

PLANÈTE ET UNIVERS

Directeur du département scientifique Planète et Univers
Dominique LE QUÉAU

Présidente du Conseil scientifique de département
Catherine JEANDEL

Membres du Conseil scientifique de département

Luc ANDRÉ
Sandrine ANQUETIN
Émile-Michel ARMENGAUD
Antje BOETIUS
Ary BRUAND
Hélène BUDZINSKI
Nadine CHAUMERLIAC
Philippe DAVY
Martine DE ANGELIS
Michel DE SAINT-BLANQUAT
Étienne DELOULE
Pierre DROSSART
François GUILLOCHEAU
Liliane JENATTON
Michel MARCELIN
Gabriel MARQUETTE
Christophe MONNIN
Gilles REVERDIN
Laurence REZEAU
Chantal STEHLE
Pierre VALIRON
Michel VAUCLIN

PRÉAMBULE

L'objectif des recherches en Sciences de la Planète et de l'Univers (SPU) est de comprendre et de modéliser les fonctionnements passés et présents de la Terre, des planètes et de l'univers, afin d'en prévoir éventuellement les transformations et évolutions futures. Ces recherches nécessitent de faire converger sur l'étude de ces objets des savoirs et savoir-faire issus de différentes disciplines, principalement géologie, physique, chimie, biologie, mathématique, et informatique. Les SPU sont donc par essence pluridisciplinaires, et développent naturellement des axes de collaboration avec les autres disciplines. Si les collaborations sont déjà bien ancrées et ne demandent qu'à être renforcées avec les Sciences dites « dures », l'un des enjeux des prochaines années sera la co-construction de véritables projets scientifiques, à bénéfices partagés, avec les Sciences de l'Homme et de la Société.

Les chercheurs des SPU s'appuient sur l'INSU pour animer, arbitrer et planifier dans le temps l'ensemble des actions nécessaires à leurs recherches. Son rôle est de construire la prospective, d'accompagner les évolutions scientifiques, de prévoir les évolutions instrumentales, tout cela dans une perspective largement pluriannuelle. L'INSU est le garant de la pérennité de nos actions et dispose d'une légitimité qui lui permet d'intervenir à tous les niveaux, région, France, Europe, et international. Le rôle structurant de l'INSU est donc fondamental pour les SPU.

1 – LES SPÉCIFICITÉS DU DÉPARTEMENT PU

1.1 LA RECHERCHE

Les SPU sont des sciences de la nature. La spécificité des recherches dans notre département est donc d'être organisée autour d'objets issus du milieu naturel. L'immense spectre spatial, temporel, et pression/température des systèmes étudiés (de l'angström au parsec, de la fraction de seconde au milliard d'années, du zéro absolu au million de degré, du vide absolu au milliard d'atmosphères), leur sous-détermination, la présence de multiples interactions et rétroactions entre processus et compartiments, ainsi que le caractère hautement non linéaire de leurs comportements, sont facteurs de complexité. En outre, ces systèmes sont en perpétuelle évolution, de façon naturelle comme la tectonique des plaques, la météorologie, l'activité solaire, l'évolution des objets astrophysiques, ou anthropique comme le changement climatique actuel. Cette complexité des objets étudiés fait que les fonctionnements de la planète terre et de l'univers lointain sont encore mal connus. Or, leur rôle fondamental dans l'apparition et le maintien de la vie, ainsi que dans la distribution des besoins fondamentaux de l'humanité (eau, aléas et risques naturels, ressources, énergies, nourriture) donne à l'étude de ces objets une importance primordiale.

Les conditions souvent extrêmes qu'offrent les objets garantissent à ces disciplines des domaines dans lesquels peuvent être testés et validés les concepts et processus les plus variés. En retour, une meilleure compréhension du fonctionnement et de l'évolution de nos objets et milieux naturellement complexes nécessite bien souvent le développement de concepts et d'outils nouveaux, ainsi que de méthodes innovantes susceptibles de contribuer à faire évoluer les Sciences connexes. Par exemple, nombre de théories modernes sur le chaos et la complexité se sont développées pour expliquer la dynamique de

phénomènes naturels comme les séismes, les cyclones ou les mouvements astronomiques.

1.2 LES DIMENSIONS SOCIÉTALES, ÉCONOMIQUES, ET CULTURELLES

Parce qu'elle montre une capacité croissante à prévoir les perturbations (climat, état de la mer, mouvements du sol, orages solaires, etc.) et les crises (crues, sécheresses, contaminations des eaux, des sols et de l'air, éruptions volcaniques, séismes, etc.), la communauté PU est soumise à des demandes sociétales de plus en plus prégnantes, qui donnent au CNRS une responsabilité particulière pour développer un niveau d'expertise fiable sur les questions de société qui émergent, parfois brutalement, des rapports de l'homme à son environnement. Il s'agit non seulement de décrire et de comprendre le monde qui nous entoure, mais aussi de prédire une évolution, et surtout d'avoir la capacité de l'expliquer à l'aide d'arguments fiables et scientifiquement justifiés. Le transfert des connaissances fondamentales vers une expertise plus opérationnelle exige de renforcer les partenariats entre les laboratoires de recherche et les agences dont la vocation est de développer cette opérationnalité, les décideurs politiques à toutes les échelles et les acteurs industriels. Il faut également développer une communication de qualité vis-à-vis du public.

La communauté PU a depuis longtemps pris conscience et déjà élaboré des liens de réciprocité avec l'industrie et elle est disposée à faire évoluer ces liens en réponse à de nouveaux enjeux. En effet, il n'est plus possible d'omettre la dimension économique de certains des thèmes étudiés au sein du département (ressources, climat, risques). Cependant, le CS de Planète Univers tient à rappeler qu'il faut raison garder dans ces domaines dit de « transferts » vers l'aval : quel que soit le contexte économique, la pression de la société, et les enjeux de productivité, l'histoire récente montre que la communauté scientifique ne

peut répondre aux questions économiques que par des réponses qui se fondent sur les avancées de la connaissance, que seule autorise une recherche fondamentale soutenue dont le rythme doit être respecté. Par exemple, l'effort de recherche dans le domaine de la métallurgie ne doit pas être conditionné au prix des métaux : ce fut le cas depuis une vingtaine d'années avec pour conséquence directe une perte collective de compétence, qui se révèle très grave aujourd'hui face à une demande d'expertise croissante pour mener à bien la reprise de l'extraction minière. L'envolée des prix des matières premières minérales et énergétiques, et la perspective de l'épuisement des réserves connues ont en effet relancé les programmes d'exploration du sous-sol jusqu'à des conditions jugées inexploitable auparavant, induisant une demande significative de compétences que nous n'avons plus. Cet exemple souligne combien la responsabilité d'organismes de recherche comme le CNRS dans le maintien de ces compétences de fond est essentielle.

Les recherches en sciences de l'univers nourrissent abondamment la culture et la curiosité scientifique de nos concitoyens. L'évolution des contenus des manuels scolaires en géologie, planétologie, océanographie et physique solaire au cours des 30 dernières années est probablement le témoin le plus parlant de l'impact culturel et social des connaissances acquises par la communauté des SPU. À une époque de désaffection patente pour les sciences et la technologie en général, il est urgent de recapitaliser la curiosité suscitée par les champs scientifiques PU et de la renforcer pour contribuer à (re)développer le goût et l'attrait des sciences dans leur ensemble pour les générations futures.

1.3 LES INTERFACES

L'enracinement de longue date des SPU dans les disciplines de base comme les mathématiques, la physique, la chimie, ou les sciences de la vie, a induit une interdisciplinarité de

fait et par conséquent un interfaçage efficace entre les chercheurs des différents départements du CNRS ou d'autres organismes intéressés par la question ou l'objet étudiés. Cette interdisciplinarité s'est récemment étendue à d'autres domaines et a conduit à la réussite de certains programmes comme ECLIPSE (SDU-SHS), ou ECCO (SDU-SDV-SC-SPI). L'astrophysique a aussi vu récemment son domaine s'étendre vers les sciences physiques et les sciences de la vie, ce qui a conduit à la création de deux PID (programmes interdisciplinaires) *Astroparticules* et *Origine des planètes et de la vie*.

Ces expériences soulignent que la réussite des interactions requiert des profits mutuels entre les différentes disciplines de départ. Il faut identifier des problèmes communs, établir une série de questions à intérêt mutuel, co-construire. Il est essentiel aussi que chaque spécialiste mette au profit de la communauté ses compétences, mais reste en pointe dans son domaine. Cette interdisciplinarité est déjà bien développée entre les sciences dites « exactes » et doit se développer davantage avec les sciences de l'homme et de la société sur un certain nombre de questions scientifiques telles que, par exemple, la gestion du risque et son acceptabilité sociale, la gestion intégrée des ressources ou des systèmes anthropisés. La stratégie permettant de mieux fédérer les forces publiques doit être fondée sur un certain nombre d'outils : programmes ou réseaux nationaux, structures fédératives transdisciplinaires, juxtaposition d'équipes de chercheurs ayant des objets ou des démarches communes chacun dans leur discipline, ou intégration de chercheurs avec des compétences disciplinaires complémentaires.

1.4 UNE APPROCHE COUPLÉE

La compréhension du fonctionnement des systèmes naturels complexes étudiés par les SPU nécessite de coupler observations, expériences de laboratoire, et modélisation.

L'observation et la mesure forment le socle commun à toutes les disciplines de PU. Elle peut avoir une dimension exploratoire (recueillir des informations sur ce qui n'est pas encore connu, sur les frontières, sur Terre et ailleurs), thématique (pour répondre à une question scientifique précise) ou encore temporelle (pour l'étude de l'évolution dynamique et/ou la surveillance des systèmes naturels). Il est donc fondamental d'observer dans la durée. Les campagnes d'observation sont organisées pour répondre à une question scientifique et se déroulent sur le (ou à distance du) « terrain ». Les connaissances ainsi acquises peuvent ensuite être transposées à des systèmes qui resteront inaccessibles encore longtemps aux mesures *in-situ*.

L'expérimentation en laboratoire permet de reproduire les conditions physico-chimique des milieux naturels, de mesurer des échantillons formés dans des conditions bien identifiées, et ainsi de pouvoir interpréter les mesures faites sur les échantillons naturels (mesure des paléo-températures sur les foraminifères, propriétés des minéraux dans les conditions P-T du manteau supérieur ou inférieur, croissance des minéraux dans la nébuleuse proto-solaire, etc.). D'une manière plus globale, les nombreuses expériences de laboratoire intéressent en général plusieurs secteurs disciplinaires et dédiées à l'étude de phénomènes (turbulence, dynamo, etc.) ou d'éléments chimiques (atomes, molécules, ions, grains, etc.), sont d'un grand intérêt pour comprendre les processus en SPU. Dans ce contexte expérimental fort, il est indispensable que les laboratoires aient les moyens d'acquérir des équipements innovants et d'effectuer la jouvence des équipements existants pour rester performants au plan international.

La modélisation en SPU se présente sous deux formes complémentaires. La modélisation « directe », ou conceptuelle, et la modélisation « inverse », ou assimilation de données, qui posent toutes les deux de véritables problèmes numériques. Dans tous les cas, on a besoin en SPU du développement de nouveaux concepts, mathématiques entre autres, pour intégrer à la fois l'augmentation constante

du nombre de données collectées et les énormes différences d'échelles (spatiales, temporelles, paramètres physico-chimiques tels que température, pression, viscosité, etc.) qui caractérisent nos systèmes complexes. Un des enjeux essentiels pour les années à venir est impérativement de réduire les incertitudes sur les modèles de fonctionnement dynamique de la Terre, et de mettre en place une stratégie de « descente en échelles » afin d'évaluer par exemple, dans le cas du climat, les impacts régionaux et locaux du réchauffement global, ou encore dans le cas des processus géologiques, le traitement des discontinuités (failles, changements de phase) et la prise en compte *réaliste* de la variabilité de la rhéologie des roches. Cet objectif peut être atteint selon deux chemins non exclusifs : une voie rapide, qui est d'améliorer l'assimilation de données, et une voie plus lente, mais indispensable, qui est de mieux contraindre les processus générant des flux entre les différents compartiments. De fait, la communauté doit garder la maîtrise conceptuelle des modèles à construire. L'enjeu est de les améliorer, ce qui signifie coupler *explicitement* des processus physiques, chimiques ou biologiques générant des flux au sein et entre les systèmes étudiés. Ces progrès permettront de mieux paramétrer les modèles et d'affiner les prédictions.

1.5 GESTION ET ORGANISATION

L'élément central de gestion et d'organisation de nos recherches, et donc de toute stratégie scientifique en SPU, est l'INSU. La montée en force des nouveaux acteurs de la recherche (régions et pôles régionaux, agences nationales type ANR, Europe, etc.) risque de rompre l'équilibre (fragile !) qui existait entre offre et demande en termes d'outils et de moyens, et de brouiller la vision pluriannuelle indispensable à une gestion optimale des moyens et des personnels. Le risque est celui d'une désorganisation profonde des projets portés par les SPU. Si on estime qu'il est important de garder une vision à l'échelle nationale, pluriannuelle, échelle fondamentale pour les SPU alors il faut

renforcer l'INSU, et l'adapter à de nouvelles tâches.

Un élément important est par exemple la nécessité de développer et de maintenir pour nos recherches des partenariats forts régionaux, nationaux, Européens, Internationaux hors Europe, mais aussi entre organismes – car chaque organisme se préoccupant de la planète et de l'univers a ses spécificités – et avec le monde industriel. L'INSU est a priori le lieu de convergence idéal pour permettre ces synergies, nous aider à monter des réseaux, accompagner des managements parfois lourds, coordonner l'ensemble. La mise en place actuelle d'une représentation opérationnelle de l'INSU auprès des nouveaux acteurs de la recherche (ANR, régions, etc.) par la création d'une cellule spécifiquement chargée de ces questions, va dans ce sens. L'INSU est aussi le lieu privilégié pour réagir rapidement à des propositions de partenariats ponctuels sur des chantiers particuliers (catastrophes naturelles, forage géothermique profond à la Réunion, etc.). Doter l'INSU de personnels à l'écoute des besoins des communautés, formés aux jargons et spécificités européennes et permettant de fluidifier les contacts sans pour autant vider les laboratoires de leurs meilleurs éléments, est une piste intéressante à creuser.

Par ailleurs, la nécessité de pérenniser les Services d'Observations et les Systèmes d'Informations, le développement d'actions en R&D, la mutualisation d'activités scientifiques et techniques et des moyens autour des opérations de terrain justifient pour les SPU une politique volontariste de structuration des laboratoires en **Observatoires des Sciences de l'Univers** (OSU).

1.6 LES OUTILS ET LES MOYENS

La mise en œuvre des recherches en SPU repose de manière très forte sur les équipements (très grands équipements – TGE, grands équipements scientifiques – GES, moyens nationaux, etc.), les services d'obser-

vation, les bases de données, les moyens de calculs, et enfin la programmation scientifique.

Les TGE, moyens nationaux et autres équipements sont des moyens d'accompagnement essentiels à l'exploration des systèmes terre et univers: pas de mesures atmosphériques et stratosphériques sans avions dédiés, pas d'auscultation des abysses sans navire *ad hoc*, pas d'exploration des climats passés sans carottages de glace ou de sédiments marins, pas de données sur l'univers sans télescopes au sol ou embarqués, aucun progrès sur les pluies diluviennes et les événements extrêmes sans radars, pas de compréhension et *a fortiori* de prévision des éruptions volcaniques sans réseaux d'instruments géophysiques spécifiques, pas d'analyses à très haute résolution sans rayonnement synchrotron, microfaisceau laser ou microsonde. Les satellites, qui permettent d'acquérir à très haute fréquence et résolution temporelle de nombreux paramètres caractéristiques du système terre et univers, sont aussi des outils que la communauté s'est accaparée pour extraire des informations de plus en plus pointues des données acquises mais aussi contribuer à développer les nouveaux capteurs, en réponse aux questions scientifiques posées. Ces équipements, quel que soit leur échelle, sont des moyens qu'il est nécessaire de construire, développer, faire évoluer et entretenir pour faire avancer nos recherches. Ils nécessitent donc des développements instrumentaux et requièrent le support fondamental de la Division Technique de l'INSU, le dialogue avec des bureaux d'étude et des contacts avec les autres départements du CNRS. La montée en puissance du gigantisme et du coût des instruments futurs, que ce soit dans le spatial ou au sol, implique un renforcement de l'internationalisation, une organisation plus forte de la participation française dans chacun des cas pour assurer un retour maximum. L'INSU et ses OSU jouent à cet égard un rôle pilier. Le soutien des régions n'est pas négligeable, mais pour autant, une coordination nationale et même européenne large est nécessaire.

Les services d'observation sont au cœur de nos disciplines puisque comprendre

le fonctionnement des systèmes naturels et prévoir leurs évolutions possibles à toutes les échelles de temps, nécessite de disposer de séries de données à long terme sur des paramètres ciblés. La notion de service est donc essentielle à ces opérations. Elle concerne également les centres d'archivage de missions spatiales et sols, les grands relevés, et permet d'assurer la présence stable de personnels chercheurs et d'encadrement auprès des très grands équipements de la discipline (stations d'observation nationales et internationales). Les systèmes étudiés sont pour la plupart planétaires, voire universels : la plupart des Services d'Observation nationaux sont inscrits dans des réseaux internationaux.

Les bases de données sont à la fois des archives de notre connaissance et des outils exploratoires. Le Centre de Données de Strasbourg a ainsi acquis une réputation internationale dans l'archivage de données d'observation et la mise en ligne d'outils permettant de les utiliser. Cet effort doit être étendu, en développant des centres de gestion de base de données, comme par exemple les pôles thématiques ICARE, ETHER et POSTEL développés en partenariat avec le CNES. Pour exploiter au mieux les bases de données, il est essentiel d'aller vers des outils intégratifs, interdisciplinaires afin de progresser sur les interactions, les interfaces et les couplages géologie-chimie-biologie-hydrologie. Les approches intégrées multi-échelles nécessitent la mise en place de systèmes complexes de gestion de l'information. Il s'agit de bases de données spatialisées, de bibliothèques de modèles, d'archives historiques au contenu très hétérogènes en espace et en temps, qui correspondent à de nouvelles données (ou métadonnées).

Les moyens de calcul doivent être en rapport avec l'émergence et/ou la multiplication des bases de données et des modèles. De nombreux modèles en SPU sont à ce jour limités par les moyens de calcul, dont nos champs disciplinaires sont très consommateurs. Les communautés ont fourni d'importants efforts pour regrouper et coordonner les recherches autour de grands projets numériques, comme le programme HORIZON en cosmologie. Tou-

tefois le déficit, chronique mais particulièrement criant ces derniers temps en moyens de calcul massivement parallèle risque de réduire à néant les efforts entrepris, et de disperser définitivement les équipes et les compétences.

Enfin, **les programmes nationaux** constituent la base de la structuration scientifique en SPU. L'immensité des objets étudiés et des questions posées ainsi que la pluralité des moyens mis en œuvre pour les traiter (mesures, campagnes, expérimentations, données satellites, modèles, etc.) nécessite d'établir des priorités, et de structurer la communauté autour d'objectifs. Les échelles temporelle des projets de recherche en SPU sont multiples, dans la mesure où certaines questions posées il y a vingt ans voient les premières réponses émerger alors que d'autres avancent très vite en un ou deux ans. Il reste essentiel de prendre en compte les particularités : un projet mettant en jeu des développements instrumentaux et/ou des missions importantes (par exemple capteurs satellites, campagnes coordonnées d'océanographie comme dans le cadre de programmes CLIVAR ou GEOTRACES, atmosphériques/surfaces continentales et océan comme AMMA, etc.) se construit sur une, voire deux décades. Pour ces types de projets, une structuration forte avec un plan pluriannuel d'emploi et de financements ainsi que la mise en place de partenariats sont indispensables. D'autres, plus courts, doivent trouver facilement des financements pour permettre une très forte réactivité de la communauté et son maintien, voire son rôle de leader, dans la communauté internationale.

Renforcer l'efficacité de la programmation scientifique nationale nécessite donc de développer les programmes nationaux de l'INSU, ET de coordonner les actions des différents pourvoyeurs de moyens. La mise en place évoquée ci-dessus d'un interfaçage opérationnel entre l'INSU et les agences comme l'ANR, est une piste engagée qu'il faut renforcer. L'objectif est d'alimenter les gros projets porteurs tout en maintenant les moyens nécessaires à l'entretien du vivier nécessaire à l'émergence d'idées nouvelles.

2 – LES AXES DE RECHERCHE À L'HORIZON 2020

• **Réduire les incertitudes des modèles du système Terre**, et en particulier des modèles climatiques, en privilégiant des recherches aux interfaces entre les compartiments constitués par les surfaces continentales, l'atmosphère et l'océan. Il sera essentiel de s'attacher à décrire les processus complexes qui siègent à ces interfaces, ce qui induit des développements théoriques, des opérations de terrain, des expérimentations, et des simulations numériques, etc. La compréhension des événements extrêmes et de leur impact sur les systèmes naturels et les ressources primaires (telles que l'eau, les sols, la biosphère), devront faire l'objet d'efforts soutenus et concertés. Le facteur « humain », par son comportement et son développement, étant un des facteurs majeurs d'incertitude sur les modèles, il est urgent d'intégrer des études économiques, sociales et historiques aux approches de terrain et de simulation.

• **Étude des systèmes urbanisés**, objets particulièrement complexes et fortement évolutifs : la communauté PU traiterait les aspects liés aux surfaces continentales et ses interfaces avec le côtier et l'atmosphère, SHS l'étude des comportements humains et l'appropriation par la population des résultats scientifiques, ST2I et EDD la recherche et la mise en œuvre de solutions d'ingénierie technique et écologique permettant de remédier aux conséquences néfastes des évolutions constatées, SDV la santé humaine, etc. Le chantier potentiel est très important.

• **Fonctionnement dynamique de la Terre**, depuis la convection dans le noyau (origine et variations du champ magnétique) et le manteau asthénosphérique (formation des plumes, mouvement des plaques), le fonctionnement des « filtres » lithosphériques, la déformation des lithosphères continentales et océaniques, jusqu'aux processus couplés qui contrôlent les cycles des éléments (tectonique, magmatisme, érosion, altération). Ces travaux devront se faire dans un cadre très large allant

de l'étude de la Terre primitive et de ses précurseurs dans le système solaire, jusqu'à son fonctionnement actuel. Il faudra également répondre aux demandes sociétales fortes dans les domaines des ressources, des énergies, des risques, et des matériaux. Tous ces travaux demanderont des observations de terrain, des développements expérimentaux et analytiques, et des modélisations, qui nécessiteront entre autres le développement d'une instrumentation lourde de pointe (en géophysique, géochimie, expérimentation, observation de la Terre) de manière à couvrir toutes les échelles d'observation du cristal à l'observation satellitaire.

• **Origine et composition de l'Univers**, grâce à une politique d'interface dynamique entre la physique et l'astrophysique autour des *astroparticules*, et pour répondre notamment aux questions concernant l'énergie sombre, l'origine et l'accélération des rayons cosmiques, la probable détection des ondes gravitationnelles, et la compréhension de la banlieue très proche des trous noirs (limites de la relativité générale, violations de symétrie, constantes fondamentales, etc.). Des progrès importants sont attendus dans la compréhension de la formation et de la différenciation des différents objets astronomiques, avec la validation de scénarios de formation et d'évolution de grandes structures, des étoiles, et des planètes. L'exploration in situ du système solaire battra son plein, en particulier sous l'impulsion de l'ESA et du CNES : météorologie comparée, structure interne des planètes, interaction surface atmosphère, météorologie spatiale, etc. L'étude des origines des planètes et de la vie devrait dynamiser une nouvelle discipline, nombreuses étant les questions sur la formation des (exo)-planètes, leur évolution physico-chimique, les conditions propices à l'apparition de la vie, la recherche de bio-marqueurs... Réaliser une image d'exo-planète tellurique est un défi majeur. Tous ces objectifs se nourriront des observations fournies par les générations attendues d'hyper-télescopes (1 km² au sol en radio, 30 mètres de diamètre pour l'optique) ou de télescopes spatiaux (du rover à la flottille de satellites pour l'exploration planétaire ou de l'univers plus lointain) en

service entre 2010 et 2020. Des interféromètres optiques sur des bases hectométriques auront vu le jour au sol et dans l'espace.

3 – DES OBJECTIFS POUR DYNAMISER CES AXES DE RECHERCHE

3.1 STRUCTURER

- **Développer la science des interfaces** à l'aide d'un interfaçage entre sciences, mais pas seulement, car l'étude des interfaces n'est pas *que* pluridisciplinaire. La stratégie permettant de mieux fédérer les forces publiques doit être fondée sur un certain nombre d'outils : programmes ou réseaux nationaux, structures fédératives transdisciplinaires, juxtaposition d'équipes de chercheurs ayant des objets ou des démarches communes, ou intégration de chercheurs avec des compétences disciplinaires complémentaires. Ces fertilisations croisées ne peuvent fonctionner et être productives que s'il y a réciprocity d'intérêt et bénéfice scientifique partagé. Dynamiser les interactions entre les chercheurs de PU confrontés à des questions multi-paramétriques avec fort facteur/impact humain et les chercheurs des SHS peut se faire *via* des outils structurants tels que des réseaux (GDR par exemple), des écoles d'été, des axes transverses au sein des OSU voire des laboratoires communs, tout en veillant à ne pas isoler un chercheur de sa communauté disciplinaire. Les programmes de recherche communs peuvent aussi être mis en œuvre, avec par exemple deux appels d'offre pour un seul CS.

- **Renforcer le rôle des programmes nationaux gérés par l'INSU** : la structuration scientifique en PU repose sur la mise en œuvre de ces programmes nationaux, qui sont souvent le miroir de coordinations internationales, et qui permettent aussi la coordination avec d'autres partenaires institutionnels nationaux. **Les objectifs et les contours de ces pro-**

grammes doivent impérativement rester le fruit de la réflexion collective des chercheurs. En effet, seule la communauté scientifique est capable d'identifier l'état des connaissances à un moment donné et les moyens à développer pour progresser, et de décider de l'équilibre entre grands et petits chantiers. Les grandes questions n'ont en effet pas forcément besoin de grands chantiers, et il est essentiel de garder la capacité de répondre avec la réactivité nécessaire à des problématiques nouvelles qui peuvent voir le jour hors programmation (par exemple la première découverte de planètes extrasolaire à l'OHP). Si les programmes nationaux, en lien avec l'INSU, ont déjà montré leur capacité à initier et conduire de grandes actions fédératives tout en maintenant un espace pour les initiatives plus ponctuelles, cet équilibre est à encourager, via -par exemple- la remise en œuvre des Actions Thématiques Innovantes ou des crédits dédiés à l'intérieur des programmes. Dans ce contexte, il est impératif d'améliorer la coordination entre les projets financés par l'ANR et ceux soutenus par les programmes nationaux qui risquent d'être déstabilisés par la faiblesse des crédits pouvant y être affectés d'une part, et par la plus grande mobilisation des ressources humaines et matérielles (non extensibles à l'infini) vers des recherches à plus fort rendement budgétaire immédiat d'autre part.

- **Stimuler les investissements privés sur les axes de recherche à fort potentiel économique**, en prenant en compte la mutation actuelle de la notion de rentabilité sous l'effet de l'anthropisation galopante, l'épuisement des ressources, ou le changement climatique. Le lien public-privé serait développé au sein de plateformes basées sur des équipes pluridisciplinaires. En ce sens, le triptyque académisme (recherche fondamentale) – technologie (recherche appliquée) – industrie (accès au marché) doit se révéler optimisé du fait de la complémentarité des différents acteurs. La formation de jeunes docteurs par les bourses Ciffre, qui permettent de réaliser un lien humain constructif entre privé et public, est un moyen très efficace de contribuer à ces plateformes, et doit être développée.

- **Soutenir la simulation numérique** et lui accorder des moyens financiers et humains conséquents. Les moyens de calcul sont à ce jour le facteur limitant des développements en modélisation. Il est essentiel et urgent de mettre à niveau les moyens de calculs en France et en Europe, et ces mises en œuvre dépendent de la volonté du CNRS, en collaboration avec ses partenaires européens. Le calcul numérique intensif, allant de la recherche algorithmique amont à l'applicatif aval, pour des objectifs *internes au CNRS*, devrait être une priorité majeure de l'établissement, transverse aux différents départements. Par exemple, la fusion de compétences entre mathématiques appliquées et PU peut nécessiter la création de GDR transverses à PU, ou d'outils structurants communs dont le développement devrait plutôt reposer sur les questions /objet à modéliser que sur des critères géographiques. À ce titre, on a effectivement un gros besoin en numériciens purs et durs, voire en ingénieurs-programmeurs.

- **Soutenir les activités de R&D et les développements instrumentaux.** Ceux-ci requièrent le support fondamental de la Division Technique de l'INSU, le dialogue avec les industriels, ainsi que des collaborations avec les autres départements du CNRS (ST2I, MP, Chimie, Biologie). La montée en puissance de la taille, de la complexité et du coût des instruments futurs implique un renforcement de l'internationalisation et une organisation plus forte de la participation française aux grands programmes internationaux. L'INSU et les OSU doivent jouer à cet égard un rôle central. Une coordination européenne est incontournable. Opérationnelle dans le domaine de l'espace, autour de l'ESA, elle reste à compléter pour les objectifs non spatiaux. Cette structuration européenne s'appuie sur la montée en puissance des régions qu'il convient désormais d'intégrer dans la boucle de financement.

3.2 PÉRENNISER

- **Pérenniser les moyens** à l'aide de programmes pluriannuels, les seuls qui soient réel-

lement adaptés aux échelles de temps de la dynamique de nos objets. Maintenir impérativement une politique de gestion de haut niveau des Très Grands Équipements et des moyens nationaux dans leur ensemble, avec des supports budgétaires en rapport. En particulier, une priorité serait de stabiliser et de pérenniser les services d'observation actuels de l'INSU, et d'en développer éventuellement de nouveaux en respectant les équilibres de moyens entre la récurrence des services et les activités de recherche sur campagnes de terrain.

- **Assurer la pérennisation et l'interopérabilité des bases de données:** il est essentiel d'aller vers une professionnalisation de la gestion des bases de données, qu'elles soient directes (données validées de sortie de campagne de terrain et de séries d'observations), traitées à divers niveaux (par exemple données satellites), ou sorties de modèles numériques. La démarche qui permet d'interconnecter entre elles les bases de données est l'approche de l'**Observatoire Virtuel** qu'il est fondamental de développer. Cette démarche peut également être étendue à l'interconnexion d'outils numériques, comme c'est déjà le cas en océanographie par exemple, ou en sciences de la Terre avec la carte géologique numérique qui devrait à l'avenir contenir plusieurs ensembles de données spatialisées, géologiques, pétrographiques, géochimiques, géophysiques, environnementales, etc. En astronomie, le traitement de données de masse, adapté aux flots de données des nouvelles générations de télescopes ou de capteurs spatiaux, sera un enjeu de la prochaine décennie.

3.3 OPTIMISER

- **Développer une politique volontariste de communication scientifique rigoureuse et élargie** pour fournir au citoyen les bases nécessaires à une compréhension minimale du monde dans lequel il vit. L'action doit notamment se concentrer vers les collèges et lycées via, par exemple, la formation des professeurs de sciences en général, de la

Terre et de la Vie, en particulier. Cette action nécessite d'urgence :

– i) le renforcement des services de communication (notamment décentralisés) en personnels dédiés ;

– ii) une prise en compte de ces activités dans l'évaluation des carrières en réfléchissant à des indicateurs adaptés.

• **Veiller à assurer une dynamique en ressources humaines dans les laboratoires.** Cet objectif repose sur 3 axes qu'il faut développer :

1. **la formation.** Il est urgent, plus qu'urgent, de rééquilibrer la constitution des viviers d'étudiants de qualité vers des carrières scientifiques. Cela nécessite d'expliquer l'importance des études scientifiques dès l'enseignement secondaire (*Voir* ci-dessus), de donner les moyens aux universités d'attirer les meilleurs étudiants, et de proposer des passerelles aux élèves ingénieurs vers les mastères et les doctorats. Toutes ces actions requièrent l'énergie de tous, et en particulier du CNRS, pour qu'il soit force de propositions et qu'il s'investisse dans les réflexions en cours sur l'évolution des universités : nos universités vivent une crise de désaffection sans précédent, l'avenir de la recherche nationale et internationale repose sur elles, mais sortir de la crise est de la responsabilité de tous ;

2. **L'attractivité des carrières des chercheurs,** avec une attention particulière au développement de la précarité, qui n'est pas favorable à une production scientifique de qualité. Un équilibre est fortement recommandé pour favoriser la mobilité des jeunes chercheurs après leur thèse sans induire des situations de précarité prolongée. Recruter

jeune doit rester un point fort de la recherche française : une dérive vers plus de précarité avant la stabilisation nuirait à la liberté des recherches ainsi qu'à l'équilibre homme/femmes, au détriment de ces dernières. Il serait désastreux d'avoir recours à des politiques de quotas et/ou de discrimination positive à l'embauche pour compenser cette dérive (*Voir* outre atlantique, etc.). En revanche, on pourrait réfléchir à stimuler les jeunes recrutés à davantage de mobilité. Il est aussi crucial de préserver la liberté intellectuelle du chercheur en maintenant les postes permanents, de maintenir des connaissances de fond pour éviter de générer des disciplines orphelines, et de stimuler la productivité tout en préservant la liberté intellectuelle des équipes, en élargissant les possibilités de post-doc sur contrats publics ;

3. **L'attractivité des carrières des ITA.**

La situation des ITA en PU est préoccupante. Ils travaillent dans un domaine qui repose très fortement sur les développements techniques et analytiques, sur l'acquisition, la validation et la mise en réseau de données très diverses, et enfin sur la modélisation. Il est donc fondamental que le département dispose de personnels de qualité, en nombre et motivés. Pour cela, il est absolument nécessaire de diligenter une vraie gestion de l'ensemble des ressources humaines participant aux travaux du département. Ceci implique des recrutements adaptés aux métiers, des biseaux pertinents pour assurer la transmission de savoir lors des départs en retraite, des formations adaptées, la mise en place d'outils pour une reconnaissance du travail effectué via des évolutions de carrière et donc un maintien fort de la motivation, une révision des référentiels de métiers (Observatoire des Métiers) et des appartenances aux BAP.