



Ce rapport préparé par le CNES avec le concours de la communauté scientifique française à l'occasion de la 40^e assemblée du COSPAR résume deux années (2012-2013) de recherche scientifique spatiale en France. Il présente d'une part un panorama des programmes scientifiques en cours dans les domaines des sciences de l'univers, des sciences de la Terre et de l'environnement, des sciences de la matière en micropesanteur et des sciences de la vie dans l'espace, et d'autre part une sélection de quelques résultats scientifiques marquants obtenus pendant la période.

Rappelons d'abord que le CNES, agence spatiale française, a dans les missions qui lui sont confiées par l'Etat, la tâche d'organiser la recherche scientifique spatiale nationale. Il n'a pas de laboratoires de recherche en propre et travaille en partenariat avec la communauté scientifique nationale, laboratoires et organismes publics de recherche, auxquels il apporte un soutien technique et financier.

Rappelons ensuite que le programme spatial français a deux composantes : (i) la participation aux programmes de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), la contribution française à l'ESA étant gérée par le CNES, et (ii) les programmes réalisés en dehors de ce cadre, la quasi-totalité de ces derniers étant réalisés sous forme de coopérations bi- ou multilatérales. Programmes ESA et programmes hors ESA sont construits dans une logique de complémentarité.

Dans le domaine des sciences de l'univers, le programme *Cosmic Vision* de l'ESA est véritablement le cœur du programme spatial français. Les laboratoires français, avec le support du CNES, fournissent plus du quart des instruments scientifiques embarqués sur ses missions, alors que le PIB français d'après lequel est calculée la cotisation française à *Cosmic Vision* n'est que de 15,5 %.

Parmi les événements marquants de la période, on peut mentionner la publication en avril 2013 des premiers résultats cosmologiques de Planck, la fin mi-2013 des opérations de Herschel pour l'étude de l'univers froid, et le lancement de la mission d'astrométrie Gaia en décembre 2013 où le CNES joue un rôle majeur dans le segment sol. Notons l'adoption définitive des missions « de taille moyenne » M1 (Solar Orbiter) en octobre 2011 et M2 (Euclid, énergie noire) en juin 2012, la sélection en mai 2012 de la première mission « large » Juice vers les satellites glacés de Jupiter, et le choix en novembre 2013 des thèmes des futures missions L2 (« the hot and energetic Universe ») et L3 (« the gravitational Universe »). À côté de *Cosmic Vision*, il faut souligner l'importance des coopérations internationales, notamment avec les Etats-Unis dans le domaine de l'exploration robotique de Mars avec MSL, Maven et Insight.

La mission franco-chinoise SVOM (suivi des sursauts gamma) va redémarrer après la décision de nos partenaires d'utiliser une plateforme chinoise et un lancement depuis la Chine.

Soulignons aussi l'importance des petites opportunités à fort retour sur investissement, par exemple la participation à la mission japonaise Hayabusa 2 à travers une contribution à l'atterrisseur Mascot.

On peut également rappeler le rôle du CNES dans l'émergence de nouvelles thématiques spatiales comme la physique fondamentale avec l'horloge Pharaon qui sera installée sur l'ISS en 2015 et le microsatellite Microscope dédié au test du principe d'équivalence, qui sera lancé en 2016. Par ailleurs le développement du microsatellite Taranis (étude des phénomènes lumineux au-dessus des orages) se poursuit pour un lancement en 2015 et citons pour finir la fin des opérations du satellite Picard (mesure de l'irradiance solaire).

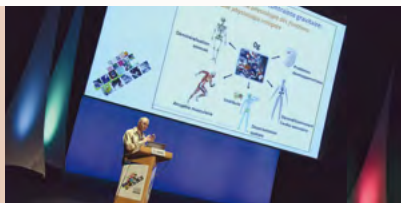
Concernant les sciences physiques en micropesanteur et les sciences de la vie dans l'espace, la priorité est donnée à l'utilisation des infrastructures orbitales. L'utilisation, en coopération franco-américaine, de l'instrument DECLIC se poursuit sur l'ISS avec le revol des inserts DSI et HTI et le développement de l'instrument de suivi cardio-vasculaire Cardiospace est en voie d'achèvement dans la perspective de son emport sur TianGong 2. Le CNES (Centre de Toulouse) a par ailleurs réalisé les opérations de pilotage, d'amarrage et de désorbitation de l'ATV3 « Edoardo Amaldi » en 2012 et de l'ATV4 « Albert Einstein » en 2013 après leur lancement par Ariane 5 depuis le Centre Spatial de Kourou (Guyane française).

Thème important des prochaines décennies, l'exploration robotique et humaine du système solaire doit être envisagée comme une entreprise internationale, à travers une coopération équilibrée entre partenaires, sans exclusivité ni appropriation par l'un ou l'autre, et dans laquelle chaque participant apporte ses capacités, ses atouts et ses choix privilégiés. C'est l'Agence Spatiale Européenne qui porte aujourd'hui la plus grosse part des efforts européens en matière d'exploration. Mais pour que l'exploration puisse devenir un lieu de coopération internationale, une vision politique partagée est nécessaire. Le CNES a participé activement aux travaux de l'International Space Exploration Coordination Group (ISECG), groupe de travail rassemblant 14 agences spatiales qui s'est donné pour tâche d'élaborer une stratégie globale en matière d'exploration (la 2^e édition de la Global Exploration Roadmap est parue en août 2013) et à la préparation du 2^e International Forum on Space Exploration qui s'est tenu en janvier 2014 à Washington.

Dans les sciences de la Terre et de l'environnement, une large fraction des activités scientifiques est couplée à des questions sociétales majeures pour lesquelles la vision globale, homogène et sur de longues périodes permise par l'observation spatiale est devenue incontournable. L'espace apporte des contributions essentielles aux enjeux clés que sont le suivi et la protection de l'environnement, l'adaptation aux changements climatiques et la gestion des ressources naturelles. L'intérêt de ces travaux dépasse le cadre de la seule connaissance car améliorer la compréhension du fonctionnement de la planète est nécessaire à notre survie. L'image que nous en avons est désormais celle d'une machine globale, dont toutes les composantes interagissent de manière complexe, les effets de l'activité humaine occupant une part croissante dans ces mécanismes.



Jüices © ESA/, 2012



Séminaire de prospective La Rochelle
© CNES/BARRANCO Rachel, 2014

La communauté scientifique a défini dans ce contexte deux axes de recherche principaux :

- comprendre, expérimenter et modéliser les processus qui régissent le fonctionnement physique, chimique et biologique des enveloppes superficielles de la planète Terre : biosphère, lithosphère, océan et atmosphère, système naturel couplé où matière, énergie et êtres vivants interagissent ;
- comprendre, observer, modéliser et atténuer la réponse des systèmes à toutes les échelles (globales, régionales, locales) aux pressions humaines actuelles et passées exercées sur ces enveloppes et sur le fonctionnement des grands cycles biogéochimiques, en identifiant leurs temps caractéristiques, ainsi que l'adaptation des écosystèmes et des sociétés à ces évolutions.

Dans ce domaine des sciences de la Terre et de l'environnement, les coopérations internationales occupent une place prépondérante. Citons en particulier :

- avec l'Allemagne l'accord de coopération entre le CNES et le DLR sur le développement du microsatellite Merlin (mesure du méthane atmosphérique) ;
- avec les Etats-Unis l'accord sur l'étude de la mission Swot (hydrographie continentale et océanographie) qui fait suite aux fructueuses coopérations sur la filière des satellites d'océanographie Topex-Poseidon puis Jason ;
- avec la Chine le projet d'océanographie CFOSAT qui emportera l'instrument français Swim de mesure de la hauteur des vagues ;
- avec l'Inde l'exploitation du satellite Megha-Tropiques lancé en octobre 2011 avec trois équipements français à bord (Marfeq, Saphir et Scarab), et le lancement en février 2013 de la mission Saral, qui emporte l'altimètre français AltiKa, ainsi que des exemplaires des instruments Doris et Argos-3.

Il faut aussi faire jouer, chaque fois que possible, la dualité civil/défense des systèmes spatiaux, comme pour le système d'imagerie optique Pléiades, dont les deux exemplaires ont été lancés en décembre 2011 et décembre 2012.

Mentionnons par ailleurs la participation aux missions scientifiques *Earth Explorer* de l'ESA et la sélection de Biomass comme future mission EE7 du programme européen ; une différence notable avec les sciences de l'univers est que les instruments ne sont pas en général fournis par les laboratoires.

Les missions opérationnelles telles que les satellites météorologiques d'EUMETSAT ou les futurs satellites Sentinel du programme européen Copernicus (ex-GMES) fournissent aux scientifiques des données essentielles. Le 2^e satellite polaire Metop-B d'EUMETSAT, avec à bord un exemplaire du sondeur infrarouge Iasi ainsi qu'un instrument Argos-3, a été lancé en septembre 2012. Fin 2012, à la conférence ministérielle de l'ESA à Naples, il a été décidé d'entreprendre le développement de la future génération de satellites polaires météorologiques européens Metop-SG qui seront lancés dans la prochaine décennie. Début 2013, le CNES et EUMETSAT s'accordaient sur l'engagement du projet Iasi-NG, nouvelle génération de sondeur atmosphérique infrarouge qui sera embarquée sur les Metop-SG.

Plusieurs études d'avant-projets sont en cours, parmi lesquelles on peut notamment mentionner Microcarb (mesure du CO₂ atmosphérique), Mistigri (température de surface), Ocapa (suivi du phytoplancton depuis l'orbite géostationnaire), ainsi que des activités de R&T, notamment sur les diverses utilisations du lidar.

L'outil spatial doit être complété par des outils de traitement et d'archivage donnant facilement l'accès des données obtenues aux utilisateurs pour alimenter la recherche et les services, et pour permettre le retraitement de données antérieures. La mise en place de pôles thématiques au travers d'associations entre le CNES et la communauté utilisatrice participe à ce dispositif, par exemple le nouveau pôle THEIA consacré aux surfaces continentales. Une réflexion animée par le CNES et le CNRS-INSU a recommandé la structuration des pôles thématiques en observation de la Terre autour de 4 pôles : surfaces continentales (THEIA), Terre solide, océans et atmosphère (à partir des pôles existants ICARE, nuages et aérosols et ETHER, chimie atmosphérique).

Le CNES organise également des campagnes de lâchers de ballons scientifiques, principalement pour l'étude de l'environnement et du climat. Le nouveau système Nosyca de suivi et sauvegarde a été qualifié en 2013. Un accord a été conclu avec le Canada en 2012 sur une coopération franco-canadienne en matière de ballons et la possibilité de lancement aux latitudes moyennes depuis la base de Timmins (Canada) a été validée en 2013.

Les recommandations issues des séminaires de prospective scientifique que le CNES organise tous les cinq ans servent de feuille de route à l'établissement pour l'élaboration de son programme scientifique. La période 2012-2013 a vu la poursuite de la mise en œuvre des recommandations du séminaire tenu à Biarritz en mars 2009. Tout au long de l'année 2013 s'est déroulée la préparation, à travers un dialogue intense entre le CNES et la communauté scientifique nationale, du séminaire qui a eu lieu à La Rochelle en mars 2014. Les prochaines années verront donc la mise en œuvre des conclusions du séminaire de La Rochelle.

Richard Bonneville

Directeur adjoint, Direction de la Prospective, de la Stratégie, des Programmes, de la Valorisation et des Relations Internationales