

Intégrer les enjeux environnementaux à la recherche en Physique

Introduction

Interroger l'avenir de la physique au CNRS, c'est chercher à entrevoir les domaines en émergence, mais aussi penser les conditions futures d'exercice de cette recherche. Jusqu'à récemment, elles pouvaient se résumer au budget dont disposait le CNRS et ses partenaires, et au contexte institutionnel définissant statuts des personnels, place des agences de financement, grands programmes, politique européenne de la recherche, etc. À ces points s'ajoutent désormais les contraintes bien plus tangibles et incontournables de la crise écologique. Cette crise, prévue de longue date par les scientifiques, se matérialise et se répercute dans toutes les sphères de la société. Son intensité ne fera que s'accroître dans la prochaine décennie. La physique étant gourmande en ressources naturelles, en objets technologiques et en énergie, elle en sera particulièrement affectée. Les contraintes qui toucheront notre activité seront de plusieurs natures :

- D'une part, **la recherche en physique devra prendre sa part de l'effort général de réduction des émissions carbone** pour permettre au pays de respecter ses engagements internationaux. Si l'objectif pour notre secteur reste à préciser, les auditions laissent entrevoir **un rythme minimum de réduction de 2% par an, plus probablement autour de 5%**.¹
- **L'énergie, qu'elle soit d'origine fossile, nucléaire ou renouvelable, va devenir une ressource rare**². Ainsi, même si l'électricité est faiblement carbonée en France, les efforts de sobriété et d'électrification des usages vont accroître les tensions d'approvisionnement auxquels les laboratoires et plus encore les infrastructures de recherche n'échapperont pas.
- **D'autres ressources comme l'eau, l'hélium ou les terres rares, déjà sous tension, risquent également de ne plus être aisément disponibles.**
- Enfin, **le changement climatique va engendrer des événements extrêmes** (canicule, sécheresse, inondations, etc.) **qui pourraient menacer certaines infrastructures de recherche.**

Au-delà de ces conséquences directes, l'aggravation de la crise climatique et environnementale pourrait aussi fortement impacter la dynamique interne de la recherche.

D'une part, **la recherche en physique devra faire face à une nouvelle demande sociétale qui exigera d'elle des solutions technologiques à cette crise.** Elle a su, au fil des décennies, négocier un équilibre entre sa contribution à l'innovation et l'existence d'une recherche fondamentale de haut niveau. Mais la crise environnementale pourrait rapidement constituer une urgence quasi existentielle pour la population. Dès lors, **l'équilibre entre recherche appliquée et fondamentale pourrait être remis en cause, et rendre plus incertain le soutien public à une recherche détachée de ces questions.** Sans un nouveau compromis collectivement négocié, un nouveau régime des promesses pourrait se mettre en place, mettant en concurrence les sous-disciplines, chacune cherchant à justifier

¹ <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/plan-climat-biodiversite-et-transition-ecologique-de-l-enseignement-superieur-et-de-la-recherche-91292>

² ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc

son existence par la perspective d'offrir un remède aux maux d'une société désemparée.

Un deuxième effet déstabilisant est déjà perceptible à bas bruit dans les laboratoires. **Certaines personnes parmi les plus attentives aux enjeux environnementaux en viennent à s'interroger sur le sens de leur métier** face à une menace pour la société perçue comme imminente. Si la discipline dans son ensemble refusait de prendre au sérieux ces interrogations et d'y répondre, il pourrait apparaître une fracture au sein même des laboratoires laissant de côté une partie des personnels. Ce mécanisme de démobilitation par perte de sens s'observe déjà chez une partie des étudiants, fortement sensibles à ces questions. **Un tel processus de désaffection est peut-être la menace la plus sérieuse que fait peser la crise écologique sur la recherche en Physique.**

Si, pour des raisons éthiques³ ou pragmatiques, la nécessité d'intégrer ces nouvelles contraintes dans nos pratiques a peu à peu gagné le monde de la recherche, c'est d'abord par des initiatives locales au sein des laboratoires, progressivement structurées avec notamment la création de Labos 1point5⁴ dont le premier objectif était de promouvoir la réalisation de bilans de gaz à effet de serre (BGES). Au-delà d'un accompagnement bienveillant de ces initiatives, on peine aujourd'hui à discerner des perspectives de transformation dans le pilotage institutionnel de la recherche à la mesure de ces nouveaux enjeux. Ce rapport est donc une invitation à tracer rapidement une perspective pour y répondre. Il se fonde sur un certain nombre de constats préalables qui doivent guider cette réflexion :

- Il faut tout d'abord **lever l'illusion que la recherche en physique pourrait se soustraire à l'effort commun de sobriété et arguer d'une forme d'exception au nom de son rôle dans la lutte contre le réchauffement climatique et ses effets**. Recherches fondamentales comme appliquées sont certes pertinentes dans cette lutte : elles peuvent apporter, à moyen et surtout long terme, des connaissances et des techniques facilitant l'atténuation et l'adaptation au changement climatique⁵. Mais celles-ci seront insuffisantes au regard de l'ampleur et de l'urgence de la crise que le monde traverse⁶ et la physique doit donc, comme les autres secteurs, faire preuve d'exemplarité dans l'utilisation raisonnée des ressources et la réduction de ses émissions.

- **Les institutions universitaires et de recherche réticentes à adopter une trajectoire de sobriété pourraient s'engager dans des démarches assimilables à du « greenwashing »**. D'ores et déjà apparaissent des classements « verts » des Universités, prélude à leur mise en concurrence sur la base de prétendues vertus environnementales. **Les institutions de recherche doivent refuser de participer à un tel mécanisme, et faire preuve de transparence et de sincérité** quant au véritable coût environnemental de leur activité et au réalisme des promesses technologiques qu'elles portent. Une telle démarche est impérative si l'on veut maintenir sur le long terme un soutien de la population et une attractivité de la discipline.

- Nous sommes face à un problème systémique : la recherche en physique s'est construite dans un contexte d'abondance en ressources matérielles et en énergie. **Ce modèle doit être largement repensé pour intégrer dans nos pratiques la sobriété et l'efficacité** dans l'utilisation des ressources que cette crise nous impose. Ainsi, l'échelle du laboratoire, à laquelle se concentrent aujourd'hui tous les efforts, n'est que partiellement pertinente pour traiter ces questions⁷. Il nous semble impératif que

³ comite-ethique.cnrs.fr/avis-du-comite-integrer-les-enjeux-environnementaux-a-la-conduite-de-la-recherche-une-responsabilite-ethique

⁴ labos1point5.org

⁵ [cnrs.fr/comitenational/cs/recommandations/Dereglement climatique et CNRS valide-4 07 2023.pdf](https://cnrs.fr/comitenational/cs/recommandations/Dereglement_climatique_et_CNRS_valide-4_07_2023.pdf)

⁶ Sur les solutions technologiques pour la production d'énergie à l'horizon 2050 : www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques

⁷ sur les petits gestes et les efforts collectifs, voir : <https://www.carbone4.com/publication-faire-sa-part>, et lemonde.fr/podcasts/article/2022/07/05/climat-peut-on-sauver-la-planete-avec-des-petits-gestes_6133404_5463015.html

les institutions de recherche, et notamment le CNRS, prennent le relai en proposant des outils et un cadre d'action cohérent, et en s'engageant dans une refonte des modes de fonctionnement de la recherche : financement, évaluation, organisation des collectifs de travail, etc.

- Au-delà de ces réformes institutionnelles, **un changement profond s'impose dans une culture de la recherche** qui assimile l'innovation au progrès, valorise la dépense matérielle et le mouvement, dévalorise la réutilisation et la proximité, et qui lie dépense énergétique et excellence scientifique.

Partant de ce constat, le rapport est organisé suivant 3 axes de réflexion. Nous examinons d'abord comment ces enjeux devraient modifier nos pratiques au sein des laboratoires. Nous abordons ensuite la question des ressources humaines et des besoins d'évolution dans l'évaluation des personnels, puis nous discutons des aspects de financement et de pilotage de la recherche. Deux encadrés analysent les enjeux spécifiques des très grandes infrastructures de recherches (TGIR) et du numérique. Nous concluons ce rapport avec un ensemble de recommandations.

I - Evolution des pratiques au sein des laboratoires

L'analyse des BGES⁸ offre un regard transverse sur les pratiques de la recherche à travers les ressources matérielles mobilisées. Elle montre que l'empreinte environnementale de la recherche en physique, science à dominante expérimentale, se rapproche davantage de celle du secteur industriel que tertiaire. La dimension internationale de l'activité engendre également une forte mobilité. De nombreuses initiatives ont été prises dans les laboratoires pour tenter de diminuer ces impacts environnementaux, laissant apparaître de possibles divergences et points de tension.

Sur les BGES et plans de réduction

Depuis 5 ans environ, les BGES des laboratoires ont été conduits par des collectifs de volontaires, souvent soutenus par leur direction. Ils ont établi une méthodologie et organisé la délibération avec la volonté d'aboutir à un large consensus. De leur côté, les tutelles ont soutenu ces initiatives locales et agi pour une sensibilisation large à ces enjeux. Elles ont fait établir leur propre BGES afin de se conformer à une exigence légale.

Ce processus a mis au jour des divergences entre collègues. Certains soutiennent la prise en compte des enjeux environnementaux dans la pratique de la recherche, d'autres y sont opposés ou en désaccord sur le degré de prise en compte. Ces dissensions, entre individus, équipes ou laboratoires sont d'autant plus sévères qu'elles s'ajoutent à la forte compétition dans l'attribution des moyens. Elles montrent que le volontarisme de quelques-uns ne peut suffire à emporter l'adhésion de tous : **sans un cadre cohérent, discuté et instauré à tous les niveaux, ces démarches individuelles se heurteront à une forme de scepticisme quant à leur efficacité.** Il est ici essentiel de rappeler que l'objectif premier des BGES est la mise en place d'un plan de réduction et non pas de comparer entre elles différentes structures dont le périmètre et les spécificités peuvent être très variables.

Consommations énergétiques, bâtiment et résilience

Les personnels des laboratoires de physique possèdent une forte expertise spécifique dans l'analyse et l'optimisation des consommations des infrastructures et laboratoires. Celle-ci a déjà été mise à profit dans plusieurs initiatives ayant permis d'optimiser la consommation énergétique d'instruments, bâtiments ou infrastructures sans dégradation du service, mais au prix d'un investissement important

⁸ J. Mariette et al, *Environ. Res.: Infrastruct. Sustain.* **2** 035008 (2022) ; André Estevez-Torres, communication privée.

en moyen humain, depuis la conception jusqu'à la gestion des systèmes optimisés, voire aux modélisations réalisées par des chercheurs⁹. Dans une perspective de réduction des impacts, il est donc essentiel de les impliquer en amont, mais également de valoriser leur implication. Au vu des montants en jeu, cependant, l'indispensable rénovation de bâtiments anciens est principalement du ressort des tutelles. Sur ce dernier point, nous insistons sur le fait qu'il existe une tension forte entre rénovation et nouvelles constructions avec artificialisation des sols. Il est indispensable que les politiques de site intègrent une évaluation environnementale des projets et des décisions.

Les laboratoires devront également se préparer aux événements extrêmes amenés à devenir plus intenses et plus fréquents et risquant d'impacter leurs activités : inondations, canicule, sécheresse, pénurie d'énergie. Certains ont déjà dû adapter temporairement leurs activités de recherche du fait de sécheresse ou de la hausse des prix de l'électricité. Il semble donc essentiel que, soutenus par les tutelles, ils se préparent dès aujourd'hui en **mettant en place des plans de résilience dans l'esprit des plans de prévention des risques**.

Mobilité et organisation du travail

Concernant les missions, des systèmes de quotas d'émissions ont été mis en place, à l'échelle du laboratoire, de chaque équipe, ou de l'individu. Ces initiatives, qui ne sont qu'incitatives pour le moment, semblent relativement bien acceptées par les personnels. La décarbonation de la mobilité peut également passer par une généralisation du télétravail en prêtant attention au risque de perte de lien social et aux possibles effets rebond, comme l'étalement urbain ou l'inoccupation de locaux chauffés. Pour limiter les déplacements, les expériences "en remote", notamment celles liées aux campagnes de mesure, dans les plateformes techniques ou les TGIRs, peuvent être également favorisées si cela ne nuit pas aux mesures ou à l'apprentissage des jeunes scientifiques.

Achats

Les achats représentent l'un des principaux postes d'émission de la recherche¹⁰, notamment en physique. Plusieurs initiatives de la part du CNRS visant à réduire leur impact méritent d'être mentionnées : allongement à 5 ans de garantie exigée sur le matériel informatique, présence de critères environnementaux dans les mises en concurrence, mise en place d'une bourse matériel¹¹ par le CNRS. D'autres progrès sont envisageables dans un avenir proche, comme le prolongement des garanties sur l'ensemble des marchés nationaux, la primauté donnée aux logiciels ouverts pour éviter l'obsolescence logicielle des équipements scientifiques, ou encore le développement d'approches issues de l'économie de la fonctionnalité (location par exemple) pour une partie des matériels.

Au sein des laboratoires, les initiatives qui portent sur ce poste d'émission semblent actuellement modestes, en partie en raison de la prise de conscience récente de l'importance des achats dans leur empreinte carbone. Plus probablement, elle reflète le fait que **les laboratoires ont peu de contrôle sur les achats effectués par leurs équipes, notamment lorsque l'essentiel de leurs ressources sont contractuelles**. Une réduction significative de ce poste d'émission, que permettrait par exemple une meilleure mutualisation des équipements, nécessitera donc des changements dans les modes de financement qui seront explicités au dernier chapitre de ce document.

⁹ Cas du C2N : labos1point5.org/les-colloques/webinaire-reseau-2023, 2e vidéo, à partir de 47"17" ; et du LNCMI : indico.esrf.fr/event/2/contributions/110/

¹⁰ M. De Paepe, *et al.*, Purchases dominate the carbon footprint of research laboratories, bioRxiv 2023.04.04.535626

¹¹ intranet.cnrs.fr/Cnrs_pratique/acheter/boursemateriel ; et dons.encheres-domaine.gouv.fr/ (pour le mobilier)

Nouvelles pratiques et nouveaux objets de recherche

Gains d'efficacité, miniaturisation, levée de verrous techniques ont nourri les progrès de la recherche et permettent souvent une économie de ressources pour un même usage¹². L'économie de moyens doit être valorisée ce qui suppose de **sortir d'une compétition aux résultats sous-tendue par une compétition sur l'obtention de ressources matérielles et humaines**. L'exemple de l'astrophysique, où certains collègues exploitent d'anciennes données, illustre comment une telle démarche peut donner lieu à de nouveaux résultats¹³.

S'il est clair que certains objets d'étude imposent des choix techniques et d'organisation, les pratiques et le développement de nouveaux instruments guident en retour les choix de sujets. **Une société plus sobre imposera d'inventer une physique plus sobre dans ses pratiques mais aussi renouvelée dans ses sujets**. Compte-tenu du rythme élevé de réduction des émissions qui nous est imposé, il semble en effet difficile d'imaginer que l'évolution de la physique ne puisse procéder que par adaptation progressive. Il nous appartient donc dès à présent d'**imaginer ce que pourrait être une physique "frugale", ou physique "bas carbone"**. Dans cette perspective, la physique pourrait s'inspirer de la chimie qui a vu se développer depuis les années 1990 une "chimie verte" fondée sur un certain nombre de principes visant à réduire et éliminer l'usage ou la production de substances néfastes pour l'environnement. Un levier pour encourager une telle évolution est d'associer ces changements de pratiques à des projets de recherche intra ou inter-équipes ou inter-laboratoires, par exemple en lien avec les sciences humaines. Les réflexions et les solutions ainsi développées constituent en soi un progrès des connaissances et ont vocation à être partagées et diffusées au-delà du monde de la recherche.

II - Ressources humaines

La politique de ressources humaines jouera un rôle clé pour réduire l'impact environnemental des laboratoires tout en maintenant une recherche de haut niveau.

Une politique de l'emploi au service d'une meilleure utilisation des moyens matériels

Infrastructures et équipements pèsent lourd dans le bilan écologique de l'INP. **Un gisement important d'économie en ressources est une meilleure gestion et utilisation du parc de matériel** au travers d'une maintenance plus suivie, des achats groupés (magasins sur site), des réparations en interne. **Cela nécessitera une redéfinition des missions des personnels de soutien doublée d'une politique ambitieuse de recrutements pérennes**. Il est en effet illusoire de penser que les personnes actuellement en poste pourront seules absorber la charge de travail supplémentaire qu'impliquent ces mesures. Le recours actuel aux bonnes volontés a atteint ses limites : de nombreux témoignages pointent l'épuisement de personnels surchargés par le travail supplémentaire que ces missions induisent. Là encore, les tutelles doivent prendre leur responsabilité pour accompagner ces évolutions en offrant un cadre cohérent et les moyens adéquats. Par ailleurs, un rééquilibrage dans les financements contractuels au bénéfice des moyens humains (doctorants notamment) permettra que les équipements soient utilisés de manière optimale, et pendant la plus grande fraction possible de leur temps de vie. Les chercheurs pourront ainsi consacrer l'essentiel de leur temps à la recherche elle-

¹² Les *upgrades* de TGI-R vont dans ce sens. À l'inverse, la surutilisation qui peut en découler annule souvent les gains par effet rebond, comme l'illustre le domaine du numérique - voir encadré

¹³ www.nature.com/articles/d41586-023-00837-0

même, plutôt qu'à sa gestion.

Accompagner les agents désireux d'adapter leur pratique aux enjeux environnementaux

La qualité de la recherche au CNRS reflète pour l'essentiel le talent et l'enthousiasme de ses agents. Le spectre scientifique du CNRS, la liberté qu'il laisse à ses personnels sont des atouts d'attractivité uniques permettant de compenser des salaires relativement modestes. Mais au-delà de cette liberté, la question du sens de leur mission est centrale pour les personnels. **La conviction de participer à une œuvre enrichissante et chargée de sens est questionnée par beaucoup au regard de l'urgence climatique.** Ce questionnement peut prendre différentes formes, depuis le besoin d'agir à l'échelle du laboratoire, jusqu'au désir de redéfinir totalement ses activités au sein ou hors du CNRS.

Le niveau de remise en question le plus courant actuellement est le besoin d'aligner sa pratique professionnelle avec une démarche personnelle de réduction d'impact : les personnels concernés s'impliquent alors bénévolement dans la transition des laboratoires, comme décrit plus haut.

Nombreux aussi sont ceux qui questionnent le sens même de leur sujet d'étude et opèrent des réorientations thématiques tout en restant proches de leurs domaines d'expertise. Ces réorientations sont relativement simples et il est donc difficile d'avoir des données chiffrées sur leur ampleur. Elles peuvent être facilement valorisables lorsqu'elles restent dans le champ "*mainstream*" de la discipline, mais peuvent être plus délicates (financement, évaluation) lorsqu'elles explorent des approches nouvelles qui sortent du cadre scientifique standard (low-techs par exemple). Certaines nouvelles thématiques situées à l'interface de plusieurs instituts du CNRS partagent les difficultés de reconnaissance et de positionnement propres aux sujets interdisciplinaires.

À l'extrémité du spectre enfin, certains agents bifurquent¹⁴ vers des thématiques tournées vers les enjeux planétaires, loin de leur discipline d'origine. Les instances du CNRS ne recensent à l'heure actuelle qu'un nombre très limité de demandes de changement de comité d'appartenance au CNRS ou de départ du CNRS. Le nombre de demandes atypiques (comme par exemple quitter l'INP pour rejoindre l'INSHS et étudier l'impact sociétal des énergies durables) sera probablement amené à augmenter à mesure que progresse la prise de conscience des enjeux écologiques. Il est important que les agents puissent assumer ces changements de façon claire et transparente.

Apporter une réponse adéquate à ces questionnements sera l'un des enjeux majeurs auquel le CNRS sera confronté lors de la prochaine décennie.. Si elles sont accompagnées et valorisées, ces évolutions individuelles peuvent à la fois répondre à la question du sens, mais aussi ouvrir des pistes nouvelles de recherche qui enrichiront les disciplines et renforcer l'attractivité de la Physique vis-à-vis d'étudiant.e.s de plus en plus sensibles à ces questions. À l'inverse, si ces questionnements des personnels ne font pas l'objet d'une écoute attentive de la part de l'institution, il existe un risque réel de démission, d'isolement des personnels ou même de "quiet quitting", ainsi que des difficultés de recrutement de doctorant.e.s, qui pourraient sérieusement menacer la dynamique interne des laboratoires.

Faire évoluer les modalités d'évaluation des métiers de la recherche

Inciter les personnels techniques à agir en faveur des changements décrits plus haut implique que soient mieux reconnues les actions de maintenance, réparation, adaptation des équipements de recherche, mais aussi d'entretien des bâtiments et de leurs infrastructures. Cette valorisation doit faire

¹⁴lemonde.fr/sciences/article/2022/06/27/ces-chercheurs-tentes-par-la-bifurcation-ecologique_6132235_1650684.html

jeu égal, pour les évolutions de carrière, avec le montage de nouveaux équipements ou la gestion de grands projets techniques, actuellement bien mieux perçus. S'il est porté par un personnel technique, le rôle de référent développement durable devrait également être reconnu¹⁵.

Pour les personnels de recherche, l'enjeu est de **favoriser et valoriser les actions en faveur de pratiques compatibles avec les enjeux environnementaux**, tant pour soutenir les agents déjà engagés que pour favoriser l'engagement de tous dans cette transition. L'un des leviers importants est de cesser de lier la qualité de la recherche et le volume de financement obtenu : l'argent est devenu une mesure de l'excellence de la recherche, alors que la transition écologique impose de valoriser la frugalité et l'économie de moyens. **Plutôt que de revendiquer un volume élevé de financements contractuels, il faudrait au contraire démontrer la parcimonie dans l'utilisation de ressources, une véritable pratique de la recherche** (plutôt que l'encadrement exclusif), **et la coopération au sein de projets collectifs** mutualisant moyens matériels et compétences (plutôt que la personnalisation de la recherche via la figure du PI). Une meilleure appréciation des actions effectuées au bénéfice de la communauté, notamment pour la transition écologique, est également indispensable. De façon frappante, **ces points rejoignent les diagnostics et recommandations pour une évaluation non discriminatoire**, notamment concernant l'équilibre entre dimension "agentique" (individuelle) et communale de l'évaluation¹⁶. Ils illustrent la nécessité de former l'ensemble des jurys d'évaluation à ces questions, comme ils le sont pour les biais de genre.

Enfin, ces changements dans les procédures d'évaluation doivent également se décliner dans le recrutement des jeunes chercheurs, ingénieurs et techniciens, qui doivent être sensibilisés à la question de la soutenabilité de leur recherche dès leur entrée dans l'organisme. Sans limiter le spectre des compétences à recruter, **il est indispensable de favoriser l'entrée de physicien.ne.s portant des projets compatibles avec la transition énergétique et environnementale** du point de vue des applications ou de nouvelles pratiques en recherche.

III - Recommandations de l'atelier concernant la politique de recherche institutionnelle

Le pilotage de la recherche publique repose actuellement pour une large part sur un financement par appels d'offre compétitifs. La mise en place de ce modèle depuis les années 90 a accompagné la libéralisation de l'économie, avec comme principe sous-jacent l'idée qu'une forte concurrence entre acteurs était la garantie d'une affectation optimale des ressources financières.

Au-delà de toute considération idéologique, si ce point de vue pouvait s'entendre dans un contexte d'abondance, **un tel modèle apparaît clairement inadapté à la situation à venir, de ressources limitées et de nécessité absolue de prise en compte des externalités négatives de la recherche.** En effet, une telle compétition ouverte, sans coordination, est par nature inefficace du point de vue de la sobriété : elle permet que plusieurs équipements identiques puissent être achetés, que des simulations concurrentes sur les mêmes modèles soient effectuées, que des expériences similaires soient menées, etc. L'individualisation des financements (à l'échelle d'un individu ou d'une équipe) conduit également à de fortes fluctuations des moyens disponibles, qui sont un obstacle à une

¹⁵ Voir aussi la recommandation du 2/2/2023 du conseil scientifique de l'INP :

cnrs.fr/comitenational/csi/reco/Recommandations/INP/CSI_INP_Recommandation_referents_dev_durable.pdf

¹⁶ Jalowiecki-Duhamel, et al.. Parité et évaluation non-discriminatoire au CNRS. [Rapport Technique] Comité Parité, Section 14, Comité National de la Recherche Scientifique CoNRS (mandature 2016-2021). 2021. hal-03311372

utilisation optimale de ressources devenues rares.

Il nous paraît donc souhaitable et urgent de **revenir à une forme de planification des moyens de la recherche et à une coordination dans leur allocation aux différents acteurs**. Dans cette perspective, **les opérateurs de recherche que sont le CNRS et les Universités devraient voir leur rôle renforcé** car, contrairement aux agences de moyens, ils disposent d'une vision globale du paysage scientifique et ont la capacité d'affecter du personnel. Ils doivent être replacés au centre du système de recherche et se voir confier les moyens (financiers et humains) de mener une politique scientifique à l'échelle nationale¹⁷. **Ces opérateurs doivent également prendre leur responsabilité pour définir des normes communes en termes d'objectifs de réduction d'émission pour chaque laboratoire**, prenant en compte les spécificités de chaque sous-discipline, afin de couper court aux tensions évoquées dans la première partie de ce rapport.

Favoriser les dynamiques coopératives

Ce changement de paradigme dans le pilotage de la recherche nécessite une **« désindividualisation » du financement** : les moyens devront être confiés à des collectifs de recherche qui auront la charge de les distribuer de manière à optimiser l'usage des ressources. **Les laboratoires de recherche doivent ainsi bénéficier d'une part plus importante de leurs ressources sous forme de crédits récurrents**, dont l'utilisation doit être assouplie afin notamment d'autoriser les reports annuels de crédit et donc de permettre une programmation pluriannuelle des investissements. À l'inverse, les appels d'offre individuels doivent être en partie redirigés vers des structures de recherche collectives (laboratoires, fédérations, etc.).

Ce changement dans les modes de financement doit s'accompagner d'un **soutien des tutelles aux efforts de la communauté des physicien.ne.s visant à partager les équipements** (comme dans le cas des TGIRs, voir encadré). Ce partage des moyens permet en effet des économies d'échelle et limite les redondances. Il faut créer de nouvelles plateformes disposant du personnel dédié en nombre suffisant pour une utilisation optimale. **La création ou le renforcement des fédérations de recherche intégrées, qui mettent en commun du matériel, des plateformes, du personnel technique etc., doit également être encouragées**. Le rôle des groupements de recherche (GDR) nous semble également primordial pour permettre à une communauté scientifique de coordonner ses efforts autour d'un enjeu particulier. Ils devraient pouvoir recevoir un financement significatif permettant de mener des recherches collaboratives au sein de ce réseau.

Pour une subsidiarité des échelons de financement de la recherche

Cette planification des moyens se heurte actuellement à la multiplicité des échelons de financements (local / régional / national / européen / international) qui induit complexité et redondance. Les outils numériques ont rendu possible la multiplication à l'infini d'appels à projets microscopiques qui, au-delà de la perte de temps induite, contribuent à la grande volatilité du niveau de financement dont bénéficient les équipes de recherche.

Nous plaçons donc ici pour que, **dans la mesure du possible, chaque donneur d'ordre soit doté d'un périmètre propre de financement**. Ainsi par exemple, **les régions pourraient concentrer leur effort de recherche sur le financement d'infrastructures régionales et sur la rénovation du bâti** afin notamment d'en améliorer les performances énergétiques. **L'Europe devrait quant à elle réserver ses moyens au soutien à des grands projets internationaux** (type grands instruments) mais limiter fortement son intervention dans le financement de la recherche nationale dont elle ne

¹⁷ Il paraît de ce point de vue incompréhensible que l'INP ne soit pas associé au programme France 2030 economie.gouv.fr/france-2030

dispose d'aucune vision d'ensemble.

Garantir le caractère collégial dans le pilotage de la recherche

L'un des arguments en faveur de la multiplicité des guichets de financement, telle que nous la connaissons actuellement, est de libérer les chercheurs d'une dépendance excessive à l'égard de la direction du laboratoire, et au-delà de leur tutelle directe (CNRS ou Université). Un risque possible inhérent au mode de financement proposé plus haut est donc le retour d'une forme de mandarinat doublé d'un dirigisme institutionnel accru sur la recherche. Aussi est-il impératif que cette évolution s'accompagne d'un **renforcement de structures collectives (conseils de laboratoires, Comité National du CNRS, Conseils scientifiques) permettant de débattre collégialement et de manière transparente des orientations de la recherche**¹⁸.

Ces espaces de délibération devront s'assurer du maintien d'un équilibre entre recherche fondamentale et à visée applicative, dans un contexte où la demande sociétale autour des enjeux environnementaux sera forte. Il s'agira de **préserver un espace de liberté aux chercheurs, y compris sur des sujets « blancs » sans lien direct avec les questions d'environnement**. L'histoire des sciences nous a montré que c'est ainsi que certaines découvertes majeures sont faites, pouvant permettre de répondre aux défis actuels et futurs. Même en ce qui concerne les questions liées à l'environnement, il est essentiel que se déploie un vaste spectre de recherches dont l'objet ne serait pas limité à des technologies visant à répondre à la crise écologique.

Renforcer le dialogue de la communauté scientifique avec la société

Dans un contexte de tensions sur les ressources et de crise environnementale, **la recherche en physique devra faire preuve de transparence à l'égard du grand public**. Il en va de notre capacité à maintenir un soutien de l'opinion aux efforts consentis en faveur de cette discipline mais aussi de notre attractivité vis-à-vis des jeunes générations. Ce dialogue renforcé avec la société permettra de démontrer une attention sincère aux enjeux de sobriété dans ses pratiques. Il permettra également de montrer que la physique peut apporter des réponses aux enjeux actuels qui ne sont pas seulement technologiques.

Nous devons, dans un cadre ouvert de type convention citoyenne, mener une évaluation critique des grands domaines de recherche bénéficiant de financements spécifiques importants, e.g. quantique, énergie, ITER, etc. Cette réflexion devra permettre d'éclairer la réalité des impacts socio-environnementaux de ces recherches et de leurs éventuelles retombées technologiques. Une telle démarche pourrait s'inspirer du GDS ecoinfo¹⁹ pour ce qui concerne le numérique.

Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR)

Les TGIR peuvent être considérées comme un modèle d'utilisation partagée d'un même instrument par la communauté. Néanmoins, compte-tenu du poids significatif des grands instruments dans le bilan environnemental de la recherche en physique, ils doivent faire l'objet d'une attention particulière.

On peut s'étonner à ce titre que les données d'empreinte environnementale et carbone des TGIR n'aient pas fait l'objet d'une étude systématique. Le CERN, les infrastructures d'astrophysique et de physique des particules, l'ESRF, l'ILL et le LNCMI ont néanmoins effectué ce travail²⁰. Des estimations

¹⁸ Cette nécessité rejoint les recommandations exprimées par le COMETS dans son récent rapport (voir note 2).

¹⁹ ecoinfo.cnrs.fr

²⁰ hse.cern/environment-report-2019-2020/emissions ; arxiv.org/abs/2203.12389 ; arxiv.org/abs/2201.08748 ; esrf.fr/files/live/sites/www/files/Infrastructure/Safety/Bilan%20GES%20ESRF%20r%C3%A9%202018.pdf ; bilans-ges.ademe.fr/bilans/consultation/9395db73-b1cd-11ed-8fce-005056b7acd1/fiche-identite ;

partielles ont par ailleurs été proposées dans le cadre de BGES de leurs laboratoires. Comme attendu, la consommation électrique est un poste clé. En France, l'électricité étant peu carbonée, il s'ensuit des émissions plus faibles qu'à l'étranger (USA, UK, DE,...). Dans les années à venir, l'accès à la ressource électrique va néanmoins devenir de plus en plus sollicitée du fait de la nécessité de décarbonation de nombreux secteurs (transports, industrie, chauffage). Il n'est pas exclu que cette concurrence entre TGRs et autres usages électriques aboutisse à la nécessité de périodes d'arrêts et à la nécessité d'une sélection plus drastique des projets de recherche.

Un point d'attention est également le risque d'une augmentation en fréquence et en intensité d'événements climatiques pouvant affecter les infrastructures (incluant les centres de calculs et de données). Il paraît indispensable de mettre en place les plans de prévention de ces risques.

Nous identifions plusieurs perspectives d'évolution.

Il sera important d'intégrer davantage les TGRs au sein de la société : valorisation de leur chaleur fatale, organisation collective de la possibilité d'interruptions des expériences lors des périodes de tension sur les réseaux électriques ou sur les ressources, etc. Il faudrait aussi engager dès à présent des efforts de réduction de la consommation électrique. Les leviers techniques sont identifiés. Ainsi, l'*upgrade* de l'ESRF a permis de réduire la consommation tout en augmentant la luminosité de l'instrument. Une forte consommation énergétique peut être associée à des choix de conception (European Spallation Source par exemple), qui devront être questionnés dans le futur. Des évolutions de l'organisation pourraient aussi permettre de profiter au mieux des appareils, avec un recrutement de techniciens de maintenance et d'opérateurs qui pourrait s'avérer un levier essentiel.

Il faudra questionner la trajectoire historique générale d'augmentation de puissance et de développement des nouveaux instruments. L'*upgrade* de l'ESRF par exemple laisse entrevoir une augmentation forte du volume de données nécessitant l'implantation de *datacenters* dédiés dont le coût environnemental sera élevé. Ces deux perspectives sont donc en partie antagonistes dans l'esprit. Par ailleurs, les coûts financiers ne représentent en général pas correctement les impacts environnementaux, ni les enjeux en matière de ressources humaines. Il serait donc particulièrement pertinent que les choix politiques intègrent au maximum ces enjeux et associent de plus l'ensemble de la communauté des physicien.ne.s.

Enjeux du numérique

Le numérique est omniprésent dans la recherche scientifique. Non seulement l'ensemble des personnels utilisent ordinateurs, réseaux et logiciels pour leurs tâches quotidiennes, mais la simulation et le stockage de données prennent également une part croissante dans la recherche en physique, au côté de la théorie et de l'expérimentation. Grâce aux travaux du GDS EcoInfo¹⁸, il a été montré que le numérique pèse 2 à 4% des émissions mondiales et 10% de la consommation électrique (en France), avec un impact en très forte croissance.

La part liée à la fabrication du matériel est prépondérante et laisse entrevoir des tensions futures sur certains matériaux (pour l'électronique, les batteries etc.). Une meilleure politique d'achat et de maintenance pourrait améliorer significativement ce poste : garantie étendue, jouvence raisonnée, mutualisation, achat de matériel d'occasion, analyse systématique du cycle de vie du matériel, etc. De telles démarches supposent que les laboratoires aient une visibilité financière suffisante afin de planifier leurs investissements sur plusieurs années.

La part des données est aussi en forte croissance et devrait encore augmenter à l'avenir (« *big data* » venant des grands instruments, utilisation massive de l'intelligence artificielle). Concernant l'INP, ces données (issues d'expériences ou de simulations) doivent être conservées sur le long terme pour

pouvoir être (ré)exploitées ultérieurement. Il faut donc organiser un stockage fiable mais économe. Les données ne doivent ainsi pas nécessairement être disponibles instantanément, mais pourraient être rendues accessibles en quelques jours (« données froides »). Pour répondre à ce défi, l'INP doit se doter d'un véritable plan de gestion de données.

La simulation numérique requiert la même planification face à un développement rapide. La France va accueillir une machine exascale (Jules Verne) dont la consommation annuelle pourrait égaler celle de tous les labos du CNRS²¹! La hausse de consommation d'énergie des centres de calculs est vertigineuse : l'IDRIS consommait 1200kW en 2008, 2500kW en 2011 et 4500kW en 2023. Le coût complet GES d'une heure de calcul sur un coeur, estimé à 5 gCO₂e dans un mésocentre²², conduit à des émissions importantes pour les grands projets représentant typiquement 10 millions d'heures. Les comités techniques doivent s'assurer que de tels projets sont très bien justifiés.

Il faut aussi interroger la hausse rapide des puissances consommées par ces centres de calculs : les avancées majeures en simulation numérique doivent en effet plus aux progrès algorithmiques qu'à ceux des calculateurs. En outre, la loi de Koomey²³ montre qu'à énergie constante, la capacité de calculs double tous les 18 mois. Développer une informatique frugale paraît ainsi particulièrement pertinent. Il faut également encourager les efforts de certains centres de calcul pour optimiser les ressources en recyclant par exemple la chaleur fatale (exemple du calculateur Jean Zay).

Recommandations de l'atelier

Donner aux laboratoires les moyens d'une transition environnementale.

> Nous encourageons les tutelles à fournir un cadre commun et les outils permettant à toutes les structures de recherche de connaître leur empreinte environnementale. Chaque laboratoire, plateforme et TGIR devra, après un débat collégial, proposer un plan pluriannuel à 5 ou 10 ans de réduction de ses émissions. Ces trajectoires doivent être discutées avec les tutelles en fonction d'un objectif global de réduction mais en prenant en compte les contraintes spécifiques de chaque structure. La réalisation de ces objectifs sera ensuite soutenue par des financements spécifiques des tutelles permettant les transformations nécessaires, la jouvence d'équipements, etc.

> Nous recommandons que les laboratoires, accompagnés et soutenus par leurs tutelles, identifient l'ensemble des risques (événements climatiques, pénuries en ressources) et leur impact sur leurs activités, afin de mettre en place un plan d'action pour y répondre.

> Une politique volontariste pour le recrutement de personnels techniques devrait être engagée pour permettre aux laboratoires une transformation des pratiques (réparation, fabrication frugale, maintenance, utilisation optimale des équipements et infrastructures). L'investissement dans ces nouvelles tâches doit être valorisé dans les carrières, pour les chercheurs comme pour les ITA.

> Nous suggérons que le CNRS et les autres opérateurs de recherche accompagnent les souhaits de réorientation thématiques dans le cadre de la transition écologique. Les nouvelles pratiques de

²¹ Le programme HPC recommande de ne pas dépasser 20 MW, soit 175 GWh par an pour une utilisation continue.

²² hal.science/hal-02549565. L'analyse faite par GENCI est comparable (5 tCO₂e par projet en moyenne, allant jusqu'à 50 tCO₂e pour les très fortes demandes)

²³ fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Koomey

recherche (organisationnelles ou techniques) visant à réduire l'impact environnemental doivent être valorisées. Un soutien doit être apporté également à l'émergence d'une véritable "physique frugale".

> Nous recommandons un soutien systématique aux initiatives visant au partage de ressources entre les laboratoires, qu'il s'agisse d'équipements partagés, plateformes, magasins, bourse d'échange, etc. Ce soutien doit inclure des moyens financiers et humains.

> Le financement sur contrat étant source d'inefficacité dans l'utilisation des ressources, une organisation plus vertueuse demande un fort rééquilibrage du financement de la recherche au profit des moyens directement affectés au laboratoire par les tutelles (FEI). Ceux-ci donnent aux laboratoires les moyens d'une politique scientifique raisonnée du point de vue des investissements et respectueuse de la trajectoire de réduction des émissions. Les contraintes sur l'utilisation des financements publics doivent être assouplies, permettant notamment le report annuel des crédits, et le transfert entre les postes de fonctionnement, équipement et salaire. Ces évolutions devront s'accompagner d'un renforcement des structures collectives (conseils de laboratoires, Comité National du CNRS, Conseils scientifiques) permettant de débattre collégialement et de manière transparente des orientations de la recherche.

Pour un pilotage de la recherche cohérent, sincère et ouvert sur la société

> Nous encourageons les opérateurs nationaux et les Universités à engager sans tarder un effort de planification de la gestion des ressources critiques (eau, électricité, hélium...), de la rénovation énergétique du bâti, de la résilience aux événements climatiques extrêmes, et de la réduction des déchets et pollution.

> Nous recommandons que les informations sur l'empreinte environnementale des TGIRs soient rassemblées et rendues publiques rapidement. Les projets de nouvelles infrastructures ou de rénovation devraient être systématiquement précédés d'une étude d'impact environnementale et énergétique, qui inclut les conséquences en termes d'émissions, production de déchets, consommation électrique, consommation en eau et autres ressources, etc.

> Nous proposons que l'ensemble des financeurs de la recherche fournissent une trajectoire de réduction des émissions associées aux achats et missions permis par leur financement, ainsi que des impacts de leur fonctionnement interne. Les demandes de financement devraient donc intégrer une estimation des émissions liées aux achats prévus dans les projets.

> Nous préconisons une subsidiarité entre les différents financeurs (local, national, européen) afin d'éviter les redondances et de favoriser une optimisation dans l'affectation des ressources. L'échelon local devrait en priorité se concentrer sur le soutien aux infrastructures locales et les moyens mutualisés, l'échelon européen pour les grands projets collaboratifs internationaux.

> Nous encourageons la poursuite des efforts menés par le CNRS en faveur d'une politique cohérente sur les marchés publics. Celle-ci doit notamment favoriser les fournisseurs offrant de meilleures conditions de garantie, de maintenance et de durabilité, et une gestion de la fin de vie du matériel.

> Le maintien d'une diversité des thèmes scientifiques en physique et d'un espace de liberté pour les chercheurs doit être garanti face à une demande sociétale croissante autour des enjeux environnementaux.

> Les personnels de la recherche devraient être formés aux enjeux environnementaux et sociétaux de leur activité. Nous proposons la création d'un GDS (sur le modèle du GDS ecoinfo) offrant un cadre de discussion critique et constructif sur les promesses technologiques issues de la physique, notamment sur les grands projets aux financements lourds et sur un temps long.

> Nous proposons l'organisation de conventions citoyennes afin d'éclairer la réalité des impacts socio-environnementaux de nos recherches et de leurs éventuelles retombées technologiques.

Auteurs et autrices du rapport:

Coordination : Emmanuelle Lacaze, Georges Debrégeas

Bureau : Christophe Arnold, Sylvain Capponi, Delphine Debarre, Laëtitia Marty, Guillaume Roux

réfèrent INP : Sylvain Ravy

Liste des personnalités auditionnées:

Eric Humler (président du comité des Très Grands Equipements Scientifiques et Très Grandes Infrastructures de Recherche-TGIR)

Laurence Magaud (directrice de l'Institut Néel, Grenoble), Carole Le Contel et Julie Kolski: (DR adjointe et responsable RH de la DR4, Île-de-France Sud)

Benoît Devincré (DAS INP), Cécile Delacour (collectif CoNRS sobriété, Institut Néel), Pablo Jensen (collectif CoNRS sobriété, chargé de mission pour la transition écologique et la responsabilité sociétale, ENS Lyon)

Michel Eddi (haut-fonctionnaire développement durable MESR), Benoit Laignel (chargé de mission sur la transition écologique pour un développement soutenable, MESR)

Xavier Chaud, Romain Raison, Kevin Paillot, François Debray, Benjamin Vincent (agents du LNCMI-Grenoble impliqués dans des projets de réduction des consommations énergétiques de leurs infrastructures)

Remerciements

André Estevez-Torres (LJP), Sophie Bouchoule et Aristide Lemaitre (C2N), tous les chercheur.se.s ayant partagé avec nous leurs BGES de laboratoire, tous les collègues ayant participé aux auditions.

Arnaud Beck, groupe de travail « Nouveaux enjeux du numérique », avec qui nous avons organisé une séance commune.