

Rapport de synthèse des travaux du groupe

I.2: Transition Carbone et Écologique

Sylvain Bontemps, Sylvie Cabrit, Mickael Coriat, Zelia Dionnet, Patrick Hennebelle, Florence Laurent, Aurélie Marchaudon, Ana Palacios, Alexandre Santerne, Jenny Sorce
accompagnés par Antoine Hardy (sociologue à Sciences Po Bordeaux)

1. Introduction	1
2. Astronomie et dérèglement climatique : l'état des lieux	2
3. Agir pour réduire notre impact environnemental	4
Mesurer et Sensibiliser	5
Réduire les émissions de GES directes sans impacter l'activité de recherche	5
Faire des choix scientifiques forts, assumés et soutenus	6
4. Diffuser, influencer, impacter au delà de l'INSU-AA	8
Influencer par l'exemplarité	8
Mieux diffuser les messages scientifiques	9
5. Anticiper le futur afin de s'y préparer	10
Miser sur l'humain et le collectif pour s'adapter aux changements	10
6. Conclusion	11

1. Introduction

Le dérèglement climatique, ainsi que les autres dégradations environnementales qui l'accompagnent¹, (la perte de la biodiversité, désertification, les nouvelles pollutions chimiques, etc...), dont l'origine anthropique est incontestable, représentent un risque majeur pour nos sociétés et l'habitabilité de la Terre. Selon les rapports du GIEC, la solution unanime pour contrer cette menace consiste à réduire rapidement et drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre (GES). Pour limiter le réchauffement global comme stipulé dans l'accord de Paris de 2015 signé par 194 États, il est nécessaire aujourd'hui de suivre une trajectoire de réduction des émissions de GES de -7% par an, afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Bien que les bénéfices sociétaux de l'astronomie soient indéniables, notre communauté doit suivre cette trajectoire inscrite dans la loi française et européenne (Stratégie Nationale Bas Carbone - SNBC², Pacte Vert pour l'Europe³). Le PDG du CNRS et 15 autres responsables d'organismes nationaux de recherche, dont le CNES et l'ANR, se sont engagés à rendre ces organismes exemplaires dans la transition écologique⁴. De plus, le comité d'éthique du CNRS (COMETS) souligne dans son rapport de décembre

¹Dans la suite de ce rapport, nous nous concentrons sur les émissions de GES sans traiter les autres impacts environnementaux qui devront à terme aussi être pris en compte.

² <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

³ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr

⁴

<https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/la-recherche-au-service-de-la-transition-ecologique-et-du-developpement-soutenable-16-organismes-94485>

2022⁵ que *“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”*. Cette transition est donc une obligation légale, morale et éthique à laquelle aucune communauté de recherche en France ne peut se soustraire.

Les projections climatiques récentes (Xu, Ramanathan & Victor, 2018) indiquent que, malgré les efforts actuels, le réchauffement global atteindra environ +2°C avant 2050. Cela entraînera des transformations brutales pour lesquelles nos sociétés ne sont pas prêtes (migrations massives, pénuries alimentaires, accès difficile à l'eau potable, restrictions énergétiques, épidémies zoonotiques, etc., voir Rapport du GIEC AR6 WG2). Face à ces perspectives inquiétantes et graves, dont nous endurons déjà les premières conséquences, qu'advient-il de notre capacité à mener de la recherche de pointe, si la société est en crise profonde ? Pour assurer notre résilience, il nous faut non seulement participer résolument à la transition (réduction de notre empreinte) mais aussi et surtout anticiper ces changements drastiques que nous subissons et qui nous seront imposés.

La transformation requise ne peut reposer exclusivement sur les initiatives individuelles ou l'engagement, actuellement hétérogène, des laboratoires. Pour être efficace, juste et équitable, des décisions contraignantes doivent être prises à tous les niveaux (cf Rapport du GIEC AR6 WG3), notamment par la gouvernance de l'INSU, de la CSAA, des PN, des OSU, des UMR et des responsables de projets. Les nombreux échanges que nous avons eus au cours de cet exercice, avec les DU, les responsables de PN, les présidentes de sections CNRS et CNAP, et le personnel de laboratoires montrent que la communauté AA est largement consciente des enjeux et demande aux instances décisionnaires de l'INSU d'engager des directives claires et ambitieuses.

Après un état des lieux (section 2), nous discutons les leviers d'action possibles au sein de la communauté INSU AA (section 3), puis ceux au-delà de notre communauté pour influencer et aider à une transition forte et harmonieuse (section 4) et nous donnons des recommandations immédiates et pratiques qui sont répertoriées dans ces deux sections. Nous terminons par une projection en 2050 (section 5) pour prendre conscience de l'urgence et de l'inévitabilité des actions à engager immédiatement. Nous concluons en section 6.

2. Astronomie et dérèglement climatique : l'état des lieux

Comme toute activité humaine, la recherche en astronomie émet des GES. Leur quantification est indispensable pour une transition efficace. Les sources d'émissions de GES de l'astronomie en France incluent : (1) les laboratoires (consommation d'énergies, de fluides frigorigènes, salles blanches, plateformes de test), (2) les déplacements domicile-travail et professionnels (conférences, réunions de projet, campagnes d'observation, missions techniques, etc.), (3) les achats courants (instruments, matière première, transport, services) et informatiques (ordinateurs, écrans, serveurs de calcul, etc.), (4) le calcul haute-performance dans les centres de calcul régionaux et nationaux et (5) les grandes infrastructures de recherche (télescopes au sol, instrumentation, missions spatiales, etc.)

5

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

Pour quantifier les émissions de GES de la communauté AA en France, nous avons différencié les émissions internes aux laboratoires (#1, #2, et #3) des émissions externes (#4, #5). Les premières, quantifiées grâce à l'outil GES 1point5 (Mariette et al. 2023), sont basées sur les résultats des bilans de GES 2018 ou 2019 de 12 UMR⁶, représentant 88% de la communauté AA. En corrigeant de la complétude, l'ensemble des laboratoires AA auraient ainsi émis environ 14 kt CO₂eq/an. Pour le calcul intensif (#4), les 300 MhCPU utilisées par la communauté AA sur le cluster Jean Zay correspondent à 1,5 kt CO₂eq/an selon le facteur d'émission d'EcoInfo (Berthoud et al., 2020).

Pour les grandes infrastructures de recherche (#5), nous avons considéré ici uniquement celles dans lesquelles la France est directement impliquée⁷ : ESA, ESO, CFHT, IRAM, THEMIS, TBL, et T193. Leurs émissions de GES ont été évaluées selon la méthode de Knödlseeder et al. (2022) en supposant un temps d'amortissement de la construction de 38 ans (Knödlseeder et al., 2024). La part des émissions attribuée à la communauté française est basée sur sa contribution financière (~20% pour l'ESA, ~15% pour l'ESO, ~45% pour le CFHT), totalisant 24 kt CO₂eq/an dont environ $\frac{2}{3}$ issus de l'activité spatiale et $\frac{1}{3}$ des observatoires au sol.

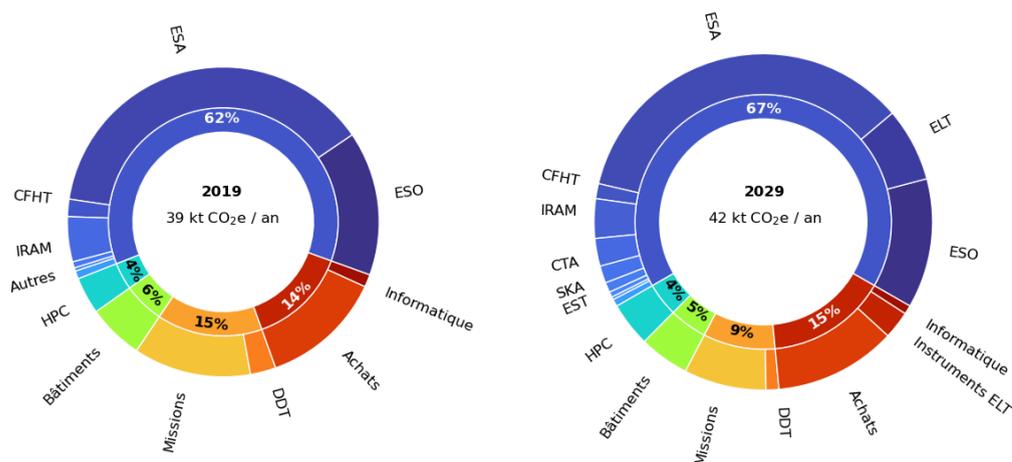
Au total, la communauté astrophysique française émet donc près de 39 kt CO₂eq/an, soit près de 56 tCO₂eq/an/astronome ou 20 tCO₂eq/an/personne⁸, ce qui est plus de 3 fois supérieur à la moyenne des laboratoires utilisant GES 1point5. De par son instrumentation, qui représente plus de 60% du BGES total (voir Figure ci-dessous), notre communauté de recherche est parmi les plus émettrices en France.

À partir des engagements déjà pris, il est possible de faire une projection du bilan de GES de notre communauté d'ici la fin du prochain mandat, soit en 2029. De nouveaux moyens comme l'ELT, CTA, SKA, EST et leurs instruments seront opérationnels et s'ajouteront aux infrastructures existantes, augmentant les émissions de GES d'environ 5 kt CO₂eq/an. En supposant arbitrairement que le calcul HPC continue d'augmenter de 20% en 10 ans et que les émissions intra-UMR diminuent d'environ 20% d'ici 2029, il en résulte un bilan de GES d'environ 42 kt CO₂eq/an en 2029, soit une augmentation de +8%, loin de l'objectif de -55% fixé par les engagements nationaux et internationaux.

⁶ IAP, IAS, IPAG, IRAP, LAB, Lagrange, LAM, LERMA, LESIA, LISA, LMD, et l'ObAS

⁷ L'observatoire radioastronomique de Nançay est supposé avoir un bilan d'émission de GES négligeable, comme cela s'avère être aussi le cas du TBL, de l'OHP/T193, et de THEMIS. Les instruments pilotés principalement par la communauté de physique des particules ne sont pas inclus.

⁸ basé sur environ 2000 personnels en AA (incluant ITA, doctorant·es, post-doctorant·es) dont environ 700 astronomes (Mamon, 2003)



Estimation (toujours en cours) des bilans de GES de la communauté AA en France en 2019 et 2029. HPC = calcul haute performance. DDT = déplacements domicile travail

L'astronomie contribue au changement climatique, mais en subit aussi les effets. Les conditions d'observation dans les observatoires au sol se dégradent, avec par exemple une augmentation de la turbulence et du seeing au Chili (Cantalloube et al., 2020), des vents forçant la fermeture des coupoles au Mauna Kea (van Kooten & Izett, 2022), et une hausse d'humidité (Allan et al., 2022). Certains phénomènes, comme El Niño, peuvent toutefois avoir un effet positif sur certains observatoires (Seidel, Otarola & Théron, 2023). La prolifération d'objets en orbite basse perturbe de plus en plus les observations astronomiques terrestres (Hainaut & Williams, 2020; Vruno et al., 2023), nécessitant également une adaptation face à l'absence de régulation internationale stricte.

3. Agir pour réduire notre impact environnemental

L'état des lieux montre que notre communauté a un impact environnemental significatif, bien supérieur à la moyenne nationale des laboratoires de recherche (~6 t CO₂eq/personne, Mariette et al., 2022 ; De Paepe et al., 2023). Cela est dû au grand nombre de projets instrumentaux portés par notre discipline à forte composante observationnelle. Les engagements instrumentaux pris ces dernières années vont encore accroître notre bilan GES, alors qu'il devrait fortement diminuer pour répondre aux objectifs nationaux et internationaux du CNRS et de la France. Nos décisions d'aujourd'hui détermineront la capacité de notre communauté à remplir les objectifs de transition environnementale et à devenir plus résiliente face aux changements à venir.

Pour atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050, ce qui revient à diminuer nos émissions de GES de 7% / an dès 2025, la communauté INSU/AA doit s'engager immédiatement dans une transition forte. Cette trajectoire est essentielle pour assurer la pérennité de notre domaine de recherche dans un monde bas carbone tout en maintenant un apport sociétal pour les générations futures. Une telle trajectoire signifie repenser notre pratique professionnelle en profondeur. Bien que cela puisse sembler compromettre notre compétitivité, cela renforce en fait notre résilience à long terme.

Mesurer et Sensibiliser

Pour s'engager effectivement dans la transition, il est impératif d'améliorer notre capacité à mesurer précisément, systématiquement et régulièrement les impacts environnementaux de toutes nos activités, en particulier des infrastructures de recherche. Cela implique de réaliser des analyses de cycle de vie (ACV) couvrant développement, construction, opérations, démantèlement et recyclage, moyennés annuellement sur la durée de vie des installations. Cette tâche ne devra pas apparaître comme une nouvelle charge bureaucratique supplémentaire pour les personnels de la recherche déjà fortement sollicités. Cela nécessitera du personnel dédié et des outils automatiques et homogènes à tous les niveaux. Cette quantification ne devra pas être un préalable à l'action, car nous possédons suffisamment d'informations pour engager les changements dès maintenant.

Il convient également de continuer à sensibiliser les personnels en s'appuyant sur ces bilans et ACV pour augmenter la prise de conscience collective et faciliter l'acceptation ainsi que la mise en place des mesures nécessaires à la transition environnementale. La sensibilisation et l'information sont par ailleurs des étapes indispensables pour permettre à tous et toutes de faire des choix éclairés et d'obtenir une adhésion communautaire forte.

Réduire les émissions directes de GES sans impacter l'activité de recherche

Un tiers des émissions de GES de notre communauté provient directement des actions des chercheur·ses au sein des laboratoires et peut être réduit fortement avec un impact acceptable sur l'activité de recherche. Une mesure clé est de limiter les déplacements aériens, auxquels notre communauté recourt plus que d'autres domaines de recherche (Blanchard et al., 2022). Réduire fortement les vols long-courriers (missions plus longues et multi-objectifs) et privilégier les réunions scientifiques frugales (réduction des déplacements, visioconférence, etc) ou le train pour les déplacements intra-européens constitue un levier d'action majeur (Ben Ari et al., 2024). Il est crucial que les tutelles, notamment le CNRS, soutiennent l'usage du train comme moyen de transport bas carbone, même si cela augmente les coûts financiers. Les déplacements domicile-travail seront optimisés par la décarbonation des transports. Le télétravail généralisé n'est pas recommandé pour préserver la cohésion des laboratoires et des équipes.

Les achats représentent un poste important d'émission de GES dans les laboratoires et qui peuvent tendre à augmenter avec le développement de nouveaux instruments (comme pour l'ELT par exemple). Pour le réduire, il est important que les tutelles incluent des critères environnementaux dans les marchés et prolongent la durée d'utilisation des matériels, notamment en informatique afin de préserver les ressources.

La consommation énergétique des bâtiments est un autre levier significatif pour réduire les émissions de GES sans impacter l'activité de recherche. Il convient de procéder à la rénovation des bâtiments afin d'améliorer leur efficacité énergétique, plutôt que d'en construire de nouveaux, ainsi que de soutenir le développement de panneaux solaires (thermiques et/ou photovoltaïque) pour ceux dont l'activité technique est très énergivore, comme les salles blanches. Un plan de réduction de ces infrastructures gourmandes en énergie devrait être initié d'ici 2030 à l'échelle des universités et du CNRS.

L'impact des usages numériques est aujourd'hui relativement modeste mais en forte croissance, surtout avec le développement du machine learning et de l'intelligence artificielle. Ces technologies offrent des avantages pour réduire les temps de calcul et augmenter l'efficacité de l'analyse de données, mais sont susceptibles de générer un effet rebond considérable. La communauté AA doit être mieux accompagnée dans

l'éco-conception de ses codes numériques, en suivant les recommandations du GDS EcoInfo⁹.

Les actions envisagées actuellement pour optimiser l'activité de recherche ne sont pas assez ambitieuses pour atteindre nos objectifs (-55% d'ici 2030 et -80% d'ici 2050) et pourraient ne permettre de réduire nos émissions collectives de GES que de l'ordre de 20%¹⁰, bien en deçà de ces objectifs. Pour les atteindre, une révision profonde de notre pratique, notamment de notre relation avec l'instrumentation et l'exploitation scientifique associée, est indispensable.

Faire des choix scientifiques forts, assumés et soutenus

Environ deux tiers de notre impact environnemental provient de notre participation aux grandes infrastructures de recherche au sol et dans l'espace. Réduire cette empreinte carbone est crucial, mais s'avère complexe tant ces infrastructures sont centrales dans notre activité. L'optimisation des moyens existants et futurs, via l'éco-conception notamment, est une approche à soutenir, mais elle ne sera pas suffisante pour atteindre l'objectif de -7% / an (Knödlseider et al., 2024). Il faut donc aussi réduire le nombre d'infrastructures de recherche en astronomie.

Il faut d'abord éviter toute duplication instrumentale en renforçant les collaborations entre laboratoires, pays et agences (voir aussi GT III.4 "Modèles de développements instrumentaux"). Cet effort de mutualisation des moyens est déjà bien engagé par une partie de la communauté avec des observatoires internationaux comme ALMA, SKA, CTA mais reste encore limité dans d'autres domaines comme celui de l'optique et IR (e.g. ELT vs GMT vs TMT) ou celui du spatial où la compétition entre pays est persistante.

Pour réduire significativement le nombre d'instruments, il convient surtout de faire des choix plus forts et de remettre les grandes questions scientifiques au cœur des processus de sélection, avant les considérations techniques, financières ou géopolitiques extra-scientifiques qui prévalent aujourd'hui trop souvent dans la programmation AA. Pour assurer une programmation durable de la recherche en astronomie, les moyens sélectionnés doivent s'inscrire dans le cadre d'une prospective scientifique qui mette plus en avant la notion d'efficacité scientifique en s'assurant d'un retour scientifique à la hauteur des investissements financiers, humains mais aussi environnementaux. Cette prospective doit aussi s'inscrire sur le très long terme (au moins aussi long que la durée de développement et d'exploitation des instruments) en identifiant les très grandes questions des thématiques, en prenant plus exemple sur les exercices menés par p.ex. la NASA (astro decadal 2020), l'ESA (Voyage2050), l'Europe (AstroNet) (voir aussi GT III.4 "Articulation Europe International").

Dans un contexte où le nombre de personnels d'appui à la recherche est en constante diminution (voir GT III.3 "Ressources Humaines"), il n'est pas soutenable de continuer à développer de plus en plus d'instruments (Knödlseider et al., 2024). Outre l'impact environnemental, cela accroît les risques psycho-sociaux et diminue la satisfaction professionnelle. De plus, plusieurs indicateurs¹¹ montrent que notre communauté manque cruellement de ressources humaines pour exploiter scientifiquement les instruments qu'elle conçoit. Cela est d'autant plus critique pour l'astronomie sol qui ne bénéficie pas des

⁹ <https://ecoinfo.cnrs.fr>

¹⁰ Sur la base des scénarios de transition effectués dans les laboratoires

¹¹ Ces indicateurs seront détaillés dans la version longue du rapport

financements dédiés du CNES, mais dépend plutôt de projets ERC ou ANR aux résultats trop incertains et souvent décalés temporellement.

La France finance et développe de nombreux moyens en astronomie, mais peine à les exploiter scientifiquement (voir aussi GT III.1 document long ainsi que GT III.3 “Ressources Humaines”). Pour rétablir cette situation, la baisse du nombre d’infrastructures de recherche doit être compensée, à budget constant, par une augmentation des ressources humaines pour l’exploitation de données nouvelles et d’archives en couvrant tout le spectre des fonctions : bourse de thèse, financement de post-doctorat, poste de (enseignant·e-) chercheur·se et d’ingénieur.e.s de recherche, sans oublier du personnel d’appui à la recherche pour que les astrophysicien·nes puissent dégager plus de temps pour leur mission première, celle de faire de la recherche.

Pour réussir la transition environnementale, il est enfin crucial de repenser notre mode de fonctionnement et notre conception de l’excellence. Cela implique de dépasser les critères productivistes et carbonés comme le nombre de publications, la participation à des événements scientifiques et la multiplication d’instruments. Une recherche de qualité doit s’appuyer sur une exploitation approfondie des données, y compris d’archives, en y dédiant suffisamment de temps pour favoriser de réelles percées.

Recommandations :

Adaptation organisationnelle

- Réaliser une prospective scientifique se concentrant sur une sélection plus forte de **grandes questions prioritaires** plutôt que d’essayer de couvrir toutes les questions abordées par la communauté
- Augmenter le poids des **experts scientifiques** et **choix scientifiques à la CSAA** pour suivre la prospective scientifique décidée par l’INSU AA plutôt que soutenir une programmation instrumentale en trop forte expansion.
- Conserver et renforcer dans les **nouvelles ATs** le rôle de **prospective scientifique** dégageant les grandes questions prioritaires au fil de l’eau et alimentant les prospectives INSU AA. Les priorités programmatiques doivent découler de cette priorisation et être sélectives, en évitant les listes excessives.
- **Éviter les doublons** d’instruments et de simulations numériques.
- Prioriser les **projets** qui permettent un **grand saut scientifique** plutôt qu’une multitude de nouveaux projets incrémentaux.
- L’INSU AA, représentant l’ensemble de la communauté AA française, doit **rester maître de sa priorisation scientifique et programmatique** en labellisant clairement les projets soutenus, sans nécessairement cautionner ceux engagés et environnés par d’autres entités comme le CNES, l’ESA ou les ERC.

Soutenir l’exploitation scientifique :

- Les choix programmatiques issus de la priorisation scientifique doivent être soutenus uniquement si les **moyens** financiers et **RH** (IT pour développement, **chercheur·ses/post-docs** pour exploitation scientifique) sont suffisants, correctement évalués et basés sur un retour scientifique **en rapport avec l’impact environnemental** du projet (ACV complète).
- **Réaffecter les budgets** du développement instrumental vers des **RH pour l’exploitation scientifique** efficace et rapide des infrastructures/missions soutenues (en fonctionnement ou à venir) et vers **la R&D**.

- **Développer des filières instrumentales** avec une forte coordination nationale pour mutualiser, pérenniser les expertises et préparer les missions de grande envergure à fort impact scientifique tout en respectant les contraintes de prospective scientifique et d'impact environnemental de l'instrumentation (voir aussi GT III.4 "Modèles de développements instrumentaux").
- Développer le **soutien numérique** au sens large des projets de recherche et de l'exploitation scientifique des flux de données observationnelles **pour l'analyse, la dissémination et l'archivage**.

Évaluations, recrutements, suivi de carrière :

- **Reconnaître** dans le suivi de carrière et le recrutement les activités des chercheurs et ITA visant à **contribuer à la réduction de l'impact environnemental** de nos activités.
- S'assurer que les **activités de R&T et R&D** à long terme, qui permettront des sauts technologiques plus importants, soient reconnues et valorisées dans les concours de recrutement et les campagnes de promotion.
- **Dépasser** les **critères quantitatifs productivistes** et carbonés en faveur de critères de qualité et de créativité.

Mesure des impacts environnementaux et besoin de directives

- Fournir et déployer des **outils d'évaluation** des bilans de GES intégrés aux outils de gestion des unités, pour un accès simple et transparent au coût CO₂eq. des missions et achats, ainsi qu'**aider, soutenir et systématiser** les évaluations de bilans de GES et **ACV de tous les projets** instrumentaux et les utiliser comme éléments d'évaluation.
- Mettre en place un **suivi des émissions de GES** de la discipline à la fois au niveau des laboratoires et des grandes infrastructures de recherche.
- Nommer **un.e délégué.e scientifique INSU AA** transverse "transition écologique" pour accompagner, déployer ces solutions et assurer le suivi des BGES/ACV au niveau des laboratoires, IR/IR* et missions spatiales.
- Les directions du CNRS et de l'INSU doivent transmettre aux DUs des **consignes claires et chiffrées** basées sur des métriques pertinentes afin de mesurer l'impact carbone des activités des laboratoires, et publier une feuille de route chiffrée.
- Envisager des **directives contraignantes** qui ne reposent pas seulement sur les DUs (quota ou critères clairs pour les missions grandes distances, train 1^{ère} classe à la place de l'avion en France/Europe, etc.).
- Poursuivre et organiser la **formation et la sensibilisation** de tous les personnels aux questions climatiques et environnementales.

4. Diffuser, influencer, impacter au-delà de l'INSU-AA

Il est possible d'agir efficacement pour réduire l'impact direct de nos activités de recherche. Comme la recherche en astrophysique ne représente qu'une infime partie de l'empreinte de la France, il pourrait apparaître inutile d'entreprendre ces actions de réduction sans un effort similaire dans tous les secteurs d'activité. Toutefois, notre exemplarité peut et doit être utilisée comme levier pour influencer les sphères de décision connexes pour emmener et accompagner une transition plus globale et générale.

Influencer par l'exemplarité

Au CNRS, les différents instituts abordent la transition de diverses manières, et certains, comme l'INP¹² ou l'INS2I¹³, réfléchissent également à des actions similaires aux nôtres. Nous pourrions individuellement diffuser l'exemplarité de la communauté astronomique, d'autant plus efficacement que nous utiliserons les leviers proposés ci-dessus pour démontrer rapidement la pertinence et l'efficacité des mesures, et la possibilité réelle d'un meilleur retour scientifique des activités à budget constant et BGES réduit.

En renforçant ses choix stratégiques impliquant des désengagements de projets instrumentaux internationaux, la communauté française pourrait craindre de diminuer son poids scientifique international si les partenaires étrangers ne suivent pas cette voie. C'est cependant négliger la puissance de la réorientation des moyens que nous proposons qui permettra de mieux exploiter les infrastructures existantes et donc de consolider et développer les leadership scientifiques des équipes françaises au niveau international, en particulier sur les grands projets. Il est de plus souhaitable d'encourager les collègues étrangers à réduire également leurs infrastructures de recherche. Pour cela, il faut influencer les organismes internationaux (ESO, ESA, SKAO, ALMA, CTAO, IRAM, CFHT, etc.) en leur demandant des plans de réduction de leur empreinte et du nombre des nouveaux projets. Des messages et demandes peuvent passer par les représentants de l'INSU dans chacun des comités de ces organisations mais aussi dans les organes d'évaluation, y compris ceux de financements comme l'ANR ou l'ERC.

Mieux diffuser les messages scientifiques

Au-delà de la sphère de la recherche académique, la période de changements profonds qui se profile et qui est alimentée par la crise climatique, nous incite à repenser le sens de notre mission de service public là où nous pouvons agir dans notre rôle de chercheur.se. La perte de confiance envers les expert.e.s au sens large et envers les chercheur.se.s est une inquiétude qu'il ne faut pas négliger car elle est potentiellement dangereuse pour la démocratie et la qualité de la prise de décision politique. Les frustrations liées aux mesures pour contrer le changement climatique vont s'amplifier. Il faut renforcer la présence des chercheur·ses dans la sphère publique pour défendre l'approche scientifique et tenter de redonner confiance. L'astrophysique peut jouer un rôle important du fait de l'attention accrue reçue du grand public. L'exemplarité de notre transition écologique est un prérequis pour mieux jouer ce rôle.

Les astrophysicien·nes ont des messages forts à transmettre sur la crise climatique, comme "il n'y a pas de planète B" et "l'espace n'est pas viable pour l'homme". En montrant l'exemple de par nos activités, ces messages peuvent contrer l'idée erronée que la croissance sera extra-terrestre, évitant ainsi de continuer l'artificialisation de la planète jusqu'à la rendre inhabitable.

La prise de conscience du fort impact environnemental de l'astrophysique commence à réduire l'attrait de nos professions pour les jeunes diplômé·es¹⁴. Un problème qui ne peut être corrigé que par une exemplarité forte. Nous proposons aussi de mieux préparer les étudiant.e.s qui passent dans les filières de formation en astrophysique (masters) en leur proposant des modules de formation à la transition écologique.

¹² https://www.inp.cnrs.fr/sites/institut_inp/files/download-file/Prospective%20Physique%20VF_0.pdf

¹³ https://www.ins2i.cnrs.fr/sites/institut_ins2i/files/download-file/Rapport_prospective_CSI_INS2I.pdf

¹⁴ Voir proceedings de la SF2A 2023 de la commission transition environnementale ; Leboulleux et al. 2023 : <https://sf2a.eu/proceedings/2023/2023sf2a.conf.531L.pdf>

Recommandations :

- Utiliser les représentants de l'INSU dans les **comités des grands organismes internationaux** pour **influencer** et accélérer la décarbonation des activités. Travailler à obtenir des évaluations de BGES et des plans de transition de l'ensemble de ces acteurs.
- Soutenir les personnels volontaires (1) pour **diffuser et défendre la pensée scientifique** dans la sphère publique, ainsi que (2) pour mener des actions de vulgarisation montrant l'extrême inhospitalité du cosmos pour l'homme.
- **Aider à la formation** et à la professionnalisation de l'activité de diffusion vers le grand public.
- Augmenter la reconnaissance des **activités de diffusion** des connaissances vers la sphère publique dans l'évaluation des dossiers (voir aussi GT III.2).
- Inclure dans les **formations master** d'astrophysique les aspects environnementaux.
- **Promouvoir**, par des financements de thèses et de contrats post-doctoraux, les projets interdisciplinaires entre **sciences humaines et sociales et astrophysiques**, visant à étudier la mise en place de transformations structurelles dans la recherche face aux bouleversements socio-écologiques actuels.

5. Anticiper le futur afin de s'y préparer

Lors d'un exercice de prospective, il est légitime de réfléchir à l'avenir de la recherche en astrophysique à long terme. Etant donné la durée de développement et d'exploitation de nos moyens, il faut anticiper les évolutions prévisibles de la société dans laquelle nous évoluons et pour laquelle nous travaillons. Le dérèglement climatique impactera significativement nos sociétés et donc notre activité. Deux scénarios opposés sont envisageables pour 2050 :

1- L'humanité réussit sa transition environnementale et atteint la neutralité carbone en réduisant significativement les émissions de GES. Notre communauté devra également avoir une pratique bas carbone : chaque tonne de CO₂eq. émise devra être justifiée. D'ici 25 ans, il est peu probable que nous puissions développer et opérer toujours plus d'instruments astronomiques avec un budget carbone très limité. Nous devons faire des choix forts en nous concentrant sur les plus grandes questions scientifiques.

2- L'humanité poursuit sa trajectoire "business as usual" et atteint jusqu'à +2.5°C de réchauffement climatique. Notre société et notre économie seront profondément affectées. Les coûts des catastrophes naturelles, la baisse des rendements agricoles, l'augmentation des tensions internationales, les dépenses croissantes en santé, etc. réduiront les budgets alloués à la recherche fondamentale. Notre activité de recherche en astronomie sera forcément dégradée et pourrait même être fondamentalement remise en cause.

La réalité sera certainement un intermédiaire entre ces deux situations. Bien que le premier scénario soit nettement préférable, les deux visions amènent au même constat et à la même nécessité de réduire significativement les développements instrumentaux, et d'augmenter notre capacité à obtenir des progrès impactants à budget constant et impact environnemental fortement réduit. La recherche en astrophysique, pourtant fondamentale et existentielle pour nos sociétés, risque de ne pas être prioritaire face aux préoccupations quotidiennes de nos concitoyens, exacerbées par la crise climatique. Nous devons donc nous adapter à un écosystème en mutation rapide dans les prochaines décennies.

Miser sur l'humain et le collectif pour s'adapter aux changements

La communauté française doit adapter son modèle : elle s'implique dans toujours plus d'instruments sans vrai soutien à l'exploitation scientifique, avec de moins en moins de ressources humaines et techniques, et de plus en plus de tâches bureaucratiques. Plutôt que de renforcer l'esprit collaboratif pour résoudre des défis complexes, nous sommes poussés vers une compétition croissante. Ce déséquilibre se traduit souvent par une sous-exploitation¹⁵ des observations faites avec les instruments existants et récents, une course aux publications qui nuit à leur originalité et à leur qualité, une augmentation des risques psycho-sociaux, et une perte de sens dans notre activité de recherche. Il est urgent de changer d'approche pour accroître la profondeur et l'impact de notre retour scientifique tout en étant plus résilients face aux changements environnementaux. Il faut replacer l'humain au cœur de la recherche, en réduisant la compétition entre communautés, en favorisant la collaboration, et en augmentant le temps et le personnel disponibles pour la réflexion de fond, seule capable de mener à des découvertes majeures. Unie autour d'une mission sociétale claire, notre communauté sera mieux préparée pour affronter les futures perturbations.

Recommandations :

- Augmenter la flexibilité financière de l'INSU AA pour permettre le redéploiement de moyens budgétaires des instruments vers l'exploitation scientifique dont des RHs temporaires (CDD, post-docs et thèses).
- **Sortir** les laboratoires de leur **dépendance aux prélèvements** sur les financements instrumentaux (CNES, INSU, ESO, ...) par un meilleur soutien ciblé sur l'exploitation scientifique des infrastructures de recherche soutenues par l'INSU AA.

6. Conclusion

Il est urgent de mettre en place un plan de réduction de l'impact environnemental de nos activités en jouant sur tous les leviers. L'ensemble des recommandations proposées dans ce rapport doivent certainement être mises en place pour espérer atteindre la trajectoire de -7% par an. Au-delà d'une première réduction d'émission de GES, possible sur l'activité des laboratoires et sans impact majeur sur l'activité scientifique, le constat est que seuls des changements structuraux forts reliés aux prospectives scientifiques, au pilotage et à la réaffectation de budget permettront de regagner notre productivité scientifique tout en étant beaucoup plus frugaux dans nos activités. La communauté en est consciente et est prête à ces changements pour assurer l'équité si les directives sont claires et justes.

Ces évolutions doivent être menées fermement mais en développant une adhésion renouvelée en nos missions et vocations de chercheur-se.s au service de la connaissance et pour le bien de la société. Ce défi de la transition écologique est une opportunité pour redonner du sens à nos métiers en nous recentrant sur les grandes questions scientifiques que nous aurons choisies collectivement et pour lesquelles des moyens réels seront disponibles pour exploiter ces extraordinaires infrastructures de recherche que nous pourrons continuer à développer mais à un rythme plus soutenable.

¹⁵ voir document long du GT III.1 (moyens prioritaires)