse et l'optimisation de leurs caractéristiques potentiellement industrielles. L'ensemble de ces freins a contribué à un lent déclin de ce domaine de recherche depuis une trentaine d'années. L'identification de nouveaux produits naturels d'intérêt peut s'avérer difficile, les outils de dé-réplication doivent être appliqués pour éviter la redécouverte de composés connus. Accéder à suffisamment de matériel biologique pour isoler et caractériser un produit naturel peut également s'avérer difficile et la re-synthèse de ces molécules reste un challenge souvent complexe. Cette re-synthèse est nécessaire d'une part pour ne pas épuiser les ressources et également afin d'optimiser les molécules dans le but de limiter d'éventuelles activités secondaires non souhaitées.

→ **L'objectif à 5 ans est d'insuffler un nouvel élan sur l'exploration des substances naturelles, à travers la promotion d'une recherche interdisciplinaire qui mêle de nouveaux développements méthodologiques appliqués à l'exploration d'espèces animales et végétales exotiques et souvent endémiques, notamment dans les territoires ultramarins.**



© Cyril FRESILLON / ATLASea / CNRS Images

Vers une compréhension multi-échelle du fonctionnement du vivant

Le vivant s'organise, s'assemble et interagit via une signalisation biochimique, électrique et mécanique à de multiples échelles spatiales, du nanomètre au mètre, par des édifices tridimensionnels : complexes macromoléculaires, compartiments intracellulaires, cellules, organes, entités macroscopiques vivantes (animaux, plantes, etc.). Un défi scientifique majeur à relever dans les prochaines années est d'intégrer ces échelles pour proposer des modèles mécanistiques et prédictifs des fonctions biologiques et physiologiques allant des molécules à l'organisme. Il faut pour cela identifier les propriétés collectives d'organisation qui émergent des différentes interactions à chaque échelle. Le développement rapide des outils d'analyse, de synthèse et de modification des molécules du vivant ou de leurs assemblages, les analyses « omiques » et d'imagerie sur cellule unique, les méthodes analytiques par spectroscopies ou microscopies, la modélisation des processus physiques, chimiques et biologiques en jeu et les approches d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle, contribueront à cette compréhension multi-échelle du vivant. Finalement, la prise en compte de perturbations dans ces modèles en lien avec les pathologies et les thérapies sera la source de solutions innovantes pour le diagnostic précoce et le traitement personnalisé des maladies.

→ **L'objectif à 5 ans est de modéliser le vivant avec l'aide de systèmes biologiques contrôlés, de systèmes synthétiques et de comprendre les conséquences des changements moléculaires ou subcellulaires sur le comportement des cellules et des tissus normaux ou pathologiques.**

Holobiontes

L'autonomie des êtres vivants s'articule de manière de plus en plus évidente autour de l'hétéronomie, une interaction cruciale avec d'autres êtres vivants. Cette perspective redéfinit la conception d'un organisme comme un holobionte, dont la physiologie émerge de l'équilibre entre ses propres cellules et les diverses communautés, y compris les micro-organismes, qu'il héberge. Ces derniers servent d'interfaces interactives entre les macro-organismes et leur environnement, aujourd'hui bien illustrées par des études sur la flore intestinale, la rhizosphère et d'autres organes externes. L'holobionte, fusion d'un organisme pluricellulaire et de son microbiote, intègre des micro-organismes tels que bactéries, virus, archées, protistes et champignons, bouleversant la notion même d'organisme.

→ **L'objectif à 5 ans sera d'appliquer un changement de paradigme pour explorer de façon intégrée l'évolution des systèmes immunitaires, l'adaptation métabolique au profit de la communauté, les transferts horizontaux de gènes et les mécanismes de régulation de l'équilibre holobionte, mais également leur impact sur les écosystèmes, l'écotoxicologie et les interactions entre espèces qui co-évoluent avec leurs hôtes.**



© Christian MOREL / IBS / CNRS Images

Branches méconnues du vivant

Notre compréhension du vivant est biaisée en raison d'un intérêt disproportionné pour les organismes modèles ou les espèces pathogènes pour l'humain, laissant plus de trois quarts de la biodiversité largement méconnus. Cette lacune affecte considérablement notre connaissance des mécanismes biologiques, la robustesse des analyses des écosystèmes et des mécanismes évolutifs. En réponse, une stratégie scientifique s'impose, préconisant des analyses fonctionnelles ou évolutives à travers des échantillonnages appropriés dans divers groupes tels qu'archées, bactéries, ciliés, éponges, cténophores, cnidaires, champignons, algues mono et pluricellulaires, bryophytes, insectes, mollusques, et des vertébrés aux traits biologiques distincts de l'humain. Ces explorations à grande échelle, y compris dans des environnements extrêmes, nécessitent d'intégrer des approches moléculaires pour reconstituer de nouvelles voies métaboliques, ouvrant des perspectives en médecine, en biotechnologie et éclairant l'adaptation évolutive aux milieux. Ces recherches doivent également interroger les rôles de cette biodiversité dans les écosystèmes, évaluant ses capacités de réponse aux changements actuels en termes d'amplitude et de stochasticité.

→ **L'objectif à 5 ans est d'utiliser les dernières avancées technologiques, comme la métagénomique, dans de nombreux biomes pour caractériser le vivant non connu.**

Santé : nouvelles approches thérapeutiques

L'allongement de la durée de vie, la prévalence croissante des maladies chroniques, des cancers et l'émergence plus fréquente d'épisodes épidémiques infectieux, conjugués à une résistance croissante aux traitements entraînent un accroissement de la demande de soins de qualité. L'efficacité thérapeutique et l'évolution de l'offre de soin sont au cœur de cet enjeu. Le premier verrou à lever est le développement de nouveaux systèmes microphysiologiques et de « jumeaux numériques » pour des essais cliniques in vitro et virtuels, qui soient le reflet fidèle des mécanismes in vivo et permettent de prendre en compte la variabilité inter-patients et de prédire les effets des thérapies. Le second verrou réside dans un changement de paradigme concernant les thérapies médicamenteuses, leur pharmacologie et les nouvelles approches thérapeutiques reposant sur des processus biologiques. Il s'agit d'approfondir les recherches sur les biothérapies émergentes et sur les réactions bio-orthogonales qui permettent l'identification in vivo de nouvelles cibles thérapeutiques. L'objectif est en parallèle la réduction des effets secondaires indésirables. Les thérapies physiques sont le dernier élément de cette stratégie visant l'exploitation de nouvelles approches instrumentales plus précises (ex. : imagerie interventionnelle) et plus efficaces, notamment en radiothérapie, des approches thérapeutiques combinées ou le développement de nouveaux radiopharmaceutiques plus performants vers des stratégies théranostiques. Un ultime verrou concerne l'élaboration d'un cadre d'analyse — économique, social, politique, juridique — permettant d'appréhender les conditions du recours effectif à ces nouvelles approches, et de comprendre comment les politiques de santé publique et les usages sociaux peuvent intégrer ces nouvelles approches thérapeutiques.

→ **L'objectif à 5 ans est de favoriser sur ces différents enjeux l'émergence de recherches interdisciplinaires de pointe qui puissent apporter des solutions concrètes à ces enjeux incontournables et complexes.**

ANNEXE FINANCIÈRE

RESSOURCES NOUVELLES ASSOCIÉES AU COMP 2024-2028 (EN ÉCART À 2020)

	RAPPEL COP 2019-2023			COMP 2024-2028				
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
SUBVENTION POUR CHARGES DE SERVICE PUBLIC (PROGRAMME 172) (**)								
ACTIONS SPÉCIFIQUES DU CONTRAT (pour mémoire en 2021)	4,10 M€	16,10 M€	16,10 M€	20,00 M€	24,00 M€	32,00 M€	44,00 M€	44,00 M€
EMPLOIS PERMANENTS (schéma d'emplois des titulaires et chaires de professeur junior)	68,4 M€	89,3 M€	95,9 M€	104,3 M€	107,1 M€	108,1 M€	109,1 M€	109,1 M€
ATTRACTIVITÉ DES MÉTIERS DE LA RECHERCHE (y compris mesure doctorants)	26,4 M€	53,6 M€	80,0 M€	110,5 M€	135,3 M€	159,5 M€	183,7 M€	186,1 M€
MOYENS AUX LABORATOIRES	9,5 M€	17,5 M€	33,0 M€					
Sous-total subvention P172	108,4 M€	176,5 M€	225,0 M€	267,8 M€	299,4 M€	332,6 M€	369,8 M€	372,2 M€
		+68,1 M€	+48,5 M€	+42,8 M€	+31,7 M€	+33,2 M€	+37,2 M€	+2,5 M€
PROJECTIONS DE RESSOURCES ISSUES DE L'ANR (**)								
AUGMENTATION DES FINANCEMENTS A.N.R (HORS P.I.A.) (190,1 M€ en 2020)	48,32 M€	37,13 M€	51,23 M€	54,30 M€	58,37 M€	63,87 M€	73,87 M€	73,87 M€
dont augmentation préciput	6,15 M€	9,32 M€	12,46 M€	0,61 M€	0,73 M€	2,23 M€	2,89 M€	3,33 M€
PROJECTIONS DE RESSOURCES ISSUES DE L'UE (**)								
AUGMENTATION DES FINANCEMENTS issus de l'UE (133,5 M€ en 2020)	-6,83 M€	5,66 M€	33,25 M€	6,54 M€	16,54 M€	26,54 M€	36,54 M€	46,54 M€
dont augmentation prélèvements sur contrats UE par rapport à 2024					7,22 M€	8,06 M€	8,90 M€	9,74 M€
PROJECTIONS DES AUTRES RESSOURCES MOBILISABLES POUR LE COMP								
Augmentation des autres ressources mobilisables (FG autres contrats, produits divers dont exceptionnels) (13 M€ en 2024)					2,15 M€	5,83 M€	2,13 M€	2,26 M€
TOTAL RESSOURCES								
Total financements nouveaux SCSP + ANR + UE	149,87 M€	219,24 M€	309,48 M€	328,61 M€	374,34 M€	423,03 M€	480,18 M€	492,63 M€
Total ressources nouvelles prévisionnelles mobilisables pour le COMP					14,11 M€	28,13 M€	37,92 M€	39,34 M€
TOTAL	149,87 M€	219,24 M€	309,48 M€	328,61 M€	388,45 M€	451,16 M€	518,10 M€	531,97 M€

(**) sous réserve de la disponibilité des crédits en loi de finances

Direction de la publication : Antoine Petit
Février 2025





3, rue Michel-Ange
75794 Paris Cedex 16
+33 1 44 96 40 00
www.cnrs.fr

