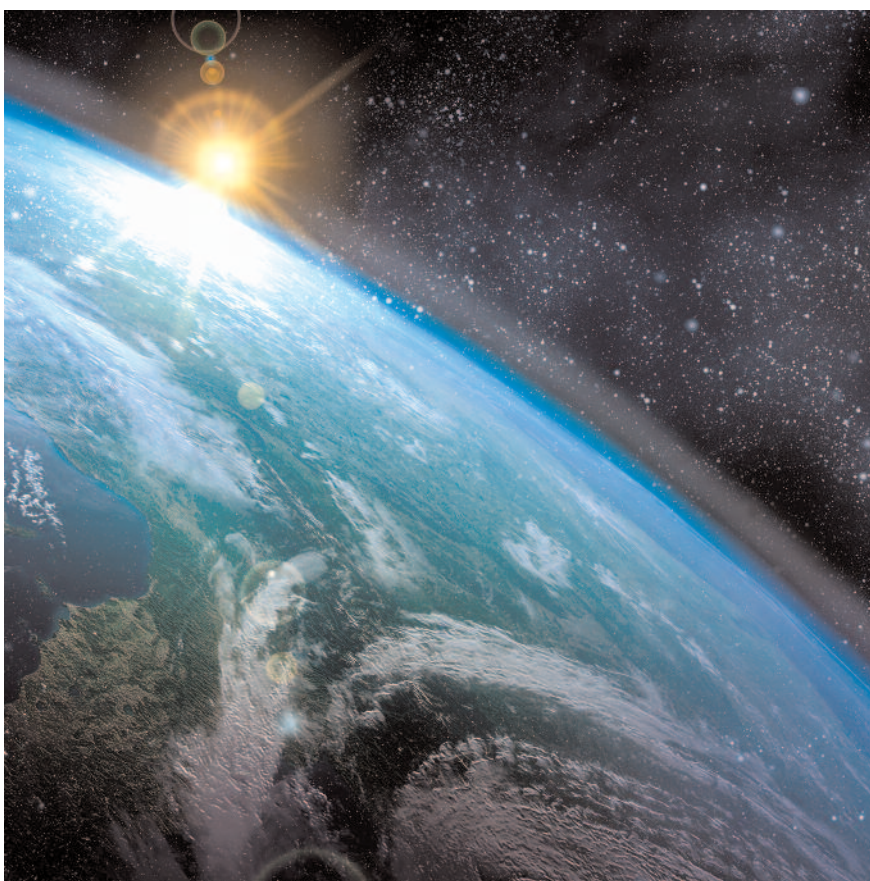
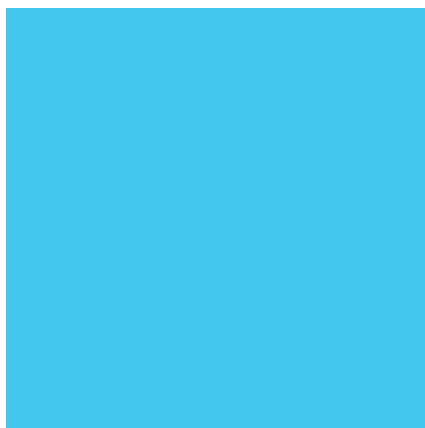


Stratégie spatiale française



Avant-Propos

La France est la première puissance spatiale européenne et l'Europe compte parmi les trois grandes puissances spatiales mondiales. Nous sommes redevables aux décisions visionnaires du Général de Gaulle et à l'engagement des pères fondateurs qui nous ont permis de disposer avec le CNES d'une agence spatiale à l'excellence reconnue, d'acquérir un accès indépendant à l'espace grâce à Ariane et de développer des filières d'excellence dans l'observation ou les télécommunications. Nous devons avoir à cœur de poursuivre cette aventure avec nos partenaires européens.

L'espace connaît actuellement des évolutions profondes : les applications d'origine spatiale jouent un rôle toujours plus important dans notre vie quotidienne, de nouvelles puissances spatiales entrent en scène. Dans ce contexte, le Conseil des ministres a décidé le 23 mars 2011 la rédaction d'un document de synthèse pour rappeler, dans la lignée du discours du Président de la République de février 2008 à Kourou, les grands principes qui guident notre politique spatiale et préciser ses orientations pour l'avenir.

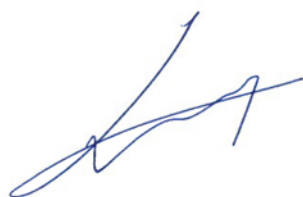
L'espace est évidemment un enjeu de souveraineté mais pas seulement : la politique spatiale est et doit être au service direct du citoyen. L'espace est aujourd'hui indispensable dans la vie de tous les Français comme pour le bon fonctionnement de l'État. C'est grâce à notre politique spatiale que nous pouvons recevoir partout par satellite la télévision et bientôt le très haut débit. C'est aussi grâce à l'espace que nous pouvons sauver des milliers de vies en améliorant les prévisions météorologiques et en localisant les personnes en détresse.

L'espace n'est pas un luxe dont on pourrait se passer par temps de crise. C'est au contraire un investissement d'avenir, qui fait progresser la science et nous donne une avance technologique précieuse. La politique spatiale permet le développement d'un secteur industriel créateur d'emplois hautement qualifiés. C'est un investissement rentable à long terme pour la puissance publique grâce aux applications et aux services qu'il suscite. En dépit de la situation budgétaire difficile, la politique du gouvernement a permis depuis cinq ans de renforcer l'ambition spatiale de notre pays : la France a ainsi augmenté de 16% son budget spatial civil annuel entre 2007 et 2012.

Afin que nos compatriotes s'approprient davantage la politique spatiale de la France, la publication de cette stratégie spatiale est accompagnée du lancement d'une rubrique internet grand public sur le site du Ministère, que j'invite le plus grand nombre à visiter :

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/strategie-spatiale-francaise>

Je voudrais remercier tous les acteurs du monde spatial français d'avoir contribué par leurs réflexions à la rédaction de cette stratégie. J'espère que sa lecture intéressera les passionnés d'espace comme les néophytes et montrera à tous nos concitoyens que nous pouvons être fiers de la politique spatiale de notre pays.



Laurent Wauquiez

Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

Sommaire

A. Introduction.....	3
1. Historique.....	3
2. Position de la France	4
B. Importance du secteur spatial.....	5
1. Des applications pour la vie quotidienne	5
2. Une aide à la décision et à l'action publique.....	5
3. Un outil au service de la souveraineté	6
4. Un effet de levier économique considérable.....	6
5. Des enjeux scientifiques majeurs	7
C. Lignes directrices de la politique spatiale française	8
1. Jouer un rôle moteur au sein de l'Europe de l'Espace	8
2. Maintenir l'indépendance technologique et d'accès à l'espace	9
3. Accélérer le développement d'applications et services à haute valeur ajoutée.....	10
4. Mener une politique industrielle ambitieuse.....	10
D. Champs d'application et orientations de la politique spatiale française	12
1. Formation, culture scientifique et communication.....	12
2. Recherches scientifique et technologique	13
3. Accès à l'espace	14
4. Télécommunications et navigation	15
5. Observation de la Terre	16
6. Sécurité et défense	17
7. Exploration spatiale	18
E. Conclusion	19
Annexe : Crédits photos.....	20

A. INTRODUCTION

Alors que la politique spatiale française a fêté en 2011 son cinquantième anniversaire, le domaine spatial connaît actuellement des **évolutions profondes** dues à des phénomènes d'origines très diverses, notamment :

- la multiplication accélérée des services reposant directement ou indirectement sur des systèmes spatiaux ;
- la place croissante prise par le secteur privé dans les activités spatiales ;
- l'augmentation du nombre de pays maîtrisant des technologies spatiales et la montée en puissance de la Chine et de l'Inde ;
- la réorganisation du spatial européen avec le rôle nouveau de l'Union européenne.

Dans ce contexte, il est nécessaire de rappeler les **grands principes** qui guident la politique spatiale française et de préciser ses **orientations pour l'avenir**.

1. HISTORIQUE



Photo 1. Entrée du centre spatial de Toulouse

Le **programme spatial français** est né au début des années 60 sous l'impulsion du général de Gaulle. Dès 1961, la France s'est ainsi dotée d'une agence spatiale, le Centre national d'études spatiales (CNES), et a décidé de développer un lanceur, la fusée Diamant. Le succès de ce programme a permis à la France de devenir en 1965 le troisième pays, après l'Union soviétique et les Etats-Unis d'Amérique, à envoyer, de manière autonome, un satellite dans l'espace.

Le soutien des plus hautes autorités politiques françaises à un effort industriel et technologique important en faveur de l'espace ne s'est jamais démenti depuis, comme le montre encore tout récemment la décision d'inscrire une action « Espace » dans le Programme d'investissements d'avenir (PIA). La France a ainsi développé un programme spatial national ambitieux. La filière des satellites d'observation de la Terre SPOT, d'une part, et les programmes de défense Hélios (observation optique) et Syracuse (télécommunications), d'autre part, en sont les exemples les plus emblématiques.

Pour autant, il est vite apparu que le domaine spatial se prêtait parfaitement à une **coopération européenne**. A l'initiative de la France, l'Europe s'est dotée, par étapes successives, de capacités spatiales à la mesure du potentiel offert par l'Espace. En fédérant ses efforts dans l'Agence spatiale européenne (ESA), créée en 1975, elle a acquis, avec Ariane, l'autonomie de l'accès à l'espace et a mis en place un véritable programme scientifique permettant de faire progresser la science mais également de maîtriser les technologies spatiales et d'en explorer les applications possibles.

Dès que certaines de ces applications se sont révélées pertinentes, l'Europe s'est organisée pour les mettre en œuvre, comme l'illustrent les cas des télécommunications (EUTELSAT, créée en 1977) et de la météorologie (EUMETSAT, créée en 1986). Il en a été de même, plus récemment, avec les programmes Galileo de navigation et GMES de surveillance pour l'environnement et la sécurité, qui marquent l'implication de l'Union européenne (UE) dans le domaine spatial.

L'Europe a également été l'échelon pertinent pour les programmes d'exploration, comme en témoigne la réussite de l'ATV, vaisseau cargo européen ravitaillant la station spatiale internationale ISS.

2. POSITION DE LA FRANCE

Grâce à ses efforts constants, la France occupe, dans le domaine spatial, **la première place en Europe** : le chiffre d'affaires consolidé de l'industrie spatiale française (environ 2,7 Mds€ en 2009) représente la moitié du chiffre d'affaires de l'industrie européenne. De même, les budgets spatiaux français civil et militaire, soit 2 Mds€ par an au total, représentent le tiers des budgets spatiaux européens, alors même que la part de la France dans le PNB européen est de l'ordre de 15 %. La France est le premier contributeur de l'ESA avec une contribution de 770 M€ en 2012. L'importance de l'investissement national français en faveur de l'espace a été renforcée par la décision de consacrer une partie des fonds du Programme des investissements d'avenir à l'espace pour un montant total de 540 M€.

Au-delà de ces chiffres, la France est le seul pays européen ayant la **maîtrise d'ensemble des technologies spatiales**. La France est un acteur de classe mondiale dans des domaines aussi variés que les systèmes de lancement, les satellites d'observation optique, les satellites météorologiques, les satellites scientifiques ou encore les satellites de télécommunication. Les nombreuses coopérations avec des puissances spatiales établies, comme les Etats-Unis et la Russie, ou émergentes illustrent la reconnaissance de l'excellence technologique de la France.

Le succès de la France repose sur la convergence des efforts des différents acteurs, et notamment sur son **agence spatiale**, unique en son genre en Europe. Le CNES se consacre pleinement au rôle d'architecte système de programmes spatiaux innovants sur la base de recherches réalisées par les organismes de recherche et l'industrie. Ce modèle original permet de clarifier les responsabilités de chaque acteur et d'obtenir le meilleur retour sur investissement des efforts consentis par l'Etat.

Les succès de **l'industrie spatiale française** et européenne sur les marchés commerciaux, essentiellement les systèmes spatiaux de télécommunication et les services de lancement associés, démontrent sa compétitivité : elle y possède une part de marché d'environ 40 %.

B. IMPORTANCE DU SECTEUR SPATIAL

Le secteur spatial a pris une importance croissante dans les diverses activités humaines, particulièrement durant les deux dernières décennies.

1. DES APPLICATIONS POUR LA VIE QUOTIDIENNE

De multiples services utilisés par le grand public reposent, à des degrés divers, sur des systèmes spatiaux ; cela est flagrant lorsque l'utilisateur final possède, comme 6 millions de Français, une antenne de télévision parabolique ou un récepteur de navigation comme 22 millions d'entre eux, mais de plus en plus de services reposent sur des systèmes intégrés pour lesquels la contribution spatiale est moins visible. Ainsi en est-il, à titre d'illustration, d'applications proposées sur les « mobiles intelligents », ou encore plus généralement dans les services reposant sur des réseaux (communication, électrique, transport...), qui utilisent notamment la référence de temps du GPS. Les services météorologiques reposent de façon cruciale sur les satellites, et leurs performances s'en sont trouvées grandement améliorées.

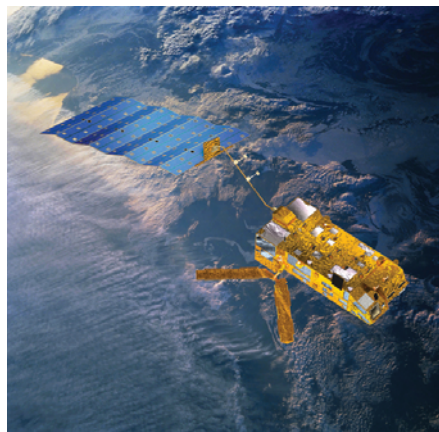


Photo 2. Satellite météorologique MetOp

L'espace permet également de fournir des **services essentiels** (multimédia, télécommunications, télévision, télé-éducation, télé-médecine) **dans des régions isolées**, à faible densité de population ou peu équipées, par exemple en palliant le défaut de raccordement terrestre à des réseaux de fibre optique ou de télécommunications haut débit.

2. UNE AIDE A LA DECISION ET A L'ACTION PUBLIQUE

En couvrant des zones très étendues, parfois difficilement accessibles, dans un laps de temps faible et avec une forte répétitivité, **l'observation de la Terre depuis l'espace** est indispensable pour découvrir, suivre, mesurer et interpréter des phénomènes physiques, chimiques, biologiques ou humains dont le suivi et l'anticipation sont importants pour les politiques publiques aux différents échelons, du régional au mondial. Les questions climatiques, les prévisions de ressources agricoles ou naturelles, l'occupation et l'aménagement du territoire sont autant d'exemples d'apport déterminant du spatial.

L'espace est devenu, en quelques années, un facteur essentiel de la **sécurité civile**. La conjugaison des outils spatiaux d'observation de la Terre, pour la prévision des catastrophes puis pour l'état des lieux, et des outils de télécommunications et de navigation, pour l'intervention sur le terrain, augmente considérablement l'efficacité des secours, alors que la catastrophe a en général neutralisé les moyens terrestres locaux. Pour les mêmes raisons, ces outils spatiaux facilitent la phase de reconstruction.

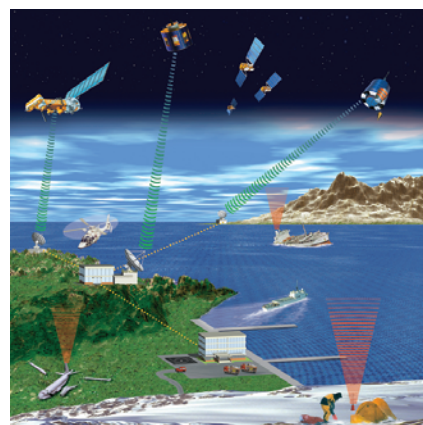


Photo 3. Principe de fonctionnement du système Cospas-Sarsat

Enfin, des systèmes spatiaux associés à des balises correspondantes sont essentiels pour la **détection et la localisation des personnes en détresse** sur les océans ou dans les zones non

habitées du globe. Le programme international Cospas-Sarsat, dont la France est membre fondateur, a ainsi permis de sauver 30 000 vies en 20 ans.

3. UN OUTIL AU SERVICE DE LA SOUVERAINETE

Les systèmes spatiaux contribuent grandement à l'**autonomie de décision** de la France. Grâce à leur accès non-intrusif à toutes les zones du globe, les systèmes spatiaux d'observation de la Terre, particulièrement ceux fournissant de l'imagerie haute résolution, ainsi que ceux de renseignement d'origine électromagnétique (ROEM), sont de précieuses aides à l'appréciation des situations.

L'espace contribue aussi à la **liberté d'action** de la France et au renforcement de l'efficacité de ses forces armées. Les conflits et opérations militaires récents impliquant des armées occidentales ont vu une utilisation de plus en plus intensive des outils spatiaux. Ceux-ci permettent, en effet, de disposer, pour une opération en tout point du globe et quasiment sans délais, de capacités (commandement, contrôle, communication, renseignement, données d'environnement, localisation/navigation...) permettant à nos armées de bénéficier d'une supériorité tactique et opérative sur l'ensemble de leurs théâtres d'engagement.



Photo 4. Satellite Hélios 2A sur le lanceur Ariane 5G+

Enfin, la maîtrise des outils spatiaux est un **atout pour la politique étrangère** de la France grâce à la crédibilité et à la stature stratégique qu'elle apporte. Elle constitue également une vitrine témoignant du niveau technologique des réalisations françaises.

4. UN EFFET DE LEVIER ECONOMIQUE CONSIDERABLE

L'investissement public dans le secteur spatial est également motivé par des considérations économiques. Il permet tout d'abord le développement d'un secteur industriel important. L'industrie spatiale française emploie 12 000 salariés (en 2010) représentant des emplois hautement qualifiés peu délocalisables. Le marché commercial représente la moitié de son chiffre d'affaires et produit un excédent annuel de plus de 500 M€ (soit environ 20 % du chiffre d'affaires).

Au-delà de cet effet direct, il convient surtout de noter l'**effet de levier sur des secteurs économiques plus vastes** au travers de la vente de terminaux et de contenus, de l'utilisation des services permis par l'existence des systèmes spatiaux d'observation, de météorologie, de télécommunication ou de navigation : le BTP, les transports terrestres, maritimes et aériens, la prospection et l'exploitation de ressources énergétiques, minérales et naturelles, l'agriculture, l'audiovisuel, pour ne citer que quelques exemples, utilisent massivement, de manière directe ou indirecte, les outils spatiaux, qui contribuent ainsi à des gains de productivité importants. On estime que chaque euro investi dans le spatial génère **une vingtaine d'euros** en création de valeur dans l'ensemble de l'économie.

Enfin, l'Espace est une source importante de **transferts de technologies** en direction de nombreux secteurs d'activité : les technologies développées pour le spatial peuvent trouver d'autres utilisations et réciproquement, comme le montrent les exemples des panneaux solaires, des piles à combustible, du téflon et des couvertures de survie.

5. DES ENJEUX SCIENTIFIQUES MAJEURS

Les satellites et sondes scientifiques ont été à l'origine de véritables révolutions dans les **sciences de la Terre et de l'Univers**. Ils sont irremplaçables pour avoir une observation d'ensemble des différentes composantes (Terre solide, océans, atmosphère) du système « Terre » ; ces satellites prototypes ouvrent aussi la voie à des satellites opérationnels d'observation de la Terre qui, en couvrant de longues durées, permettent de satisfaire également les besoins de la recherche sur des évolutions à long terme comme celles du climat. Les systèmes spatiaux libèrent notre observation de l'Univers des contraintes imposées par la couche atmosphérique, qui perturbe ou interdit l'observation dans de larges portions du spectre électromagnétique, voire permettent d'observer *in situ* les corps célestes du système solaire.

En offrant un **environnement de microgravité** dans lequel les effets de la gravité terrestre sont sensiblement réduits, les véhicules spatiaux, à l'instar de la station spatiale internationale ISS, permettent également des recherches poussées dans les domaines des matériaux, de la biologie et de la physique fondamentale.



Photo 5. Préparation de l'expérience Déclic

C. LIGNES DIRECTRICES DE LA POLITIQUE SPATIALE FRANÇAISE

Les **discours prononcés par le Président de la République** au Centre spatial guyanais, le 11 février 2008 et au Centre CNES de Toulouse le 22 novembre 2011, ont fixé les grands axes de la politique spatiale française¹. Le rapport remis au Premier ministre en mai 2009 par le président du CNES, le délégué général pour l'armement et le directeur général du CEA a également émis un certain nombre de recommandations pour assurer l'avenir de la filière européenne des lanceurs spatiaux². Plus récemment, une réflexion menée sous l'égide du Centre d'analyse stratégique a conduit à énoncer des propositions pour une politique spatiale européenne³.

La politique spatiale française repose sur quatre grandes lignes directrices :

1. JOUER UN ROLE MOTEUR AU SEIN DE L'EUROPE DE L'ESPACE

La France est le **leader de l'Europe spatiale** et a vocation à garder son rôle moteur. Ce leadership donne à la France une responsabilité : elle doit être une force d'entraînement pour l'intégration de l'Europe spatiale.

L'Europe a géré jusqu'ici les affaires spatiales sur un mode essentiellement intergouvernemental, au sein de l'ESA. Ce fonctionnement a fait le succès de l'Europe spatiale mais doit trouver un nouveau souffle. La France souhaite progresser vers un mode plus fédérateur **où l'Union européenne assurerait un rôle de pilote stratégique** de la politique spatiale européenne. Cette évolution est de nature à fournir à la communauté spatiale européenne une visibilité politique supérieure et, partant, des moyens d'action supplémentaires, seuls capables de permettre à l'Europe d'avoir des ambitions à la hauteur des enjeux. Le traité de Lisbonne a marqué une étape importante en confiant à l'UE une compétence spatiale partagée. L'un des grands enjeux des prochaines années est la mise en place effective de cette compétence partagée.

L'UE a vocation à **s'intéresser à l'ensemble des sujets spatiaux**. Elle doit déterminer les besoins auxquels la politique spatiale européenne doit répondre et définir un programme spatial européen. A court terme, la priorité commune demeure la réussite dans la durée des programmes Galileo et GMES. Au-delà, la France attend de l'UE qu'elle s'implique dans certaines activités spatiales stratégiques comme l'exploration, l'accès à l'espace ou la surveillance de l'espace. La politique spatiale européenne doit contribuer à la défense et à la sécurité européennes.

Pour autant, la politique spatiale de l'UE doit pleinement respecter le **principe de subsidiarité** qui fonde l'efficacité de la construction européenne. L'UE doit utiliser les compétences existantes au sein de l'ESA et des Etats-membres. La France est prête à mettre à sa disposition son savoir-faire spatial et ses infrastructures comme elle l'a fait jusqu'ici, par exemple pour la famille Ariane et la base spatiale de Guyane ou pour les systèmes spatiaux de navigation EGNOS et Galileo dont les premiers travaux ont été menés par le CNES.

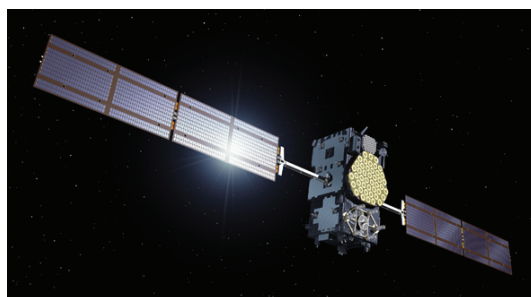


Photo 6. Satellite Galileo IOV

¹ <http://www.elysee.fr/president/root/bank/pdf/president-1910.pdf>

<http://www.elysee.fr/president/les-actualites/discours/2011/50-ans-du-centre-national-d-etudes-spatiales.12497.html>

² http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/cgi-bin/brp/telestats.cgi?brp_ref=094000223&brp_file=0000.pdf

³ Rapport « Une ambition spatiale pour l'Europe, Vision française à l'horizon 2030 » du Conseil d'analyse stratégique, octobre 2011 (http://www.strategie.gouv.fr/system/files/2011-11-10_rapport_espace_18_0.pdf)

La mise en œuvre de la nouvelle politique spatiale européenne nécessite une coordination et une **gouvernance rigoureuse** de la part des acteurs publics que sont l'UE, l'ESA et les Etats. Si l'intégration de l'ESA au sein de l'UE peut constituer un objectif de long terme, elle ne se fera que par étapes. A court terme, il faut permettre à l'UE de déléguer à l'ESA la maîtrise d'ouvrage de ses programmes et définir des règles ad-hoc pour la gestion de ces programmes.

La politique spatiale européenne doit être ouverte à la **coopération internationale** extra-européenne. L'espace est par nature un champ dépassant les frontières nationales et qu'aucun Etat ne peut maîtriser seul. La coopération internationale est à la fois une nécessité budgétaire en raison du coût des programmes spatiaux et une extraordinaire opportunité permettant le partage de compétences et l'enrichissement mutuel. La France et l'Europe mènent de nombreuses coopérations avec les autres puissances spatiales comme les Etats-Unis, la Russie, l'Inde, la Chine ou le Japon, que ce soit en réalisant des missions spatiales conjointes avec ces pays ou en échangeant des données avec eux. Le domaine scientifique, l'exploration ainsi que l'étude des phénomènes naturels sont des secteurs à privilégier.

Objectifs :

- mettre en place une gouvernance adéquate au sein de l'Europe de l'espace : donner à l'UE un rôle de pilote stratégique de la politique spatiale européenne et utiliser les compétences existantes au sein de l'ESA et des Etats-membres ;
- mener des coopérations internationales équilibrées pour profiter des compétences des puissances spatiales extra-européennes.

2. MAINTENIR L'INDEPENDANCE TECHNOLOGIQUE ET D'ACCES A L'ESPACE

L'indépendance doit être l'un des objectifs stratégiques majeurs de la politique spatiale française et européenne. Le caractère sensible des systèmes spatiaux, en particulier ceux qui concernent la défense, se répercute sur les technologies correspondantes. Ainsi, de nombreuses technologies spatiales font l'objet, dans les pays producteurs, de contrôle des exportations : leur disponibilité auprès de fournisseurs étrangers n'est donc pas toujours assurée. Seule **l'indépendance technologique** de l'Europe peut l'affranchir du risque de se voir interdire le bénéfice de tel ou tel type de système spatial.

Cette indépendance a nécessairement un coût qu'il s'agit de réduire en la limitant aux produits et technologies effectivement critiques pour la réalisation des systèmes spatiaux. La création et le maintien de filières européennes passent par une **préférence européenne** dans l'approvisionnement afin de garantir un niveau de production suffisant pour les rendre économiquement viables. Cette préférence européenne doit être appliquée pleinement par l'ensemble des maîtres d'ouvrages publics en Europe. De leur côté, dans un souci de cohérence et d'intérêt bien compris, les maîtres d'œuvre industriels européens devraient privilégier ces sources d'approvisionnement pour le marché commercial.



Photo 7. Décollage du lanceur Ariane 5 ECA, vol 188

L'accès indépendant à l'espace, qui conditionne l'ensemble des capacités spatiales, obéit à la même logique. Toutes les puissances spatiales, qu'il s'agisse de la Russie, des Etats-Unis, du Japon, de la Chine ou de l'Inde, ont initié leur effort spatial en créant ce socle indispensable qu'elles financent dans le long terme et auquel elles assurent l'exclusivité de leurs lancements publics. De même, l'Europe doit **s'engager en faveur de la filière européenne des lanceurs** : la préférence européenne doit s'appliquer à l'ensemble des missions institutionnelles menées en Europe et les Européens doivent fournir collectivement l'effort financier nécessaire à l'existence de cette filière.

L'Europe ne peut pas prendre le risque de restriction d'accès à l'espace en cas d'absence de système de lancement propre.

Objectifs :

- appliquer la préférence européenne pour les systèmes critiques et les lancements de l'ensemble des missions institutionnelles menées en Europe ;
- fournir collectivement au niveau européen (ESA, UE) le soutien financier nécessaire à l'existence de la filière européenne des lanceurs.

3. ACCELERER LE DEVELOPPEMENT D'APPLICATIONS ET SERVICES A HAUTE VALEUR AJOUTEE

Comme le montrent les deux dernières décennies, l'Espace permet le développement d'un nombre croissant d'applications et de services à haute valeur ajoutée diffusant dans l'ensemble de notre société et de notre économie. La création d'une **large palette de services localisés en France** et disponibles sur l'ensemble du territoire et à l'export est une priorité de la politique spatiale française.



Photo 8. Valise de télémedecine en Guyane

La première condition de l'éclosion de cette offre est la **garantie de l'accès aux données** des infrastructures spatiales sans interruption et pendant une durée suffisamment longue pour permettre un retour sur investissement. Cela signifie que la puissance publique doit donner une visibilité forte sur la permanence et le renouvellement de ses infrastructures spatiales présentant un potentiel applicatif substantiel ; cette visibilité doit également s'appliquer aux conditions d'accès aux services directs de ses infrastructures par une politique des données clairement définie.

Inversement, la puissance publique doit **faciliter, voire organiser, l'expression des besoins** par les communautés d'utilisateurs afin d'optimiser son effort spatial. Un engagement d'achat initial important par des utilisateurs publics peut être décisif pour mettre le pied à l'étrier du prestataire de service. Enfin, les pouvoirs publics doivent mener une **action directe en matières de R&D ou de réglementation** pour faciliter l'émergence de ces services et applications.

Objectifs :

- garantir l'accès aux données des infrastructures spatiales ;
- faciliter l'expression des besoins des utilisateurs et mener une action en matière de R&D et de réglementation.

4. MENER UNE POLITIQUE INDUSTRIELLE AMBITIEUSE

La politique spatiale française vise non seulement à fournir à l'ensemble des citoyens français des services spatiaux innovants mais également à poursuivre le **développement d'un tissu industriel** complet, compétitif et performant, de la PME active dans la fourniture d'expertise, de services aval, d'équipements ou de sous-systèmes au grand groupe maître d'œuvre. Le secteur spatial est un exemple de succès d'une politique industrielle volontariste, menée avec constance depuis plus d'un demi-siècle et s'appuyant sur des investissements publics ciblés. La sélection des pôles de compétitivité Aerospace Valley (Aquitaine/Midi-Pyrénées), Pegase (PACA) et Astech (Ile-de-France)

et celle très récente de l'Institut de recherche technologique AESE (aéronautique, espace et systèmes embarqués) confirment cette vitalité.

Cette politique industrielle doit être harmonisée au niveau européen en tenant compte du positionnement stratégique et des acquis des principaux acteurs. Il convient de définir les règles de façon pragmatique en fonction des caractéristiques de chaque marché. Dans certains cas, la mise en concurrence de plusieurs industriels européens est opportune et permet à l'acheteur public de bénéficier de la meilleure offre. Dans d'autres situations, la taille critique minimale et le marché accessible à notre industrie ne permettent pas d'avoir plusieurs concurrents européens et de dupliquer les compétences et une négociation doit être menée avec un unique consortium. Une politique industrielle optimale passe donc tout à la fois par un **assouplissement des règles de retour géographiques** de l'ESA et par une **application mesurée des règles de concurrence** de l'UE.

La politique industrielle française et européenne doit viser à :

- maintenir la dynamique technologique de notre industrie par un soutien à la R&D et à la mise en place de démonstrateurs ;
- établir et imposer des standards au niveau européen ;
- soutenir l'exportation et les grandes coopérations internationales ;
- renforcer au niveau européen la consommation publique de services spatiaux opérationnels (achat d'image, internet à haut débit...) ;
- renforcer un tissu de PME performantes en favorisant leur collaboration avec les maîtres d'œuvre publics ou privés au travers de politiques d'achat adaptées ;
- permettre un partage équilibré des revenus au sein de la chaîne de la valeur (opérateurs, constructeurs, équipementiers) ;
- simplifier les règlements et harmoniser les contraintes intra-européennes.

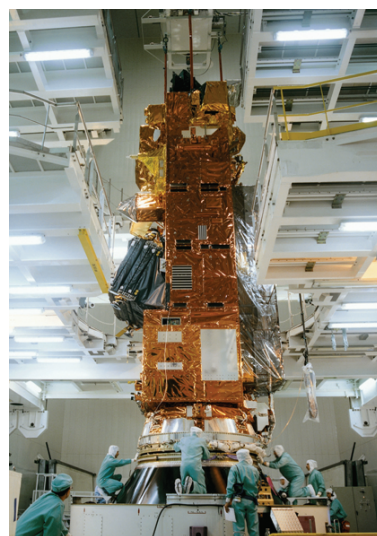


Photo 9. Intégration du satellite Envisat

La politique industrielle a vocation à être définie par l'Etat en concertation avec l'industrie. Un **comité de concertation de la politique spatiale** sera mis en place pour faciliter cet échange d'informations entre la puissance publique et l'industrie spatiale.

Objectifs :

- instaurer des règles industrielles harmonisées au niveau européen et optimisées par sous-secteur ;
- mettre en place un comité de concertation de la politique spatiale.

D. CHAMPS D'APPLICATION ET ORIENTATIONS DE LA POLITIQUE SPATIALE FRANÇAISE

Ces grands principes fondateurs de la stratégie spatiale française se déclinent dans les différents champs d'application du secteur spatial :

1. FORMATION, CULTURE SCIENTIFIQUE ET COMMUNICATION

Les besoins en renouvellement de ressources humaines de la filière spatiale nécessitent un **effort constant de formation et de recrutement** ; il convient d'autant plus de susciter les vocations chez les jeunes que les compétences nécessaires sont extrêmement nombreuses, que les opportunités sont variées en termes de thématiques et que les expertises acquises dans ce secteur sont largement applicables dans d'autres secteurs de haute technologie comme l'aéronautique, la défense ou encore les technologies de l'information et de la communication. Il convient de favoriser la création, au sein des nouvelles structures d'enseignement supérieur et de recherche (PRES, IDEX) regroupant écoles d'ingénieurs, universités et grands organismes de recherche, de **pôles spatiaux** coordonnant les activités de recherche, de distribution des données et de formation. Les trois pôles de compétitivité liés au spatial déjà cités⁴ ont également un rôle éminent à jouer.

La **communication de l'action spatiale** de la France et l'information sur les apports de l'espace en direction de différents publics sont des éléments à part entière de la politique spatiale française. L'Espace est **pour les jeunes** un formidable facteur d'attractivité vis-à-vis des carrières scientifiques, dû à sa part de rêve et au fait qu'il est la source de problématiques scientifiques et technologiques intellectuellement stimulantes. De par leur fort retentissement médiatique, les missions scientifiques et celles d'exploration du système solaire, qu'elles soient automatiques ou habitées, sont les principaux vecteurs de cette nécessaire sensibilisation qui s'adresse également à **l'ensemble de la population** afin de développer sa culture scientifique et technique.

Il est également important d'informer et de sensibiliser les citoyens sur les bénéfices apportés par le spatial au travers des applications et des services qui en sont issus. Enfin, des missions spatiales ambitieuses sont de nature à augmenter l'attractivité de nos laboratoires et de notre industrie **auprès des élites scientifiques et techniques internationales**.



Photo 10. Lycéens du lycée Jean-Pierre Vernant en visite au centre de contrôle de l'ATV

Objectifs :

- veiller au renouvellement des ressources humaines de la filière spatiale sans perte de compétence-clé ;
- favoriser la création de pôles spatiaux au sein des nouvelles structures d'enseignement supérieur de recherche ;
- développer la communication sur les missions spatiales, en particulier les missions scientifiques et d'exploration, et sur les apports de l'espace.

⁴ Aerospace Valley en Aquitaine/Midi-Pyrénées, ASTECH en Ile-de-France, PEGASE en PACA

2. RECHERCHES SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

La **synergie entre les recherches scientifique et technologique** est forte car les missions scientifiques entraînent des progrès technologiques qui seront mis au service des autres systèmes spatiaux. De par leur complexité, leur originalité et leur diversité, ces missions stimulent fortement la créativité technique des équipes engagées. Par ailleurs, elles utilisent très souvent des technologies pionnières et à la limite de leurs performances, ce qui permet de les valider opérationnellement. Enfin, en mettant en contact les laboratoires publics et l'industrie spatiale, ces programmes favorisent considérablement la fertilisation croisée.

Dans le domaine de la **recherche scientifique**, l'objectif est de continuer à réaliser des premières européennes ou même mondiales, notamment dans les domaines des sciences de l'Univers et de la Terre, ou encore de la physique fondamentale.

La **mutualisation européenne**, notamment au travers du programme scientifique obligatoire de l'ESA pour les missions scientifiques de taille importante, est la voie privilégiée. Cependant, il peut s'avérer nécessaire de mener, en national ou en coopération avec seulement quelques partenaires européens ou internationaux, des activités complémentaires ou préparatoires dont le volume individuel ne se prête pas au passage par une organisation intergouvernementale aux procédures relativement lourdes.



Photo 11. Pose des thermocapteurs sur l'instrument Chemcam

Des communautés scientifiques étant directement impliquées à la fois dans la **réalisation des instruments** spatiaux et dans l'**exploitation des données** qu'ils fournissent, il convient de s'assurer que les moyens dont elles disposent sont dimensionnés en conséquence. En particulier, les ressources humaines des laboratoires spatiaux doivent faire l'objet d'une attention soutenue. Certaines disciplines en sciences humaines et sociales (démographie, économie, géographie humaine, archéologie...) sont des utilisateurs récents des données spatiales d'observation de la Terre. Il faudra développer des structures permettant à des chercheurs de ces disciplines de connaître l'existence de ces données et d'y accéder.

Pour ce qui concerne la **recherche technologique**, l'accent doit être mis sur les technologies de ruptures que sont, par exemple, le vol en formation ou encore l'utilisation des micro/nanotechnologies. Il s'agit d'investir dans des positions stratégiques innovantes dans chaque grand domaine développé ci-dessous de façon réaliste au regard de nos moyens (« stratégie de niche »).

Objectifs :

- participer prioritairement aux missions du programme scientifique obligatoire de l'ESA, qu'il convient d'orienter vers des objectifs novateurs ;
- garantir aux laboratoires spatiaux des moyens suffisants et faciliter l'accès aux données spatiales ;
- mettre l'accent sur des innovations technologiques génériques à fort potentiel (micro-nanotechnologies, vol en formation...).

3. ACCES A L'ESPACE

L'autonomie française et européenne d'accès à l'espace repose aujourd'hui sur les deux atouts majeurs que sont le Centre spatial guyanais (CSG) et le lanceur Ariane 5.

Le **Centre spatial guyanais** est le port spatial réunissant les meilleures conditions de lancement au monde : il est notamment le plus proche de l'équateur, ce qui minimise l'énergie nécessaire au lancement et permet de mettre en orbite des satellites plus lourds. Le CSG, port spatial de l'Europe, est un avantage concurrentiel important pour les services de lancement européens. L'Europe doit donc avoir à cœur de maintenir et développer le haut degré de performance de ses équipes et de ses installations techniques. Le CSG doit devenir à terme une infrastructure de l'UE.

Grâce à sa grande capacité d'emport, **Ariane 5** est techniquement capable de satisfaire tous les besoins de lancement des pouvoirs publics : de ce fait, il constitue la garantie fondamentale d'accès à l'espace. Pour autant, la gamme de lanceurs d'Arianespace est en train de s'élargir, avec les premiers lancements réussis au CSG du lanceur moyen **Soyouz** et du petit lanceur **Vega**, pour mieux répondre à la demande en lancements de plus petits satellites.

Le **modèle économique** de la filière européenne de services de lancement repose sur la satisfaction des besoins institutionnels et une présence sur le marché commercial, qui permettent, par une cadence suffisante, de garantir la fiabilité et la disponibilité des lancements tout en réduisant les coûts unitaires. Face à un dollar faible et à la perspective de l'arrivée, à terme plus ou moins éloigné, de nouveaux concurrents (lanceur commercial américain Falcon, lanceurs institutionnels chinois et indiens), la priorité du système Ariane doit être la **diminution du prix de revient** : elle suppose une responsabilisation accrue de l'ensemble des acteurs institutionnels et industriels et une optimisation de la structure industrielle du système Ariane.



Photo 12. Ariane 5 ECA, vol 203
en zone de lancement

Il convient dès maintenant de **préparer la suite d'Ariane 5**. Cela passe, d'une part, par le développement du moteur réallumable Vinci qui permettra d'accéder à de nouveaux profils de missions et de désorbiter l'étage supérieur après usage. Cela suppose, d'autre part, le lancement au plus tôt de travaux de développement permettant d'assurer le maintien de l'indépendance européenne d'accès à l'espace. Les différentes options sont en cours d'évaluation en vue d'une **décision lors du conseil ministériel de l'ESA fin 2012** et vont du développement d'un nouvel étage supérieur au développement d'un nouveau lanceur. Les critères de choix seront la fiabilité, un coût minimum de développement et d'exploitation et l'adéquation avec les besoins des clients institutionnels et commerciaux. La France a décidé de préparer cette décision en lançant en lien étroit avec l'ESA des études sur le nouveau lanceur dans le cadre des investissements d'avenir.

Objectifs :

- maintenir et développer, dans le cadre de l'ESA et de l'UE, la compétitivité du CSG ;
- exploiter la gamme de lanceurs Ariane 5, Soyouz et Vega ;
- réduire les coûts du système Ariane par une optimisation de l'ensemble de la structure industrielle ;
- préparer la suite d'Ariane 5 en lançant les travaux de développement les plus à même de répondre aux besoins institutionnels et commerciaux.

4. TELECOMMUNICATIONS ET NAVIGATION

Les **télécommunications** représentent aujourd'hui l'essentiel du **marché commercial** mondial de satellites ; réciproquement, les opérateurs commerciaux de télécommunications sont, avec les ministères chargés de la défense, les principaux clients de ce secteur. Le modèle économique de l'industrie française des satellites repose sur une présence importante dans le secteur des télécommunications qui représente à peu près la moitié de son chiffre d'affaires.

Le défi actuel est le retour en force des industriels américains sur les marchés commerciaux, motivés par la baisse des budgets spatiaux publics (ministère de la défense et NASA), avec des technologies innovantes acquises grâce aux programmes de défense. Le meilleur levier de la puissance publique est le **financement d'activités ciblées de recherche et technologie (R&T)**, sur les charges-utiles et les plateformes, en partenariat avec les industriels. C'est pour cette raison que l'Etat, en plus des sommes consacrées chaque année à la R&T dans les budgets du CNES et de l'ESA, a lancé, dans le cadre des investissements d'avenir, deux programmes sur les plateformes et charges utiles.

En ce qui concerne la **navigation**, les priorités à court terme sont la continuité d'exploitation d'EGNOS et la mise en service de Galileo. **EGNOS** est déjà utilisé par plusieurs communautés d'utilisateurs (notamment l'aviation civile) mais sa gouvernance et son budget ne sont pas encore consolidés au niveau européen. **Galileo** doit être financé par le budget de l'UE et être mis en service au plus tôt. Il doit atteindre une configuration à 30 satellites afin d'être entièrement indépendant de GPS et s'appuyer sur une double source d'approvisionnement pour les systèmes de lancement (Soyouz depuis le CSG, Ariane 5) et pour les satellites. Au-delà, il s'agit, par des activités amont, de bien placer l'industrie française dans les deux composantes-clés que sont les aspects systèmes (dont la composante sol) et les éléments

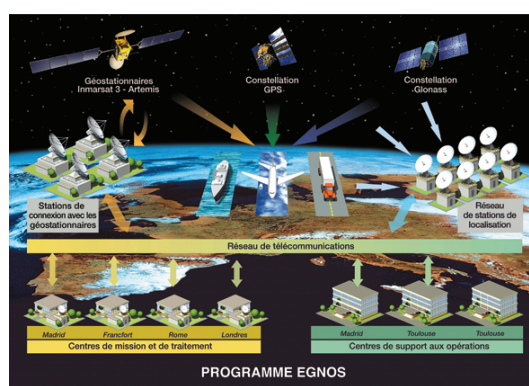


Photo 13. Fonctionnement d'EGNOS

critiques de la charge-utile, notamment les horloges atomiques.

En aval, les télécommunications et la navigation sont les utilisations de l'espace les plus visibles pour le citoyen et sont au cœur du **développement de l'économie numérique et de la réduction de la fracture numérique**. Les télécommunications offrent le plus fort effet de levier économique de l'investissement spatial : télévision haute définition, 3D ou sur mobile, internet à haut et très haut débit fixe et mobile. L'arrivée de Galileo combinée au développement des téléphones intelligents et de l'internet 2.0 doit permettre l'émergence en Europe d'un nombre important de services innovants. Ces services (télé-éducation, télé-santé) peuvent aussi jouer un rôle essentiel dans l'aménagement de territoires isolés.

Objectifs :

- maintenir la compétitivité de l'industrie nationale dans le domaine des télécommunications par des financements ciblés de R&T ;
- pérenniser EGNOS et mettre en service au plus vite un système Galileo à 30 satellites avec une double source d'approvisionnement pour les systèmes de lancement (Soyouz depuis le CSG, Ariane 5) ;
- réduire la fracture numérique et susciter l'émergence en Europe de nouveaux services et applications à haute valeur ajoutée.

5. OBSERVATION DE LA TERRE

La France et l'Europe disposent d'une **grande expérience dans le domaine de l'observation** de la Terre, qu'il s'agisse de l'observation optique (satellites SPOT 1 à 5), de l'observation radar (Envisat), de l'altimétrie océanographique (Jason) ou des satellites météorologiques géostationnaires (Meteosat) et en orbite basse polaire (Metop). En plus des financements récurrents consacrés à l'observation dans les budgets du CNES et de l'ESA, deux programmes des investissements d'avenir sont dédiés à l'altimétrie (SWOT) et à des plateformes pour microsattellites d'observation (Myriades Evolutions).

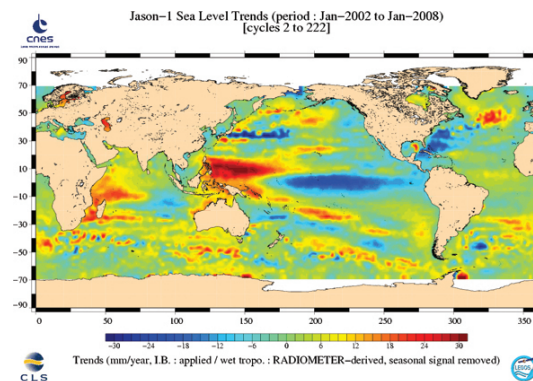


Photo 14. Carte du niveau de la mer obtenue grâce au satellite Jason-1

La plupart des systèmes opérationnels d'observation de la Terre ont vocation à être développés et exploités au niveau européen, que ce soit dans le cadre d'**Eumetsat** (pour la météorologie) ou du **programme GMES**. Le conseil ministériel de l'ESA de 2012 devra se prononcer sur le développement de la nouvelle génération de satellites météorologiques en orbite basse. GMES est un projet profondément européen qui répond aux objectifs de l'UE en matière d'environnement et de sécurité. Il doit, en conséquence, être financé par le budget de l'UE. Il convient d'en préciser la gouvernance afin d'utiliser au mieux les compétences existantes et d'en définir la politique de données.

La France doit mener, directement ou via l'ESA, des activités de R&T pour préparer l'émergence des nouvelles générations de systèmes d'observation. En revanche, les filières matures doivent être progressivement transférées au privé lorsque cela est économiquement possible. Les filières d'excellence de l'industrie française doivent faire l'objet d'une attention soutenue : il s'agit principalement de **l'observation optique, de la météorologie et de l'océanographie** (en particulier, l'altimétrie). Mais il convient également de ne pas passer à côté d'innovations particulièrement prometteuses dans d'autres sous-secteurs, notamment ceux des instruments de suivi des gaz à effets de serre et de la chimie atmosphérique.

En aval, les techniques de fusion d'informations, permettant de combiner des données provenant de plusieurs instruments et de plusieurs satellites, ouvrent la voie à un foisonnement **d'applications à valeur ajoutée et de services opérationnels**. L'objectif est de favoriser l'émergence de ces nouveaux marchés aval qui, couplés aux moyens de télécommunications et de navigation, répondent à de nombreux besoins commerciaux du grand public et aux besoins de nombreuses politiques publiques.

Objectifs :

- assurer le renouvellement des infrastructures, dans le cadre des coopérations européennes et mondiales, afin que la continuité des données spatiales et des services opérationnels existants (météorologie, océanographie...) soit garantie ;
- développer GMES au sein de l'UE grâce à une gouvernance clarifiée et à un financement par le budget de l'UE ;
- mener des activités de R&T pour renforcer les filières d'excellence française ;
- favoriser l'émergence en France et en Europe d'un marché des applications et services spatiaux à valeur ajoutée pour la gestion opérationnelle de l'environnement et l'aménagement du territoire.

6. SECURITE ET DEFENSE

Ainsi que l'a définie le Livre Blanc sur la défense et la sécurité nationale de 2008⁵, la priorité est de maintenir l'excellence des filières nationales afin d'assurer l'autonomie des capacités spatiales militaires.

Les axes de développement principaux concernent **l'observation optique très haute résolution, les télécommunications sécurisées**, l'interception des signaux électromagnétiques ainsi que la détection et l'alerte des tirs de missiles balistiques. En matière d'observation, les systèmes correspondants peuvent s'inscrire dans une démarche de coopération offrant l'accès, par échange, aux données issues de systèmes complémentaires (essentiellement des satellites radar) opérés par nos partenaires allemands et italiens.

Au-delà de ses systèmes propres, la défense doit bénéficier au maximum du **caractère dual de nombre de systèmes spatiaux** (satellites de télécommunications civils, météorologie, océanographie, navigation...) : si les besoins de la défense sont définis suffisamment en amont du processus de développement de ces systèmes spatiaux, ils peuvent être satisfaits à un coût acceptable. Cette dualité est matérialisée par la contribution du ministère de la défense au programme « recherche duale » du CNES qui demeure toutefois encadrée par les contraintes budgétaires.

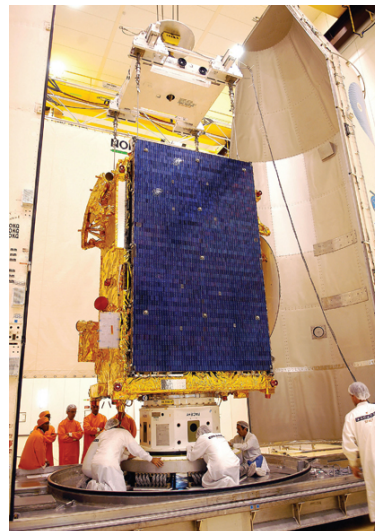


Photo 15. Mise sous coiffe du satellite militaire Syracuse 3

La **surveillance de l'espace** a pour double objectif le renseignement sur les activités spatiales mondiales et la sécurité de nos infrastructures spatiales. Bien qu'historiquement menée par la communauté de défense chez toutes les puissances spatiales, elle revêt un caractère dual depuis la prolifération des débris orbitaux et l'augmentation correspondante du risque de collision que ceux-ci font courir aux systèmes spatiaux. La France dispose, avec le système GRAVES, d'une capacité de détection unique en Europe. Elle a d'ores et déjà engagé un partenariat avec l'Allemagne, qui dispose de systèmes complémentaires. Cette coopération doit pouvoir servir de fondement au développement ultérieur d'un projet européen de détection et de surveillance des objets susceptibles d'endommager les lanceurs ou les satellites.

Ce même souci de sécurité a, par ailleurs, conduit la France à adopter, en 2008, la **loi relative aux opérations spatiales**, qui met en place un régime d'autorisation dont l'un des objectifs est la limitation des débris orbitaux, et à soutenir le projet de code de conduite proposé par l'Union européenne aux autres puissances spatiales pour renforcer la sécurité des activités dans l'espace.

Objectifs :

- assurer le renouvellement des infrastructures pour l'observation optique haute résolution et les télécommunications sécurisées et développer des capacités nouvelles (alerte avancée, renseignement d'origine électromagnétique) ;
- faire jouer, chaque fois que possible, la dualité des systèmes spatiaux ;
- développer dans un cadre européen une capacité opérationnelle de surveillance de l'espace en se fondant sur une mutualisation des développements nationaux.

⁵ <http://www.defense.gouv.fr/portail-defense/enjeux2/politique-de-defense/livre-blanc>

7. EXPLORATION SPATIALE

L'exploration spatiale a des objectifs de natures scientifique, philosophique et politique similaires à ceux qu'a eus dans le passé l'exploration de la Terre. Elle doit avoir pour premier objectif la **progression de la connaissance** : la destination des missions doit revêtir un grand intérêt scientifique. C'est, en particulier, le cas pour les recherches de vie extraterrestre et sur l'origine de la vie qui ont naturellement un grand écho bien au delà des cercles scientifiques.



Photo 16. Rover MSL Curiosity

L'exploration du système solaire, faite par des sondes automatiques, s'intéresse à la formation du système solaire et à l'évolution des planètes aussi bien qu'à la recherche de biologie extraterrestre ou de traces fossiles de vie passée. Les astéroïdes et les comètes (avec la mission européenne Rosetta), les satellites de Saturne (avec la sonde européenne Huyghens sur Titan) ou les satellites de Jupiter (avec la mission en cours d'étude vers Europa et Ganymède) et les sondes vers Mars sont tous des cibles de ce programme.

Un consensus mondial se dégage pour désigner **Mars comme un objectif prioritaire** dans ce domaine et avec comme phase ultime et très lointaine l'exploration de Mars par des humains. Il convient d'établir au niveau international une **feuille de route** pour progresser vers cet objectif de long terme. Au-delà de la poursuite de l'observation *in situ* de cette planète par les sondes existantes ou programmées (*Mars Science Laboratory*), la prochaine grande étape sera de ramener sur Terre des échantillons prélevés directement sur Mars (*Mars Sample Return*).

Les montants nécessaires sont tels que cette exploration martienne ne saurait être qu'une **entreprise mondiale** à laquelle chacune des puissances spatiales apporterait des éléments présentant un degré d'autonomie suffisant pour pallier les conséquences d'une défaillance. La définition d'une **gouvernance appropriée** pour la gestion de ce programme international d'une ampleur inédite est cruciale. La gouvernance de la météorologie mondiale pourrait servir de modèle d'inspiration.

L'Europe n'a, en règle générale, pas intérêt à dupliquer des compétences déjà maîtrisées par d'autres puissances spatiales mais doit plutôt **se concentrer sur des compétences critiques à haute valeur ajoutée**. La contribution européenne pourrait, par exemple, couvrir quatre domaines technologiques critiques : l'automatique et la robotique, l'énergie, la propulsion haute performance et le support vie.

Objectifs :

- prendre part à un programme européen d'exploration avec Mars comme objectif, dans le cadre d'un programme mondial à la gouvernance renouvelée ;
- favoriser la participation française et européenne aux développements de compétences technologiques critiques.

E. CONCLUSION

La France peut être fière des succès de sa politique spatiale. Grâce aux efforts menés avec constance par les gouvernements français successifs depuis plus de cinquante ans, la France occupe une place respectée dans le club fermé des puissances spatiales. Les principes originaux définis par le Général de Gaulle et le Président Pompidou continuent de guider la stratégie spatiale française. Cette dernière est fondamentalement une stratégie d'équilibre : équilibre entre l'objectif d'indépendance et l'ouverture aux coopérations internationales, équilibre aussi entre le développement d'applications pour les utilisateurs et la structuration d'une filière industrielle.

La France entend poursuivre sur cette lignée et appliquer ces principes à la préparation des deux jalons européens clés que sont la réunion de novembre 2012 du conseil de l'ESA au niveau ministériel et l'élaboration du cadre financier pluriannuel de l'Union européenne pour la période 2014-2020. L'investissement dans la politique spatiale n'est pas un luxe dont on pourrait se défaire en période de crise, il est au contraire dans les circonstances actuelles un investissement d'avenir plus nécessaire que jamais. C'est la conviction que la France entend porter auprès de ses partenaires européens et internationaux.

ANNEXE : CREDITS PHOTOS

<i>Photo 1. CNES/JALBY Pierre, 2006</i>	3
<i>Photo 2. CNES/ESA/DUCROS David, 2006</i>	5
<i>Photo 3. CNES/DUCROS David, 2002</i>	5
<i>Photo 4. CNES/DUCROS David, 2004</i>	6
<i>Photo 5. CNES/JALBY Pierre, 2006</i>	7
<i>Photo 6. ESA/CARRIL Pierre, 2011</i>	8
<i>Photo 7. CNES/ESA/Arianespace/Optique Vidéo CSG, 2009</i>	9
<i>Photo 8. CNES/CERCUEIL Antoine, 2007</i>	10
<i>Photo 9. CNES/ESA/Arianespace/CSG Service Optique, 2002</i>	11
<i>Photo 10. CNES/MEDOUS Eric, 2010</i>	12
<i>Photo 11. CNES/PIRAUD Hervé, 2008</i>	13
<i>Photo 12. CNES/ESA/Arianespace/Optique Vidéo CSG/P. Baudon, 2011</i>	14
<i>Photo 13. CNES/DUCROS David, 1998</i>	15
<i>Photo 14. CNES/CLS/Legos, 2008</i>	16
<i>Photo 15. CNES/ESA/Arianespace/CSG Service Optique, 2005</i>	17
<i>Photo 16. NASA/JPL Caltech, 2011</i>	18

