

UNE STRATEGIE INTEGRANT TOUS LES POSSIBLES : QUELS MOYENS POUR QUELLES AMBITIONS ?

Yves André ; Fabrice Arduin ; Gilles Bergametti (président sortant du CPS) ; Matthieu Berthomier ; Baptiste Cecconi ; Selma Cherchali ; Cathy Clerbaux ; Bruno Cugny (animateur du groupe), Agnès Ducharne, François Forget ; Jean-Marie Hameury (président entrant du CPS), Karine Issautier ; Christophe Laporte ; Laurence Lavergne ; Laurence Lorda ; Didier Massonnet ; Isabelle Panet ; Frédéric Parol ; Hervé Roquet ; Marc Sauvage ; Céline Tison ; Paola Van-Troostenberghe.

Ce texte est une synthèse des réflexions menées par les différents groupes, Ceres, Tosca, groupes thématiques et groupes transverses, et bien entendu le CPS. Il représente la position du CPS. Il ne reprend pas les priorités scientifiques exprimées dans les rapports de synthèse du Ceres et du Tosca, qu'il endosse. Il a pour ambition, à partir de l'analyse de ces priorités, de contribuer à l'élaboration de la stratégie scientifique du Cnes dans un contexte très évolutif, tant sur le plan national qu'international.

1. QUELS ENJEUX POUR DEMAIN (ET APRÈS-DEMAIN) ?

L'objectif premier de la communauté scientifique est de faire progresser notre connaissance du monde qui nous entoure. Les données spatiales contribuent aux progrès du savoir dans nombre de disciplines, mais il en est deux pour lesquelles cet apport est décisif, et même vital : les sciences de l'univers et les sciences de la Terre. Si on veut observer l'univers ailleurs que dans la bande limitée du spectre électromagnétique qui n'est pas absorbée par l'atmosphère, ou explorer *in-situ* les planètes du système solaire ou l'héliosphère, il est indispensable d'aller dans l'espace. De même, l'étude de la planète Terre requiert des observations couvrant l'ensemble – ou à tout le moins de larges fractions – de la planète, avec une bonne résolution spatio-temporelle qui ne peuvent être réalisées que depuis l'espace. Enfin, l'espace offre un environnement stable sur de longues durées et dans lequel la pesanteur est pratiquement nulle, indispensable pour certaines expériences de physique fondamentale, de sciences de la matière ou de la vie. Dans de très nombreux cas, le lien modèle – données est fondamental et les données satellitaires constituent une base essentielle de la modélisation numérique.

Cet objectif de progression des connaissances se conjugue avec d'autres objectifs sociétaux, en particulier ceux relatifs aux crises environnementales auxquelles l'humanité doit faire face, notamment la crise climatique.

Par ailleurs, le progrès des connaissances ne se conçoit que dans un contexte où les résultats de la recherche sont largement diffusés et les données ouvertes, donc très compétitif au plan international. Un enjeu important pour la communauté scientifique française – et européenne – est de rester compétitive dans un contexte où les équilibres économiques, géopolitiques et scientifiques évoluent rapidement.

1.1. DES AMBITIONS FORTES

Les priorités scientifiques affichées lors de ce séminaire de prospective, comme lors des précédents séminaires, sont ambitieuses. Dans le domaine des sciences de l'univers, la détection des signatures des ondes gravitationnelles primordiales pour comprendre la physique de l'inflation, la compréhension du cycle de la matière, depuis la formation des étoiles dans le milieu interstellaire jusqu'à leur fin de vie, la question de l'habitabilité des planètes et satellites du système solaire sont quelques exemples d'objectifs difficiles auxquels s'attaque la communauté scientifique depuis plusieurs années, avec des progrès qui, bien que notables, sont loin d'avoir épuisé le sujet. De même, les sciences de la Planète étudient de façon intégrée le système Terre pour comprendre son évolution dans le temps et l'espace, ce qui passe par la compréhension des différents cycles

(cycle de l'eau, cycle du carbone, cycle de l'énergie) tant au travers de leurs stocks que de leurs flux et des interactions entre ses enveloppes fluides et solides ; elles analysent l'impact de l'homme sur le système terrestre et l'impact de ces changements sur l'homme ; elles s'intéressent autant à des régions habitées qu'à des régions reculées, voire inaccessibles par l'observation directe de notre planète, l'intérieur de la Terre par exemple, dont on tente de comprendre le fonctionnement, sa composition et sa structure thermique, le mode de circulation des éléments dans le manteau ou encore la génération du champ magnétique terrestre.

Les données qui permettront de répondre à ces questions seront souvent obtenues à partir de missions innovantes et ambitieuses, ou, dans le cas des sciences de la Terre, de missions pouvant être moins innovantes mais récurrentes, notamment pour répondre au besoin de séries temporelles à long terme, nécessaires pour observer les changements des systèmes anthropisés, et, dans bien des cas, complétées par des observations depuis le sol ou des mesures in-situ. La difficulté se situe alors soit dans les techniques de mesure elles-mêmes, soit dans la complexité de la mission, soit dans le traitement et l'assimilation de données. Dans le domaine des sciences de l'univers, les instruments sont souvent à la limite du possible (voire au-delà dans les phases préliminaires des projets) ; la mesure de variations relatives de distances inférieures à 10^{-20} pour la détection des ondes gravitationnelles dans le cadre de la mission Lisa en est un bon exemple. Dans le domaine des sciences de la Terre (et dans une moindre mesure en sciences de l'univers), la nécessité d'assimiler et d'hybrider des données issues de multiples sources (observations et modèles) pose un défi qui reporte les difficultés des missions sur l'analyse des données ; le besoin de garantir la disponibilité de données à haute résolution spatiale et temporelle se traduit par un coût de mission important et une empreinte environnementale qui peut être significative. En planétologie, emporter une charge utile significative jusqu'à Uranus ou Neptune génère un temps de croisière de plusieurs années, immédiatement synonyme d'un coût élevé et d'une planification long terme. Pour les plasmas spatiaux, multiplier les points de mesure sans réduire leur qualité en chaque point est également un défi. Dans tous les cas, il faut traiter des ensembles de données de plus en plus volumineuses et complexes qui peuvent nécessiter de recourir à des méthodes sophistiquées d'analyse.

Les ambitions scientifiques se traduisent donc par des missions souvent complexes et/ou coûteuses, par leur profil instrumental ou par leur traitement. C'est une tendance structurelle lourde qui ne s'infléchira pas sur le moyen/long terme.

1.2. UN CONTEXTE EN ÉVOLUTION RAPIDE

Le paysage tant national qu'europpéen et international a fortement évolué ces dernières années. Les points les plus remarquables sont les suivants :

- **Un contexte politique privilégiant les applications.** En France, le Cnes a désormais comme tutelle principale le ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique, le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche restant tutelle avec le ministère des armées. Parmi ses objectifs, le Cnes doit être moteur de l'écosystème spatial national et européen dans un contexte newspace. Cette tendance vers les applications est accentuée par l'émergence d'un marché de surveillance de l'environnement avec des possibilités de commercialiser des services auprès d'acteurs publics ou privés. Le faible retour pour les partenaires académiques du volet spatial du plan France 2030 (2% du budget, loin des 10% affichés), dû à l'inadéquation des critères de sélection et des contraintes sur le montage des projets, est une manifestation de cette évolution. En Europe, on note le développement significatif du programme Copernicus qui allie un programme spatial ambitieux (les nouvelles missions Sentinel-Expansion et Sentinel-New Generation s'ajoutant aux Sentinel) et des services. En parallèle, le programme exploration de l'Esa prend de l'ampleur. La science n'est plus le moteur principal du spatial comme cela avait été le cas lors de la création de l'Esa, même si le programme Copernicus fournit et fournira des données fondamentales pour la science et que l'exploration lunaire peut offrir des opportunités à considérer.
- **Un désengagement à confirmer des maîtres d'œuvre industriels (MOI) historiques sur les missions scientifiques ?** Pour la première fois, on a vu des MOI majeurs être très réticents à répondre à certains appels d'offres du Cnes. Les causes doivent être analysées finement pour déterminer s'il s'agit d'un phénomène conjoncturel, ou plus structurel qui pourrait traduire une

réticence affirmée des MOI à s'engager sur des missions ou des instruments présentant un triptyque risque / coût / rentabilité d'un marché ultérieur défavorable. Il est trop tôt pour en tirer des conclusions définitives, mais ce point doit faire l'objet d'une grande vigilance car il conditionne la capacité de l'Europe à développer les missions innovantes indispensables pour rester compétitive. Malgré l'émergence du newspace, ces missions requièrent un niveau technologique atteignable uniquement par les MOI à ce jour.

- **Un contexte programmatique international tendu.** Outre les difficultés du programme d'exploration de Mars, suite à l'arrêt de la participation de la Russie au programme Exomars et à la sous-estimation des coûts du programme de retour d'échantillons martiens mené en collaboration entre la Nasa et l'Esa, la fin programmée de la station spatiale internationale (ISS) pose la question de l'accès à l'espace dans les domaines des sciences de la vie et de la matière, celles-ci reposant de façon quasi-exclusive sur l'utilisation de l'ISS pour mener leurs expériences dans l'espace.
- **Un contexte international évolutif.** La Chine, tout comme l'Inde sont désormais des acteurs majeurs et incontournables du domaine spatial. La Chine affiche clairement une volonté politique de devenir le leader mondial dans ce domaine. Très vraisemblablement, les Etats-Unis ne voudront pas se laisser distancer, et vont (ou ont déjà) renforcer leur investissement dans le spatial. Si l'Europe ne veut pas disparaître du paysage, un effort significatif sera nécessaire. Par ailleurs, de nouveaux pays, tels que les Emirats Arabes Unis rentrent sur la scène avec des ambitions fortes et les moyens financiers de les réaliser. Les coopérations internationales restent des opportunités majeures pour développer les missions spatiales, mais sont soumises aux aléas géopolitiques (voir l'arrêt des collaborations avec la Russie, partenaire historique de la France, suite à l'invasion de l'Ukraine, et l'impossibilité d'utiliser des Soyouz). Les tensions internationales actuelles font craindre des modifications profondes des capacités de montage de missions innovantes.
- **Une demande sociétale forte de réduire l'empreinte environnementale.** La tutelle du Cnes lui a demandé de réduire son empreinte environnementale avec une attention particulière à l'empreinte carbone et l'empreinte sur la biodiversité ; le Cnes a initié une démarche en interne visant à estimer l'empreinte environnementale de ses missions pour, à terme, mieux la contrôler. Par ailleurs, les astronomes sont particulièrement concernés par la pollution des orbites, du ciel nocturne et de l'environnement électromagnétique. Celle-ci résulte pour beaucoup de projets de très grandes constellations à visées commerciales par les acteurs du newspace, mais, dans ce contexte, la mise en avant par les scientifiques de constellations pour des objectifs scientifiques doit se justifier aussi sur ces aspects. Cette préoccupation doit être intégrée à tous les développements de l'écosystème spatial dans son ensemble.
- **Le Cnes, agence de programme chargée de l'espace.** Lors de son discours du 7 décembre 2023, le président de la République a demandé au Cnes d'assumer le rôle d'agence de programme en charge de l'espace, réaffirmant ainsi sa mission définie par la loi de 1961, fondatrice du centre. Le rôle et le mode de fonctionnement de l'agence ne sont pas encore clairement établis ; ce peut être une opportunité de renforcer et d'améliorer la coordination entre les organismes contribuant à la recherche spatiale. Il n'en reste pas moins que le maintien de la position de la science dans un Cnes qui voit évoluer certains de ses piliers historiques (turbulences dans le domaine des lanceurs avec l'irruption des acteurs du newspace, positionnement vis-à-vis des industriels, défense avec le commandement de l'espace installé à Toulouse, etc.) peut être source d'inquiétude.

1.3. DES DÉFIS À RELEVER

Dans ce contexte, le maintien de la compétitivité scientifique et technique et de la capacité à réaliser les missions jugées prioritaires par la communauté scientifique française imposent de relever plusieurs catégories de défis. Ils sont énumérés ici et seront détaillés dans la suite de ce rapport avec quelques pistes à explorer pour y faire face.

1.3.1. RELEVER LE DÉFI POSÉ PAR LES AMBITIONS CHINOISES ET AMÉRICAINES

Pour que l'Europe ne disparaisse pas du paysage international marqué, on l'a vu, par la rivalité Etats- Unis – Chine, il faut renforcer l'Esa pour qu'elle soit plus efficace et plus réactive. En effet, les missions les plus ambitieuses qui peuvent se comparer aux grandes missions américaines ne sont

réalisables que dans un cadre européen. Cela passe par le maintien, voire le renforcement du soutien financier à l'Esa (notamment du programme Sciences qui a perdu en pouvoir d'achat malgré l'arrivée de nouveaux Etats-membres, accompagné, le cas échéant, d'une augmentation du budget propre du Cnes, voir plus bas). Le budget Esa dédié à la science restera, quoi qu'il arrive, largement inférieur à celui de la Nasa, même si une comparaison directe a peu de sens en raison de différences dans la façon de comptabiliser les coûts et du fait que les budgets de l'Esa sont moins soumis aux à-coups politiques que celui de la Nasa. Cela passe aussi par des réformes internes à l'Esa comme on le verra plus loin.

Par ailleurs, il faut mieux faire entendre les positions françaises à l'Esa et à la Commission européenne et renforcer les activités de lobbying pour les amener à un niveau comparable à celui de nombreux autres pays, petits ou grands.

1.3.2. MAINTENIR UNE CAPACITÉ D'INNOVATION

Pour assurer notre compétitivité sur le long terme, il est essentiel de maintenir un programme de préparation du futur ambitieux (actions de R&T, démonstrateurs, phases O/A, programmes exploratoires, etc.). La montée en TRL peut souvent être facilitée par le développement de démonstrateurs au sol ou aéroportés (ballon ou avion) à vocation scientifique. Enfin, il faut saisir les opportunités du contexte newspace pour créer des partenariats entre les nouveaux entrants et les laboratoires qui peuvent être bénéfiques sur le long terme.

L'issue des activités de R&T peut être très incertaine et elles sont par nature risquées, ce qui, pour des industriels, correspond à un coût élevé. Les laboratoires, qui ne sont pas soumis à des exigences de rentabilité, doivent donc être moteur dans ces activités, en particulier celles dont le débouché commercial est loin d'être garanti.

1.3.3. MAXIMISER L'USAGE DES DONNÉES SPATIALES

Depuis une décennie, le volume de données est en forte augmentation avec une diversité croissante de leurs sources. La technologie, à la fois algorithmique (intelligence artificielle) et matérielle permet d'accompagner cette explosion de données. Il ne s'agit plus de les traiter de façon isolée mais de les hybrider pour atteindre un niveau d'information toujours plus riche. L'essor des jumeaux numériques en est l'expression la plus emblématique, amenant une fusion de la modélisation, de l'exploration des possibles et de la prédiction ; ce ne sont pas des modèles autonomes et ils ont un besoin impératif de données. Cependant, les données restent largement sous-utilisées de par leur haute technicité et des accès qui restent souvent cloisonnés. Les questions de traitements massifs de données complexes restent un enjeu tant pour les sciences de la Terre que pour les sciences de l'univers.

Le Cnes doit encourager les initiatives de simplification, d'illustration et d'explication pour l'accès à la donnée spatiale. Les développements de l'infrastructure de recherche Data Terra en sciences de la Terre doivent être poursuivis en maintenant une vigilance sur l'objectif de répondre aux besoins de la recherche, tout comme la contribution Cnes sur l'accès aux données (portail Geodes), pierre angulaire du dispositif. Pour les sciences de l'univers, l'Esa et la Nasa assurent l'archivage et la mise à dispositions des données provenant des missions dont elles ont la responsabilité et des pôles de données existent déjà pour la physique solaire et la physique des plasmas, mais cela ne couvre pas tout. La recommandation faite en 2019 de définir, en concertation avec le CNRS-Insu, les dispositifs pertinents (pôles de données et services ou autres) à mettre en place, en précisant leur périmètre, est toujours valide. Comme dans le cas de Data Terra, coordonner, fédérer et optimiser l'ensemble des institutions, dispositifs et moyens existants œuvrant dans ce domaine constitue une des ambitions importantes, à l'échelle nationale comme aux échelles européennes et internationales.

1.3.4. FORMER DES SCIENTIFIQUES

Le précédent séminaire de prospective avait souligné le besoin de développer ou de renforcer les filières de formation aux métiers du spatial ou en lien avec le traitement des données spatiales. Cette recommandation demeure, plus forte encore dans un contexte où l'attrait des disciplines scientifiques auprès des jeunes diminue de façon très inquiétante, notamment chez les filles. Les

centres spatiaux universitaires traduisent la sensibilisation de la communauté universitaire aux débouchés des métiers du spatial ; un bilan mériterait d'en être tiré. Il faut souligner, comme en 2019, que la formation se fait aussi au travers de stages, de contrats d'apprentissage et de thèses dans les équipes projet de grandes missions spatiales qui, au-delà des techniques spatiales, forment à la conduite de grands projets internationaux. Le besoin concerne la formation initiale, comme la formation continue. Enfin, une diffusion plus large et une meilleure visibilité de la cartographie des formations aux métiers du spatial, réalisée en 2020 à la demande du Cnes et du MESR et en cours d'actualisation, serait bénéfique pour les étudiants qui cherchent à s'engager dans ce domaine. D'autres initiatives, souvent locales, existent mais gagneraient à être coordonnées.

L'émergence du newspace, en posant des questions qui débordent le seul domaine scientifique (juridique, par exemple) et à l'interface entre recherche et finalités industrielles, fait émerger des besoins nouveaux de formation pour des personnels scientifiques et techniques déjà en activité dans le secteur mais aussi une opportunité de réorienter vers ce secteur des personnels issus d'autres disciplines. Dans les deux cas, la réponse à ces besoins passe par des actions de formation permanente.

Ces sujets, comme d'ailleurs la possibilité de mieux tirer parti de l'attrait du spatial, des sciences liées à l'environnement ou des sciences de l'univers auprès des jeunes pour renforcer les filières scientifiques tôt dans le cursus universitaire, ne peuvent aboutir concrètement sans un partenariat mieux formalisé avec les universités. Ils pourraient être abordés dans le cadre nouveau de l'agence de programme.

1.3.5. RÉSOUDRE LES TENSIONS ENTRE RESSOURCES PRÉVISIBLES, AMBITIONS ET DÉFIS SCIENTIFIQUES

Il faut s'assurer que les ressources disponibles, tant financières que (surtout) humaines, sont à la hauteur des ambitions scientifiques. Or, on voit que dès à présent, il existe des tensions dans ce domaine, qui risquent de croître à court et moyen terme si les recrutements, indispensables, ne permettent pas de compenser l'ensemble des départs et de couvrir les nouveaux besoins. Face à ce risque, la stratégie, classique, est double. Il faut optimiser le coût complet des missions, ce qui suppose de bien identifier les objectifs scientifiques et la stratégie instrumentale à développer, de construire le partenariat adapté qui valorise les compétences scientifiques et techniques nationales tout en maintenant la part française à un niveau raisonnable, alors que, dans les consortia instrumentaux, la tentation est grande de maximiser la contribution. L'autre option est de rechercher des compétences académiques hors des laboratoires spatiaux traditionnels, tant sur l'instrumentation que le traitement des données. Enfin, sans que cela ne réduise les coûts totaux, il faut reconsidérer la répartition des tâches laboratoires / Cnes / industrie.

1.3.6. RÉDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA RECHERCHE SPATIALE

La crise climatique, qui s'inscrit dans une problématique environnementale plus large, impose des mesures fortes de réduction de l'empreinte environnementale au niveau mondial ; la communauté scientifique doit évidemment participer à cet effort. Le groupe spécifique « Réduction de l'empreinte environnementale des activités scientifiques spatiales » a été mis en place dans cet objectif et a émis un certain nombre de recommandations pratiques à court terme qui font consensus ; on peut par exemple citer la nécessité de :

- poursuivre les efforts de quantification de l'empreinte du spatial (scientifique) : projets spatiaux, activités de R&T et infrastructures sol liées aux activités spatiales ;
- renforcer la mutualisation et la réutilisation des moyens sols en support au développement d'instruments spatiaux et rationaliser le développement de nouvelles infrastructures à l'échelle locale ;
- encourager les missions ballons comme option potentielle des démonstrateurs technologiques ;
- favoriser le financement de recherches sur l'empreinte environnementale des activités spatiales ;
- sensibiliser et former l'ensemble des personnels à la transition environnementale ;
- appliquer l'écoconception à toutes les activités depuis les projets R&T jusqu'aux activités de développement, de réalisation et d'exploitation de missions spatiales ;

- favoriser au maximum le recyclage, le réemploi, et la mutualisation des ressources utilisées pour les projets de R&T et la conception des missions spatiales sur toute leur durée de vie ;
- ouvrir davantage les demandes APR ainsi que les sujets de doctorat et post-doctorat à l'exploitation de données d'archives (y compris hors missions européennes).

Ces mesures, pour autant qu'elles ne posent pas de difficulté pratique insurmontable, peuvent être mises en place très rapidement. On peut également consulter l'avis¹ du comité d'éthique du CNRS « Intégrer les enjeux environnementaux à la conduite de la recherche – Une responsabilité éthique »

Les estimations faites par le groupe spécifique montrent que ces mesures ne permettront pas d'atteindre l'objectif global de diminuer d'ici 2050 les émissions de gaz à effet de serre d'un facteur 6 par rapport à 1990, qui permettrait d'atteindre la neutralité carbone. Sauf à imaginer que la situation soit très différente pour les autres activités humaines émettrices de gaz à effet de serre, des mesures contraignantes seront nécessaires et les efforts devront être répartis équitablement (ce qui ne veut pas dire uniformément) entre les différentes activités humaines, économiques et industrielles, en fonction, en particulier, de leur bénéfice pour la société. Il s'agit d'une décision éminemment politique. En l'absence de cadrage global, sélectionner les projets en fonction de leur impact environnemental, suppose qu'on soit capable d'évaluer si le gain en connaissance d'un projet particulier justifie son impact environnemental. Les comités scientifiques ne sont pas armés aujourd'hui pour cela.

2. QUELLES MISSIONS ?

2.1. QUELLES AMBITIONS, QUELS COÛTS POUR LES MISSIONS DE DEMAIN ?

Disposer d'une vaste palette de missions de toutes tailles est indispensable pour atteindre les objectifs scientifiques identifiés dans les prospectives du Ceres et du Tosca. Cependant, la taille des missions est très différente en fonction des domaines.

- Les très grandes missions (XL, classe 2 G€ et au-delà, telles que **HST**, **JWST**, **Lisa**, **Athena**²) sont des spécificités du domaine des sciences de l'univers et de l'exploration. Ces missions phares sont des priorités majeures. Leur complexité résulte de contraintes fondamentales dues à la physique, tant pour la sensibilité que la résolution spatiale. En outre, certains domaines de longueur d'onde, notamment le submillimétrique et l'infrarouge nécessitent une cryogénie poussée parfois à des limites extrêmes (50 mK pour un des instruments d'Athena). Enfin, la distance des objets planétaires à explorer, conjuguée au besoin d'emporter une charge utile complexe, explique le coût des missions vers Neptune par exemple.
- Les grandes missions (L), de l'ordre de 1G€, sont dans le domaine des sciences de l'univers, le prolongement de la catégorie ci-dessus, avec les mêmes justifications ; **Juice**, mission de l'Esa vers Jupiter, en est un bon exemple. Dans le domaine des sciences de la Terre, on trouve des missions très ambitieuses comme **Swot**³.
- Les missions moyennes (M), de quelques centaines de M€, sont incontournables en sciences de l'univers et exploration et en sciences de la Terre ; les missions innovantes du programme Earth Explorer, préparatoires à des missions Copernicus rentrent dans cette catégorie, de même d'ailleurs que la plupart des missions Copernicus et de nombreuses autres missions.
- Les petites missions (S, moins de 200 M€) sont pertinentes sur des questions scientifiques ciblées en sciences de l'univers, notamment dans le domaine de la physique des plasmas spatiaux, et en sciences de la Terre. Il est possible, mais cela reste encore à démontrer, que l'amélioration de la revisite puisse aussi passer par de plus petits satellites, un peu moins

¹ <https://comite-ethique.cnrs.fr/avis-du-comets-integrer-les-enjeux-environnementaux-a-la-conduite-de-la-recherche-une-responsabilite-ethique/>

² Le Hubble Space Telescope (HST), le James Webb Space Telescope (JWST), Lisa et Athena sont des missions d'astronomie décrites dans le rapport du GT astronomie-astrophysique. Le HST, JWST et Athena sont des télescopes qui observent dans le visible, l'infrarouge et les rayons X respectivement ; Lisa est dédié à la détection d'ondes gravitationnelles.

³ Swot (Surface Water Ocean Topography) est une mission Nasa – Cnes, décrite dans le rapport du GT Océan

performants mais moins coûteux (< 60 M€), ce qui renforcerait le poids de cette classe de mission pour les sciences de la Terre si, au-delà des enjeux applicatifs, des objectifs scientifiques d'intérêt sont atteignables.

2.1.1. LE NEWSPACE : DES OPPORTUNITÉS, MAIS LIMITÉES

Le newspace, défini ici comme l'irruption de nouveaux acteurs ayant un objectif commercial à court terme et fournissant de nouveaux moyens et/ou de nouveaux services, offre des opportunités qui doivent être examinées de près afin de voir si, et dans quelle mesure, elles sont utilisables pour couvrir des objectifs scientifiques pertinents et ambitieux en complément des visées applicatives.

Ce sujet a été le thème d'un groupe de travail du précédent séminaire de prospective (et de celui-ci), mais l'application de technologies issues du newspace à la science et, plus encore, l'obtention de résultats scientifiques ont été plus lentes qu'espérées. Outre l'optimisme résultant de l'engouement pour cette nouvelle approche et la démonstration effective de plusieurs réussites en observation de la Terre, les difficultés ont parfois résulté de l'utilisation de méthodes traditionnelles de développement, moins adaptées à des nanosats⁴. L'objectif a souvent été de réduire les coûts en utilisant des plateformes standardisées plus que d'utiliser des méthodes et une philosophie du développement nouvelles qui sont un élément constitutif du newspace ; les promoteurs de ces missions, quelquefois experts d'un sous-ensemble assez limité du système complet, se sont retrouvés dans des rôles de maîtrise d'œuvre de bout en bout et ont dû se familiariser avec des technologies qu'ils ne maîtrisaient pas totalement.

On voit aujourd'hui se développer des projets de constellations de satellites pour l'observation de la Terre ou la météorologie de l'espace qui pourraient compléter les missions institutionnelles en permettant une revisite élevée, rendue possible par le bas coût de chaque satellite individuel, au prix d'une qualité de la mesure moindre. Les principaux domaines concernés sont l'hydrologie, l'imagerie multi- et hyperspectrale, la mesure des aérosols et des gaz à effet de serre et la surveillance de l'environnement spatial. Mais on reste au niveau du potentiel en termes de démonstration de l'apport scientifique. Le retour de **C3iel**⁵ (qui n'est pas stricto sensu du newspace en raison de l'absence d'objectifs commerciaux) sera très intéressant pour valider le concept sur un plan technique dans le cadre très particulier d'une mission qui a été conçue dans un but scientifique car, rappelons-le, le newspace a d'abord des visées commerciales et la science ne peut considérer les missions conçues dans cet esprit que comme d'éventuelles opportunités.

Par rapport aux missions scientifiques traditionnelles, l'utilisation de données issues de plusieurs petits satellites, mieux résolues temporellement et/ou spatialement mais de moins bonne qualité, reporte la difficulté sur le traitement de la donnée, d'autant plus quand le système a été optimisé dans un objectif qui n'est pas celui des scientifiques. Il pourrait alors être utile de développer des simulateurs d'observations pour s'assurer de l'utilité scientifique de ces projets de mission. Ils peuvent être de bons compléments à des missions à haute fiabilité et qualité sous réserve qu'une analyse amont permettent d'en prescrire la qualité minimum pour qu'une plus-value effective soit *in fine* constatée. C'est d'ailleurs l'approche retenue par l'Esa avec certaines des « Third Parties Missions » qui complètent les Sentinel.

Outre les questions sur la précision de la mesure, l'accessibilité des données pour un usage scientifique est un point critique ; il n'est pas raisonnable que la recherche fondamentale puisse être vue par les acteurs du newspace comme un client ordinaire qui aurait à payer comme les autres clients pour utiliser des données quand elle a contribué à développer les concepts et les traitements qui les sous-tendent. Il faut souligner à ce sujet que le newspace peut se nourrir de la recherche académique dans les domaines de l'instrumentation et du traitement des données, ce qui favoriserait son utilisation pour des objectifs scientifiques.

⁴ A noter que le nanosat n'est pas une composante obligatoire du newspace, les industriels du newspace utilisant des satellites bas-coût, dans la gamme nano mais aussi mini

⁵ C3iel (Cluster for Cloud evolution, ClimatE and Lightning) est une mission franco-israélienne décrite dans le rapport du GT Atmosphère

Le bilan environnemental est un autre écueil, puisque, à coût total fixé, le bilan en équivalent CO₂ d'une constellation de petits satellites est plus mauvais que celui d'un ou deux gros satellites (voir le rapport du groupe « newspace »).

Il n'en reste pas moins vrai que des projets classifiés (parfois abusivement) « newspace » tels que **Nanomagsat**⁶ ou **Smash**⁷ ont reçu un soutien fort de la communauté scientifique et sont ou pourraient être financés l'un dans un cadre Esa et l'autre France 2030. Il est important de continuer à les interclasser avec les projets plus traditionnels et de ne pas créer un guichet de financement spécifique qui laisserait à entendre que ce type de projet a besoin d'être protégé de la compétition pour être sélectionné. L'excellence doit rester déterminante pour la sélection des projets scientifiques et ce critère n'est pas pénalisant pour les projets newspace.

Enfin, il convient de souligner que La Lune, comme objet d'étude ou comme base possible, n'apparaît pas comme une priorité forte dans la prospective du Ceres (ni celle du groupe planétologie) en regard de l'importance qui est donnée à l'exploration lunaire dans le contexte newspace.

Il faut, par contre, garder une veille pointue sur les infrastructures bord et sol développées pour et par le newspace qui pourraient être réutilisées pour des missions à volet plus scientifiques et avec une performance maîtrisée. Il s'agit notamment des plateformes à bas coût, de segments sol simplifiés, et d'instruments miniaturisés.

2.2. QUEL CADRE DE RÉALISATION ?

Les missions de la classe XL ne sont réalisables que dans un cadre de collaborations internationales dépassant l'Europe. Il peut s'agir de missions européennes avec des contributions significatives, mais pas majoritaires, de partenaires extra-européens. Elles correspondent aux priorités les plus élevées de la communauté scientifique européenne, mais aussi internationale. La mission Lisa de détection des ondes gravitationnelles de basse fréquence en est une belle illustration. Réciproquement, l'Europe peut aussi participer à des missions initiées par la Nasa, seule agence capable de porter des missions scientifiques de cette ampleur ; un exemple en est le **James Webb Space Telescope** lancé par l'Esa et auquel les pays européens (et en particulier la France) ont contribué (et financé, puisque sur cette mission comme pour la plupart des missions du programme obligatoire de l'Esa, l'instrumentation est fournie par les Etats membres) à l'instrumentation focale.

Dans le domaine des sciences de l'univers, les missions L et M sont portées par l'Esa dès lors que la participation de pays européens est significative. Lorsqu'elles sont réalisées dans un cadre bilatéral, la contribution française est nécessairement limitée (en pourcentage), et sa visibilité, sauf exception (un bel exemple en est la contribution française à la mission **Insight**⁸), modérée, voire modeste. Pour les sciences de la Terre, la flexibilité est plus grande, en raison de l'existence de sources de financement complémentaires (par exemple PIA) qui permettent des contributions très visibles à des missions ambitieuses, comme **Swot**. Cependant, le plafond budgétaire des Earth Explorer (EE) est un frein à l'innovation : des missions sont disqualifiées sur le seul critère coût alors que leur intérêt scientifique est très fort (voir les sélections EE11 et EE12).

Les petites missions sont normalement réalisées dans un cadre bilatéral, voire national. Sauf exception, le cadre Esa n'est pas le meilleur en raison de la capacité budgétaire des grands pays à réaliser ces missions seuls ou à deux et des surcoûts générés par les contraintes Esa. On notera néanmoins comme contre-exemple la mission d'étude du champ magnétique terrestre **Nanomagsat** qui sera réalisée dans un contexte Esa (programme Scout).

⁶ Nanomagsat est un projet de nanosatellite pour la mesure du champ magnétique terrestre. Réalisé dans un cadre traditionnel et sans objectif commercial, c'est abusivement qu'il est considéré comme newspace.

⁷ Smash (SMAll Satellites for Hydrology) est un projet prioritaire décrit dans le rapport du GT SC

⁸ Insight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) est une mission Nasa d'exploration de Mars à laquelle la France a contribué en fournissant l'instrument principal, le sismomètre SEIS

Enfin, des contributions hardware modestes à des missions d'envergure portées par de grandes agences (souvent Nasa ou Jaxa) ont généralement un fort retour scientifique. Elles s'appuient sur la compétence d'équipes dans des domaines scientifiques ou technologiques pointus qui les rendent incontournables et qui s'est construite par des contributions passées importantes à des projets d'envergure. Se limiter à ces seules missions optimiserait certes à court terme le rapport science / coût, mais entraînerait inéluctablement l'érosion à terme des compétences, de la visibilité des équipes et un abandon de la souveraineté nationale. L'Europe et la France ne peuvent avoir pour ambition d'être des acteurs de second rang.

2.3. QUEL RÔLE DES LABORATOIRES DANS LA RÉALISATION DES PROJETS ?

Cette question est intrinsèquement liée à celle des personnels, en particulier techniques, et de leurs compétences. Les laboratoires n'ont pas (et n'ont jamais eu) la capacité d'être maîtres d'œuvre des instruments les plus complexes ; par ailleurs, comme mentionné plus haut, les grands maîtres d'œuvre industriels (MOI) semblent de plus en plus réticents à prendre en charge la réalisation d'instruments scientifiques de haute complexité qui n'ont pas de suite commerciale évidente ou qui leur semblent trop risqués. Le Cnes apparaît donc incontournable comme maître d'œuvre des instruments complexes pour en assumer les risques, avec une limite liée à la disponibilité des personnels techniques du centre. Il doit cependant anticiper une demande accrue et faire les efforts nécessaires pour y faire face au mieux dans la limite de ses contraintes budgétaires.

Dans le domaine des sciences de la Terre, les charges utiles ne sont pas réalisées dans les laboratoires, mais ceux-ci ont un rôle central dans la définition des objectifs scientifiques des missions et dans le suivi des spécifications des instruments afin de s'assurer que les performances attendues permettront de répondre aux objectifs définis. Cela implique de maîtriser la physique de la mesure, de développer des simulateurs, de contribuer au segment-sol et de définir les activités calibration / validation (Cal/Val) qui permettront de s'assurer de la qualité finale des données.

Si les laboratoires contribuent si fortement à l'instrumentation spatiale, c'est qu'ils ont des atouts à faire valoir. Ils sont le lieu où peut s'exercer une synergie entre chercheurs (instrumentalistes ou non) et ingénieurs, où la prise de risque n'est normalement pas un problème. Cependant, le risque de perte de compétences est important et il est parfois difficile d'attirer et de recruter des chercheurs instrumentalistes ou spécialistes des données pour diverses raisons, l'une d'elles étant liée aux critères de recrutement et de promotions qui favorisent la production scientifique sous formes de publications. La responsabilité de la communauté scientifique est majeure, puisque c'est elle qui peuple les jurys de recrutement. Un fléchage plus fréquent par les tutelles serait une solution impopulaire, mais efficace. Le financement de thèses par le Cnes est un élément important du dispositif, qui alimente la recherche académique mais aussi le Cnes et l'industrie. En ce qui concerne les personnels techniques, leur décroissance, beaucoup plus marquée pour les métiers de l'instrumentation que de l'analyse des données, est également très inquiétante ; elle met en danger la capacité des laboratoires à assurer les développements instrumentaux des missions spatiales des sciences de l'univers et à maintenir les compétences en instrumentation *in-situ* ou aéroportée qui sont nécessaires à la Cal/Val des missions spatiales et pour servir, comme démonstrateurs, au développement d'instruments innovants. Outre le non-remplacement de tous les départs, les salaires proposés sont sensiblement inférieurs à ceux du privé dans nombre de métiers, et donc peu attractifs pour les meilleurs candidats.

Face à ces dangers, qui ne sont pas nouveaux, la communauté scientifique a dans un premier temps tenté d'optimiser le système pour utiliser au mieux les ressources disponibles ; ces efforts peuvent et doivent se poursuivre, mais ils ne sont pas loin d'avoir atteint leurs limites. Les demandes de soutien ponctuel au Cnes, s'ils peuvent résoudre des problèmes immédiats, ne peuvent être érigées en système. Si l'évolution actuelle des personnels techniques ne s'inverse pas, un recours au support industriel plus important sera indispensable. Le SPS2019 avait affiché le besoin d'analyser la possibilité d'industrialiser des filières d'instruments très utilisés (par exemple les magnétomètres). Cela n'a été fait qu'en partie (les magnétomètres d'**Helioswarm** seront réalisés en partenariat avec l'industrie) mais pourrait être généralisé. Ce recours accru à l'industrie sera sans doute plus coûteux, en raison des différences de salaires pratiquées dans les organismes de recherche et dans

l'industrie, de la vocation des industriels à faire des bénéfiques, mais aussi, et peut-être surtout parce que la prise de risque a un coût important, et les priorités scientifiques, notamment en sciences de l'univers (mais aussi dans le domaine des sciences de la Terre, voir les lidars), demandent des instruments aux limites de la technologie. C'est néanmoins le prix à payer par le Cnes pour pallier en partie la décroissance des personnels permanents dans les laboratoires. Enfin, si la frilosité des MOI se confirme, le Cnes pourrait, dans certains cas, être amené à prendre des maîtrises d'œuvre avec sous-traitance PME sur des sujets qui relèveraient normalement de l'industrie ; cela aura des conséquences sur les ressources et le positionnement traditionnel du Cnes qu'il convient dès à présent d'anticiper.

La poursuite des activités de R&T dans les laboratoires est vitale pour l'avenir à long terme, mais se heurte aux tensions sur les personnels techniques des laboratoires qui, à juste titre, mettent la priorité sur les engagements déjà pris. Une réorganisation au profit d'une plus grande sous-traitance des activités de réalisation lorsque cela est possible (et ce n'est pas toujours le cas, voir plus haut) serait une des pistes pour des engagements moindres et une orientation R&T plus marquée. Il faut rester cependant vigilant à garder l'expertise technique développée au fil des ans.

3. RECHERCHER DE NOUVELLES COMPÉTENCES ACADÉMIQUES ET SOUTENIR L'EXISTANT

3.1. DONNÉES MASSIVES ET COMPLEXES

Dans un contexte où les traitements de données par intelligence artificielle se multiplient, où se développent les concepts de jumeaux numériques⁹, où l'accès massif aux données est un enjeu renouvelé avec par exemple les plateformes « intelligentes » de distribution de données multi-sources, les questions de traitement massif de données complexes restent un enjeu tant pour les sciences de la Terre que pour les sciences de l'univers.

Le SPS2019 avait fait le constat que le rapprochement avec les sciences mathématiques et informatiques était une nécessité, pour d'une part importer les outils et méthodes développés par ces dernières qui ne sont plus l'objet de recherches amont et qui ne demandent qu'à être utilisées, mais aussi pour mener en commun des actions de recherche permettant le développement de nouveaux outils originaux. Une action conjointe Cnes / Miti (CNRS) a joué un rôle d'incubateur et a permis de faire émerger des collaborations prometteuses. Elle mériterait d'être poursuivie un an ou deux, et surtout d'être prolongée par d'autres actions qui inscriraient dans la durée le soutien nécessaire à ces recherches interdisciplinaires ; un financement de thèses et de post-doctorats est indispensable, tout comme le recrutement de jeunes chercheurs dans ce domaine. L'affichage explicite des données spatiales dans les thèmes ou les mots clés de la commission interdisciplinaire du CNRS chargée des recrutements de chercheurs sur la thématique « science et données » montrerait l'importance que le CNRS leur accorde. Par ailleurs, l'élargissement de ces actions à d'autres organismes (en particulier l'Inria) est indispensable par souci de cohérence globale du dispositif, parce que les compétences sont inégalement réparties dans les organismes et pour donner à cette démarche la visibilité qui lui manque aujourd'hui en l'inscrivant dans une stratégie d'ensemble. C'est un des sujets qui pourrait être discuté dans le cadre de l'agence de programmes.

3.2. INSTRUMENTATION

Un effort comparable mérite d'être mené pour l'instrumentation. L'importance de ce domaine est reconnue par le CNRS-Insu, ne serait-ce qu'à travers la nomination d'un directeur adjoint scientifique en charge des développements instrumentaux innovants pour la recherche et l'observation (DIIRO). Depuis 2021 un programme de soutien au développement instrumental a été mis en place. Il permet

⁹ Le Cnes développe la Digital Twin Factory, boîte à outils pour fabriquer des jumeaux numériques locaux et thématiques. Cette initiative sera un atout pour les laboratoires et les industriels dans l'exploitation des données et dans l'appropriation de la thématique des Jumeaux Numériques, permettant un positionnement européen et international.

d'allouer jusqu'à 100 k€ sur deux ans à des projets novateurs dont le potentiel de transversalité inter-domaines est avéré ou en devenir, afin de faire collaborer des laboratoires / domaines / instituts / organismes différents qui proposent de faire monter en TRL un développement instrumental original. Des rencontres entre l'Insu et l'Insis ont été initiées en 2023 afin d'identifier des axes de travail commun qui devraient conduire à des collaborations futures. Une action conjointe Cnes / CNRS, éventuellement élargie à d'autres organismes pour développer des collaborations avec des laboratoires non spatiaux ayant des compétences fortes sur les détecteurs, composants, etc., par exemple rattachés à l'Insis, serait très bénéfique. Ces développements concerneraient dans un premier temps la R&T, en s'étendant éventuellement jusqu'au démonstrateur, voire au-delà, pourvu que le soutien nécessaire à ces laboratoires non-spatiaux aux techniques spécifiques du domaine spatial soit apporté.

Ces actions ne pourront atteindre leurs objectifs sans qu'on y consacre des moyens significatifs, allant au-delà d'appels à projets incitatifs. Elles nécessiteront l'affichage explicite de ressources financières qui, dans le domaine de l'instrumentation, ne peuvent pas être modestes. Il faudra aussi afficher la possibilité de recruter des chercheurs via des affichages de postes, des doctorants et éventuellement post-doctorants et CDD, pourvu que le recrutement de personnel temporaire n'obère pas la pérennité des nouvelles compétences acquises. Le Cnes pourrait y contribuer sur le modèle du programme avion/ballon mené dans les années 1995, tout comme les universités via par exemple les chaires de professeur junior, et éventuellement d'autres organismes. Peut-être autant que les moyens mis en œuvre, ce qui est essentiel pour la réussite de ce dispositif est son ancrage visible et explicite dans la durée traduisant ainsi son appropriation pleine et entière par le Cnes et ses partenaires.

Sur les sujets de l'instrumentation comme sur les données, il est essentiel de mettre en avant les aspects défi scientifique / numérique / instrumental, avec un accompagnement en termes de budget et de RH (chercheurs et ingénieurs permanents, doctorants, post-docs, éventuellement CDD) pour être attractif. Les projets ambitieux portés par les laboratoires sont en soi visibles et attractifs, mais ont besoin de s'inscrire dans une stratégie plus vaste des tutelles.

3.3. NOUVEAUX DOMAINES

Pour la première fois, l'appel à contributions du SPS a été explicitement ouvert aux sciences humaines et sociales (SHS). Cette thématique est actuellement traitée en partie dans le groupe de travail « surfaces continentales », mais le Cnes souhaite élargir la communauté scientifique qui s'intéresse au spatial, que ce soit en tant qu'objet d'étude (domaines du droit, de l'histoire, de la (géo)politique, etc.) ou pour utilisation de données spatiales qui peuvent apporter des éclairages nouveaux, même si parfois indirects. Ainsi, la biodiversité animale n'est pas observable par satellite mais on peut caractériser les changements environnementaux responsables de son évolution. Le développement du newspace couplé aux crises environnementales, la gestion et la prévision des risques, sont porteurs de questions sociétales qui doivent être abordées par les communautés académiques compétentes. On voit ainsi émerger de nouveaux domaines, souvent multi- ou interdisciplinaires dont il faut encourager le développement.

Le Cnes envisage la mise en place à terme d'un nouveau groupe thématique centré sur le domaine SHS qui viendrait épauler le thématicien actuellement en place. Le CPS regarde cette initiative avec un *a priori* favorable et considère que la question devra être instruite d'ici le prochain SPS en 2029, notamment en ce qui concerne le périmètre du nouveau groupe et les interfaces avec les groupes existants.

4. MAINTENIR UNE ACTIVITÉ SOUTENUE DE PRÉPARATION DU FUTUR POUR RESTER COMPÉTITIF SUR LE LONG TERME

Contrairement à la Nasa, à l'Esa, aux agences chinoises et indiennes et, dans une moindre mesure, à la Jaxa, le Cnes n'est plus une agence prescriptrice de missions scientifiques d'ampleur, mais peut être prescripteur de missions de plus petite taille (ce qui ne signifie pas peu ambitieuses) comme

cela a été le cas par exemple avec **C3iel**¹⁰ ou **Microcarb**¹¹. L'objectif stratégique est donc de participer aux missions européennes. En effet, la France a décidé lors de la création de l'Esa de lui confier la réalisation des missions ambitieuses dans le domaine scientifique, ainsi que la participation ciblée aux missions des agences partenaires prescriptrices, aux objectifs scientifiques essentiellement similaires aux nôtres, afin d'y sécuriser des positions scientifiques gages de futurs succès en termes de publications et de notoriété. Mais le Cnes se doit également de conserver la capacité d'être le maître d'œuvre de petites missions.

L'efficacité maximale de ce processus suppose l'entretien et le développement pérenne de capacités ou de technologies qui permettent à la France d'être un partenaire fiable et efficace, et dans l'idéal un contributeur essentiel à une capacité critique de la mission. Sont concernés le Cnes, les laboratoires qui développent des instruments (embarqués ou prototypes) ou des logiciels et les industriels. Ceci conditionne l'avenir à long terme, et l'apparente diminution des demandes d'action de R&T, si elle devait se confirmer, est, à ce titre, plus qu'inquiétante. En raison d'une limitation des ressources humaines, les laboratoires mettent logiquement, la priorité sur la réalisation de projets sur lesquels ils se sont engagés, au détriment de la R&T ; s'il est naturel que l'activité de préparation du futur fluctue en fonction des engagements, il est vital que soit conservée une activité significative de R&T. Ceci devrait être vérifié lors de la discussion sur la hauteur de l'engagement des laboratoires dans les projets.

Cet objectif se décline selon trois axes.

4.1. L'ENTRETIEN DE FILIÈRES D'EXCELLENCE

Il faut préserver les capacités et le savoir-faire qui ont permis de remplir ces objectifs lors de précédentes missions tout en identifiant à l'avance les changements de situation qui pourraient rendre cette préservation inutile. Sans prétendre à l'exhaustivité, les techniques de sismologie (**Seis**¹²), de chromatographie (Mars et Titan), de mesures magnétiques et plasmas (search coils et spectrométrie plasma), de technique cryogénique (adiabatic demagnetization refrigerator – ADR), d'imagerie micro-onde passive (radiomètres) ou actives (altimètres), de sondage atmosphérique en infrarouge, sont reconnues par nos partenaires étrangers comme parfaitement maîtrisées en France et faisant partie des savoir-faire assez uniques. Pour ces valeurs sûres, sous réserve de maintien des conditions évoquées ci-dessus, la participation aux missions ciblées est relativement « facile » et naturelle, parce que la France est le partenaire le plus évident et le plus simple à inclure dans le consortium. Rançon du succès, il est parfois nécessaire de limiter la participation française si les sollicitations excèdent les capacités de réalisation pour garder un optimum entre contribution et position scientifique.

Les mesures à prendre dans ces filières de technologies maîtrisées en France et reconnues sont donc l'amélioration continue et surtout l'analyse critique de l'avenir de chacune d'entre elles. Le transfert vers l'industrie de celles qui conduisent à la réalisation d'instruments récurrents doit être très sérieusement envisagé dans un contexte où le potentiel technique des laboratoires décroît.

4.2. LE MAINTIEN D'UN SAVOIR-FAIRE À BASE LARGE

Ce qui précède suppose l'existence et la pérennité d'un savoir-faire à large base, à moins d'identifier d'emblée une restriction dans les capacités possibles : ainsi, les générateurs d'énergie nucléaire sont *de facto* absents des réflexions, au moins jusqu'ici, en raison d'un ticket d'entrée très élevé et de perspectives d'utilisation trop incertaines. Aucune restriction de ce type n'est actuellement envisagée sur les filières instrumentales ou de support.

¹⁰ C3iel est une mission franco-israélienne dédiée à l'observation des nuages convectifs

¹¹ Microcarb est une mission dédiée à la mesure du CO₂ atmosphérique

¹² Seis (Seismic Experiment for Interior Structure) est l'instrument principal de la mission Insight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) de la Nasa pour l'étude de Mars.

Les activités avions, ballons et nanosats peuvent aussi être considérées comme des moyens utiles au maintien du savoir-faire et à la formation des agents du Cnes comme des jeunes scientifiques, à condition que ces activités restent dans le temps court. Il faut cependant accepter de les dimensionner raisonnablement et de les mettre en balance avec, par exemple, une participation à une mission Esa ou en bilatéral. Enfin, les développements de projets en maîtrise d'œuvre interne sont aussi un élément traditionnel et important d'entretien du savoir-faire au Cnes.

Les thèses et post-doc en soutien à toutes les activités de préparation mentionnées ci-dessus contribuent à entretenir cette base de savoir-faire. Ces soutiens sont essentiels et pourraient être renforcés.

Le Cnes doit veiller à mieux informer ses partenaires, laboratoires et industriels des nouvelles possibilités ouvertes ; le processus de R&T a été modifié pour être plus flexible (plusieurs relèves par an, appels type « Challenges » très ciblés) et plus cohérent (regroupements en VIP, vecteurs d'innovation prioritaires), et d'autres mécanismes sont disponibles (démonstrateurs, projets exploratoires, « Proof of Concept »). Par ailleurs, une plus grande ouverture à des partenaires académiques moins traditionnels (par exemple CNRS ingénierie ou Inria) mais qui ont des compétences en recherche amont dans les domaines de l'ingénierie et des logiciels ferait sens dans un contexte de tensions sur les ressources humaines dans les organismes. Il faut aussi veiller à ce que leurs experts soient bien inclus dans les Comets (communautés d'experts). Une discussion dans le cadre de l'agence de programme peut fournir des éléments de réponse.

4.3. LE DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES CAPACITÉS

On retrouve ici les ambitions d'offrir de nouvelles capacités soit dans la mesure (atomes froids, peignes de fréquences, spectrométrie de masse, lidars et plus généralement capteurs et détecteurs), soit dans la servitude instrumentale ou le système (cryogénie plus ou moins générique, matériaux particuliers, sous-systèmes ou composants électroniques, voire logiciels spécifiques). Ces nouvelles capacités sont toujours confrontées à un problème critique de synchronisation. N'étant pas prescripteur de missions, le Cnes ne maîtrise pas les plannings, avec le risque de ne pas être en mesure de réaliser à temps la montée en TRL d'une capacité ou de faire des efforts disproportionnés sur une capacité qui sera prête mais sans partenaire pour voler... Il est donc nécessaire de porter un certain nombre de pistes prometteuses jusqu'au TRL suffisant pour pouvoir rapidement atteindre la maturité nécessaire en cas d'appel d'offre ou d'opportunité internationale.

Il est cependant contre-productif de porter des technologies jusqu'à un TRL élevé sans assurance sur le besoin mission ni éléments critiques d'interface. Il faut donc privilégier la réactivité et l'agilité pour mettre en place rapidement, dès avant la phase de dépôt d'une proposition à un appel d'offre par des scientifiques français qui auront ensuite besoin du soutien du Cnes, une aide à la construction du consortium scientifique (pour éviter des schémas trop complexes qui grèveront ensuite le projet pendant des années) ainsi qu'un plan d'action vigoureux permettant d'amener les contributions envisagées jusqu'au TRL d'entrée minimal.

4.4. LES RESSOURCES HUMAINES DES LABORATOIRES

Il y a manifestement un problème d'adéquation entre les ambitions légitimes de la communauté française et les ressources humaines disponibles. En outre, les projections montrent que bon nombre de chefs de projets expérimentés et d'ingénieurs spécialisés vont partir à la retraite dans les dix ans qui viennent. Alors qu'il faudrait organiser des biseaux, la tendance dans les organismes est clairement à la réduction des effectifs. De plus, les salaires proposés sont peu compétitifs dans un marché où on peine à fournir les ingénieurs indispensables à l'industrie. Ceci conduit et va conduire à une tension forte sur les activités de préparation du futur et notamment celles qui sont les plus innovantes et les plus porteuses.

Comme pour ce qui concerne la réalisation d'instruments, une partie de la solution pourrait être de transférer les savoir-faire bien maîtrisés et reconnus vers l'industrie mais celle-ci a aussi ses problèmes et n'est, pour les plus grandes entreprises, parfois intéressée que s'il existe un marché commercial rentable. De même, on peut chercher de la ressource humaine ailleurs mais cela

nécessite aussi des moyens et ne resoudra pas tout. Le constat demeure donc qu'une volonté politique et une stratégie de moyen terme (c'est à dire des ressources humaines correctement dimensionnées), est indispensable pour que la France ne devienne pas un acteur de second plan.

5. EUROPE ET INTERNATIONAL

Le groupe spécifique traitant de l'international a abordé ces questions en détail et fait des recommandations consensuelles que le CPS endosse.

5.1. RENFORCER L'ESA POUR QU'ELLE SOIT PLUS EFFICACE ET RÉACTIVE

Dans le domaine des sciences de l'univers, l'augmentation, souhaitable, du budget de l'Esa, et particulièrement du programme obligatoire qui est loin d'avoir été compensé de l'inflation ces dernières années (avec pour conséquence que, sans augmentation du niveau de ressources au-delà de l'inflation, il sera impossible d'adopter une nouvelle mission pendant 10 ans après l'adoption d'Athena et de M7, déjà sélectionnées), doit s'accompagner d'une augmentation raisonnable du budget propre du Cnes. En effet, il est indispensable que le Cnes dispose des moyens nécessaires pour contribuer efficacement aux charges utiles du programme obligatoire tout en conservant une capacité suffisante pour les partenariats bi- ou multilatéraux.

Les règles de juste retour sont pénalisantes, en termes de coût mais aussi et surtout de complexité des montages industriels qui sont loin d'être optimaux, et donc en termes de réactivité face à des agences américaines ou chinoises. Elles sont cependant difficiles à faire évoluer et ont permis la construction de l'Europe spatiale qui nous donne la capacité de réaliser aujourd'hui des missions ambitieuses. Ceci ne dispense cependant pas de tenter d'introduire plus de souplesse dans leur application, et n'oblige certainement pas à construire des consortia instrumentaux (non concernés par ces règles) qui rassemblent parfois un nombre excessif de partenaires, ni à morceler les sous-systèmes.

Le programme obligatoire, très diversifié, permet aux grands comme aux petits pays de participer à des missions scientifiques pionnières qui voient le jour dans des conditions budgétaires bien plus contraintes qu'à la Nasa. Il tire sa force de son mode de sélection des missions, basé sur la science, qui lui vaut le soutien de la communauté scientifique. Cette confiance s'est érodée dans les dernières années, et les choix de l'Esa lui ont valu des critiques, pas toujours infondées, sur l'opacité des décisions en particulier. Il est urgent d'y remédier.

Dans le domaine des sciences de la Terre, les priorités scientifiques nationales n'ont pas été retenues dans les sélections Earth Explorer. Ceci résulte en partie d'une sous-souscription du programme, ce qui a été corrigé à la dernière ministérielle, mais aussi d'un défaut de lobbying, qui apparaît comme assez général dans les programmes européens. Les missions Copernicus, décidées par l'UE, ont des visées plus exploratoires que dans le passé, mais le poids de la France n'est pas toujours à la hauteur de ses ambitions malgré des succès tels que l'approbation de la mission Sentinel-3NG-Topo ; ainsi une mission prenant la suite de **Smos**¹³ n'a pu être sélectionnée dans ce cadre. Il est essentiel de poursuivre la co-construction du programme Copernicus afin de mettre en avant dans les futures discussions les missions d'intérêt pour la communauté nationale, dans lesquelles elle s'est souvent investie de longue date, ainsi que le développement de services associés. Par ailleurs, une réévaluation à la hausse du plafond des missions Earth Explorer permettrait de pouvoir retenir des missions très ambitieuses qui ont été écartées du processus de sélection du seul fait de leur coût malgré un très fort soutien scientifique.

Enfin, la mise en compétition, pour la sélection des missions M du programme obligatoire, de trois missions durant des phases A longues, devait certes permettre de réduire les incertitudes et les coûts, objectif louable, mais pèse lourdement sur les laboratoires qui sont en tension sur les personnels techniques. Le soutien de l'Esa aux laboratoires pendant ces phases a réduit la charge

¹³ Smos (Soil Moisture and Ocean Salinity) est une mission de l'Esa lancée en 2009

qui pèse sur eux, mais est insuffisant. L'Esa et les Etats membres doivent trouver un meilleur équilibre entre charge des laboratoires et fiabilisation des missions, par exemple en réduisant le nombre de phases A compétitives ou en réduisant la durée de la partie compétitive. De même, la mise en compétition d'industriels pour une mission donnée est pénalisante pour le développement en parallèle des instruments. D'autres agences, comme la Nasa, ont des processus plus simples dont il conviendrait d'analyser les conditions d'implémentation dans un contexte Esa.

5.2. LES MISSIONS BILATÉRALES, UN COMPLÉMENT INDISPENSABLE

Si les divers cadres européens permettent des missions ambitieuses, elles ne couvrent pas la totalité des priorités scientifiques françaises et sont programmées sur un horizon parfois très lointain ; il est donc nécessaire de pouvoir mener des missions en coopération bilatérale pour compléter le dispositif et permettre en principe de la réactivité. Il faut donc maintenir les coopérations historiques ambitieuses en bilatéral avec la Nasa, la Jaxa et l'Isro, mais aussi avec la Chine, y compris dans un cadre Esa, malgré le risque lié au caractère hautement politique des relations entre la Chine et les pays Européens.

Sur le long terme, il peut être aussi intéressant d'aider les pays émergents comme les Emirats Arabes Unis à développer une communauté scientifique intéressée par le spatial en s'appuyant sur les organismes de recherche et en particulier le CNRS. Leur motivation principale pour le spatial n'est pas aujourd'hui scientifique, mais ils disposent de moyens importants.

5.3. RÔLE DE L'UE POUR SOUTENIR L'EXPLOITATION SCIENTIFIQUE DES MISSIONS DE L'ESA

Alors que les programmes cadres précédents contenaient un volet spécifique sur l'exploitation des données spatiales, et notamment leur mise à disposition, cet aspect a pratiquement disparu du programme Horizon Europe qui couvre la période 2021-2027. Il y a eu un seul appel générique dédié à l'exploitation des données spatiales issues de missions européennes sur la période 2021-2024 ; il n'y en aura probablement pas d'autre. La commission européenne finance certes, et de façon significative, la recherche en général via notamment l'ERC et le soutien aux infrastructures de recherche (par exemple Europlanet en planétologie qui a un volet spatial significatif), cela est loin d'être suffisant. Les sciences de la Terre peuvent élargir à des programmes thématiques, mais ce n'est pas le cas des sciences de l'univers. Une action de lobbying est là encore nécessaire pour que le programme cadre suivant, en cours de préparation, corrige cela.

6. LE CNES, AGENCE DE PROGRAMME EN CHARGE DE L'ESPACE

Dans le contexte de la création des agences de programme, il a été demandé au Cnes d'assumer le rôle d'agence de programme en charge de l'espace. Il est prématuré d'en tirer toutes les conséquences, mais comme le Cnes joue de fait déjà ce rôle, il ne devrait pas y avoir de bouleversement de l'organisation de la recherche spatiale. Il y a par contre des opportunités à saisir pour renforcer les liens avec les organismes. Le comité des partenaires de l'agence qui associe organismes, universités et industriels permettra de compléter les comités inter-organismes (CIO) existants (notamment les CIO projets organisés pour s'assurer de l'engagement de tous les partenaires sur un projet spécifique et dont le rôle essentiel est rappelé) et les discussions bilatérales Cnes-organismes. Il y a quelques domaines où une discussion inter-organismes pourrait être utile ; sans que cette liste soit exhaustive, on peut citer à titre d'exemple les partenariats internationaux, la politique des ressources humaines, la mise en place d'actions visant à soutenir le traitement de données et l'instrumentation, la formation aux métiers du spatial. En fonction des sujets abordés, ces discussions pourraient soit concerner l'ensemble des partenaires, soit les plus directement impliqués d'entre eux (par exemple sur la question des ressources humaines des laboratoires).

Le CPS tient à souligner que son rôle doit rester celui d'un conseil indépendant donnant des avis scientifiques.

7. CONCLUSIONS

L'enjeu des prochaines années est le maintien de la compétitivité scientifique de la France et de l'Europe dans un contexte international où les équilibres se déplacent. La rivalité Etats-Unis – Chine qui se développe aussi dans le domaine de la recherche spatiale peut, si la mesure de l'enjeu n'est pas prise, reléguer la France au rôle d'acteur de second rang. En outre, les changements de l'équilibre Cnes / Laboratoires / industrie pour des raisons à la fois politiques et de tensions sur les ressources humaines dans les organismes peuvent être déstabilisants, quand de plus les industriels historiques du spatial semblent réticents à prendre des risques qui ne porteront des fruits que sur le long terme. Il n'y a pas lieu de penser que les startups du newspace aient une attitude très différente sur l'absence de retour sur investissement avant un temps long.

La poursuite de la rationalisation du système dans un environnement budgétaire surcontraint est indispensable mais ne suffira pas. Des évolutions de la répartition des tâches entre les laboratoires, le Cnes et l'industrie seront aussi nécessaires, mais seront limitées et ne suffiront pas à elles seules non plus. Les enjeux de connaissance, dénués d'objectifs mercantiles, justifient un effort soutenu des tutelles, d'autant plus que ces enjeux sont la clé pour faire face aux défis sociétaux auxquels nous sommes confrontés ; les objectifs « appliqués » nécessitent aussi de maintenir dans la durée l'écosystème spatial, notamment sa composante amont de recherche. Cet effort doit être coordonné par le Cnes dans le cadre nouveau de l'agence de programme. A plus haut niveau, une volonté politique forte et une stratégie claire de moyen terme, appuyée *a minima* sur des ressources humaines correctement dimensionnées sont indispensables pour que la France conserve son rang de puissance spatiale internationalement reconnue.

Enfin, ces défis et ces enjeux se placent dans un contexte de crise environnementale qui dépasse largement la recherche spatiale et impose à très court terme des efforts importants de réduction de l'empreinte environnementale s'appliquant à tous les acteurs. Le Cnes est déjà engagé dans cette démarche, vitale pour l'avenir.