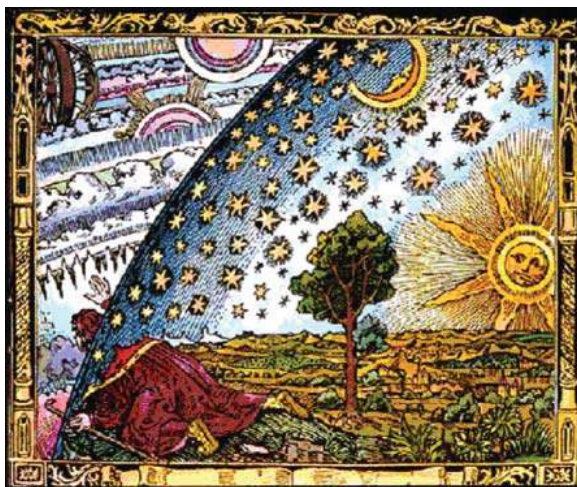




Le rôle de l'Europe dans l'exploration spatiale

The Role of Europe in Space Exploration



Le rôle de l'Europe dans l'exploration spatiale

Rapport du groupe de travail Exploration de la commission
Espace de l'Académie de l'Air et de l'Espace

The Role of Europe in Space Exploration

*Report of the Exploration Working Group of the Air and Space
Academy's Space Commission*

Dossier 30



**Académie de
l'Air et de l'Espace**
Air and Space Academy

2008

Remerciements

Le groupe de travail Exploration de l'Académie de l'Air et de l'Espace aimerait remercier Hans-Joachim Blome, Bernhard Hufenbach et Karl-Heinz Kreuzberg pour les illustrations qu'ils ont fournies. Le groupe de travail remercie également Colin McKinney pour ses améliorations apportées à la version anglaise du rapport et Lindsey Jones pour la préparation de la version française. Enfin il aimerait exprimer sa gratitude pour l'aide précieuse de Jesse Phaler pour compiler et éditer la version finale de ce rapport.

Acknowledgements

The Exploration Working Group of the Air and Space Academy would like to thank Hans-Joachim Blome, Bernhard Hufenbach and Karl-Heinz Kreuzberg for the provision of illustrations. The Working Group further thanks Colin McKinney for the improvement of the English version of the report and Lindsey Jones for the preparation of the French version. Finally the Working Group would like to express its appreciation for the support that Jesse Phaler provided in compiling and editing the final version of this report.

Cover credits:

La planche sur la couverture représente une gravure sur bois "Universum", par Camille Flammarion, Paris 1988, coloriée par Hugo Heikenwaelder, Vienne 1998, inscription originelle : "Un missionnaire du moyen âge raconte qu'il avait trouvé le point où le Ciel et la Terre touchent".

The figure on the cover represents a wood engraving by Camille Flammarion, Paris 1988, "Universum", coloured version by Hugo Heikenwaelder, Vienna 1998, with an original inscription "A medieval missionary tells that he has found the point where heaven and Earth meet".

© Académie de l'Air et de l'Espace, 2008

Tous droits réservés / All rights reserved

ISBN 2-913331-39-4

ISSN 1147-3657

Dossiers déjà parus / *Past dossiers:*

- n°1 **Les Équipements aérospatiaux civils**, 1989
- n°2 **La Formation des jeunes pilotes de l'aviation civile de transport**, 1991
The Training of Young Pilots in Commercial Aviation, 1991
- n°3 **L'Avion de transport à haute vitesse**, 1991
Future High Speed Air Transportation System, 1991
- n°4 **Principes de déontologie applicables aux pilotes professionnels**, 1991
Principles of Ethics applicable to Professional Pilots, 1991
- n°5 **Le Contrôle de la circulation aérienne / Air Traffic Control**, 1992
- n°6 **Les Apports de la conquête spatiale à l'humanité**, 1992
- n°7 **La Sécurité de l'aviation légère / Safety in Light Aviation**, 1994
- n°8 **Principes de déontologie applicables aux pilotes privés et aux sportifs aériens**, 1994
Principles of Ethics applicable to Private and Aerobatics Pilots, 1994
- n°9 **L'Avenir de l'aviation de transport de fret**, 1994
The Future of Air Freight Transport, 1994
- n°10 **Les Études et recherches dans le domaine aérospatial face à la compétition internationale**, 1995
- n°11 **Le Retour d'expérience dans l'aviation civile de transport**, 1996
Feedback from Experience in Civil Transport Aviation, 1996
- n°12 **Évolution des industries aérospatiales**, 1998
- n°13 **Impact des avions et des lanceurs spatiaux sur l'environnement atmosphérique et le climat**, 1998
Impact of Aircraft and Space Launchers on the Atmosphere and the Climate, 1998
- n°14 **Assistance médicale aux passagers aériens**, 1998
Medical Assistance to Aircraft Passengers, 1998
- n°15 **Médias et sécurité dans le transport aérien**, 2000
Media and Safety in Air Transport, 2000
- n°16 **Horizon 2020, Société humaine et activités aérospatiales**, 2000
- n°17 **La Formation des ingénieurs au XXI^{ème} siècle**, 2002
- n°18 **La Gestion de la circulation aérienne en Europe**, 2002
Air Traffic Management in Europe, 2002
- n°19 **L'Avion de transport supersonique**, 2002
- n°20 **Formation des pilotes / Pilot Training**, 2002
- n°21 **Retour d'expérience dans l'aviation civile**, 2003
Feedback from Experience in Civil Aviation, 2003
- n°22 **L'Europe et les débris spatiaux / Europe and Space Debris**, 2003
- n°23 **La Menace balistique : quelle politique pour la France et l'Europe ?**, 2004
The Ballistic Threat: What should be the policy of France and Europe?, 2004
- n°24 **L'Impact du trafic aérien sur l'environnement**, 2004
Impact of Aviation on the Environment, 2004
- n°25 **La Révolution des drones / The UAV Revolution**, 2005
- n°26 **Compagnies de transport aérien à bas prix / Low-fare airlines**, 2006
- n°27 **L'Europe de l'Espace ; enjeux et perspectives / Space; a European vision**, 2006
- n°28 **La sécurité des compagnies aériennes / Airline Safety**, 2007
- n°29 **Le transport aérien face au défi énergétique**, 2007
Air Transport and the Energy Challenge, 2007

– CONTENTS –

Foreword	6
1. Summary	8
2. Why Europe should take part in Space exploration	12
3. European achievements and the status of exploration activities	22
3.1 <i>European Human Spaceflight and Associated Research</i>	24
3.2 <i>Space Sciences</i>	30
3.3 <i>Status of Europe's Exploration Initiative</i>	36
4. Worldwide plans and action	40
4.1 <i>National Policies</i>	42
4.2 <i>Global Coordination of Exploration</i>	44
5. Analysis of European plans and options	50
5.1 <i>Analysis of ongoing activities and plans</i>	50
5.2 <i>European Options</i>	54
<i>Scenario (1)</i>	56
<i>Scenario (2)</i>	60
<i>Scenario (3)</i>	62
6. Recommendations	66
<i>Appendix 1: List of European and international robotic Space science/exploration missions ongoing or under development by end 2007</i>	74
<i>Appendix 2: List of participants in the Exploration Working Group</i>	76
<i>Appendix 3: Presentation of Air and Space Academy</i>	78
<i>Appendix 4: List of publications</i>	82

– TABLE DES MATIÈRES –

Avant-propos	7
1. Résumé	9
2. Pourquoi l'Europe doit participer à l'exploration spatiale	13
3. Les succès de l'Europe et ses activités d'exploration spatiale	23
3.1 <i>Le vol spatial humain en Europe et la recherche associée</i>	25
3.2 <i>Les sciences spatiales</i>	31
3.3 <i>Situation de l'initiative européenne d'exploration spatiale</i>	37
4. Projets et plans d'actions dans le monde	41
4.1 <i>Politiques nationales</i>	43
4.2 <i>Coordination globale de l'exploration spatiale</i>	45
5. Analyse des projets et des options envisageables pour l'Europe 51	
5.1 <i>Analyse des activités en cours et projetées</i>	51
5.2 <i>Options pour l'Europe</i>	55
<i>Scénario (1)</i>	57
<i>Scénario (2)</i>	61
<i>Scénario (3)</i>	63
6. Recommandations	67
<i>Annexe 1 : Liste des missions spatiales scientifiques et d'exploration internationales en cours ou en phase de développement à fin 2007 ..</i>	75
<i>Annexe 2 : Liste des participants au groupe de travail Exploration</i>	77
<i>Annexe 3 : Présentation de l'Académie de l'Air et de l'Espace</i>	79
<i>Annexe 4 : Liste de publications</i>	82

FOREWORD

With the launch by the Space Shuttle in early February 2008 of the European laboratory Columbus – now an integral part of the International Space Station (ISS) – and the Ariane 5 launch on 9 March 2008 of the first Automated Transfer Vehicle (ATV) – which docked perfectly with the ISS on April 3 –, European states are witnessing the culmination of decisions taken at the Ministerial Council of the European Space Agency (ESA) held in Toulouse in October 1995.

Following this important step forward in European Space activities, Europe must now define its policy for the next 30 years in terms of its participation in international programmes for exploration of the solar system. Unlike the USA, most thinking on Space activities in Europe, especially exploration, goes on within the strict framework of institutions such as ESA, national space agencies and, in recent years, the European Commission. With the notable exception of scientific Space exploration programmes – which are the subject of extensive discussion within the international scientific community –, foundations and other research institutions, academic or not are not particularly active in this sector.

This is why the Air and Space Academy's "Space" commission – which was set up in late 2003 and whose first report¹ published in 2006 covered all space activities – commissioned a working group in early 2007 to take a further in-depth look at Europe's role in space exploration. This group, chaired by Joerg Feustel-Büechl, called on a broad selection of specialists in these matters, including many European experts, thus demonstrating the Academy's commitment to a European dimension.

The following dossier and the recommendations it contains will be presented to the authorities in charge of space policy in Europe in the coming weeks.

Gérard Brachet

*Président de la commission Espace,
vice-président de
l'Académie de l'Air et de l'Espace*

Georges Ville

*Président de l'Académie de l'Air
et de l'Espace*

1. *Space: A European Vision, dossier 27, 2006*

AVANT-PROPOS

Avec le lancement par la navette spatiale américaine au début du mois de février 2008 du laboratoire européen Columbus, désormais partie intégrante de la Station spatiale internationale (International Space Station, ISS), et le lancement le 9 mars par Ariane 5 du premier véhicule cargo ravitailleur “ATV” (Automated Transfer Vehicle), dont l’amarrage à la Station spatiale internationale s’est parfaitement déroulé le 3 avril, les États européens ont vu l’aboutissement des décisions prises lors du conseil ministériel de l’Agence spatiale européenne tenu à Toulouse en octobre 1995.

Au-delà de cette étape importante pour l’Europe spatiale, celle-ci doit définir la place qu’elle envisage de prendre au cours des 30 prochaines années dans les nombreux programmes internationaux d’exploration du système solaire. Au contraire de ce qui se passe aux États-Unis, la réflexion européenne sur l’espace, et singulièrement sur l’exploration spatiale, a du mal à se développer en dehors du cadre strict des institutions comme l’Agence spatiale européenne, les agences spatiales nationales et, depuis quelques années, la Commission européenne. À l’exception notable des programmes d’exploration scientifique de l’espace, qui font l’objet de très larges débats au sein de la communauté scientifique internationale, les fondations et autres institutions de recherche, universitaires ou non ne sont pas très actives dans ce secteur.

C’est la raison pour laquelle la commission “Espace” de l’Académie de l’Air et de l’Espace, mise en place à la fin de l’année 2003, et dont le premier rapport publié en 2006 couvrait l’ensemble des activités spatiales¹, a remis en chantier au début de l’année 2007 une réflexion de fond sur le rôle de l’Europe dans l’exploration spatiale. Le groupe de travail qu’elle a mis en place à cet effet, présidé par Joerg Feustel-Büechl, a largement fait appel à des spécialistes de ces questions, et en particulier à de nombreux experts européens, illustrant ainsi l’orientation résolument européenne de l’Académie.

Ce dossier et les recommandations qu’il contient seront présentés aux autorités en charge de la politique spatiale en Europe au cours des prochaines semaines.

Gérard Brachet

Président de la commission Espace, vice-président de l’Académie de l’Air et de l’Espace

Georges Ville

Président de l’Académie de l’Air et de l’Espace

1. *L’Europe de l’Espace, enjeux et perspectives, dossier 27, 2006*

THE ROLE OF EUROPE IN SPACE EXPLORATION

**Report of the Exploration Working Group of the Space
Commission of the Air and Space Academy**

1. SUMMARY

Since the beginning of space activities with the first satellite launch in 1957 (Sputnik on 4 October 1957) the exploration of our Solar System and the universe has always been of particular interest. The search for life and the origin of the universe excited the curiosity of generations of scientists and engineers. Many missions have been carried out in the past decades to satisfy this challenge. Europe has a long-standing tradition of space exploration and has participated with outstanding success in many exploratory missions of its own and in partnership with all spacefaring nations around the world. For Europe, recent years have been particularly rich with missions to the Moon, Mars, Venus and Saturn's moon Titan, to name some of the most recent endeavours.

With the announcement of the US "Vision for Space Exploration" by President George W. Bush in January 2004, robotic and human exploration of the Moon, Mars and the near-Earth asteroids is again in the focus of the public and of all space agencies around the world. China, India, Russia and Japan have already established strategies and programmes as well as launching concrete missions to participate in this worldwide exploration activity.

Europe, with its long, successful tradition of robotic and human spaceflight, has to make up its mind in the near future on how to participate in this endeavour and must define its role in a manner commensurate with its economic, scientific and technological potential and experience.

LE RÔLE DE L'EUROPE DANS L'EXPLORATION SPATIALE

Rapport du groupe de travail Exploration de la commission Espace de l'Académie de l'Air et de l'Espace

1. RÉSUMÉ

Depuis les origines des activités spatiales, avec le premier lancement d'un satellite artificiel en 1957 (Spoutnik, le 4 octobre), l'exploration de notre système solaire et de l'Univers n'a cessé d'exercer une fascination sur l'homme. La recherche d'autres formes de vie et le désir de sonder les mystères de l'Univers ont attisé la curiosité de générations de scientifiques et d'ingénieurs. De nombreuses missions ont été effectuées depuis des décennies pour relever ces défis. L'Europe a une longue tradition d'exploration spatiale ; elle a mené avec brio de nombreuses missions exploratoires, de façon autonome ou en collaboration avec les diverses puissances spatiales mondiales. Les dernières années ont été particulièrement riches avec des missions vers la Lune, Mars, Vénus et Titan, l'un des satellites de Saturne, pour ne citer que quelques-unes des réussites les plus récentes.

Avec l'annonce américaine : "Une vision pour l'exploration spatiale" du président George W. Bush en janvier 2004, l'exploration robotique et humaine de la Lune, de Mars et des objets géocroiseurs est à nouveau portée à l'attention du public et des agences spatiales mondiales. La Chine, l'Inde, la Russie et le Japon ont d'ores et déjà défini des stratégies et des programmes et lancé des missions concrètes pour participer à cette activité mondiale d'exploration.

L'Europe, forte de ses réussites en vol spatial robotique et humain, doit décider prochainement si elle souhaite participer à cet effort et définir un rôle à la hauteur de son potentiel et de son expérience économiques, scientifiques et technologiques.

L'Académie de l'Air et de l'Espace a constitué un groupe de travail "Exploration spatiale" qui réunit des experts reconnus en matière de science, de

The Air and Space Academy convened an Exploration Working Group comprising recognised experts in science, engineering and management with the aim of analysing the worldwide situation and elaborating recommendations on how Europe should position itself in this challenging environment. The recommendations are addressed to space policy decision-makers within governments and agencies.

The Exploration Working Group of the Air and Space Academy has developed typical scenarios for potential European engagement and forwards with this report the following recommendations:

- 1) Europe should engage in a substantial and unified Space Exploration Programme of its own commensurate with high European ambitions and appropriate to Europe's position in the world.*
- 2) The European Space Exploration Programme should enhance European identity and should support the European integration process.*
- 3) The European Space Exploration Programme should stimulate scientific research, technological excellence, inspire young generations and generate strong public interest.*
- 4) The European Space Exploration Programme should contain a balance of both robotic and human missions. The objectives of the Programme in the short term should be concrete and precisely defined and follow the long term goal of sending a European crew to Mars.*
- 5) The European Space Exploration Programme should build upon the basis of the ESA-Aurora Programme and the experience gained in the International Space Station (ISS) Programme.*
- 6) The European Space Exploration Programme should receive adequate funding of at least 1 billion euros per year containing ambitious science and technology goals and flagship elements such as a Mars Sample Return (MSR) mission, exploratory activities on or around the Moon and the development of a human rated transportation system.*
- 7) Europe should seek cooperation with partners around the world under terms and conditions which reinforce the European Space Exploration Programme.*
- 8) A decision on the European Space Exploration Programme should be taken at the next ESA Ministerial Council, planned for late 2008.*

The Air and Space Academy encourages European governments and space agencies to define and decide on an ambitious European Space Exploration Programme in the near future as a strong investment in European knowledge and technology.

technologie et de gestion de grands projets dans le but d'analyser la situation mondiale et d'élaborer des recommandations sur la façon dont l'Europe devrait se placer dans cette course. Ces recommandations sont adressées aux décideurs de politique spatiale au sein des gouvernements et des agences.

Le groupe de travail Exploration spatiale de l'Académie de l'Air et de l'Espace a développé plusieurs scénarios possibles pour un engagement européen et propose dans ce rapport les recommandations suivantes :

- 1) **L'Europe devrait s'engager dans un programme d'exploration spatiale unifié et de grande envergure, à la hauteur de ses ambitions et de sa position dans le monde.**
- 2) **Le programme européen d'exploration spatiale doit contribuer à rehausser l'identité européenne et à soutenir le processus d'intégration européenne.**
- 3) **Le programme européen d'exploration spatiale doit stimuler la recherche scientifique, l'excellence technologique, être une source d'inspiration pour les jeunes et conduire à un regain d'intérêt de la part du public.**
- 4) **Le programme européen d'exploration spatiale doit assurer un équilibre adéquat entre les missions robotiques et les missions humaines. Les objectifs à court terme du programme doivent être concrets et précis, s'inscrivant dans l'objectif à long terme d'envoyer un équipage européen vers Mars.**
- 5) **Le programme européen d'exploration spatiale doit être construit sur les bases du programme Aurora de l'ESA et de l'expérience acquise dans le programme international de la Station spatiale internationale (ISS).**
- 6) **Le programme européen d'exploration spatiale devrait recevoir un financement adéquat, d'au moins 1 milliard d'euros par an pour des projets aux objectifs scientifiques et technologiques ambitieux et contenir des éléments-phares tels qu'une mission MSR (Mars Sample Return, retour d'échantillon depuis Mars), des activités d'exploration ou autour de la Lune et le développement d'un système de transport spatial capable d'emporter un équipage.**
- 7) **L'Europe devrait chercher à établir des partenariats partout dans le monde dont les modalités et les conditions renforceraient le programme européen d'exploration spatiale.**
- 8) **Une décision sur le programme européen d'exploration spatiale devrait être prise lors du prochain Conseil ministériel de l'ESA, prévu pour fin 2008.**

L'Académie de l'Air et de l'Espace incite les gouvernements et les agences spatiales européens à définir et à décider d'un programme européen ambitieux d'exploration spatiale dans un proche avenir en tant qu'investissement fort dans la connaissance et la technologie européennes.

“The Earth is a cradle of mankind,
but one cannot stay in the cradle forever.”

Konstantin Tsiolkovsky, 1895

2. WHY EUROPE SHOULD TAKE PART IN SPACE EXPLORATION

Europe has been an active partner in space activities from the beginning, moving into second place after the collapse of the Soviet Union in the early 1990s. Its successes in scientific missions, in satellite telecommunications, in Earth observation satellites, in satellite launching activities and its active involvement in the International Space Station programme strengthened its scientific and industrial community. It is worth noting that Europe has accumulated an incredible series of successes, ranging from landing on Titan, a satellite of Saturn more than one billion kilometres away, to the ENVISAT Earth monitoring satellite, now in its sixth year in orbit, not forgetting the 179 operational launches (as of end of November 2007) of the various versions of Ariane since 1979 with a success rate of 97%. Up to now 33 European astronauts have participated in 42 human spaceflight missions. Furthermore, European industry has taken a major role in satellite manufacturing on the global market and many leading telecommunication satellite operators are based in Europe.

However, today, the new phase of space exploration initiated by the United States in 2004 with its Vision for Space Exploration and its return to the Moon programme, the ever more ambitious space programmes of China and India, the on-going reflection in Japan on developing a rejuvenated space strategy, the new ambitions of Russia to again become a major actor, even the emergence of new partners from the developing world such as Brazil, all challenge Europe to define its ambitions in space activities, and particularly in space exploration, for the next decades.

*Space exploration is driven by the **curiosity** to discover new worlds within the Solar System, to explore them, to understand their origin and how they have evolved to their present state, to build permanent unmanned facilities and finally human settlements. The urge to explore is driven by scientific research, acquisition of knowledge and technology as well as long-term economic and social benefits.*

*Space exploration is about **discovery**, but it is also about **exploitation**: reaching out to new worlds, discovering them, understanding their origin*

*“La Terre est le berceau de l’homme,
mais l’on ne peut rester dans son berceau pour toujours”*

Konstantin Tsiolkovsky, 1895

2. POURQUOI L’EUROPE DOIT PARTICIPER À L’EXPLORATION SPATIALE

L’Europe a joué un rôle actif dans les activités spatiales depuis le début, arrachant la deuxième position à l’Union soviétique au début des années 1990. Les succès qu’elle a remportés dans les domaines des missions scientifiques, des télécommunications satellitaires, des satellites d’observation de la Terre, des lanceurs, ainsi que le rôle qu’elle a joué dans la Station spatiale internationale ont contribué à renforcer les capacités de sa communauté scientifique et industrielle. Il est important de noter que l’Europe a réussi toute une série d’exploits allant de l’atterrissage sur Titan, l’un des satellites de Saturne à plus d’un milliard de kilomètres de la Terre, au satellite d’observation de la Terre ENVISAT, désormais en orbite pour la sixième année, en passant par les 179 lancements opérationnels depuis 1979 (à fin novembre 2007) des diverses versions d’Ariane avec un taux de réussite de 97%. Jusqu’à présent, 33 astronautes européens ont participé à 42 missions de vol habité. De plus, l’industrie européenne a joué un rôle de leader dans la construction des satellites pour le marché mondial et de nombreux opérateurs de satellites sont basés en Europe.

Aujourd’hui, toutefois, la nouvelle phase de l’exploration spatiale lancée par les États-Unis en 2004 avec sa “Vision pour l’exploration spatiale” et son programme de retour sur la Lune, les programmes spatiaux toujours plus ambitieux de la Chine et de l’Inde, la réflexion en cours au Japon pour renouveler sa stratégie spatiale, les nouvelles ambitions de la Russie pour redevenir un acteur important, même l’apparition de nouveaux partenaires dans les pays en voie de développement, tels que le Brésil, représentent autant de défis à l’Europe pour qu’elle définisse ses ambitions spatiales, en particulier dans l’exploration spatiale, pour les décennies à venir.

L’exploration spatiale est animée par la **curiosité**, par le désir de découvrir de nouveaux mondes dans le système solaire, de les explorer, de comprendre leurs origines et comment ils ont évolué vers leur état actuel, pour établir des infrastructures robotiques permanentes et enfin des établissements humains. La pulsion d’explorer est alimentée par la recherche scientifique, l’acquisition de la connaissance et de la technologie ainsi que l’attrait de bénéfices économiques et sociaux à long terme.

and evolution, including the origin and evolution of life, possibly even settling on them to exploit the possibilities that they offer: observatories, resources, bases for further onward exploration. After all, this is what European explorers have been doing on the surface of our own planet for the last seven hundred years.

*Space exploration is also about **very advanced science and technology**. It requires mastering very complex systems allowing the exploration of other worlds with minimal impact on their environment and in complete safety for the human crews.*

Europe must face the challenge to define its role in this new phase of space exploration. Is it to be the role of a passive spectator or the role of a second-tier partner, contributing through small and non-essential elements to ambitious projects led by others? Or should it be the role of a prime mover, capable of defining its own strategy, its own priorities, and then implementing them, either in an autonomous manner or within cooperative ventures involving other partners?

Europe already has elements of an exploration strategy, as demonstrated by very successful scientific satellite missions of the European Space Agency, and smaller but significant scientific spacecraft developed within the national programmes of ESA member states. Furthermore, ESA has defined over the last few years an exploration programme based so far entirely on robotic exploration missions, i.e. not carrying a crew, called Aurora. This new programme, approved in 2005, will begin with a mission to the surface of planet Mars (ExoMars) planned for 2013.

*However, what is missing in this approach is a comprehensive long-term exploration strategy comprising robotic and human missions to other bodies in the Solar System. Human missions are space exploration missions including a crew of men and women on board which allow for **in situ human presence** in implementing the mission objectives. Such human missions are complex and demanding due to the added requirements for life support and safety. Therefore, they need to be well justified, based on a determination of the added value of human presence in situ.*

Such a comprehensive long-term exploration strategy and the associated implementation programme must clearly describe the complementary roles of robotic and human missions. Europe has long experience and a proven track record in robotic missions and benefits from having an excellent corps of astronauts who have flown in the European-built Spacelab, in the Russian Mir space station, on the US Space Shuttle, and in the International Space Station, thus acquiring very valuable

L'exploration spatiale rime avec **découverte**, mais également avec **exploitation** : il s'agit d'aller vers ces nouveaux mondes, de les découvrir, voire de s'y installer afin d'exploiter les possibilités qu'ils offrent en terme d'observatoires, de ressources, de bases de départ pour pousser encore plus loin l'exploration. Après tout, c'est ce qu'ont fait les explorateurs européens sur notre propre planète depuis sept cents ans.

L'exploration spatiale repose également sur **les sciences et les technologies de pointe**. Elle exige de maîtriser des systèmes très complexes qui permettent l'exploration d'autres mondes avec un impact minimal sur leur environnement et avec une sécurité complète pour l'équipage.

L'Europe doit relever ce défi et définir son rôle dans cette nouvelle phase d'exploration spatiale. Se contentera-t-elle du rôle de spectateur passif ou d'acteur secondaire, contribuant par de petits éléments non essentiels aux projets ambitieux menés par d'autres ? Ou assumera-t-elle un rôle moteur, capable de définir sa propre stratégie, ses propres priorités, et de les mettre en application de façon autonome ou dans des entreprises coopératives avec d'autres partenaires ?

L'Europe a déjà les bases d'une stratégie d'exploration, comme en témoignent les réussites des missions satellitaires scientifiques de l'Agence spatiale européenne, et les satellites scientifiques, plus petits mais significatifs, développés dans le cadre des programmes nationaux des États membres de l'ESA. En outre, l'ESA a défini au cours des dernières années un programme d'exploration, appelé Aurora, consacré pour l'instant aux missions robotiques d'exploration, c'est-à-dire sans équipage embarqué. Ce nouveau programme, approuvé en 2005, commencera par une mission prévue pour 2013 qui explorera la surface de Mars (ExoMars).

Il manque toutefois dans cette approche une stratégie d'exploration à long terme comportant des missions robotiques et humaines vers d'autres corps célestes de notre système solaire. Les missions humaines d'exploration spatiale comprennent un équipage d'hommes et de femmes à bord qui permettent une **présence humaine *in situ*** pour atteindre les objectifs de mission. De telles missions sont complexes et exigeantes à cause des contraintes liées à la sécurité et aux systèmes de survie. Par conséquent, elles doivent être justifiées par la valeur ajoutée de la présence humaine *in situ*.

Une telle stratégie d'exploration à long terme, et son programme de mise en œuvre, doit préciser les rôles complémentaires des missions robotiques et humaines. L'Europe a une longue expérience des missions robotiques et un savoir-faire qui a fait ses preuves ; elle possède un excellent corps d'astronautes qui ont volé dans le Spacelab européen, dans la station spatiale russe MIR, sur la Navette spatiale américaine, et dans la Station spatiale internationale, et qui ont de ce fait acquis une expérience et des connaissances précieuses sur la présence

experiences and capabilities of human presence in situ. Europe therefore has all the required expertise and knowledge to define such a strategy and associated programme.

Europe has acquired a strong technology base, in particular following the development of the more advanced versions of the Ariane 5 launcher, the development of the Columbus module to be flown and attached to the International Space Station in December 2007 and of the Automated Transfer Vehicle ATV which will regularly carry cargo to the Space Station beginning in 2008.

* * *

The European strategy for space exploration and programme needs to receive strong and explicit support both from political circles and from European citizens.

The Resolution on the European Space Policy approved by the 4th Space Council on May 22, 2007, does include an explicit reference to space exploration but in a rather modest manner, reflecting a certain lack of ambition for Europe:

“(The Council) Emphasizes the importance of a proactive ESA participation in the preparation of future international exploration programmes, with the objective of ensuring a significant targeted and coordinated European role in this endeavour.”

*Obviously, the lack of any reference to a **European exploration strategy** in this resolution and its encouragements limited to a proactive ESA participation in the preparation of future international exploration programmes indicates rather lukewarm political support.*

This lack of an ambitious vision probably reflects a larger problem facing Europe today: there is no real support for ambitious new technological European ventures, no political will to forge ahead on a collective basis. More attention is given to detailed management rules than to developing a real vision for Europe. With such an attitude, neither CERN nor ESRO (ESA's predecessor) would ever have been created.

Europe must wake up and define a vision of its future, capable of attracting the young generation to the challenges and satisfactions of advanced scientific and technical research. Such a vision necessarily includes a renewed ambition to play an active role in cutting-edge scientific and technical ventures, be it in information technology, in biology, environmental sciences or advanced technology. An ambitious exploration programme would be an excellent way of improving the European image.

humaine *in situ*. L'Europe a donc l'expertise et le savoir-faire nécessaires pour définir cette stratégie et sa mise en œuvre.

L'Europe a acquis une base technologique forte, en particulier suite au développement des versions ultérieures du lanceur Ariane 5, du module Columbus, porté et arrimé à la Station spatiale internationale en février 2008, et du véhicule automatique de transfert ATV qui, dès 2008, amènera régulièrement des cargaisons à la Station spatiale.

* * *

La stratégie européenne d'exploration spatiale et son programme associé doivent jouir d'un soutien fort et explicite, autant des structures politiques que des citoyens européens.

La résolution sur la politique spatiale européenne approuvée par le 4^e Conseil de l'espace le 22 mai 2007 inclut une référence explicite mais modeste à l'exploration spatiale, qui reflète un certain manque d'ambition pour l'Europe :

“(le Conseil) Souligne l'importance d'une participation proactive de l'ESA dans la préparation de futurs programmes internationaux d'exploration, avec l'objectif de garantir un rôle significatif pour l'Europe, ciblé et coordonné, dans cette entreprise.”

De toute évidence, l'absence de référence à **une stratégie européenne d'exploration spatiale** dans cette résolution et ses encouragements limités à une participation active de l'ESA dans la préparation de futurs programmes internationaux d'exploration indique un appui politique plutôt tiède.

Ce manque de vision ambitieuse reflète probablement un problème plus important auquel l'Europe doit faire face aujourd'hui : l'absence de véritable soutien aux nouveaux projets européens hautement technologiques, de vraie volonté politique de aller de l'avant de façon concertée. Les moindres règles de gestion suscitent plus d'intérêt que le développement d'une véritable vision pour l'Europe. Avec une telle attitude, ni le CERN ni l'ESRO (le prédécesseur de l'ESA) n'aurait été créé.

L'Europe doit se réveiller et définir une vision pour son futur, capable d'attirer la jeune génération vers les défis et les satisfactions de la recherche scientifique et technique de pointe. Cette vision doit inclure une ambition renouvelée de jouer un rôle actif dans les domaines des sciences et des techniques avancées, que ce soit dans les technologies de l'information, dans la biologie, les sciences environnementales ou les technologies de pointe. Un programme ambitieux d'exploration donnerait une excellente opportunité pour améliorer l'image de l'Europe.

Space Exploration is one of those ventures

- *Space exploration attracts the attention of the general public, and particularly of the younger generation, as testified by the attention received by such events as the small NASA robots Spirit and Opportunity exploring the surface of Mars, or the landing of the ESA Huygens probe on the surface of Titan in early 2005.*
- *Space exploration missions are extensively covered by the media whenever there is a major milestone.*
- *Space exploration will receive continued support from political circles if its value to the citizen and to society is explained honestly and in words that everybody understands.*

Europe should take an active role in space exploration because its involvement will bring political benefits, demonstrating Europe's capability to achieve ambitious goals as a collective entity, not merely regulating its daily economic activities or supporting its aging industry. It will also demonstrate Europe's continuing strength in advanced science and technology.

Europe should invest in space exploration because of its expected long-term benefits for the economy in advanced research and technology. While the short-term return on investment of space exploration is debatable, the long-term impacts may be enormous: new scientific discoveries, new technologies, new system architectures, the ability to meet strict requirements to ensure planetary protection and to minimise the environmental impact of human presence on other planets, and new approaches to satisfy extremely demanding requirements to secure the safety of human crews, to name but a few aspects.

Other potential long-term economic benefits relate to new applications which may become attractive as technology progresses, in the same way aviation developed from what was initially a hobby for amateurs to a major industry.

Europe should invest in space exploration to demonstrate its capabilities and role among the top four economies in the world. This requires Europe to set challenging goals and put together a management scheme capable of achieving these goals through an ambitious programme. It has shown its ability to do just this in many areas such as in telecommunications, high-speed rail transport, air transport and, to a certain extent, in space ventures.

Finally, Europe should invest in space exploration because it needs to set objectives in science and technology capable of attracting its younger generations. Our children and grandchildren deserve ambitious, pan-

C'est le cas de l'exploration spatiale

- L'exploration spatiale attire le grand public, et en particulier les jeunes, comme en témoigne l'attention suscitée par des événements tels que l'exploration de la surface de Mars par les petits robots Spirit et Opportunity de la NASA ou l'atterrissage de la sonde Huygens de l'ESA sur la surface de Titan début 2005.
- Les missions d'exploration spatiale sont bien répercutées par les médias à chaque fois qu'une étape importante est franchie.
- L'exploration spatiale sera soutenue par les décideurs politiques, à condition d'expliquer honnêtement et dans des mots que tout le monde comprend sa valeur au citoyen et à la société.

L'Europe devrait prendre un rôle actif dans l'exploration spatiale parce que sa participation apportera des bénéfices politiques, en démontrant que l'Europe possède les capacités pour réaliser des objectifs ambitieux en tant qu'entité collective, ne se contentant pas de réglementer ses activités économiques courantes ou de soutenir son industrie vieillissante. Un programme d'exploration spatiale démontrera également le savoir-faire de l'Europe dans les domaines des sciences et des technologies avancées.

L'Europe devrait investir dans l'exploration spatiale en raison de ses bénéfices à long terme pour l'économie en termes de recherche et technologie avancées. Tandis que sa rentabilité à court terme est discutable, les apports à long terme peuvent être énormes : de nouvelles découvertes scientifiques, de nouvelles technologies, de nouvelles architectures de système, la capacité de satisfaire à des contraintes strictes pour assurer la protection d'autres planètes et réduire au minimum l'incidence sur leur environnement de la présence humaine, de nouvelles architectures techniques pour répondre aux exigences draconiennes de sécurité pour l'équipage humain, entre autres.

D'autres bénéfices économiques potentiels à long terme sont liés aux nouvelles applications qui peuvent devenir intéressantes avec le progrès de la technologie ; c'est ainsi que l'aviation s'est transformée d'un passe-temps pour amateurs éclairés en une industrie majeure.

L'Europe devrait investir dans l'exploration spatiale pour démontrer son savoir-faire et renforcer sa position parmi les quatre économies principales du monde. Ceci lui exige de pouvoir se fixer des défis et mettre en place un système de management apte à mener ses objectifs à bien à l'aide d'un programme ambitieux. Elle a montré sa capacité à relever ce défi dans de nombreux secteurs tels que les télécommunications, le transport ferroviaire à grande vitesse, les transports aériens et, dans une certaine mesure, les grands projets de l'espace.

Enfin, **l'Europe devrait investir dans l'exploration spatiale parce qu'elle doit fixer des objectifs en science et technologie capables de motiver sa jeune**

European flagship projects which will give them the opportunity to team together to build the symbols of what Europe can achieve in science and technology, in a similar fashion to the Airbus and Ariane programmes in the last decades of the twentieth century. From a long-term perspective, this may be the single most compelling argument for Europe to become a major actor in space exploration.

	Europe	United States	Russia	China
Population [Mio]	494	302	141	1 321
GDP (purchasing power parity) [billion US\$]	13 111	12 229	1 576	8 817
Internet users [Mio]	247	205	24	123
Civil space expenditure [Mio US\$]	5 672	17 342	821	134
Military space expenditure [Mio US\$]	1 027	21 248	197	?
Space expenditure in % of the GDP	0.051	0.320	0.065	?
Space expenditure per capita [\$/cap]	13.6	127.8	7.2	?
Summer Olympics Gold Medals <small>(Athens 1896 to Athens 2004)</small>	1 926	896	481	112

Image 1: Europe seen by ERS-2 satellite, ESA/CCLRC/RAL/NERC/BNSC, 1998

génération. Nos enfants et petits-enfants méritent des projets ambitieux paneuropéens de grande envergure qui leur donneront l’occasion de travailler ensemble pour construire les symboles de ce que l’Europe peut réaliser en science et technologie, tout comme les programmes Airbus et Ariane des dernières décennies du 20^e siècle. **Dans le long terme, celui-ci représente l’argument le plus convaincant pour que l’Europe devienne un acteur important dans l’exploration spatiale.**

BUDGET SPATIAUX DES GRANDS PAYS SPATIAUX

	Europe	Etats Unis	Russie	Chine
Population [Mio]	494	302	141	1 321
PNB (parité de pouvoir d'achat) [milliard US\$]	13 111	12 229	1 576	8 817
Internautas [Mio]	247	205	24	123
Dépenses spatiales civiles [Mio US\$]	5 672	17 342	821	134
Dépenses spatiales militaires [Mio US\$]	1 027	21 248	197	?
Dépenses spatiales en % du PNB	0.051	0.320	0.065	?
Dépenses spatiales par habitant [\$/pers.]	13.6	127.8	7.2	?
Médailles d'Or aux jeux olympiques d'été <small>(d'Athènes 1996 à Athènes 2004)</small>	1 926	896	481	112

Image 1: Vue de l'Europe depuis le satellite ERS-2, ESA/CCLRC/RAL/NERC/BNSC, 1998

“All civilisations become either spacefaring or extinct”

Carl Sagan

3. EUROPEAN ACHIEVEMENTS AND THE STATUS OF EXPLORATION ACTIVITIES

The scientific exploration and utilisation of space has seen dramatic progress in the last decades due to the dynamic evolution of space technology. Telecommunication, navigation, Earth observation, weather forecasting and launch services have brought commercial space applications in which Europe has a sound basis and in some areas a leading position worldwide. It can be expected that these fields applying robotic spacecraft in Earth orbit will continue to be economically important in the long run. space sciences/exploration and human spaceflight with their associated research are further areas of significant achievement in Europe, addressing also non-utilitarian and cultural aspects. Science and exploration both have their origin in human curiosity and the desire to understand the world around us, which is one of the driving forces for cultural evolution and the prosperity of mankind. Obviously, exploration has its roots in the conquest and colonisation of Earth, including its many inhospitable regions. History has shown that challenges are needed to ensure the progress of humankind, space exploration comprises more than pure science. It opens a new dimension of space with activities oriented towards exploitation in combination with a long-term human presence, relying on human experience and involvement and stimulating emotions and strong public interest.



Image 2:

Aurora: en route vers Mars et la Lune.

Aurora: en route to Mars and the Moon

Credits: ESA - P.Carril

“Toutes les civilisations soit conquièrent l’espace soit s’éteignent”

Carl Sagan

3. LES SUCCÈS DE L’EUROPE ET L’ÉTAT ACTUEL DE SES ACTIVITÉS D’EXPLORATION SPATIALE

L’exploration scientifique spatiale et l’exploitation de l’espace ont fait des progrès fulgurants dans les dernières décennies grâce à l’évolution rapide des technologies spatiales. Les télécommunications, la navigation, l’observation de la Terre, la prévision météorologique et les services de lancement ont généré des applications commerciales et l’Europe se trouve en bonne place, voire en position de leader mondial dans certains secteurs. Il est très probable que les domaines d’application des systèmes spatiaux robotiques en orbite terrestre continueront dans le long terme à avoir une grande importance économique. Les sciences spatiales et l’exploration ainsi que les vols spatiaux humains, avec leurs recherches associées, ont aussi connu des succès significatifs en Europe, y compris dans des domaines non-utilitaires et culturels. La science et l’exploration trouvent leur origine dans la curiosité humaine et le désir de comprendre le monde autour de nous, l’un des moteurs principaux de l’évolution culturelle et de la prospérité de l’humanité. Les racines de l’exploration se trouvent dans la conquête et la colonisation de la Terre, y compris de ses nombreuses régions inhospitalières. L’histoire a prouvé qu’il est nécessaire de relever des défis pour assurer le progrès de l’humanité, et les enjeux de l’exploration spatiale vont bien au-delà de la recherche scientifique pure. L’exploration ouvre une nouvelle dimension de l’espace en alliant des activités orientées vers l’exploitation avec une présence humaine à long terme, en se basant sur l’expérience et l’engagement humain, en stimulant les émotions et l’intérêt du public.

3.1 Le vol spatial humain en Europe et la recherche associée

Avec le lancement du premier satellite artificiel, Spoutnik, le 4 octobre 1957, et du premier homme, Youri Gagarine, en orbite terrestre le 12 avril 1961, l’ancienne Union soviétique a donné le signal de départ pour la course vers l’espace, dont l’aboutissement en juillet 1969 fut l’un des événements les plus spectaculaires de l’histoire technique, le premier pas légendaire de l’homme sur la Lune, orchestré par les États-Unis. L’Europe n’a pas joué de rôle significatif dans cette démonstration de maîtrise technique, même si elle avait conjugué ses forces économiques sous la forme des Communautés européennes, devenues la deuxième plus grande puissance économique mondiale. Le désir européen de participer à l’exploration spatiale a conduit en 1964 à la création du CERS/ESRO

3.1 European Human Spaceflight and Associated Research

With the launch of the first artificial satellite, Sputnik, on 4 October 1957 and of the first man, Yuri Gagarin, into Earth orbit on 12 April 1961, the former Soviet Union gave the starting signal for the space race, which culminated in July 1969 in one of the most spectacular events of technical history, the legendary American human landing on the Moon. Europe did not play a significant role in this demonstration of technical leadership, although it had combined its economic forces in the form of the European Communities, which came to represent the second largest economic power in the world. The European desire to participate in space exploration led in 1964 to the creation of ESRO with the first objective to expand European capabilities in space sciences. Following a gradual expansion of its activities (Ariane, application satellites) it was in a position by 1973 to accept a NASA invitation to participate in the US Shuttle programme with a European-built element, "Spacelab". This important decision marked the beginning of human spaceflight in Europe and was one major reason for the transformation of ESRO into today's European Space Agency, ESA.

Spacelab was to be the first human multi-disciplinary research laboratory in the cargo bay of the reusable Shuttle to be routinely used in space. It consisted of a pressurised cylindrical long (6m) or short (3m) module and of external pallets, offering payload exposure to free space. The Shuttle Spacelab combination performed 22 space missions of 1-2 weeks in the November 1983 to April 1998 period. Of these missions 16 used the long module, predominantly dedicated to life and physical sciences experiments, 3 used the pallet-only configuration, dedicated to Earth observation, technology and space science research such as atmospheric-, solar-, plasma-physics and astronomy. ESA participated in 8 of the 16 long module missions within the framework of "no exchange of funds co-operations" with NASA. ESA provided experimental multi-user facilities for joint use and NASA the Shuttle launch and operations.

Spacelab opened the way to novel scientific and applications-oriented research in the microgravity environment of space and the use of gravity as a variable parameter. This led to the formation of a new community of life-, materials- and fluid-scientists. In 1998, NASA decided to terminate Spacelab flights, when the Shuttle was needed for construction and integration of the International Space Station (ISS). With the decision by Russia in January 1998 to accept NASA's invitation to become an ISS partner, all of the world's major space powers concentrated their human spaceflight efforts on the ISS programme. The ISS has become the largest global space undertaking, offering the opportunity to strengthen mutual confidence and intensifying cooperation between nations.

(Centre européen de recherches spatiales / European Space Research Organisation) avec comme premier objectif d'augmenter les capacités européennes en sciences spatiales. Après un développement progressif de ses activités (Ariane, satellites d'application), elle était en mesure en 1973 d'accepter l'invitation de la NASA de contribuer au programme américain de Navette spatiale avec un élément européen : le laboratoire "Spacelab". Cette décision importante, qui a marqué le début du vol spatial humain en Europe, était l'une des raisons de la transformation de l'ESRO en Agence spatiale européenne : l'ESA.

Spacelab, situé dans la soute de la navette spatiale réutilisable, fut le premier laboratoire de recherches multidisciplinaires avec présence humaine à être mis en service régulièrement dans l'espace. Il était composé d'un module cylindrique pressurisé long (6m) ou court (3m) et de palettes externes qui permettaient d'y installer des charges utiles exposées à l'espace. Le duo Navette-Spacelab a réalisé 22 missions de 1 à 2 semaines entre novembre 1983 et avril 1998. Seize de ces missions ont utilisé le module long, principalement consacré à des expériences dans les domaines des sciences de la vie et de la physique, et trois se sont servis uniquement de la configuration avec palettes, consacrée à l'observation de la Terre, à la technologie et à la recherche scientifique spatiale : physique atmosphérique, physique solaire et des plasmas, astronomie. L'ESA a participé à huit des seize missions utilisant le module long dans le cadre d'une coopération sans échange de fonds avec la NASA ; l'ESA fournissait des équipements expérimentaux adaptés à une utilisation commune et la NASA fournissait les lancements et les opérations de la Navette.



Image 3:

Configuration de la Station spatiale internationale après la mission STS-117
International Space Station configuration after Space Shuttle mission STS-117
Credits: NASA

Spacelab a permis des recherches scientifiques innovantes et orientées vers les applications dans l'environnement spatial de micropesanteur, avec l'utilisation de la pesanteur comme paramètre variable, et a contribué à la formation d'une nouvelle communauté de chercheurs en sciences de la vie, sciences des matériaux et des fluides. En 1998 la NASA a décidé de mettre fin aux vols de Spacelab, puisque la Navette spatiale était requise pour la

The cornerstone of Europe's participation in the ISS is the Columbus Laboratory. Columbus provides Europe with continuous exploitation of a pressurised orbital laboratory in a comfortable shirtsleeve environment in which microgravity conditions prevail. Due to the accident of the Shuttle Columbia in 2003, the transport and integration of Columbus into the ISS was postponed by several years. Although Columbus is the smallest of several ISS laboratories as compared to those from the US, Russia and Japan, it offers comparable payload volume, power and data transmission. The advantage of the somewhat smaller module is that Columbus can be launched with 2.5 tons of payload integrated and tested on the ground and with two external payloads accommodated on Columbus' external platforms. The internal payload racks integrated in Columbus prior to launch are: Biolab, Fluid Science Lab, European Physiology Modules, the European Drawer Rack and the Transport Container Rack. The ESA Materials Science Lab will be integrated in the US Lab.



The results obtained in the past by space life and physical scientists prompted not only further fundamental research in these fields but also considerable interest from European industry; about 125 companies participate in the Microgravity Applications Project. Some 200 European experiments have been selected in competition for “best science” for execution on the ISS. The ISS makes it possible to measure, in long-duration experiments and in quantitative terms, the effects of microgravity in areas of human physiology such as de-conditioning of the cardiovascular and respiratory system, bone loss and muscle atrophy, disorientation of the balance system and of the response to infections. Future long-duration human missions to the Moon and Mars will be subject to several potentially limiting factors for human health and performance such as radiation impact, physiological effects – not only in microgravity but also at lower gravity levels than on Earth, as on the surfaces of the Moon and Mars – and psychological issues. Countermeasures are developed and tested on the ISS, which is the ideal medical test bed in space for exploration.

construction et l'intégration de la Station spatiale internationale (ISS). Suite à la décision de la Russie, en janvier 1998, d'accepter l'invitation de la NASA à devenir un des partenaires de l'ISS, toutes les principales puissances spatiales mondiales ont concentré leurs efforts de vol spatial humain sur ce programme. L'ISS est devenu le plus grand programme spatial mondial, et a contribué à renforcer la confiance mutuelle et à intensifier la coopération entre les nations.

La pierre angulaire de la participation de l'Europe à l'ISS est le laboratoire Columbus. Columbus permet à l'Europe d'exploiter en continu un laboratoire orbital pressurisé dans un environnement chaud et confortable en état de micropesanteur. En raison de l'accident de la navette Columbia en 2003, le transport et l'intégration de Columbus dans l'ISS ont été retardés de plusieurs années. Bien que plus petit que les autres laboratoires de l'ISS – fournis par les États-Unis, la Russie et le Japon –, Columbus offre un volume de charge utile, une puissance et une capacité de transmission de données tout à fait comparables. La taille plus réduite de Columbus permet de le lancer avec 2,5 tonnes de charge utile intégrée et testée sur Terre et avec deux charges utiles installées sur ses plates-formes externes. Les modules de charge utile intégrés à l'intérieur du laboratoire Columbus avant le lancement sont : le "Biolab", le "Fluid Science Lab", le "European Physiology Modules", le "European Drawer Rack" et le "Transport Container Rack". Le "Materials Science Lab" de l'ESA sera intégré dans le laboratoire "US Lab".

Les résultats obtenus dans le passé par les chercheurs en biologie et physique spatiales ont contribué non seulement à relancer et approfondir la recherche fondamentale dans ces domaines mais à susciter un vif intérêt de la part de l'industrie européenne ; environ 125 compagnies participent au Projet d'applications de la microgravité. Quelque 200 expériences européennes ont été sélectionnées à l'issue d'une compétition pour être retenues comme "meilleurs projets scientifiques" pour exécution sur l'ISS. L'ISS permet de mesurer, dans des expériences de longue durée et en termes quantitatifs, les effets de la micropesanteur sur la physiologie humaine : déconditionnement cardiovasculaire et respiratoire, perte de masse osseuse et atrophie musculaire, désorientation du système d'équilibre et du système immunitaire. Plusieurs aspects des futures missions spatiales humaines de longue durée vers la Lune et Mars auront un impact sur la santé des astronautes et sur leurs performances : les effets physiologiques du rayonnement et de la micropesanteur mais également les niveaux de pesanteur plus réduite que sur la Terre qui existent à la surface de la Lune et de Mars, enfin certaines questions psychologiques liées à la longue durée de ces missions. Des contre-mesures sont développées et testées sur l'ISS, qui représente un banc d'essai médical idéal en vue de l'exploration spatiale.

Depuis le début des années 1980 jusqu'à fin novembre 2007, 33 astronautes ou cosmonautes européens ont volé dans l'espace au cours de 42 missions spatiales – dont trois étaient des missions d'une durée de 6 mois – en empruntant

Since the early 1980s, 33 European astronauts or cosmonauts have flown on 42 space missions (until end November 2007), using the Shuttle or Soyuz, of which 3 were 6 month duration missions. The total length of stay of European astronauts in space adds up to more than 1000 days. These astronauts performed various scientific and mission related tasks on Soyuz, Mir, Shuttle/Spacelab and later on the ISS. Future ISS crew planning up to 2015 envisages 12 further flights of European astronauts, several of which are long-duration flights.

In addition to the Columbus Laboratory, Europe has developed the Automatic Transfer Vehicle (ATV) to transport supplies to the ISS. The ATV provides its own guidance, propulsion and docking systems and is capable of transporting 7.4 tons of scientific payload, general supplies, water, oxygen and propellant to the ISS. The ATV and the Russian Progress will periodically reboost the Station. The ATV will be launched by Ariane 5 every 15 months, starting in early 2008. It can remain docked to the ISS for up to 6 months, during which time it can be loaded with waste before undocking and flight into Earth's atmosphere to burn up. In addition, ESA provides for the ISS the Data Management System for the Russian Module Zvezda, the nodes 2 and 3 connecting ISS modules, the Cupola observation platform, the Microgravity Glovebox, the European Robot Arm ERA and other elements. According to agreements between the ISS partners, ISS operations will continue until at least 2016.

Europe has developed powerful space transportation means (Ariane, Vega, ATV) to launch satellites into various orbits and logistical supplies to the ISS, and it has accumulated experience in atmospheric re-entry and human transport. In 1998 with the Atmospheric Re-entry Demonstrator ARD, Europe took a first major step towards developing a vehicle capable of returning cargo to Earth surface and eventually people at a later stage. The ARD was an unmanned 3-axis stabilised capsule – similar to the Apollo capsule – launched by Ariane 5 to an altitude of 830 km before it returned to Earth with an initial atmospheric entry velocity of 27,000 km/h and a descent rate of 20 km/h to the surface. During the ARD's 101-minute mission, the theoretical aerodynamic predictions were verified and the functioning of the thermal protection, navigation, guidance and parachute systems were demonstrated.

Hermes, a European retrievable space plane, was studied and technically prepared in the 1980s and early 1990s. It was planned as a human-rated, reusable, winged vehicle to be launched by Ariane 5, to be docked to an intended European free-flying laboratory later called Man-Tended Free-Flyer (MTFF), to support operations of the 3-man crew and to return after its mission with horizontal landing. Docking of Hermes to the

la Navette ou le vaisseau Soyouz. La durée totale du séjour des astronautes européens dans l'espace s'élève à plus de 1000 jours. Ces astronautes ont exécuté diverses tâches scientifiques et opérationnelles sur Soyouz, la station MIR, la Navette/Spacelab et plus tard l'ISS. Douze vols d'astronautes européens sont encore prévus dans le programme des équipages de l'ISS jusqu'à 2015, dont plusieurs de longue durée.

En plus du laboratoire Columbus, l'Europe a développé le véhicule automatique ATV pour approvisionner l'ISS. L'ATV dispose de ses propres systèmes d'orientation, de propulsion et d'amarrage et est capable de transporter 7,4 tonnes de charge utile scientifique, d'approvisionnements divers, d'eau, d'oxygène et de propergol vers l'ISS. L'ATV et le vaisseau automatique Progress russe rehausseront régulièrement l'orbite de la station. L'ATV sera lancé par Ariane 5 tous les 15 mois, à partir de début 2008. Il peut rester accouplé à l'ISS jusqu'à 6 mois, et être chargé de déchets avant de se détacher et de rentrer dans l'atmosphère de la Terre et y brûler. En outre, l'ESA fournit pour l'ISS le système de gestion des données pour le module russe Zvezda, les noeuds de liaison 2 et 3 qui relient certains des modules de l'ISS, la plate-forme d'observation "Cupola", la "Microgravity Glovebox", le bras robotique européen ERA et d'autres éléments. Selon des accords entre les partenaires de l'ISS, les opérations de la Station spatiale internationale continueront jusqu'à 2016 au moins.

L'Europe a développé des moyens puissants de transport spatial (Ariane, Vega, ATV) pour lancer des satellites sur diverses orbites et apporter des approvisionnements logistiques à l'ISS ; elle a aussi accumulé de l'expérience dans les domaines de la rentrée atmosphérique et du transport spatial humain. En 1998, avec le démonstrateur de rentrée atmosphérique ARD, l'Europe a franchi une première étape importante dans le développement d'un véhicule capable de ramener une cargaison, et ultérieurement des équipages, à la surface de la Terre. L'ARD, une capsule non-pilotée, stabilisée par trois axes – semblable à la capsule Apollo – a été lancée par Ariane 5 à une altitude de 830 kilomètres avant de revenir sur Terre avec une vitesse de rentrée dans l'atmosphère de 27.000 km/h et un taux de descente vers la surface de 20 km/h. Pendant la mission de l'ARD, qui a duré 101 minutes, les prévisions aérodynamiques théoriques et le fonctionnement de la protection thermique, des systèmes de navigation, d'orientation et de parachute ont été vérifiés.

Hermès, un projet d'avion spatial récupérable européen, a été étudié et préparé techniquement dans les années 1980 et au début des années 1990. Hermès était un véhicule réutilisable doté d'ailerons pour la rentrée dans l'atmosphère et homologué pour emporter un équipage ; il devait être lancé par Ariane 5 et venir s'amarrer à un projet de laboratoire européen autonome appelé plus tard MTF (Man-Tended Free Flyer, c'est-à-dire vaisseau spatial automatique visitable par un équipage), être capable d'emporter trois membres

International Space Station and Mir had also been envisaged. In the early 1990s, however, this first step for Europe towards autonomy in human space transportation was abandoned for political and financial reasons. A similar fate overtook the Saenger concept in Germany, when studies and hypersonic research concerning a winged, air-breathing, reusable, two-stage, horizontal take-off and landing space transportation system were suspended in 1996. Presently, there are no concrete plans in Europe for the development of a recoverable cargo or crew space transportation system.

3.2 Space Sciences

The framework for Europe's space science missions is ESA's very successful mandatory science programme. It comprises Solar System research with numerous robotic missions to destinations in our planetary system, astronomy with large telescopes placed in Earth orbit or Sun-Earth Lagrange points, and – last but not least – fundamental physics, aimed at testing the foundations of general relativity, which may possibly lead to future unified field theories.

The current planning timeframe up to 2014 is called Horizon 2000 Plus. Attentive observers may have noticed that the science programme, since the inception of Horizons 2000 in 1985, is conducting more and more missions with less and less funds. Mars Express was the first of the Horizons 2000 so-called flexible missions, which are based on a new implementation scenario to maintain overall mission costs below a very stringent cost cap. The key features of flexible missions are streamlined management, up-front definition of the payload, and the transfer of more responsibility to industry. ESA's aim is the implementation of top class missions at much lower cost than hitherto achieved. Mars Express, certainly the cheapest mission ever sent to Mars, is still producing first-class scientific data in

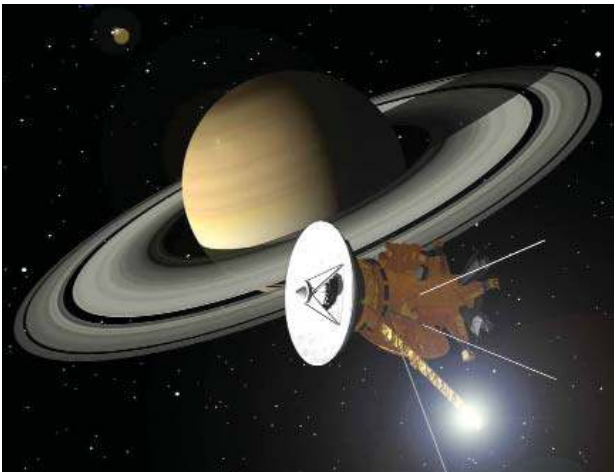


Image 4:

Vue d'artiste du vaisseau spatial Cassini-Huygens à l'approche de Saturne. La lueur derrière le bras de magnétomètre en bas du vaisseau est un reflet du soleil.

Artist's impression of the NASA/ESA/ASI Cassini-Huygens spacecraft orbiting Saturn. The glint of light behind the magnetometer boom at the bottom of the spacecraft is a reflection of the Sun.

Crédits: NASA

d'équipage et retourner sur Terre après sa mission avec un atterrissage horizontal. L'amarrage d'Hermès à la Station spatiale internationale et à la station MIR avait également été envisagé. Et pourtant, au début des années 1990, ce premier pas pour l'Europe vers l'autonomie dans le transport spatial humain a été abandonné pour des raisons politiques et financières. Un destin semblable a été réservé au concept du véhicule "Sänger" en Allemagne, lorsque les études et les recherches hypersoniques sur un système de transport spatial à aile, muni d'un système de propulsion aérobie, réutilisable, à deux étages, à décollage et atterrissage horizontal, ont été suspendues en 1996. Actuellement, aucun plan concret n'existe en Europe pour le développement d'un système de transport spatial récupérable pour le transport de matériel ou d'un équipage.

3.2 Les sciences spatiales

Les missions spatiales scientifiques de l'Europe entrent dans le cadre de l'excellent programme scientifique obligatoire de l'ESA. Celui-ci comporte des recherches sur le système solaire avec de nombreuses missions robotiques avec des destinations dans notre système solaire, de l'astronomie avec de grands télescopes placés en orbite terrestre ou aux points de Lagrange du système Soleil-Terre et enfin de la physique fondamentale, destinée à vérifier les bases de la relativité générale, qui pourra peut-être aboutir un jour à des théories unifiées.

La programmation actuelle jusqu'à 2014 s'appelle Horizon 2000 Plus. Des observateurs attentifs ont pu noter que le programme scientifique obligatoire de l'ESA, depuis le commencement des programmes Horizon 2000 en 1985, prévoit de plus en plus de missions avec de moins en moins de fonds. Mars Express fut la première des missions dites "flexibles" d'Horizon 2000, qui sont organisées autour d'un nouveau système de mise en œuvre visant à maintenir les coûts globaux de mission en dessous d'un plafond très strict. Les principales caractéristiques des missions flexibles sont une direction de projet très allégée, la définition par avance de la charge utile, et un plus grand transfert de responsabilités vers l'industrie. L'objectif de l'ESA est de mener des missions de qualité supérieure à des coûts bien inférieurs à ceux rencontrés jusqu'ici. Mars Express, sans aucun doute la mission la moins coûteuse jamais envoyée vers Mars, fournit encore des données scientifiques de qualité optimale malgré la perte de l'atterrisseur Beagle 2, avec des images en relief à haute résolution tout à fait stupéfiantes, la découverte d'eau et de méthane, indications chimiques d'une activité biotique possible. Mars Express est en bonne compagnie, avec un grand nombre de vaisseaux spatiaux américains présents autour de Mars et à sa surface. Elle peut communiquer avec les atterrisseurs de la NASA comme Spirit, Opportunity et Phoenix, qui sont en train de révéler des détails inimaginables sur la chimie, la minéralogie et le climat de Mars ancien et vont continuer à le faire. Dans le domaine de la recherche planétaire, la concurrence avec la NASA a cédé à la coopération, un bon exemple est le projet imaginaire Cassini-Huygens, une mission commune américaine-européenne vers Saturne.

spite of the loss of the Beagle 2 lander, with breathtaking three-dimensional high-resolution images and the discovery of water and methane, the chemical indications of possible biotic activity. Mars Express is in good company with a large number of US spacecraft and can communicate with NASA landers like Spirit, Opportunity and Phoenix, which are and will be revealing unimaginable details of the ancient Martian chemistry, mineralogy and climate. In planetary research, competition with NASA has given way to cooperation, for example through the imaginative joint US-European Cassini-Huygens mission to Saturn.

In addition to Mars Express, 2003 saw the launch of SMART-1, a European lunar orbiter, and of the first China/ESA Double Star satellite, a mission studying the Earth's magnetosphere. In 2004, ESA's Rosetta mission to Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko and the second Double Star satellite were launched, and the Cassini-Huygens spacecraft arrived near Saturn. SMART-1 was inserted in lunar orbit on 15 November and the programme ended in September 2006 with the probe's impact on the lunar surface). 2005, the third year in a row of "anni mirabiles", started with the successful descent of the European-built entry probe Huygens into the atmosphere of Saturn's largest moon Titan, which crowned a long cruise and fifteen years of expectations by European scientists. Huygens made a detailed in situ study of Titan's atmosphere and characterised the surface of the satellite along the descent ground track and near the landing site. In addition, the European spacecraft Venus Express was launched and is now in orbit around the planet Venus, carrying out novel scientific observations of the atmosphere. Venus Express was built following the same economy scheme as Mars Express.

Presently, European spacecraft are acquiring data on a number of major solid bodies and their atmospheres in the Solar System: Venus, Mars, Saturn's largest moon Titan and, in the near future, Mercury. The potential benefits for the understanding of the evolution and fate of our Earth are clear. Planetology helps us to put in context the particular planet on which we happen to live. On the other hand, participating in missions closing in on the Sun has given us a new view of our own star, which ultimately has such a strong impact on our daily lives. Also the study of our magnetosphere, the magnetic bubble around the Earth which protects it from the outbursts of the Sun and from the steady flux of cosmic rays, is another area where a large number of international missions made important contributions. Among these, a European mission flying four identical spacecraft in formation, the CLUSTER mission, is performing the first synchronous study in three dimensions of particles and fields in our magnetosphere. Ulysses, launched in 1990 and still operating, has been

En plus de Mars Express, 2003 a vu le lancement de SMART-1, un orbiteur lunaire européen, et du premier satellite Chine/ESA : Double Star, une mission pour étudier la magnétosphère de la Terre. En 2004, ont été lancés la mission Rosetta de l'ESA vers la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko et le deuxième satellite de Double Star, et le vaisseau spatial Cassini-Huygens est arrivé près de Saturne. SMART-1 a été mis en orbite lunaire le 15 novembre (et a terminé sa mission en septembre 2006 avec l'impact de la sonde sur la surface lunaire). 2005, la troisième année dans une série "d'anni mirabiles", a commencé par la descente réussie de la sonde européenne Huygens dans l'atmosphère de Titan, la plus grande lune de Saturne, qui a couronné un long trajet et quinze ans d'expectative de la part des scientifiques européens. Huygens a effectué une étude détaillée *in situ* de l'atmosphère de Titan et a caractérisé la surface du satellite le long de sa trajectoire de descente et autour du site d'atterrissage. En outre, le vaisseau spatial européen Venus Express a été lancé ; il est désormais en orbite autour de la planète Vénus, et effectue des observations scientifiques innovantes de l'atmosphère. Venus Express a été construit selon le même modèle économique que Mars Express.

Actuellement, des vaisseaux spatiaux européens acquièrent des données sur un certain nombre des principaux corps solides de notre système solaire et leurs atmosphères : Vénus, Mars, Titan – le plus grand satellite de Saturne – et, dans un proche avenir, Mercure. Les apports potentiels à notre compréhension de l'évolution et du destin de notre Terre sont clairs. La planétologie nous aide à mettre en contexte la planète sur laquelle nous vivons. Par ailleurs, participer à des missions s'approchant du Soleil nous a donné un nouvel aperçu de notre propre étoile, qui a finalement un impact si important sur notre vie quotidienne. En outre, un grand nombre de missions internationales ont apporté des contributions importantes à l'étude de notre magnétosphère, la bulle magnétique autour de la Terre qui la protège contre les sursauts solaires et contre le flux régulier des rayons cosmiques. Une mission européenne par exemple, Cluster, a lancé quatre vaisseaux spatiaux identiques en formation et réalise la première étude simultanée et dans les trois dimensions des particules et des champs de notre magnétosphère. Ulysse, lancée en 1990 et encore en opération, explore l'héliosphère, la bulle de particules, de gaz, de rayonnement et le champ magnétique autour du Soleil. Mais le meilleur exemple d'une mission coopérative réussie est peut-être SOHO, un observatoire situé au point de Lagrange L1 du système Soleil-Terre, qui est encore opérationnel une décennie après sa mise en service. Grâce à SOHO, nous avons pu éclaircir un certain nombre de mystères concernant les structures internes et externes de notre Soleil. D'autres grands observatoires européens placés en orbite terrestre (XMM-Newton, Integral) permettent d'excellentes recherches astrophysiques, dans différentes régions spectrales importantes (rayon X, rayons gamma). En tout, en septembre 2007, quinze vaisseaux spatiaux scientifiques de l'ESA se trouvaient

exploring the heliosphere, the bubble of particles, gas, radiation and magnetic field around the Sun. But perhaps the best example ever of a successful cooperative mission is given by SOHO, an observatory in the Sun-Earth Lagrange-point L1, still operational after a decade. Thanks to SOHO, a number of mysteries and questions about the inner and outer structures of our Sun have been answered. Other large European observatories in Earth-orbit (XMM-Newton, Integral) allow excellent astronomical research, comprising different important spectral regions (X-ray, Gamma-ray). Overall, in September 2007 there were fifteen scientific ESA-spacecraft in orbit (including Cluster with 4 spacecraft), of which nine are directly operated by ESA, the others in collaboration with the US and China.

Recent agreements with the Indian space agency ISRO for the provision of instruments deriving from SMART-1 for their Chandrayaan-1 Moon probe, and with the Chinese space agency CNSA on the lunar mission Chang'e 1, enable the ESA science programme to have a preliminary Moon programme at very low cost.

Table 1 and Annex 1 list the present European robotic space science/exploration missions which are ongoing or under development (at end 2007), together with the major worldwide activities (without claiming to be comprehensive). In Table 1 only robotic Moon and Mars missions are shown, demonstrating their role in exploration and also as precursors for future proposed but not yet approved international exploration missions given in Table 2. As can be seen from the tables, Europe is generally well placed in space sciences, but lacks significant involvement in missions to the Moon and also – to some extent – to Mars in comparison with its international partners. No lunar missions with European spacecraft are envisaged in ESA's present science programme, nor planned for the 2015 to 2025 time-frame.

The next planning cycle in the European science programme from 2015 to 2025 is termed Cosmic Vision. A call for proposals for the first mission has been issued. Overall questions to be addressed by the Cosmic Vision programme are:

- What are the conditions for planet formation and the emergence of life?*
- How does the Solar System work?*
- What are the fundamental physical laws of the Universe?*
- How did the Universe originate and what is it made of?*

Anticipated ideas in the different fields comprise:

en orbite (y compris les quatre satellites de Cluster), dont neuf sont directement exploités par l'ESA et les autres en collaboration avec les États-Unis et la Chine.

Les accords récents signés avec l'agence spatiale indienne ISRO qui prévoient de fournir des instruments issus de SMART-1 pour leur sonde lunaire Chandrayaan-1, et avec l'agence spatiale chinoise CNSA pour la mission lunaire Chang'e 1, permettent au programme scientifique de l'ESA de développer un programme lunaire préliminaire à coût très réduit.

Le tableau 1 et l'annexe 1 présentent une liste de missions spatiales robotiques européennes scientifiques et d'exploration qui sont déjà en exploitation ou en cours de développement (à fin 2007), avec également les principales activités mondiales (liste probablement non exhaustive). Le tableau 1 liste uniquement les missions robotiques vers la Lune et Mars, décrivant leur rôle dans l'exploration et également en tant que précurseurs des missions futures d'exploration internationales qui sont proposées mais pas encore approuvées (voir tableau 2). Les tableaux révèlent que l'Europe est généralement bien placée dans le domaine des sciences de l'espace, mais joue un rôle moins important dans les missions vers la Lune et même vers Mars en comparaison avec ses partenaires internationaux. Aucune mission lunaire avec des vaisseaux spatiaux européens n'est envisagée dans l'actuel programme scientifique de l'ESA, ni prévue dans la programmation pour 2015-2025.

La prochaine étape de planification dans le programme européen scientifique de 2015 à 2025 se nomme "Cosmic Vision" (Vision Cosmique). Un appel à propositions a été publié pour la première mission. Les questions principales qui seront abordées par le programme Vision Cosmique sont :

- Quelles sont les conditions pour la formation d'une planète et l'apparition de la vie ?
- Comment le système solaire fonctionne-t-il ?
- Quelles sont les lois physiques fondamentales de l'Univers ?
- Comment l'Univers a-t-il commencé et de quoi est-il fait ?

Voici quelques idées attendues dans les différents domaines :

- **Recherches sur le système solaire :** un atterrisseur martien avec retour d'échantillons, des programmes d'exploration de Jupiter, Saturne et leurs satellites avec orbiteur et atterrisseur, un orbiteur survolant les pôles du soleil, les essaims d'étude de la magnétosphère de la Terre, une mission interstellaire de l'héliopause et un retour d'échantillons d'un objet géocroiseur (astéroïde dont l'orbite coupe celle de la Terre).
- **Recherches en astronomie :** de nouvelles générations de télescopes spatiaux avancés ou d'interféromètres dans différents domaines spectraux, une cartographie du rayonnement cosmique micro-onde du fond du ciel, et un interféromètre dans le proche infra-rouge pour la détection d'exo-planètes.

	Moon Orbiter	Moon Lander	Mars Orbiter	Mars Lander / Rover
USA	LRO (LPRP-1) + LCROSS impactor 2008		Mars Odyssey MRO 2001 2005	MER 2003 Phoenix 2007 MSL 2009
Japan	Selene-1 2007			
China	Chang'e 1 2007			
India	Chandrayaan-1 2008			
Russia				
Europe	P/L and operations support to Chandrayaan-1 & Chang'e 1		Mars Express 2003	ExoMars 2013

Table 1: International robotic missions to the Moon and Mars (end 2007) with launch dates.

- **Solar System research:** Mars lander and sample return, Jupiter and Saturn exploration programmes including their satellites with orbiter and lander, Solar Polar Orbiter, Earth magnetospheric swarms, interstellar heliopause mission and near-Earth object sample return.
- **Astronomical research:** new generations of advanced space telescopes or interferometers in different spectral regimes, a cosmic microwave background mapper and a near-infrared nulling interferometer for exo-planet detection.
- **Fundamental physics research:** fundamental physics

Image 5:

L'atterrisseur et robot mobile ExoMars a pour objectif de mieux caractériser l'environnement biologique sur Mars pour préparer de futures missions robotiques et humaines.

The ExoMars rover will be ESA's field biologist on Mars. Its aim is to further characterise the biological environment on Mars in preparation for robotic missions and then human exploration.

Credits: ESA - AOES Medialab



- **Recherches en physique fondamentale** : un projet de satellite de physique fondamentale, une sonde gravitationnelle de l'espace lointain et une mission de détection des ondes gravitationnelles.

	Orbiteurs lunaires (Moon Orbiter)	Atterrisseurs lunaires (Moon Lander)	Orbiteurs de Mars (Mars Orbiter)	Atterrisseurs et robots mobiles sur Mars (Mars Lander/Rover)
États-Unis	LRO (LPRP-1) 2008 + LCROSS impactor		Mars Odyssey 2001 MRO 2005	MER 2003 Phoenix 2007 MSL 2009
Japon	Selene-1 2007			
Chine	Chang'e 1 2007			
Inde	Chandrayaan-1 2008			
Russie				
Europe	Charge utile et soutien aux opérations pour Chandrayaan-1 & Chang'e 1		Mars Express 2003	ExoMars 2013

Tableau 1: Les missions robotiques vers la Lune et Mars connues à fin 2007 avec les dates de lancement prévues.

3.3 Situation de l'initiative européenne d'exploration spatiale

“Aurora”, le programme européen d’exploration lancé en 2001, fait partie des programmes facultatifs de l’ESA. Le terme “exploration” comprend un plus grand éventail d’axes de recherches et de technologies que celui traditionnellement couvert par le programme européen des sciences spatiales, comprenant à la fois des missions robotiques et humaines considérées comme complémentaires entre elles.

La première mission du programme Aurora s’appelle ExoMars. Approuvée par le Conseil ministériel de l’ESA en 2005, il s’agit d’une mission robotique vers Mars, avec atterrisseur et robot mobile, destinée à étudier l’éventuelle habitabilité sur une autre planète et de rechercher des formes de vie passées et présentes. Malgré plusieurs initiatives européennes appuyant l’exploration lunaire (résolution dite de Beatenberg, Suisse 1994 ; études pour Léda et Euromoon, 2000 ; la Lune : le 8^e continent, “Vision group” de l’ESA, 2003), aucune mission lunaire n’a été approuvée à ce jour. Comme étape intermédiaire, après ExoMars et avant le déclenchement d’une mission internationale de retour d’échantillons de Mars (MSR, Mars Sample Return), l’ESA envisage actuellement une mission de taille moyenne appelée Next pour lancement vers 2015-2018, démontrant en particulier les technologies de retour d’échantillons et

explorer programme, deep space gravity probe and a gravitational wave cosmic surveyor.

3.3 Status of Europe's Exploration Initiative

Europe's exploration programme Aurora – initiated in 2001 – is executed within ESA's optional programmes. Under the term "exploration" a wider range of research and engineering topics is understood than traditionally covered by the European space sciences programme – with both robotic and human missions as complementary and integral constituents.

The first mission within the Aurora programme is ExoMars – approved by ESA's Ministerial Conference in 2005. It represents a robotic lander and rover mission to Mars, aimed at investigating extraterrestrial habitability and searching for past and present life forms. Although several past European initiatives and investigations have emphasised lunar exploration (Beatenberg resolution Switzerland 1994, LEDA and EuroMoon 2000 studies, Moon: the 8th continent – ESA's human spaceflight vision group 2003), up to now, no lunar missions have been approved. As an intermediate step, after ExoMars and before the initiation of an international Mars Sample Return (MSR) mission, a mid-size mission called NEXT for launch in the 2015-2018 timeframe is being considered by ESA, demonstrating in particular sample return technologies and implementing scientific exploration objectives. Possible targets are the Moon, Mars and Near-Earth asteroids.

Concerning human spaceflight, a joint preparatory programme on a future Crew Space Transportation System (CSTS) – suitable for low Earth orbit and low lunar orbit – is presently being carried out by Roscosmos and ESA. Both agencies have awarded contracts to their respective industries to support them in defining the system, the scope of work of each party and the associated cooperation arrangements for joint development and operation of such a CSTS. The vehicle concept selected for further preliminary design as well as for programmatic aspects is modular, consisting of a Soyuz-type capsule, a habitation module and a service/propulsion module. Variants for different crew size (4, 5 or 6) are to be considered. On the basis of the results of these activities, both agencies will select the vehicle variant on which to do additional work and, most relevantly, address the work-sharing between the two parties for the future phases of the cooperative programme. The aim is to establish by early spring 2008 a first draft of a programme proposal for the next ESA Council meeting at ministerial level in 2008.

comprenant des objectifs scientifiques d'exploration. Les cibles possibles sont la Lune, Mars et les astéroïdes géocroiseurs.

En ce qui concerne le vol spatial humain, un programme préparatoire commun pour un futur système de transport spatial habité (CSTS, Crew Space Transportation System, ou système de transport spatial d'équipage) – adapté aux orbites basses de la Terre et de la Lune – est actuellement en cours de développement par Roscosmos et l'ESA. Les deux agences ont accordé des contrats à leurs industries respectives pour les aider à définir le système, le partage du travail entre les deux partenaires et les accords de coopération qu'il faudrait mettre en place pour le développement et l'opération en commun d'un tel système. Un concept modulaire a été retenu pour ce véhicule en vue des études de conception préliminaire et pour les aspects programmatiques, se composant d'une capsule de type Soyouz, d'un module d'habitation et d'un module de service et de propulsion. Des variantes seront considérées en fonction du nombre de membres de l'équipage (4, 5 ou 6). À partir des résultats de ces activités, les deux agences choisiront la variante de véhicule sur laquelle effectuer le travail de définition complémentaire et, très important, se mettront d'accord sur le partage du travail de la façon la plus appropriée entre les deux parties pour les futures phases du programme en coopération. L'objectif est d'établir d'ici au printemps 2008 un projet de proposition de programme pour la prochaine réunion du Conseil de l'ESA au niveau ministériel fin 2008.

La stratégie européenne d'exploration spatiale à long terme est continuellement passée en revue afin de définir le cadre général et ainsi faciliter la prise de décisions du Conseil ministériel. Cette stratégie a été développée à l'aide d'une large consultation des principaux intéressés depuis 2001. Les résultats de cette consultation sont résumés dans le document "*Objectifs et intérêts européens en exploration spatiale*", édité à l'occasion de la Conférence internationale sur l'exploration spatiale, qui a eu lieu les 8 et 9 novembre 2007 à Berlin. Des actions sont en cours actuellement pour développer une architecture européenne de référence pour l'exploration de la Lune et de Mars. Une première version de cette architecture sera éditée vers mi-2008. L'analyse d'architecture permettra aux diverses directions de l'ESA et aux agences spatiales nationales de

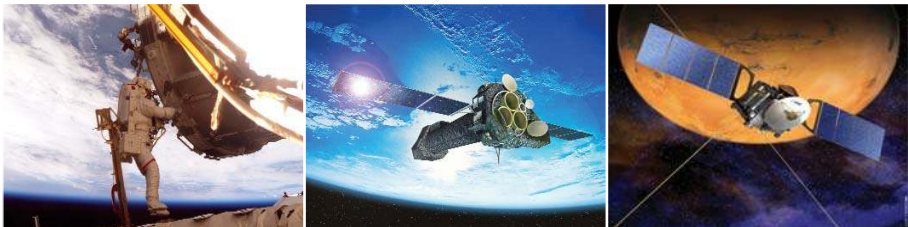


Image 6: Ajustements au module Harmony pendant la deuxième sortie dans l'espace de la mission STS-120. *Outfitting Harmony during the STS-120 mission's second spacewalk.* Credits: NASA

Image 7: Vue d'artiste de l'XMM-Newton. *Artist's impression of XMM-Newton.* Credits: ESA

Image 8: Mars Express. Credits: ESA - D. Ducros

*Definition of a European long-term exploration strategy is ongoing with a view to providing a framework for decisions to be taken at the Ministerial Council. Long-term strategy development has been informed by broad stakeholder consultation since 2001. The outcome of this consultation is summarised in the document “**European Objectives and Interests in Space Exploration**” published at the occasion of the International Space Exploration Conference held on 8 and 9 November 2007 in Berlin. Efforts are currently underway for the development of the European reference architecture for exploration of Moon and Mars. A first version of this architecture will be published in mid 2008. The architecture analysis will facilitate the development of coherent programme plans in the various ESA directorates and national space agencies, aid the identification of European priorities and support international coordination.*

Astrophysics	<ul style="list-style-type: none"> - meter wavelength radio observations from the radio-quiet lunar far-side (strongly red shifted 21 cm hydrogen line from early universe) - laser ranging with retro-reflectors or transponders (to probe gravitational theory)
Earth Sciences	- global, long term, full-spectrum views of Earth from a unique, stable, and serviceable platform as complement and synergy to current Earth orbital assets (climate variability, pollution sources & transport, natural hazards, and changes in the terrestrial cryosphere)
Heliophysics	- observation of the Sun-Earth space environment (e.g. analysis of lunar regolith to provide a history of the Sun)
Planetary Sciences	<ul style="list-style-type: none"> - Moon as a recorder of inner Solar System impact history - Moon as a recorder of early planetary differentiation processes (geophysical network, global seismic structure) - Moon as a recorder of volatile deposition processes (e.g. in permanently shaded craters) - identification of potential resources and hazards to sustain human presence
Technology	- surface mobility, transportation, <i>in situ</i> resources utilisation

Table 2: *High-priority lunar research fields - identified at the “Workshop on Science Associated with Lunar Exploration Architecture” (Tempe, Arizona, 2007)*

mettre au point des plans de programme cohérents, aidera à identifier des priorités européennes et viendra en soutien à la coordination internationale.

Astrophysique	<ul style="list-style-type: none"> - observations radio-astronomiques dans la gamme d'un mètre de longueur d'onde sur la face cachée de la Lune (raie à 21 cm de l'hydrogène de l'univers primitif fortement décalée vers le rouge) - télémétrie laser avec rétro-rélecteurs ou transpondeurs (pour tester la théorie gravitationnelle)
Sciences de la Terre	<ul style="list-style-type: none"> - vues de la Terre globales, à long terme, sur tout le spectre, depuis une plateforme unique, stable et réparable, en synergie avec les observations réalisées depuis les satellites en orbite terrestre (variabilité du climat, sources de pollution et leur transport, risques naturels et changements dans la cryosphère terrestre)
Héliophysique	<ul style="list-style-type: none"> - observation de l'environnement spatial Soleil-Terre (par exemple, analyse du régolite lunaire pour fournir l'histoire du Soleil)
Sciences planétaires	<ul style="list-style-type: none"> - la Lune comme mémoire de l'histoire des impacts dans le système solaire intérieur - la Lune comme mémoire des processus précoces de différenciation planétaire (réseau géophysique, structure sismique globale) - la Lune comme mémoire des processus de dépôt de matières volatiles (par exemple dans les cratères qui restent toujours à l'ombre) - identification des ressources et des risques potentiels pour assurer une présence humaine soutenue
Technologie	<ul style="list-style-type: none"> - mobilité sur la surface, transport, utilisation de ressources <i>in situ</i>

Tableau 2 : Champs de recherche lunaire prioritaires – identifiés lors du “Workshop on Science Associated with Lunar Exploration Architecture” (Tempe, Arizona, 2007)

“A new ocean has opened and free man must sail it.”

John F. Kennedy, 1961

4. WORLDWIDE PLANS AND ACTION

Space exploration – especially the part including astronauts – is a demanding and expensive venture. Therefore, corresponding activities should be embedded in a worldwide context in order to exploit the synergies between programmes of different players and to take advantage of international collaborations. It is expected that – in addition to human activities in Earth orbit – future space exploration will focus on more in-depth investigations of destinations farther out in space, offering interesting goals for robotic and also human presence in the long run. These next destinations will be the Moon and cis-lunar space, Mars and near Earth asteroids. Clearly, an international human Mars mission is the most appealing long-term exploration goal but probably not achievable within the next two decades. Nevertheless, international Mars exploration will continue with fascinating robotic orbiter and lander missions. A Mars Sample Return mission, planned around or shortly after 2020, will be extremely interesting scientifically as well as technologically, and an important intermediate step towards a manned Mars mission. The Moon will serve as a further near- to medium-term target for robotic and human activities for scientific reasons (see Table 2) and also as a technology test bed, where critical technologies for human survival in space may be demonstrated.

4.1 National Policies

NASA dominates worldwide space activities, covering nearly all aspects from automatic and human space transportation, building and operating space stations to space research. Its goal to “implement a sustained and affordable human and robotic programme to explore the Solar System and beyond” is testament to NASA’s very comprehensive approach. In the new vision for space exploration, US president George W. Bush announced in January 2004 plans to extend the human presence across the Solar System, starting with a human return to the Moon as early as 2015 in preparation for human exploration of Mars and other destinations. A series of robotic missions to the Moon will be initiated no later than 2008 – with the Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) as the first step – to prepare for future human activities together with a parallel robotic programme for Mars. The development of a new launch architecture following Shuttle retirement

“Un nouvel océan s’est ouvert et l’homme libre doit y naviguer.”

John F. Kennedy, 1961

4. PROJETS ET PLANS D’ACTIONS DANS LE MONDE

L’exploration spatiale – particulièrement les missions comprenant des astronautes – est une entreprise extrêmement complexe et coûteuse. Par conséquent, les activités qui y sont associées devraient être situées dans le contexte mondial afin d’exploiter les synergies entre les programmes des différents acteurs et tirer profit des collaborations internationales. Il est probable que l’exploration spatiale future va se concentrer – en plus des activités humaines en orbite terrestre – sur l’investigation plus approfondie des destinations spatiales plus lointaines, qui offrent des objectifs intéressants pour la présence robotique et, à plus longue échéance, humaine. Ces prochaines destinations seront la Lune et l’espace cis-lunaire, Mars et les astéroïdes géocroiseurs. Une mission humaine internationale vers Mars est évidemment la plus motivante dans le long terme mais elle n’est probablement pas réalisable dans les deux prochaines décennies. L’exploration internationale de Mars continuera toutefois avec de passionnantes missions robotiques mettant en œuvre des orbiteurs et des atterrisseurs. Une mission de retour d’échantillons de Mars, prévue vers 2020, sera extrêmement intéressante du point de vue aussi bien scientifique que technologique, et représentera une étape intermédiaire importante vers une mission humaine vers Mars. La Lune représentera une autre cible à court et moyen terme pour des activités robotiques et humaines à des fins scientifiques (voir le tableau 2) et servira également comme banc d’essais pour valider de nouvelles technologies vitales pour la survie de l’homme dans l’espace.

4.1 Politiques nationales

La NASA domine les activités spatiales mondiales, recouvrant presque tous leurs aspects, du transport spatial automatique et humain, de la construction et de l’exploitation de stations spatiales à la recherche spatiale. Son objectif déclaré de *“mettre en œuvre un programme humain et robotique soutenu et accessible pour explorer le système solaire et au-delà”* illustre l’approche très complète de la NASA. Dans la nouvelle vision pour l’exploration spatiale, le président des États-Unis, George W. Bush, a annoncé en janvier 2004 un programme visant à étendre la présence humaine à travers le système solaire, à commencer par un retour de l’homme sur la Lune dès 2015 afin de préparer l’exploration humaine de Mars et d’autres destinations. Une série de missions robotiques vers la Lune sera lancée dès 2008 – la première étape sera le Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO : orbiteur lunaire de reconnaissance) – pour préparer à de futures activités humaines sur la surface de la Lune ; en parallèle, un programme de missions

around 2010 has been initiated. It envisages the Ares I rocket for the Crew Exploration Vehicle (CEV-I/Orion capsule) with the first manned launch in the middle of the next decade, and Ares V as the heavy lift cargo launcher. The first human return to the Moon is planned before 2020 to establish a lunar outpost and infrastructure. NASA continues presently to refine and consolidate its lunar exploration architecture.

In parallel to the US, Russia has also started the development of a new crew vehicle CSTS succeeding Soyuz which might be open for international cooperation. With their national space programmes, Russia, China, Japan and India – in addition to the US – demonstrate strong interest in lunar exploration and have expressed their will to develop corresponding robotic and human transportation capabilities. Indeed, China has already become the third nation to launch humans into Earth's orbit with its Shenzhou missions. It plans to demonstrate extra-vehicular activity and rendezvous and docking (Shenzhou missions in 2007 and 2008) with the aim of building a space station in low-Earth orbit around 2010. China has also declared its interest in cooperating on the ISS and space exploration programmes.

With the launch of the European and Japanese laboratory modules Columbus and Kibo in 2007/08, the ISS will further approach its final assembly configuration, which will be reached around 2010. Both Europe and Japan also plan to commence cargo delivery services to the ISS in 2008 with their recently developed unmanned space vehicles ATV and HTV. The nominal first phase of full ISS exploitation and utilisation will last until 2016 and could possibly be extended to around 2020. European exploration plans in addition to ExoMars presently focus on participation in an international Mars Sample Return programme – probably beyond 2020. Inclusion of further missions into the Aurora programme – especially to the Moon – will depend on the will of ESA's member states to provide additional funding, which will in turn depend on the strength of the scientific, technological and political justification. This is mandatory if Europe wants to play a significant role as a partner in an international robotic and human Moon and Mars exploration programme as it takes shape now.

Recently, ideas and proposals came up within Europe for exploration missions performed and funded in the frame of national or bilateral programmes: The German space agency DLR has initiated studies of a Lunar Exploration Orbiter (LEO) as well as for robotic lander missions, in the UK a Moon orbiter including penetrators (MoonLITE) and a soft lander (MoonRaker) are under discussion, the Italian space agency ASI is also

1. In alphabetical order: ASI (Italy), BNSC (United Kingdom), CNES (France), CNSA (China), CSA (Canada), CSIRO (Australia), DLR (Germany), ESA (European Space Agency), ISRO (India), JAXA (Japan), KARI (Republic of Korea), NASA (United States of America), NSAU (Ukraine), Roscosmos (Russia). "Space Agencies" refers to government organisations responsible for space activities.

robotiques sera mis en œuvre pour Mars. Le développement d'une nouvelle architecture de systèmes de lancement a débuté pour prendre la suite de la Navette après sa retraite autour de 2010. La fusée Ares I est envisagée pour le Crew Exploration Vehicle (CEV-1/capsule Orion) avec un premier lancement habité au milieu de la prochaine décennie, et Ares V comme lanceur lourd. Le premier retour de l'homme sur la Lune est prévu avant 2020 pour établir un avant-poste et une infrastructure lunaires. La NASA continue actuellement à affiner et consolider son architecture d'exploration lunaire.

En parallèle au programme américain, la Russie a également commencé à développer un nouveau véhicule habité, le CSTS, qui prendrait la suite de Soyouz et qui pourrait faire l'objet d'une coopération internationale. Avec leurs programmes spatiaux nationaux, la Russie, la Chine, le Japon et l'Inde démontrent également un vif intérêt pour l'exploration lunaire et ont exprimé leur volonté de développer des capacités de transport robotique et humain correspondantes. En effet, la Chine est déjà devenue la troisième nation à lancer des hommes en orbite terrestre avec ses missions Shenzhou. Elle projette de procéder à des activités extravéhiculaires, de rendez-vous et d'amarrage (missions de Shenzhou en 2007 et 2008) avec l'objectif de mettre en place une station spatiale en orbite basse vers 2010. La Chine s'est également déclarée intéressée à collaborer à l'ISS et à des programmes d'exploration spatiale.

Avec le lancement des modules de laboratoire européens et japonais Columbus et Kibo en 2007/08, l'ISS s'approchera davantage de sa configuration finale, qui sera atteinte vers 2010. L'Europe et le Japon projettent également de démarrer des livraisons de matériel et d'ergols à l'ISS en 2008 à l'aide de leurs vaisseaux spatiaux non-pilotés ATV et HTV. La première phase nominale de pleine exploitation de l'ISS durera jusqu'en 2016 et pourrait se prolonger jusqu'à environ 2020. Les projets européens d'exploration, en plus de la mission ExoMars, comprendraient notamment une participation à un programme international de retour d'échantillons de Mars – vraisemblablement après 2020. L'inclusion d'autres missions dans le programme Aurora – notamment vers la Lune – dépendra de la volonté des États membres de l'ESA de fournir le financement supplémentaire, qui dépendra à son tour de la solidité de leur justification scientifique, technologique et politique. C'est indispensable si l'Europe souhaite jouer un rôle significatif en tant que partenaire dans le programme international d'exploration robotique et humaine vers la Lune et Mars.

Récemment, des idées et des propositions ont été mises en avant en Europe pour des missions d'exploration exécutées et financées dans le cadre de programmes nationaux ou bilatéraux : l'agence spatiale allemande, le DLR, a lancé des études pour un "Lunar Exploration Orbiter" (LEO) et pour des missions d'atterrisseurs robotiques ; au Royaume-Uni, un orbiteur lunaire

1. Par ordre alphabétique: ASI (Italie), BNSC (Royaume-Uni), CNES (France), CNSA (Chine), CSA (Canada), CSIRO (Australie), DLR (Allemagne), ESA (Europe), ISRO (Inde), JAXA (Japon), KARI (République de Corée), NASA (USA), NSAU (Ukraine), Roscosmos (Russie). Le terme "Agences spatiales" signifie des organisations gouvernementales responsables des activités spatiales.

	Moon		Mars	
US	LPRP-2 lander/rover	2010	Mars Scout aerial vehicle	2011
			MSTO science & telecom orbiter	2014
Japan	LUNAR-A penetrators	2010		
	Selene-2 lander/rover/impactor	2012		
	Selene-3 sample return	>2016		
China	Chang'e 2 lander/rover	2012		
	Chang'e 3 sample return	>2016		
India	Chandrayaan-2 orbiter/lander	2013		
Russia	Luna-Glob (with China) orbiter/lander/rover/penetrators	2012	Phobos Grunt	2009
			Phobos lander	
Europe	proposals under investigation in D, I, UK, F for national orbiter/lander missions		Mars Sample Return (MSR) (with US/Russia)	>2018

Table 3: *Worldwide plans for future robotic exploration missions to the Moon and Mars with their intended launch dates*

considering a national lunar exploration programme (with orbiter/lander), while French space agency CNES is investigating science oriented missions to Mars, possibly to near-Earth asteroids and to the Moon.

Table 3 displays worldwide plans for future robotic exploration missions to the Moon and Mars with their intended launch dates. It shows quite a number of missions – but Europe is all but missing with respect to approved programmes.

*While the European Space Policy provides some general support for exploration activities – as can be seen from the “**Resolution on Space Policy**”, adopted by the 4th Space Council on May 22, 2007 – it is not yet clear what actual programmes will be proposed.*

4.2 Global Coordination of Exploration

At the end of May 2007, the document “The Global Exploration Strategy: The framework for Coordination” was issued. This document was jointly developed by 14 space agencies¹. It elaborates a vision for globally coordinated space exploration, which is defined as being focused on Solar System destinations upon which – some day – humans will live and work, including in particular the destinations Moon and Mars. It sets the stage for the discussions and common work that will turn the vision into reality. In this document, the rationale for space exploration is described, together with steps along the collective journey. The need for synergy between

	Lune	Mars
États-Unis	LPRP-2 atterrisseur et robot mobile (lander/rover) 2010	Mars Scout véhicule aérien 2011 MSTO orbiteur scientifique et de relais de télécommunications 2014
Japon	LUNAR-A pénétrateurs 2010 Sélène-2 atterrisseur et robot mobile plus impacteur (lander/rover/impactor) 2012 Sélène-3 retour d'échantillons >2016	
Chine	Chang'e 2 atterrisseur et robot mobile (lander/rover) 2012 Chang'e 3 retour d'échantillons >2016	
Inde	Chandrayaan-2 atterrisseur et robot mobile (orbiter/lander) 2013	
Russie	Luna-Glob (avec la Chine) orbiteur/atterrisseur et robot mobile plus pénétrateurs (lander/rover/pénétrateurs) 2012	Phobos Grunt 2009 Phobos atterrisseur
Europe	Propositions en cours d'étude en Allemagne, Italie, Royaume Uni et France pour des missions nationales (orbiteur et atterrisseur)	Retour d'échantillons de Mars (MSR) (avec États-Unis, Russie) >2018

Tableau 3 : Liste des projets de futures missions robotiques d'exploration vers la Lune et Mars, et dates prévues de lancement

comprenant des pénétrateurs (MoonLITE) et un atterrisseur (MoonRaker) sont à l'étude, l'agence spatiale italienne, ASI, envisage également un programme d'exploration lunaire (avec orbiteur et lander), et l'agence spatiale française, le CNES, étudie la possibilité de missions scientifiques vers Mars, peut-être vers des astéroïdes géocroiseurs et vers la Lune.

Le tableau 3 présente la liste des projets de missions robotiques d'exploration vers la Lune et Mars dans le monde avec leurs dates prévues de lancement. Malgré un nombre assez élevé de missions, on peut voir que l'Europe est pratiquement absente en ce qui concerne des programmes approuvés.

Alors que la politique spatiale européenne affirme un soutien général aux activités d'exploration – voir la “**Résolution sur la politique spatiale**”, adoptée par le 4^e Conseil de l'Espace le 22 mai 2007 – il n'est pas encore clair quel programme sera réellement proposé.

4.2 Coordination globale de l'exploration spatiale

À fin mai 2007 a été publié le document “*La stratégie globale d'exploration : un cadre pour la coordination*” (The Global Exploration Strategy: The Framework for Coordination). Ce document a été préparé conjointement par 14 agences spatiales¹. Il élabore une vision pour une exploration spatiale globale coordonnée, concentrée sur les destinations au sein du système solaire où – un jour – les humains vivront et travailleront, notamment la Lune et Mars. Il donne

robotic and human explorers is introduced together with the common themes of exploration. The renewed focus on the Moon is explained, both as an important destination in its own right and as a stepping-stone to Mars and beyond. A key aim is the need to establish a voluntary, non-binding international coordination mechanism through which individual agencies may exchange information regarding interests, objectives, and plans in space exploration with the goal of strengthening both individual programmes as well as the collective effort.

The joint development of the above document has been made possible by a number of past initiatives promoting international coordination in space exploration:

- 1) a series of international ESA/ASI workshops starting in May 2005 in Spineto, Italy with the aim of initiating a dialogue on the scope and requirements for international coordination;*
- 2) the development of a national/global US strategy for space exploration, starting in April 2006. For this purpose, NASA had invited representatives from the national scientific and industrial community as well as from the international community to an Exploration Strategy Workshop in Washington held in April 2006 to discuss lunar exploration. Following the workshop, NASA collected throughout 2006 inputs for exploration objectives from national stakeholders (NASA centres, industry, science community) and international partners. Based on a consolidated list of objectives, NASA has identified those objectives which are a priority for them and defined an initial architecture for lunar exploration. This lunar architecture foresees the establishment of an outpost at the pole which can sustain human visits up to 6 months before the year 2025. Although NASA declared to be open to international participation in the exploration efforts, it will follow the strategy of **“mastering the whole chain independently to insure the minimum configuration for the return of US astronauts on the Moon”**. NASA decided to develop as a first priority the new American transportation system on a national basis, in principle to save money and time. Furthermore, it committed itself to developing nationally a series of space infrastructures, allowing the safe return of astronauts to the Moon (lander and ascent vehicle, EVA system, navigation and communication as well as robotic means to prepare and support human exploration). This basic configuration should be completed by others to fully achieve the goals of exploration as described in the US vision. A dozen items are listed where external parallel developments are welcome (from habitation to mobility, in situ resources utilisation or logistics re-supply);*

un cadre pour les discussions et le travail commun qui transformeront cette vision en réalité. Dans ce document, le cas pour l'exploration spatiale est présenté, ainsi que des étapes le long de ce voyage collectif. Le besoin de synergie entre les missions d'exploration robotiques et humaines est décrit ainsi que les thèmes communs de l'exploration. L'intérêt renouvelé pour la Lune est expliqué, à la fois comme destination importante en soi et comme tremplin vers Mars et au-delà. Un des principaux objectifs est d'établir un mécanisme international de coordination, volontaire et non contraignant, pour que les différentes agences puissent échanger des informations sur les intérêts, les objectifs, et les projets de l'exploration spatiale afin de renforcer les programmes individuels aussi bien que l'effort collectif.

L'élaboration en commun de ce document a été facilitée par un certain nombre d'initiatives prises dans le passé pour favoriser la coordination internationale dans l'exploration spatiale :

- 1) une série d'ateliers internationaux ESA/ASI qui a débuté en mai 2005 à Spineto, Italie avec pour but d'ouvrir un dialogue sur la portée et les conditions pour une coordination internationale ;
- 2) le développement d'une stratégie américaine nationale et globale pour l'exploration spatiale, à partir d'avril 2006. Ainsi la NASA avait invité des représentants de la communauté scientifique et industrielle, nationale et internationale, à un atelier Stratégies d'exploration, qui a eu lieu à Washington en avril 2006, pour discuter de l'exploration lunaire. Suite à cet atelier, et durant toute l'année 2006, la NASA a rassemblé des idées d'objectifs d'exploration des principaux intéressés au plan national (NASA, industrie, communauté scientifique) et de ses partenaires internationaux. À partir d'une liste d'objectifs communs, la NASA a identifié les objectifs qui lui semblaient prioritaires et a défini une première architecture pour l'exploration lunaire. Cette architecture lunaire prévoit l'établissement d'un avant-poste au pôle qui pourrait accueillir des visites d'astronautes pouvant aller jusqu'à 6 mois, avant l'année 2025. Bien que la NASA se soit déclarée ouverte à une participation internationale aux efforts d'exploration, elle reste fidèle à sa stratégie qui consiste à ***“maîtriser la chaîne entière de façon indépendante afin d'assurer la configuration minimum pour le retour des astronautes américains sur la Lune”***. La NASA a décidé en première priorité de développer sur des bases nationales le nouveau système américain de transport spatial, en principe pour des raisons de coût et pour gagner du temps. En outre, elle s'est engagée à développer de son côté une série d'infrastructures spatiales permettant le retour des astronautes vers la Lune en toute sécurité (atterrisseur et véhicule de décollage, système pour les activités extravéhiculaires, systèmes de navigation et de communication ainsi que les moyens robotiques pour préparer et soutenir l'exploration humaine). Cette configuration de base devrait être complétée par d'autres partenaires pour remplir les objectifs de l'exploration tels que décrits dans la vision des États-

3) *a series of four meetings of an international coordination group at space agency level. This group, which was set up as an outcome of the two initiatives above, met for the first time in August 2006 in Montreal. During the meeting of this group, information on exploration plans and activities was shared and a joint strategy document drafted. The group furthermore discussed the need and developed a proposal for establishing a more formalised coordination mechanism and defined the initial activities and supporting coordination tools for such a mechanism.*

Based on the principles established in the joint strategy document and the concept for formalised coordination developed by the international coordination group, an International Space Exploration Coordination Group (ISECG) – composed of representatives from space agencies – was set up and met for the first time on 6 and 7 November 2007 in Berlin. The work of the group will focus in 2008 in particular on:

- the development of a common database including information on international space exploration plans (space exploration interests, roadmaps and architectures);*
- the analysis of interoperability issues between international exploration systems.*

Unis. Une douzaine d'éléments sont énumérés où des développements parallèles externes seraient les bienvenus (de l'habitation à la mobilité, en passant par l'utilisation des ressources *in situ* et la logistique de réapprovisionnement) ;

- 3) une série de quatre réunions d'un groupe de coordination internationale au niveau des agences spatiales. Ce groupe, installé suite aux deux initiatives ci-dessus, s'est réuni pour la première fois en août 2006 à Montréal. Au cours de cette réunion, des informations sur des projets d'exploration et des actions en cours ont été partagées et un document stratégique commun rédigé. Le groupe a en outre développé une proposition pour établir un mécanisme de coordination plus formalisé, précisant les activités initiales et les outils de soutien nécessaires à ce mécanisme de coordination.

À partir des principes établis dans le document de stratégie commune et le concept pour une coordination formalisée développés par le groupe de coordination internationale, un "Groupe de coordination internationale d'exploration spatiale" (International Space Exploration Coordination Group – ISECG) – composé de représentants des agences spatiales – a été mis en place et s'est réuni pour la première fois les 6 et 7 novembre 2007 à Berlin. En 2008 le groupe se penchera en particulier sur :

- le développement d'une base de données commune comprenant des informations sur les projets d'exploration spatiale internationale (enjeux, feuilles de route et architectures de l'exploration spatiale) ;
- l'analyse des problèmes d'interopérabilité entre les systèmes internationaux d'exploration.

“The greater part of progress is the desire to progress.”

Seneca

5. ANALYSIS OF EUROPEAN PLANS AND OPTIONS

5.1 Analysis of ongoing activities and plans

Europe has a long-standing record in scientific missions and human spaceflight, having begun reflecting before the turn of the century on robotic and human exploration of the Moon, Mars and near Earth asteroids. The first European programmatic framework for exploration activities was created within ESA in 2001 through the Aurora programme with the objective of formulating and implementing a European long-term programme for robotic and human exploration of Solar System bodies holding the promise of traces of life. Since then, concrete development activities for a robotic mission to Mars, the ExoMars programme, began in 2005, together with further studies of a robotic sample-return mission to Mars. In addition, within ESA and within national activities (in France, Germany, Italy and the United Kingdom) studies and planning efforts for robotic missions with lunar orbiters, lunar landing systems, as well as robotic missions to the asteroids, are presently ongoing.

At the same time the development and exploitation activities within the International Space Station (ISS) programme continue with the launching of the major European contributions, the Columbus laboratory and the Automated Transfer Vehicle (ATV) entering into the exploitation phase (utilisation and operations) until 2016 as agreed in the Intergovernmental Agreement IGA in 1998.

Equally relevant for exploration activities is the involvement of Europe in the definition phase of the Russian-led Crew Space Transportation System CSTS which could be used for servicing the ISS and could also become an element for crewed flights to the Moon.

Europe is, with ESA and the European national agencies ASI, BNSC, CNES and DLR, involved in a global effort together with non-European space agencies CNSA (China), CSA (Canada), CSIRO (Australia), ISRO (India), JAXA (Japan), KARI (Korea), NASA (US), NSAU (Ukraine) and ROSCOSMOS (Russia) to define a global exploration strategy. This led in May 2007 to the issuing of a document¹ related to the framework for coordination which defines as a first step five themes for a globally

“C’est une grande partie du progrès que de vouloir progresser.”

Sénèque

5. ANALYSE DES PROJETS ET DES OPTIONS ENVISAGEABLES POUR L’EUROPE

5.1 Analyse des activités en cours et projetées

L’Europe a une longue expérience des missions scientifiques et du vol spatial humain, ayant commencé à réfléchir sur l’exploration robotique et humaine de la Lune, de Mars et des astéroïdes géocroiseurs avant la fin du siècle précédent. Le programme européen d’exploration a démarré à l’ESA en 2001 dans le cadre du programme Aurora ; son but était de formuler et de mettre en oeuvre un programme européen à long terme d’exploration robotique et humaine de tout corps céleste du système solaire qui recèlerait la promesse de traces de vie. Depuis, des activités de développement plus concrètes en vue d’une mission robotique sur Mars ont commencé en 2005 avec le programme ExoMars, et d’autres études sont en cours pour une mission robotique de retour d’échantillons. En outre, des études et des projets sont en cours à l’ESA et dans le cadre des activités nationales (en France, en Allemagne, en Italie et au Royaume-Uni) pour d’autres missions robotiques : orbiteurs lunaires, systèmes d’atterrissage sur la Lune et missions robotiques vers les astéroïdes.

En même temps les activités de développement et d’exploitation dans le cadre du programme de l’ISS continuent avec les lancements et la mise en oeuvre de deux contributions majeures européennes : le laboratoire Columbus et l’ATV (Automated Transfer Vehicle). Cette phase opérationnelle durera jusqu’en 2016, conformément aux décisions de l’Accord intergouvernemental (IGA) de 1998.

Tout aussi significative pour les activités d’exploration est la participation de l’Europe dans la phase de définition du CSTS russe (système de transport spatial humain), qui pourrait être utilisé pour desservir l’ISS et aussi pour des vols habités vers la Lune.

À l’aide de l’ESA et les principales agences nationales, l’ASI, le BNSC, le CNES et le DLR, l’Europe participe avec d’autres agences spatiales non européennes : CNSA (Chine), CSA (Canada), CSIRO (Australie), ISRO (Inde), Roscosmos (Russie) à un effort mondial pour définir une stratégie globale d’exploration. En mai 2007, un document¹ en est ressorti qui définissait le cadre de coordination, établissant dans un premier temps cinq thèmes pour une stratégie d’exploration spatiale globalement coordonnée :

- nouvelles connaissances en science et technologie ;

Exploration area	Scientific themes	Enabling technologies (examples)
Moon: robotic	<ul style="list-style-type: none"> - lunar geophysics - crater chronology - lunar field astronomy 	<ul style="list-style-type: none"> - automatic transportation - soft landing systems / rovers - drilling devices / penetrators - robotic operations - sample return
Moon: human	<ul style="list-style-type: none"> - lunar field geology - paleorecords 	<ul style="list-style-type: none"> - crewed transportation - power / propulsion - life-support, crew health and safety - human habitats / orbiting stations - rovers - deep drilling devices
Mars: robotic	<ul style="list-style-type: none"> - search for water and life - Mars geophysics - radiation environment 	<ul style="list-style-type: none"> - automatic transportation - power / propulsion - soft landing systems / rovers - drilling devices / penetrators - sample return
Mars: human	<ul style="list-style-type: none"> - exobiology - paleorecords - Mars field geology 	<ul style="list-style-type: none"> - crewed transportation - power / propulsion - advanced life support, crew health and safety - human habitats / orbiting stations - local resource extraction - deep drilling devices
Asteroids: robotic	<ul style="list-style-type: none"> - organics, exobiology - paleorecords - presolar material 	<ul style="list-style-type: none"> - transportation - drilling devices / penetrators - sample return

Table 4: *Relevant scientific themes and examples of enabling technologies for selected exploration areas.*

coordinated exploration agenda:

- *new knowledge in science and technology;*
- *extended human presence;*
- *economic expansion;*
- *global partnership;*
- *inspiration and education.*

The Global Exploration Strategy group suggests developing a global space exploration strategy on a voluntary, non-binding basis which could help to better coordinate worldwide exploration activities.

This global effort and various other investigations by agencies, international organisations and institutes identified scenarios, key scientific interests, critical technologies and other aspects of exploration

Domaine d'Exploration	Thèmes scientifiques	Technologies associées (exemples)
Lune : robotique	<ul style="list-style-type: none"> - Géophysique de la Lune - Chronologie des cratères - Astronomie lunaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport automatique - Systèmes d'atterrissage en douceur et de robots mobiles (soft landing / rovers) - Foreuses / pénétrateurs - Opérations robotiques - Retour d'échantillons
Lune : humain	<ul style="list-style-type: none"> - Géologie de la Lune - Informations paléographiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport d'équipage - Propulsion et sources d'énergie - Équipement de support-vie, santé et sécurité de l'équipage - Habitats humains/ stations orbitales - Véhicules mobiles - Foreuses
Mars : robotique	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche de l'eau et de la vie - Géophysique de Mars - Environnement radiatif 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport automatique - Propulsion et sources d'énergie - Systèmes d'atterrissage en douceur et de robot mobiles ("soft landing"/rovers) - Foreuses / pénétrateurs - Retour d'échantillons
Mars : humain	<ul style="list-style-type: none"> - Exobiologie - Informations paléographiques - Géologie de Mars 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport d'équipage - Sources d'énergie et propulsion - Équipement de support-vie, santé et sécurité de l'équipage - Habitats humains/ stations orbitales - Extraction de ressources locales - Foreuses profondes/ pénétrateurs
Astéroïdes : robotique	<ul style="list-style-type: none"> - Chimie organique, exobiologie - Informations paléographiques - Matériel présolaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Transport - Foreuses / pénétrateurs - Retour d'échantillon

Tableau 4: *Thèmes scientifiques et exemples de technologies associées, par domaine d'exploration.*

- présence humaine dans le système solaire ;
- expansion économique ;
- partenariat à l'échelle mondiale ;
- inspiration et éducation.

Le groupe Stratégie globale d'exploration propose de développer sur la base du volontariat une stratégie d'exploration spatiale à l'échelle mondiale non contraignante qui pourrait aider à améliorer la coordination des activités mondiales d'exploration.

activities. These efforts identify a consensus to the key drivers for exploration activities which can be summarised as follows:

- *political and societal aspects: identity, international visibility, inspiration of young generations, education, global cooperation, partnerships with upcoming world powers;*
- *economic and industrial considerations: use of existing services in transportation, telecom, navigation and servicing in orbit; new opportunities e.g. in space tourism, edutainment, entertainment;*
- *scientific themes;*
- *technology innovation.*

A worldwide agreement prevails that the ultimate goal of exploration is to send humans to Mars starting with first steps in the form of robotic missions.

While there is substantial agreement globally on goals, key drivers and main needs for exploration activities, major differences exist in the definition and implementation status of concrete exploration strategies and their programmatic elements. The US/NASA programme “Return to the Moon” has already led to tangible development activities regarding robotic and human flights to the Moon. Equally in China, Japan and India, developments regarding lunar exploration are ongoing.

In Europe, besides the ExoMars development programme and a number of limited ESA and national initiatives, a comprehensive exploration programme agreed by all players is still lacking. If Europe wants to play a significant role in the worldwide exploration context – be it as a partner or in self-standing mode – a commonly agreed European exploration strategic plan, and in particular a comprehensive programme with well defined development projects, is indispensable and needs to be established and agreed in the near future.

5.2 European Options

Europe as one of the leading players in space activities has over the years acquired significant capabilities and operational experience in satellites, transport systems and human spaceflight. All fields of space activities are mastered in Europe today with the exception of crew transport systems. Exploration activities with the ultimate goal of sending humans to Mars require substantially new technologies in almost all areas of space activities, in particular in automatic and human space transport for long-duration missions. Robotic systems such as rovers or extraction systems require new solutions, automatic and human-tended or permanently manned orbiting or in situ stations at great distances require new technologies for power supply, life support and planetary protection.

Cet effort global ainsi que diverses autres études menées par des agences, des organismes internationaux et des instituts ont identifié les scénarios, les enjeux scientifiques clés, les technologies cruciales et d'autres aspects des activités d'exploration. Un consensus sur les principaux éléments moteurs des activités d'exploration en est résulté, qui peut être récapitulé comme suit :

- aspects politiques et sociétaux : identité, visibilité internationale, inspiration des jeunes générations, éducation, coopération à l'échelle mondiale, partenariats avec des puissances émergentes ;
- considérations économiques et industrielles : utilisation des services existants de transport spatial, de télécommunications, de navigation et de maintenance en orbite ; nouvelles opportunités par exemple en tourisme spatial, éducation ludique, divertissement ;
- thèmes scientifiques :
- innovation technologique.

Il y a un consensus mondial selon lequel l'objectif à long terme de l'exploration est d'envoyer des hommes et des femmes sur Mars, à commencer par une première étape constituée de missions robotiques.

Même s'il existe un accord général sur les objectifs, les enjeux essentiels et les besoins principaux pour les activités d'exploration, de grandes différences subsistent dans la définition et la mise en œuvre des stratégies d'exploration de chaque pays et leur traduction en projets précis. Le programme américain "Retour vers la Lune" de la NASA a déjà déclenché des activités de développement concrètes dans le domaine des missions robotiques et humaines vers la Lune. De même, en Chine, au Japon et en Inde, des développements concernant l'exploration lunaire sont en cours.

En Europe, mis à part le projet ExoMars et un petit nombre d'initiatives nationales et au niveau de l'ESA, il manque encore l'accord de tous les acteurs sur un vrai programme d'exploration spatiale. Si l'Europe souhaite jouer un rôle mondial dans l'exploration – en tant que partenaire ou de façon autonome – un accord entre tous les acteurs sur une stratégie d'exploration européenne, et en particulier un programme de grande envergure avec des projets de développement bien définis, est indispensable et doit être établi et agréé par les États membres dans un proche avenir.

5.2 Options pour l'Europe

En tant qu'acteur majeur dans le secteur spatial depuis de nombreuses années, l'Europe a acquis des capacités et une expérience opérationnelle tout à fait significative dans le domaine des satellites, des systèmes de transport spatial et du vol spatial humain. Tous les aspects des activités spatiales sont désormais maîtrisés en Europe à l'exception des systèmes de transport qualifiés pour le vol humain. Les activités d'exploration, dont le but ultime est d'envoyer des

Scenario	Main Characteristics	Evaluation
(1)	<ul style="list-style-type: none"> - extended Mars robotic exploration (ExoMars, sample return) - Lunar robotic exploration - Asteroid robotic exploration - ISS exploitation until 2016 and optionally beyond: <ul style="list-style-type: none"> a. with all partners b. without US 	<ul style="list-style-type: none"> - experience fully available - high scientific interest - limited innovative potential - low visibility - restricted cooperation - moderate cost and risk <p>→ inadequate role for Europe</p>
(2)	<ul style="list-style-type: none"> - robotic missions to Mars and asteroids - participation in the US "Return to the Moon": <ul style="list-style-type: none"> a. limited participation at sub-system level (e.g. life-support, power, communication, CSTS) b. extended participation at system level (e.g. habitat, rovers, transportation) - ISS exploitation until 2016 	<ul style="list-style-type: none"> - experience partially available (Ariane 5, ATV, Columbus) - high scientific interest - high innovative potential, in particular for b. - limited visibility (as in ISS) - attractive cooperation, but strong dependency - higher cost and risk <p>→ adequate cooperative role for Europe</p>
(3)	<ul style="list-style-type: none"> - robotic pathfinder missions to Moon/Mars/asteroids - human exploitation of LEO (ISS until 2016, European missions and infrastructure in LEO beyond 2016) - infrastructure on the Moon and in lunar orbit for robotic/crewed missions - provide transportation capability (crewed and automatic) - European crew to Moon and later to Mars 	<ul style="list-style-type: none"> - experience partially available - high scientific interest - very high innovative potential - excellent visibility/image - large worldwide cooperative possibilities - high cost and risk <p>→ adequately high ambition for Europe</p>

Table 5: Summary of typical scenarios

These are just a few examples of a broad range of new requirements for exploration missions. It is obvious that crew transport systems to the Moon and Mars are the centrepieces of any exploration programme with the ultimate aim of sending humans to the Moon and Mars.

So far, only the US, Russia and China have mastered human transport into near-Earth orbits and beyond. For Europe the major question is therefore whether or not it wants to enter into this field which clearly determines – as we see in programmes like Spacelab or the ISS – whether

Scénario	Caractéristiques principales	Évaluation
(1)	<ul style="list-style-type: none"> - exploration robotique de Mars (ExoMars, retour d'échantillons) - exploration lunaire robotique - exploration robotique d'astéroïdes - exploitation de l'ISS jusqu'en 2016 et peut-être au-delà : <ul style="list-style-type: none"> a. avec tous les partenaires b. sans les États-Unis 	<ul style="list-style-type: none"> - expérience disponible - intérêt scientifique élevé - potentiel d'innovation limité - faible visibilité - coopération restreinte - coûts et risques modérés <p>→ rôle insuffisant pour l'Europe</p>
(2)	<ul style="list-style-type: none"> - missions robotiques vers Mars et des astéroïdes - participation dans le programme américain "Retour vers la Lune": <ul style="list-style-type: none"> a. participation limitée au niveau des sous-systèmes (équipement de vie, propulsion, communication, CSTS) b. participation plus large au niveau des systèmes (habitat, rovers, transport) - exploitation de l'ISS jusqu'en 2016 	<ul style="list-style-type: none"> - expérience partiellement disponible (Ariane 5, ATV, Columbus) - intérêt scientifique élevé - potentiel d'innovation élevé, en particulier dans le cas b. - visibilité limitée (comme pour l'ISS) - coopération attractive, mais forte dépendance - coûts et risques plus élevés <p>→ rôle adéquat de partenaire en coopération pour l'Europe</p>
(3)	<ul style="list-style-type: none"> - missions robotiques de découverte vers la Lune/Mars/les astéroïdes - exploitation des missions humaines en orbite basse (ISS jusqu'en 2016, missions et infrastructure européennes en orbite basse au-delà de 2016) - infrastructure sur la Lune et en orbite lunaire pour les missions robotiques/habitées - fourniture de capacité de transport (habité et automatique) - équipage européen vers la Lune et plus tard vers Mars 	<ul style="list-style-type: none"> - expérience partiellement disponible - intérêt scientifique élevé - potentiel d'innovation très élevé - visibilité et image excellentes - possibilités importantes de coopération mondiale - coûts et risques élevés <p>→ ambition suffisamment élevée pour l'Europe</p>

Tableau 5 : Résumé des scénarios typiques

hommes ou des femmes sur Mars, exigent le développement de nouvelles technologies dans presque tous les domaines, notamment le transport spatial robotique et humain pour des missions de longue durée. Des systèmes robotiques tels que les "rovers" ou les dispositifs d'extraction demandent des solutions novatrices telles que des stations en orbite ou "in situ" à de grandes distances, qu'elles soient automatisées, visitées régulièrement par des équipages ou habitées de façon permanente, qui demandent de nouvelles technologies pour

Europe can play a leading role or acts as a junior partner with less cost and risk but fully dependent on other partners.

In the following, a selection of three typical scenarios is described in general terms and evaluated. The scenarios are based on different levels of European involvement in exploration activities with various levels of ambition and dependency. In all scenarios it is assumed that Europe continues to fulfil its commitment to build and exploit the ISS as agreed in the IGA.

The following table lists some of the major characteristics for the three typical scenarios and provides information on the adequateness of the selected scenarios taking into account available experience, scientific interest, innovation potential and political visibility.

The following three typical scenarios are considered:

Scenario (1) *with emphasis on planetary robotic exploration and ISS exploitation;*

Scenario (2) *with planetary robotic and human exploration in partnership and ISS exploitation;*

Scenario (3) *with a European lead role in planetary robotic and human exploration.*

Scenario (1)

This conservative scenario concentrates on robotic exploration and restricts human activities to ISS exploitation (operations and utilisation) with an option to continue ISS operation beyond 2016 in order to maintain a minimum capability of human spaceflight activities in Europe.

Regarding robotic exploration, the scenario assumes a further concentration of Europe on missions to Mars with the completion of ExoMars and its continuation in the form of a sample return mission to Mars as already presently in study. In addition, robotic missions with clear scientific and technological objectives to the Moon and asteroids could be considered as far as they can be performed with European transport systems with suitable adaptations.

With respect to ISS exploitation, it is assumed that all 5 partners – USA, Russia, Japan, Canada and Europe – continue to maintain the station until 2016 (sub-scenario 1a). Beyond 2016, or if the US does not maintain their commitment, the other partners could take over full responsibility for the ISS (sub-scenario 1b). In this case Europe could participate in the Russian-led Crew Transport System CSTS which will become necessary in particular to provide a significant down-load capability, which is

assurer la fourniture d'énergie, le support-vie et la protection planétaire. Il ne s'agit là que de quelques exemples parmi les nombreuses nouvelles exigences pour les missions d'exploration. Il est clair que les systèmes de transport humain vers la Lune et vers Mars sont la clef de voûte de tout programme d'exploration dont le but ultime est d'envoyer des équipages vers la Lune et vers Mars.

Jusqu'à présent, seuls les États-Unis, la Russie et la Chine ont maîtrisé le transport spatial humain vers des orbites proches de la Terre et au-delà. Pour l'Europe, la question principale est donc de savoir si elle souhaite rejoindre ce camp, ce qui décidera – comme l'on peut voir dans des programmes comme Spacelab ou l'ISS – si elle est en mesure de jouer un rôle de leader, ou restera un partenaire mineur, entraînant moins de dépenses et de risques, mais dépendant de ses partenaires.

Dans ce qui suit, trois scénarios typiques sont décrits dans leurs grandes lignes et évalués. Ces scénarios sont basés sur des niveaux différents d'implication, d'ambition et d'autonomie de l'Europe dans les activités d'exploration. Dans chacun de ces scénarios, il est supposé que l'Europe continue à assurer ses engagements dans le programme ISS, comme convenu dans l'Accord intergouvernemental (IGA).

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des trois scénarios et commente leur pertinence en prenant en compte l'expérience, l'intérêt scientifique, l'innovation potentielle et la visibilité politique.

Les trois scénarios typiques suivants sont considérés :

- Le scénario (1)** qui met l'accent sur l'exploration planétaire robotique et l'exploitation de l'ISS ;
- Le scénario (2)** avec l'exploration planétaire robotique et humaine en partenariat et l'exploitation d'ISS ;
- Le scénario (3)** avec un rôle européen de leader dans l'exploration planétaire robotique et humaine.

Scénario (1)

Ce scénario conservateur est focalisé sur l'exploration robotique et limite les activités humaines dans l'espace à l'exploitation de l'ISS (opérations et utilisation) avec l'option de continuer l'exploitation de l'ISS au-delà de 2016 afin de maintenir une capacité minimum de vol spatial humain en Europe.

Par rapport à l'exploration robotique, le scénario suppose une concentration de l'Europe également sur des missions martiennes avec l'aboutissement d'ExoMars et sa suite sous forme d'une mission de retour d'échantillons de Mars, comme déjà mentionné. De plus, des missions robotiques pourraient être envisagées avec des objectifs scientifiques et technologiques clairs vers la Lune

insufficient with the present Soyuz capsule. Such a participation also opens up a minimum long-term option of participating at a later stage in human exploration.

The ambitions of this scenario are rather limited. While the scientific interest in particular due to the extended missions to Mars is certainly high, the innovative potential, the visibility for the public and the possibility of playing a significant role in the worldwide exploration context are quite limited. Regarding human spaceflight activities, European involvement would come to an end after more than 40 years of investment in this very visible area.

Altogether, considering overall European political and technological potential as well as our experience in space missions, **this scenario would mean an inadequate role for Europe in the global space exploration context.** This applies also to the case in which the non-US partners take over full responsibility for ISS operation and utilisation, as this bears considerable financial and technical risks due to the dominant role of NASA in the ISS.

Scenario (2)

This scenario assumes European participation in the US-led “Return to the Moon” programme. A contribution to this human exploration programme could be on sub-system level (sub-scenario 2a) through the provision by Europe of one or more sub-systems such as e.g. the closed life-support system, the power generation sub-system, the communication infrastructure or a participation in the CSTS, provided this Russian-led human transport system becomes part of the transport infrastructure.

Alternatively Europe could assume responsibility for a complete system (sub-scenario 2b) such as a lunar habitat or a long-range lunar rover or transport elements like the Lunar Manned Vehicle (LMV) which provides transport from the Earth-Moon libration point L1 to the lunar orbit, or the Refuelling Vehicle (RV) servicing the LMV at L1. The most important question in both sub-scenarios is whether the US accept the provision of critical items by another partner.

It is assumed that this scenario would allow the further development of the robotic missions to Mars with the ExoMars project and would support future robotic missions to Mars and to the asteroids. Also in this scenario Europe should continue to maintain its commitment to exploit the ISS until 2016.

This scenario contains noticeably higher ambitions, in particular, if Europe were to supply complete critical systems for robotic or human lunar

et les astéroïdes, dans la mesure où elles pourront être exécutées à l'aide des systèmes de transport spatial européens convenablement aménagés.

En ce qui concerne l'exploitation de l'ISS, il est supposé que les cinq partenaires – États-Unis, Russie, Japon, Canada et Europe – continueront à maintenir la station jusqu'en 2016 (sous-scénario 1a). Au-delà de 2016, ou si les États-Unis ne confirment pas leur engagement, les autres partenaires pourraient prendre l'entière responsabilité de l'ISS (sous-scénario 1b). Dans ce cas, l'Europe pourrait participer au CSTS russe qui deviendra incontournable, en particulier pour fournir une capacité de redescende de matériel importante, capacité qui est insuffisante avec la capsule Soyouz actuelle. Une telle participation garde ouverte à long terme la possibilité de participer plus tard à l'exploration spatiale avec équipage.

Les ambitions de ce scénario sont plutôt limitées. L'intérêt scientifique est certes élevé, en particulier à cause des missions de longue durée sur Mars, mais le potentiel pour l'innovation, la visibilité publique et la possibilité de jouer un rôle significatif dans le contexte global de l'exploration spatiale sont assez réduits. En ce qui concerne les activités de vol spatial humain, l'implication européenne s'achèverait, après plus de 40 ans d'investissement dans ce domaine hautement visible.

Globalement, au vu du potentiel européen politique et technologique ainsi que de notre expérience dans les missions spatiales, **ce scénario n'offre pas un rôle suffisant pour l'Europe dans un contexte global d'exploration spatiale.** Ce serait le cas même dans l'hypothèse où les partenaires non-américains prendraient la pleine responsabilité de l'opération et de l'utilisation de l'ISS, puisque ceci impliquerait des risques économiques et techniques importants, en raison du rôle actuel dominant de la NASA dans l'ISS.

Scénario (2)

Ce scénario suppose un apport européen à l'initiative américaine de "Retour vers la Lune". L'Europe pourrait participer à ce programme d'exploration humaine au niveau des sous-systèmes (sous-scénario 2a), en fournissant par exemple les systèmes de support-vie, de production d'énergie, l'infrastructure de communication ou une participation dans le CSTS, à condition bien sûr que ce système soit intégré dans l'infrastructure du transport.

L'Europe pourrait choisir un sous-scénario (2b) plus ambitieux en prenant par exemple la responsabilité d'un système complet tel qu'un habitat lunaire, un rover lunaire à long rayon d'action, des éléments comme le véhicule lunaire habité (LMV, Lunar Manned Vehicle) qui assurerait le transport entre le point L de libration dans le système Terre-Lune jusqu'à l'orbite lunaire, ou le véhicule de réapprovisionnement (RV, Refueling Vehicle) qui approvisionnerait le LMV à L1. La question la plus importante dans ces deux sous-scénarios est de savoir si

missions. Europe has more than enough experience in science, with Ariane 5, ATV and Columbus, and astronauts to warrant its playing a significant role in the “Return to the Moon” initiative. The interest in scientific missions to Moon and Mars is certainly high, and both the innovative potential and cooperative possibilities of this scenario are substantial. The visibility, however, remains – as in the ISS programme – limited due to the leading role of the US/ NASA.

The major critical aspect of this scenario is whether Europe can achieve the responsibility for one or more major systems as NASA has declared its intention to restrict contributions of partners to non-critical systems. This issue should be thoroughly negotiated and agreed upon with NASA – and potentially other partners – before entering into any commitment.

*Altogether, if a significant European cooperative role can be achieved, this scenario, which should be affordable within European space budgets, could give Europe **an adequate cooperative role in the global space exploration context.***

Scenario (3)

This scenario is based on a genuine European long-term exploration programme comprising near-Earth missions, lunar missions and, as a final goal, sending a European to Mars. The initial phase within the 2020 timeframe of such a programme should contain ISS exploitation until 2016, the initiation of further human activities in near-Earth orbit as a dedicated mission objective (e.g. CSTS, European man-tended station, return capsule) and as a step for later lunar missions (e.g. Ariane 5 man-rating, transfer stage). This initial phase should be complemented by robotic pathfinder missions to the Moon (e.g. orbiting satellite, lander) and Mars.

The following phase until approximately 2035 should contain additional robotic exploratory missions to Mars (e.g. Mars sample return) and human missions to the Moon (e.g. crew transfer, lander, human outpost, navigation and telecommunication infrastructure). Additional activities in near-Earth orbit could also be included in this phase.

In the final phase until approximately 2050 all necessary elements for a European crewed flight to Mars will have to be developed.

Due to its comprehensiveness, this scenario is of the highest scientific interest and contains very broad technological and innovative potential. It also offers ample cooperative possibilities for partners outside Europe. The interest of the general public and in particular young generations in such a highly visible programme will certainly be enormous. The possibility of developing the image and identity of Europe as a high-technology world

les États-Unis accepteraient qu'un autre partenaire fournisse des éléments critiques.

Ce scénario devrait permettre de développer également des missions robotiques vers Mars, avec le projet ExoMars, et de préparer les missions robotiques futures vers Mars et les astéroïdes. En outre, dans ce scénario, l'Europe continuerait à maintenir son engagement envers le programme ISS jusqu'en 2016.

Ce scénario correspond à des ambitions plus élevées, en particulier si l'Europe fournissait des systèmes critiques complets pour des missions robotiques ou humaines. L'Europe a acquis une expérience suffisamment importante dans les domaines de la science et avec Ariane 5, ATV et Columbus ainsi qu'à travers son corps d'astronautes expérimentés pour justifier d'un rôle significatif dans l'initiative de "Retour vers la Lune". L'intérêt des missions scientifiques vers la Lune et Mars, le potentiel pour l'innovation et les possibilités de coopération dans ce scénario sont très élevés. La visibilité de l'Europe, cependant, resterait limitée – comme dans le cas du programme ISS – à cause du rôle principal joué par les États-Unis et la NASA.

Dans ce scénario il s'agit de savoir si l'Europe arriverait à avoir la responsabilité pour un ou plusieurs systèmes majeurs, puisque la NASA a déclaré qu'elle restreindrait les contributions des partenaires aux systèmes non-critiques. Cette question devrait faire l'objet de pourparlers rigoureux et d'un accord avec la NASA – voire avec d'autres partenaires – avant tout engagement.

Dans l'ensemble, si un rôle significatif de l'Europe peut être négocié dans un cadre coopératif, ce scénario, qui devrait être accessible au budget spatial européen, pourrait permettre à l'Europe **un rôle adéquat de coopération dans le cadre global de l'exploration spatiale.**

Scénario (3)

Ce scénario est basé sur un véritable programme d'exploration spatiale européen à long terme comportant des missions en orbite terrestre, des missions lunaires et, comme objectif final, l'envoi d'un Européen sur Mars. Dans le contexte d'une échéance autour de 2020 pour ce programme, la phase initiale devrait inclure l'exploitation de l'ISS jusqu'en 2016, le lancement de nouvelles activités humaines en orbite terrestre comme objectif de mission spécifique (par exemple CSTS, une station orbitale visitable européenne, une capsule de retour vers la Terre) et comme étape vers les missions lunaires ultérieures (par exemple la qualification d'Ariane 5 pour le vol humain, la mise au point d'un étage de transfert). Cette phase initiale devrait être complétée par des missions robotiques de reconnaissance vers la Lune (orbiteur, atterrisseur) et Mars.

player should be a strong attraction politically. Regarding the affordability of such a programme, it is clearly the most exacting, but it could still be carried out if carefully planned and enriched by cooperation with non-European partners.

*In view of its overall merits, **this scenario is fully adequate with high European space ambitions within the global space exploration context.***

La phase suivante, jusqu'à environ 2035, devrait inclure d'autres missions d'exploration vers Mars (retour d'échantillons martiens) et des missions humaines vers la Lune (transfert d'équipage, atterrisseur, avant-poste humain, infrastructure de navigation et de télécommunications). Des activités supplémentaires en orbite proche de la Terre pourraient également s'inscrire dans cette phase.

Dans la phase finale, jusqu'à environ 2050, tous les éléments nécessaires pour une mission d'un équipage européen vers Mars devront être développés.

En raison de son exhaustivité, ce scénario est du plus grand intérêt scientifique et comprend un potentiel technologique et innovateur très complet. Il offre également des possibilités de coopération avec des partenaires hors de l'Europe. L'intérêt du public et en particulier des jeunes dans un programme ayant une telle visibilité serait sans doute énorme. La possibilité de développer l'image et l'identité de l'Europe en tant qu'acteur mondial de pointe serait une forte motivation politique. Les coûts d'un tel programme seraient importants mais ils resteraient gérables à condition de mettre en place une planification rigoureuse et de l'enrichir par la coopération avec des partenaires non-européens.

Au vu de ses mérites, **ce scénario convient tout à fait aux ambitions élevées de l'Europe dans le contexte de l'exploration spatiale au niveau mondial.**

“For those who have never known the relentless urge to explore and discover, there is no answer.”

Hermann Oberth, 1957

6. RECOMMENDATIONS

On the basis of the study and analysis, and the basic scenarios developed in the preceding chapters, the Air and Space Academy forwards the following recommendations to decision-makers in European governments and space agencies for their consideration when preparing decisions for European Space Exploration activities:

- 1) *Europe should engage in a substantial and unified Space Exploration Programme of its own, commensurate with high European ambitions and appropriate to Europe’s position in the world.***

The Academy considers that in view of Europe’s scientific experience and record of success in the past decades and the technological capacity of the European space industry we are well placed to define and execute a comprehensive and robust European exploration strategy and programme which should provide strong impetus for ambitious science and technology innovations in European society. Such a programme should bring together all European players making them work in a single clearly defined direction. National and multinational efforts of all European participants should be properly coordinated and harmonised within one single programmatic framework.

- 2) *The European Space Exploration Programme should enhance European identity and should support the European integration process.***

As set forth in the Lisbon Declaration, Europe’s role should be to become the leading knowledge-based society. An ambitious European Space Exploration Programme with impressive goals and visible missions should improve and demonstrate Europe as a leader in advanced science and technology, support the integration process between national partners by conducting challenging common space projects and missions and improve the enthusiasm of the broad public for Europe.

“Pour ceux qui n’ont jamais connu la pulsion irrésistible d’explorer et de découvrir, il n’y a aucune réponse possible.”

Hermann Oberth, 1957

6. RECOMMANDATIONS

À partir des études, des analyses et des scénarios développés dans les chapitres précédents, l’Académie de l’Air et de l’Espace propose les recommandations suivantes à l’attention des décideurs des gouvernements et des agences spatiales, en vue des décisions à prendre sur l’exploration spatiale européenne.

1) L’Europe devrait s’engager dans un programme d’exploration spatiale unifié et d’envergure, à la hauteur de ses ambitions et de sa position dans le monde.

L’Académie considère qu’au vu de l’expérience scientifique et des succès de l’Europe dans les dernières décennies, et de la capacité technologique de l’industrie spatiale européenne, nous sommes bien placés pour définir et mettre en œuvre une stratégie d’exploration ambitieuse et capable de surmonter les aléas inévitables, qui aurait pour effet de stimuler l’innovation scientifique et technologique au sein de la société européenne. Un tel programme devrait réunir tous les acteurs européens pour les orienter dans une direction unique et clairement définie. Les efforts nationaux et multinationaux des pays européens participants devraient être coordonnés et harmonisés à l’intérieur d’un cadre programmatique unique.

2) Le programme européen d’exploration spatiale doit contribuer à rehausser l’identité de l’Europe et à soutenir le processus d’intégration européenne.

Comme préconisé dans la Déclaration de Lisbonne, l’Europe se doit de devenir un acteur majeur dans la société de la connaissance. Un programme d’exploration spatiale européenne ambitieux, aux objectifs impressionnants et aux missions visibles, améliorerait l’image de l’Europe, l’établissant comme un des leaders mondiaux en sciences et technologies de pointe ; il soutiendrait le processus d’intégration des partenaires nationaux grâce aux projets spatiaux ambitieux menés en commun, et stimulerait l’enthousiasme pour l’Europe de la part du public.

3) Le programme européen d’exploration spatiale doit servir à stimuler la recherche scientifique, l’excellence technologique, être une source

- 3) ***The European Space Exploration Programme should stimulate scientific research, technological excellence, inspire young generations and generate strong public interest.***

A robust European Space Exploration Programme with ambitious goals and projects should provide focus to exploration-related scientific activities and motivate young scientists and engineers to develop their career based on a broad effort to search for life in our planetary system and to deepen our knowledge of the Solar System. Like the Apollo Programme, comprehensive exploration activity will generate a wealth of new technologies that are necessary to master the challenges involved, particularly of extended human missions to the Moon and Mars. Young generations have always been excited by ambitious goals and especially by missions involving astronauts. The European Exploration Programme should involve school pupils and students actively through participation in the various missions by broad education and experimental projects.

- 4) ***The European Space Exploration Programme should contain a balance of both robotic and human missions. The objectives of the Programme in the short term should be concrete and precisely defined and follow the long term goal of sending a European crew to Mars.***

A comprehensive European Space Exploration Programme should address both robotic and human missions. Initially robotic missions and later, human missions to the Moon, will be a stepping stone towards missions to Mars but also a goal in itself. Human missions to Mars as the long-term goal require very careful preparation through numerous automatic precursor missions. Missions to near-Earth asteroids could complement the exploration activities. The completion of the ISS in near Earth orbit and its operation and utilisation until 2016 and possibly beyond is considered as an important prerequisite to qualify for subsequent and even more demanding missions. Whatever the final shape of a European Space Exploration Programme – which should be defined by the relevant space agencies – it will certainly be implemented in steps and slices due to its long overall duration. It is extremely important that such a programme develops a clear vision of the final goal, is based on an agreed roadmap for decision milestones and lays down precisely defined short-term elements and targets for the overall programme.

d'inspiration pour les jeunes et conduire à un regain d'intérêt de la part du public.

Un programme d'exploration spatiale européenne bien construit avec des objectifs et des projets ambitieux devrait focaliser les activités scientifiques liées à l'exploration et motiver les jeunes scientifiques et ingénieurs vers une carrière basée sur un effort partagé pour rechercher des traces de vie dans notre système planétaire et pour approfondir notre connaissance du système solaire. Comme le programme Apollo, une activité d'exploration importante fera émerger une multitude de nouvelles technologies qui seront nécessaires pour relever les défis qu'elle comporte, en particulier ceux des missions humaines prolongées vers la Lune et vers Mars. Les jeunes générations se sont toujours mobilisées pour des objectifs ambitieux, surtout pour des missions comprenant des astronautes. Le programme d'exploration spatiale européenne devrait impliquer les élèves et les étudiants de manière active grâce à une participation dans les diverses missions à l'aide de projets éducatifs et expérimentaux.

- 4) **Le programme européen d'exploration spatiale doit assurer un équilibre adéquat entre les missions robotiques et les missions humaines. Les objectifs à court terme du programme doivent être concrets et précis, s'inscrivant dans l'objectif à long terme d'envoyer un équipage européen sur Mars.**

Un programme européen d'exploration spatiale complet devrait comprendre à la fois des missions robotiques et des missions humaines. Les missions robotiques dans un premier temps, et ensuite les missions habitées vers la Lune, représenteront un objectif en soi mais également un tremplin pour des missions sur Mars. Les missions habitées vers Mars comme objectif à long terme demanderont une préparation minutieuse à l'aide de nombreuses missions automatiques jouant le rôle de précurseur. Des missions vers des astéroïdes géocroiseurs pourraient compléter les activités d'exploration. L'achèvement de l'ISS en orbite terrestre et son opération et utilisation jusqu'en 2016, et peut-être au-delà, est une condition indispensable pour préparer des missions ultérieures encore plus ambitieuses. Quelle que soit la forme finale d'un programme d'exploration spatiale européenne – qui sera définie par les agences spatiales appropriées – il sera mis en œuvre par tranches et étapes successives du fait de son étalement sur une très longue durée. Il est extrêmement important de définir une vision claire de son objectif final, d'élaborer une feuille de route assortie d'un calendrier de décisions, et de préciser aussi bien les éléments à court terme que les objectifs intermédiaires du programme d'ensemble.

- 5) ***The European Space Exploration Programme should build upon the basis of the ESA-Aurora Programme and the experience gained in the International Space Station (ISS) Programme.***

Europe has been involved for almost 20 years in the International Space Station Programme and has gained considerable technical and cooperative experience with the US, Russia, Japan and Canada. When engaging in a new programme, the experience related to complementarities and dependencies should be taken into account, especially if international cooperation is envisaged. ESA's Aurora programme, as a first coordinated European exploration effort, has set in motion important preparatory work towards a larger European programme. In particular, the ExoMars mission, decided in 2005, should be continued as an important robotic mission to Mars.

- 6) ***The European Space Exploration Programme should receive adequate funding of at least 1 billion euros per year containing ambitious science and technology goals and flagship elements such as a Mars Sample Return (MSR) mission, exploratory activities on or around the Moon and the development of a human rated transportation system.***

The European Space Exploration Programme should be conceived as a broad and long-term effort and incorporate the ongoing International Space Station Exploitation Programme, the ExoMars mission and visible programme elements like a robotic mission with the return of samples from Mars, lunar exploratory missions in the form of a human lunar station and/or a lunar orbiting station. Particularly important in this programme will be the development alone or in cooperation of a human transportation system based on the Ariane launcher or on a Russian transport system. Such a human transport system could first serve the ISS and later be expanded to a transport system to and from the Moon and then to Mars.

Due to the large scale of such a programme it should receive annual funding of at least 1 billion euros, which corresponds to approximately 20% of overall spending on peaceful activities in European space budgets. This requires approximately a two-fold increase of the present effort in this domain.

- 7) ***Europe should seek cooperation with partners around the world under terms and conditions which reinforce the European Space Exploration Programme.***

Due to the comprehensive character of a broad European Space Exploration Programme, it should offer ample opportunities for

- 5) **Le programme européen d'exploration spatiale doit être construit sur les bases du programme Aurora de l'ESA et de l'expérience acquise dans le programme international de la Station spatiale internationale (ISS).**

L'Europe est impliquée depuis presque 20 ans dans le programme de l'ISS et a acquis une expérience technique et de la coopération avec les États-Unis, la Russie, le Japon et le Canada. Lors de tout engagement dans un nouveau programme, l'expérience relative aux complémentarités et aux dépendances devrait être prise en compte, surtout si une coopération internationale est envisagée. Le programme Aurora de l'ESA, premier effort de coordination européenne dans le domaine de l'exploration, a réalisé un important travail de préparation pour un programme européen plus important. La mission ExoMars en particulier, décidée en 2005, devrait être poursuivie en tant que mission robotique importante vers Mars.

- 6) **Le programme européen d'exploration spatiale devrait recevoir un financement adéquat d'au moins 1 milliard d'euros par an, pour des projets aux objectifs scientifiques et technologiques ambitieux et contenir des éléments-phares tels qu'une MSR (Mars Sample Return, mission de retour d'échantillons de Mars), des activités d'exploration sur ou autour de la Lune et le développement d'un système de transport spatial capable d'emporter un équipage.**

Le programme européen d'exploration spatiale doit être conçu comme un effort important et soutenu, incorporer l'actuel programme d'exploitation de la Station spatiale internationale, la mission ExoMars et des éléments de programme visibles tels qu'une mission robotique avec retour d'échantillons de Mars, des missions d'exploration lunaire sous la forme d'une station lunaire habitée ou d'une station orbitale lunaire. Le développement, seul ou en coopération, d'un système de transport spatial humain basé sur le lanceur Ariane ou sur un système de transport russe aura une importance capitale dans ce programme. Un tel système de transport humain pourrait d'abord desservir l'ISS et ensuite la Lune et même Mars.

L'envergure de ce programme justifierait un financement annuel d'au moins 1 milliard d'euros, ce qui correspond à peu près à 20% des dépenses totales en activités civiles des budgets spatiaux européens. L'effort actuel dans ce domaine devrait donc être augmenté d'un facteur deux.

- 7) **L'Europe devrait chercher à établir des partenariats partout dans le monde dont les modalités et les conditions renforceraient le programme européen d'exploration spatiale.**

Le caractère très complet d'un large programme européen d'exploration

Appendix 1: List of European and international robotic space science/exploration missions ongoing or under development by end 2007

Excluding Moon and Mars (see Table 1, Chapter 3), not necessarily comprehensive.

Type	Destination/ Objective	Name	Country	Launch
Solar System (except Moon & Mars)				
	Mercury-orbiter	Messenger	USA	2004
	Mercury orbiter	Bepi-Colombo	Europe/Japan	2013
	Venus orbiter	Venus Express	Europe	2005
	Venus orbiter	Planet C	Japan	2010
	Jupiter orbiter	Juno	USA	2011
	Saturn orbiter & Titan probe	Cassini-Huygens	USA/Europe	1997
	Pluto flyby	New Horizons	USA	2006
	Near-Earth-asteroid sample return	Hayabusa	Japan	2003
	Comet rendezvous + landing	Rosetta	Europe	2004
	Asteroid rendezvous Vesta/Ceres	Dawn	USA/Europe	2007
	Sun/Heliosphere observ. in polar heliocentric orbit	Ulysses	Europe/USA	1990
	Solar observatory in Sun-Earth-L1	SOHO	USA/Europe	1995
	Solar observatory in LEO	Coronas Photon	Russia	2008
	Solar orbiter	Solar orbiter	Europe/NASA	2015
	Satellite constellation for Earth's magnetosphere	Cluster	Europe	2000
Astronomy / Astrophysics				
	Space telescope in LEO	HST (Hubble)	USA/Europe	1990
	X-ray telescope in HEO	Chandra CXO	USA	1999
	X-ray telescope in HEO	XMM-Newton	Europe	1999
	Gamma-ray telescope in HEO	Integral	Eur/USA/Russia	2002
	Infra-red telescope in heliocentric orbit	Spitzer SST	USA	2003
	X-ray telescope in HEO	Astro-E2	Japan/USA	2005
	Sub mm/microw. telescope in Sun-Earth-L2	Herschel/Planck	Europe	2008
	Astrometric telescope in heliocentric orbit	Kepler	USA	2008
	Astrometric telescopes in Sun-Earth-L2	GAIA	Europe	2011
	Space telescope in Sun-Earth-L2	JWST (James Webb)	USA/Eur/Can	2014
	Extra-solar planets nulling interferometer in Sun-Earth-L2	Darwin	Europe	2020
Fundamental Physics				
	General relativity tests in LEO	Gravity-Probe-B	USA	2004
	Equivalence principle (drag-free satellite) in LEO	Microscope	France/Europe	2009
	Interferometry lab in Sun-Earth-L1	Lisa-Pathfinder	Europe/USA	2010
	Gravity wave interferometer in heliocentric orbit	Lisa	Europe/USA	2018

Annexe 1: Liste des missions spatiales scientifiques et d'exploration internationales en cours ou en phase de développement à fin 2007

Liste excluant la Lune et Mars (voir tableau 1, chapitre 3), non exhaustive

Type	Destination/Objectif	Nom	Pays	Lancé
Système solaire (sauf la Lune et Mars)				
	Mercure/orbiteur	Messenger	États-Unis	2004
	Mercure/orbiteur	Bepi-Colombo	Europe/Japon	2013
	Vénus/orbiteur	Venus Express	Europe	2005
	Vénus/orbiteur	Planète C	Japon	2010
	Jupiter/orbiteur	Juno	États-Unis	2011
	Saturne/orbiteur & Titan/sonde	Cassini-Huygens	États-Unis /Europe	1997
	Pluton/survol	New Horizons	États-Unis	2006
	Astéroïde proche Terre/retour d'échantillon	Hayabusa	Japon	2003
	Comète rendez-vous + atterrissage	Rosetta	Europe	2004
	Astéroïde rendez-vous Vesta/Cérés	Dawn	États-Unis /Europe	2007
	Soleil/Héliosphère observatoire en orbite polaire héliocentrique	Ulysses	Europe/États-Unis	1990
	Observatoire en Soleil-Terre-L1	SOHO	États-Unis /Europe	1995
	Observatoire solaire en LEO	Coronas Photon	Russie	2008
	Orbiteur solaire	Solar orbiter	Europe/NASA	2015
	Constellation de satellites pour magnétosphère de la Terre	Cluster	Europe	2000
Astronomie / Astrophysique				
	Télescope spatial en LEO	HST (Hubble)	États-Unis /Europe	1990
	X-ray télescope en HEO	Chandra CXO	États-Unis	1999
	X-ray télescope en HEO	XMM-Newton	Europe	1999
	Télescope à rayon gamma en HEO	Integral	Europe/États-Unis/Russie	2002
	Télescope infrarouge orbite héliocentrique	Spitzer SST	États-Unis	2003
	Télescope rayon X en HEO	Astro-E2	Japon/États-Unis	2005
	Sub mm/ télescope micro-ondes et Soleil-Terre-L2	Herschel/Planck	Europe	2008
	Télescope astrométrique orbite héliocentrique	Kepler	États-Unis	2008
	Télescope astrométrique en Soleil-Terre-L2	GAIA	Europe	2011
	Télescope spatial en Soleil-Terre-L2	JWST (James Webb)	États-Unis/ Europe/Canada	2014
	Planètes extrasolaires nulling interféromètre en Soleil-Terre-L2	Darwin	Europe	2020
Physique fondamentale				
	Relativité générale tests en LEO	Gravity-Probe-B	États-Unis	2004
	Principe d'équivalence (satellite sans traînée) en LEO	Microscope	France/Europe	2009
	Lab d'interférométrie en Soleil-Terre-L1	Lisa-Pathfinder	Europe/États-Unis	2010
	Interféromètre onde gravitationnelle en orbite héliocentrique	Lisa	Europe/États-Unis	2018

Appendix 2: List of participants in the Exploration Working Group

- Jörg Feustel-Büechl, Air and Space Academy, chairman of the Space Exploration Working Group
- Pierre Bescond, AAAF
- Gérard Brachet, Vice President of the Air and Space Academy and chairman of its Space commission
- Jean Broquet, Air and Space Academy
- Silvano Casini, Air and Space Academy
- Jean-François Clervoy, Novespace, Air and Space Academy
- Marcello Coradini, ESA Science Programme
- Philippe Couillard, Air and Space Academy
- Fredrik Engström, Air and Space Academy
- Jean-Jacques Favier, French space agency CNES / Toulouse
- Berndt Feuerbacher, DLR / Bremen
- Philippe Henry, SAFRAN (SNECMA) Paris, AAAF
- Bernhard Hufenbach, ESA / HME
- Ralph Jaeger, Air and Space Academy
- Jean Jamet, Secretary General of AAAF
- Paul Kamoun, Thales Alenia Space Cannes
- Louis Laidet, Chairman of the “Commission internationale” of AAAF
- Robert Lainé, EADS Astrium Paris, Air and Space Academy
- Erick Lansard, Thales Alenia Space Toulouse, Air and Space Academy
- Marius Le Fèvre, Air and Space Academy
- Lennart Lübeck, Air and Space Academy
- Anne-Marie Mainguy, Air and Space Academy
- Horst Rauck, Gesellschaft von Freunden des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt
- Wolfgang Seboldt, DLR / Cologne
- Gunther Seibert
- Dietrich Vennemann, ESA / HME
- Jacques Villain, SAFRAN, Air and Space Academy

spatiale devrait offrir d'amples possibilités de coopération avec des partenaires traditionnels : les États-Unis, le Japon, le Canada, la Russie, et nouveaux : la Chine et l'Inde. Lors de la définition de ce programme, l'Europe devrait donc effectuer une évaluation très complète des possibilités de coopération en vue d'enrichir le programme européen.

8) Une décision sur le programme européen d'exploration spatiale européenne devrait être prise lors du prochain Conseil ministériel de l'ESA, prévu pour fin 2008.

Puisque les activités d'exploration spatiales sont déjà lancées dans différents pays – le développement d'un nouveau système de transport spatial humain aux États-Unis, des satellites en orbite lunaire en Chine et au Japon – il convient à l'Europe d'établir sans plus tarder un programme européen d'exploration spatiale coordonné et de le soumettre pour approbation par les gouvernements respectifs. Une coordination au plus haut niveau devrait être mise en place à court terme afin de mettre au point une proposition à soumettre aux ministres, pour décision lors du prochain Conseil ministériel de l'ESA fin 2008. Une telle décision devrait inclure une stratégie globale d'exploration et son cadre programmatique associé ; les premiers éléments du programme et une feuille de route pour les décisions futures devraient faire l'objet d'un accord lors de ce Conseil ministériel pour permettre sa mise en œuvre.

PRESENTATION OF THE AIR AND SPACE ACADEMY

In 1983, thirty-five leading figures from the fields of aeronautics and space joined together to form an Academy of Air and Space, on the initiative of André Turcat.

The Académie nationale de l’Air et de l’Espace was officially founded in Toulouse, the uncontested capital in these areas, whose municipality has since consistently supported its actions. It was placed under the patronage of the ministers of Industry and Research, Defence, Education and Transport.

On 1st January 2007, it became the “Air and Space Academy”, its new statutes embracing a European framework since they make no distinction between French and European members.

Objectives

Its main mission is:

“To encourage the development of high quality scientific, technical and cultural actions in the realms of Air and Space, promote knowledge in these areas and constitute a focal point for activities”.

In the course of its work, the Academy organises a range of events: international conferences, forums, lecture cycles, exhibitions, etc. often in collaboration with other academies, associations, institutions, political and economic bodies.

It also publishes proceedings, reports, annals, a newsletter and other works. The studies it carries out lead to recommendations dossiers, addressed to the relevant authorities.

It also lends its support to various external events.

Partners

The Academy’s partners include public or private organisations, educational establishments, companies, etc. Our partners are invited to all sessions, exhibitions, colloquia and other events and receive all our publications.

Over and above the financial and material support they provide, our partners constitute an essential link with the realities of the aerospace world and thus contribute to enriching our reflections. In return, the Academy has a duty to objectivity in its deliberations and uses the interface of its wide network of members and associated institutions to encourage suggestions from its partners as to future areas of study.

International presence

Whilst continuing to develop its existing network of relationships with French organisations, our Academy is also reinforcing and enriching its international associations, exploring new links with the following:

- *European and international institutions (European Commission and Parliament, EDA, Eurocontrol, ASD, EASA, ICAO, IATA ...);*
- *the different space agencies (ESA, CNES, ASI, NASA, JAXA ...);*
- *the various European and international aerospace and defence organisations (Association of European Airlines, Council of European Aerospace Societies,*

PRÉSENTATION DE L'ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

En 1983, trente-cinq personnalités de l'aéronautique et de l'espace ont fondé, à l'initiative d'André Turcat, "l'Académie nationale de l'Air et de l'Espace".

Installée officiellement à Toulouse, capitale sans conteste en ces domaines et soutien de son existence, l'Académie est placée sous le patronage des ministres de l'Industrie et de la Recherche, de la Défense, de l'Éducation nationale, et des Transports.

Depuis le 1^{er} janvier 2007, elle est devenue "l'Académie de l'Air et de l'Espace" par la modification de ses statuts, qui s'inscrivent dans la continuité, tout en marquant une ouverture vers l'Europe puisqu'ils mettent sur le même plan les Français et les ressortissants européens.

Sa mission

La mission essentielle demeure :

"favoriser le développement d'activités scientifiques, techniques et culturelles de haute qualité dans le domaine de l'Air et de l'Espace, valoriser et enrichir le patrimoine, diffuser les connaissances, constituer un pôle d'animation".

Les objectifs de l'Académie la conduisent à organiser des manifestations variées : congrès internationaux, forums, conférences, expositions, etc., souvent en collaboration avec les mondes académique, associatif, institutionnel, politique et économique.

Elle fait paraître de nombreuses publications : actes de colloques, dossiers, comptes rendus des forums, annales, lettre périodique, ouvrages de culture aéronautique... À l'issue des études qu'elle mène, elle adresse des recommandations aux autorités concernées.

Elle accorde également son patronage à des manifestations organisées en dehors d'elle.

Ses partenaires

Les partenaires de l'Académie sont des personnes morales, organismes publics ou privés, grandes écoles, entreprises, etc. Ces partenaires, invités à toutes les séances et manifestations de l'Académie, peuvent y déléguer des représentants. Ils reçoivent les publications de l'Académie.

Au-delà des soutiens financiers et matériels apportés, ces partenaires constituent un lien essentiel et concret dans la plupart des aspects des actions et réflexions menées, lesquelles restent ainsi en prise directe avec les réalités du terrain. En retour l'Académie propose des réflexions, recommandations et synthèses en toute liberté d'esprit.

L'Académie, à travers les relations personnelles de ses membres, les séances plénières, les réunions de ses sections et de ses commissions, peut recevoir toutes les suggestions formulées par les partenaires et développer ainsi ses travaux en conséquence.

Sa présence internationale

Tout en continuant à développer son important réseau de relations avec les académies, institutions et groupements français, l'Académie poursuit une action visant à renforcer et à enrichir ses liens internationaux. De nouvelles voies de collaboration s'ouvrent ainsi avec :

- les institutions européennes et internationales (Commission et Parlement européens, AED, Eurocontrol, ASD, AESA, OACI, IATA ...)

European Civil Aviation Conference, European Low Fares Airline Association, European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines, Airports Council International Europe ...).

Members

The Academy is composed of 90 to 120 Regular members from European countries, and 20 Associate members (maximum) from countries outside of Europe. It also comprises Honorary members, Correspondents and Emeritus members.

Our members are or have been leading players from all walks of aerospace life: scientists, engineers, pilots, astronauts, doctors, manufacturers, economists, lawyers, historians and artists all work together to achieve these essential goals, thereby reinforcing the multidisciplinary nature of the Academy.

Sections and Commissions

The Academy's work is carried out mainly within the context of its Sections, each with its particular field of study, and its Commissions, in order to examine wider issues.

Regular members belong to different sections according to their type of activity:

- Section I Scientific knowledge of Air and Space;*
- Section II Applied science and technology of Air and Space;*
- Section III Human presence and activity in Air and Space;*
- Section IV Ethics, law, sociology and economy of Air and Space;*
- Section V History, literature and arts of Air and Space.*

Some commissions are permanent, others are charged with studying specific problems concerning several sections, and with putting forward solutions.

Life of the Academy

The Academy generally holds five sessions a year with the aim of encouraging an exchange of ideas concerning important topical issues, and taking collective decisions on possible actions. Each session is preceded by a board meeting.

The final session of the year, the Solemn Plenary Session, which traditionally takes place in the Toulouse Town Hall, is the occasion for the Academy to present its prizes and medals to laureates for remarkable achievements in the areas of Air and Space, and to introduce its new members and board of governors.

- les différentes agences spatiales (ESA, CNES, ASI, NASA, JAXA ...) ;
- les divers organismes et groupements aérospatiaux et de défense européens et internationaux (Association of European Airlines, Council of European Aerospace Societies, Conférence européenne de l'aviation civile, European Low Fares Airline Association, European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines, Airports Council International Europe ...).

Ses membres

L'Académie se compose de 90 à 120 membres titulaires, ressortissants d'États européens, et de 20 membres associés (maximum), ressortissants d'États non-européens. Elle comprend également des membres d'honneur, des correspondants et des membres honoraires.

Ses membres exercent ou ont exercé des responsabilités importantes dans leurs domaines respectifs. Scientifiques, ingénieurs, pilotes, astronautes, médecins, industriels, économistes, juristes, historiens, journalistes et artistes s'y trouvent réunis, affirmant ainsi le caractère multidisciplinaire de l'Académie.

Tous offrent leur expertise pour faire avancer la connaissance dans les divers domaines de l'Air et de l'Espace.

Ses sections et commissions

Les travaux de l'Académie sont élaborés en priorité par des sections, chacune dans son activité propre, et par des commissions, en général transverses.

Les sections regroupent les membres titulaires par genre d'activité :

- | | |
|-------------|---|
| Section I | Connaissance scientifique de l'Air et de l'Espace ; |
| Section II | Science appliquée et technologie de l'Air et de l'Espace ; |
| Section III | Présence et activité humaines dans l'Air et l'Espace ; |
| Section IV | Morale, droit, sociologie et économie de l'Air et de l'Espace ; |
| Section V | Histoire, lettres et arts de l'Air et de l'Espace. |

Quelques commissions siègent de façon permanente, d'autres commissions ad hoc sont chargées d'étudier des problèmes spécifiques, intéressant éventuellement plusieurs sections simultanément, et de proposer des solutions.

Vie de l'Académie

L'Académie se réunit normalement cinq fois dans l'année dont, habituellement, trois fois à Toulouse, une fois à Paris et une fois en un autre haut lieu aéronautique ou spatial en France ou à l'étranger. Chaque séance est précédée d'un bureau chargé de préparer les thèmes à traiter en assemblée, et de s'occuper de l'ensemble des problèmes liés à la vie de l'Académie.

La dernière séance de l'année est une séance solennelle, se déroulant traditionnellement à la Salle des Illustres du Capitole de Toulouse, et au cours de laquelle l'Académie remet son Grand prix, ses médailles, son Prix de droit et économie du transport aérien et spatial et d'autres prix exceptionnels.

LISTE DES PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE

PUBLICATIONS LIST

Actes de colloques / *Conference proceedings*

- La sécurité aérienne, 1984
- Les enjeux de la stratosphère, 1985
- La sécurité aérienne, 1986
- La stabilité, 1987
- La sécurité aérienne et spatiale, 1988
- L'avenir du transport aérien à haute vitesse, 1989
- Gestion de la circulation aérienne, 1990
- Les apports de la conquête spatiale à l'humanité, 1991
- La corrélation, 1991
- La sécurité de l'aviation légère, 1992
- L'avenir de l'aviation de transport de fret, 1993
- Espace, aéronautique et environnement atmosphérique, 1994
- Le système transport aérien : intégration équipage et contrôleurs, 1994
- Aéroports du futur, 1995
- La mécanique, 1996
- Aspects juridiques et financiers de la sécurité aérienne, 1997
- Médias et sécurité dans le transport aérien, 1998
- Sécurité de la circulation aérienne : augmenter capacité et sécurité dans le trafic européen ?, 2000
- L'Europe et les débris spatiaux, CDRom, 2003
- Formation des ingénieurs ; aéronautique et Espace, CDRom, 2004
- Les apports de l'Espace dans le progrès de la connaissance et de la gestion humaniste de la planète, CDRom, 2004
- *Aircraft and ATM Automation*, CDRom, 2006
- Hélicoptères : missions et perspectives, CDRom, 2006
- *Air Transport and the Energy Challenge*, CDRom, 2007

Dossiers

Pour la liste des dossiers déjà parus, voir page 3 / *For a list of dossiers, please see page 3.*

Les Forums / *Forum collections*

- Vol. 1 : Relation homme-machine dans l'Aéronautique : juin 1996 - janvier 1998, 1998
- Vol. 2 : Relation homme-machine dans l'Espace : décembre 1996 - janvier 1998, 1999
- Vol. 3 : Intégration homme-systèmes dans l'Aéronautique : septembre 1998 - janvier 2003, CDRom, 2004

Ouvrages de culture aéronautique / *General works*

- Le Nouveau Dédale, de Jean-Jacques Rousseau, 1801, réédition 1987
- Les Progrès de l'aviation par le vol plané, de F. Ferber, 1907, réédition 1987
- La Vie de l'avion commercial, sous la direction de P. Vellas, 1990
- Au temps de Clément Ader, sous la direction de P. Lissarrague, 1994
- Espace, science et médecine, 1994
- Coopération internationale entre industries aéronautiques et spatiales / *International cooperation between aerospace industries*, 1995
- Lettre-préface par Robert Esnault-Pelterie à l'Histoire Comique ou Voyage dans la Lune de Cyrano de Bergerac, réédition 1997
- Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique et le climat, rapport en collaboration avec l'Académie des sciences, 1997
- Joseph Czinczenheim tel que nous l'avons connu. Témoignages, 1998
- Ciel des Hommes, anthologie, choix et présentation des textes par Lucien Robineau, le cherche midi éditeur, 1999
- Henri Ziegler : Hommages et témoignages, 1999
- Un système de positionnement "Galileo" ; un enjeu stratégique, scientifique, technique, 2003 / *A positioning system, Galileo: strategic, scientific and technical stakes* (2004)
- Dictionnaire historique des Français du Ciel, le cherche midi éditeur, 2005

Abonnement / *Subscription*

Un abonnement permet de recevoir toutes les publications de l'Académie, ainsi qu'une information sur ses activités (colloques, séminaires, séances publiques et autres manifestations), auxquelles on peut participer à des conditions préférentielles (s'adresser au secrétariat).

You can receive all the year's publications by subscription, as well as full information on our various activities. Please contact our secretarial staff for details.

Annexe 2: Liste des participants au groupe de travail Exploration

- Jörg Feustel-Büechl, Académie de l'Air et de l'Espace, président du groupe de travail Exploration
- Pierre Bescond, AAAF
- Gérard Brachet, vice-président de l'Académie de l'Air et de l'Espace et président de sa commission Espace
- Jean Broquet, Académie de l'Air et de l'Espace
- Silvano Casini, Académie de l'Air et de l'Espace
- Jean-François Clervoy, Novespace, Académie de l'Air et de l'Espace
- Marcello Coradini, ESA Programme scientifique
- Philippe Couillard, Académie de l'Air et de l'Espace
- Fredrik Engström, Académie de l'Air et de l'Espace
- Jean-Jacques Favier, CNES / Toulouse
- Berndt Feuerbacher, DLR / Bremen
- Philippe Henry, SAFRAN (SNECMA) Paris, AAAF
- Bernhard Hufenbach, ESA / HME
- Ralph Jaeger, Académie de l'Air et de l'Espace
- Jean Jamet, secrétaire général de l'AAAF
- Paul Kamoun, Thales Alenia Space Cannes
- Louis Laidet, président de la Commission internationale de l'AAAF
- Robert Lainé, EADS Astrium Paris, Académie de l'Air et de l'Espace
- Erick Lansard, Thales Alenia Space Toulouse, Académie de l'Air et de l'Espace
- Marius Le Fèvre, Académie de l'Air et de l'Espace
- Lennart Lübeck, Académie de l'Air et de l'Espace
- Anne-Marie Mainguy, Académie de l'Air et de l'Espace
- Horst Rauck, Gesellschaft von Freunden des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt
- Wolfgang Seboldt, DLR / Cologne
- Gunther Seibert
- Dietrich Vennemann, ESA / HME
- Jacques Villain, SAFRAN, Académie de l'Air et de l'Espace

*Imprimé par le Service Édition
École Nationale de l'Aviation Civile
7 avenue Édouard Belin - BP 54005
31055 TOULOUSE CEDEX 4*

cooperation with traditional partners, US, Japan, Canada, Russia, and new partners such as China and India. When defining the programme, Europe should therefore extensively evaluate cooperation possibilities with a view to enriching the European programme.

8) *A decision on the European Space Exploration Programme should be taken at the next ESA Ministerial Council, planned for late 2008.*

As in various countries space exploration activities are already ongoing, e.g. development of new human transport system in the US, Chinese and Japanese satellites in lunar orbit, it is high time for Europe to establish a coordinated European Space Exploration Programme and submit it for approval by the respective governments. A high-level coordination mechanism should be put in place in the near future in order to initiate and agree on a proposal to ministers, to be decided on at the next ESA Ministerial Council in late 2008. Such a decision should encompass an overall exploration strategy and the associated programmatic framework; initial precisely defined programme elements and a roadmap for future decisions should be agreed at this Ministerial Council in order to allow subsequent implementation.

L'Europe a mené avec brio récemment de nombreuses missions spatiales d'exploration – vers la Lune, Mars, Vénus, Titan – de façon autonome ou en collaboration avec d'autres puissances spatiales.

Avec l'annonce américaine : “Une vision pour l'exploration spatiale”, l'exploration robotique et humaine de la Lune, de Mars et des astéroïdes est à nouveau à l'ordre du jour. La Chine, l'Inde, la Russie et le Japon ont d'ores et déjà défini des stratégies et lancé des missions pour participer à cette activité mondiale d'exploration.

L'Europe doit décider prochainement comment elle souhaite participer à cet effort à la hauteur de son potentiel et de son expérience économiques, scientifiques et technologiques.

L'Académie de l'Air et de l'Espace a constitué un groupe de travail “Exploration spatiale”, comprenant des experts reconnus en matière de science, de technologie et de gestion de grands projets, dans le but d'analyser la situation mondiale et d'élaborer ses recommandations relatives à la place de l'Europe dans cette aventure.

Europe has carried out many space exploration missions – to the Moon, Mars, Venus and Titan – both on its own and in partnership with other spacefaring nations.

With the announcement of the US “Vision for Space Exploration”, robotic and human exploration of the Moon, Mars and asteroids is once again on the agenda. China, India, Russia and Japan have already established strategies and launched missions to participate in this worldwide exploration activity.

Europe must now decide how it wishes to participate in this enterprise in a manner commensurate with its economic, scientific and technological potential and experience.

The Air and Space Academy's Exploration Working Group, comprising recognised experts in science, engineering and project management, was commissioned to analyse the worldwide situation and elaborate these recommendations concerning Europe's possible role in this quest for new horizons.

ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Ancien Observatoire de Jolimont

BP 75825 - 31505 Toulouse cedex - France

Tel : +33 (0)5 34 25 03 80 - Fax : +33 (0)5 61 26 37 56

Email: anae@anae.fr - Internet: www.anae.fr