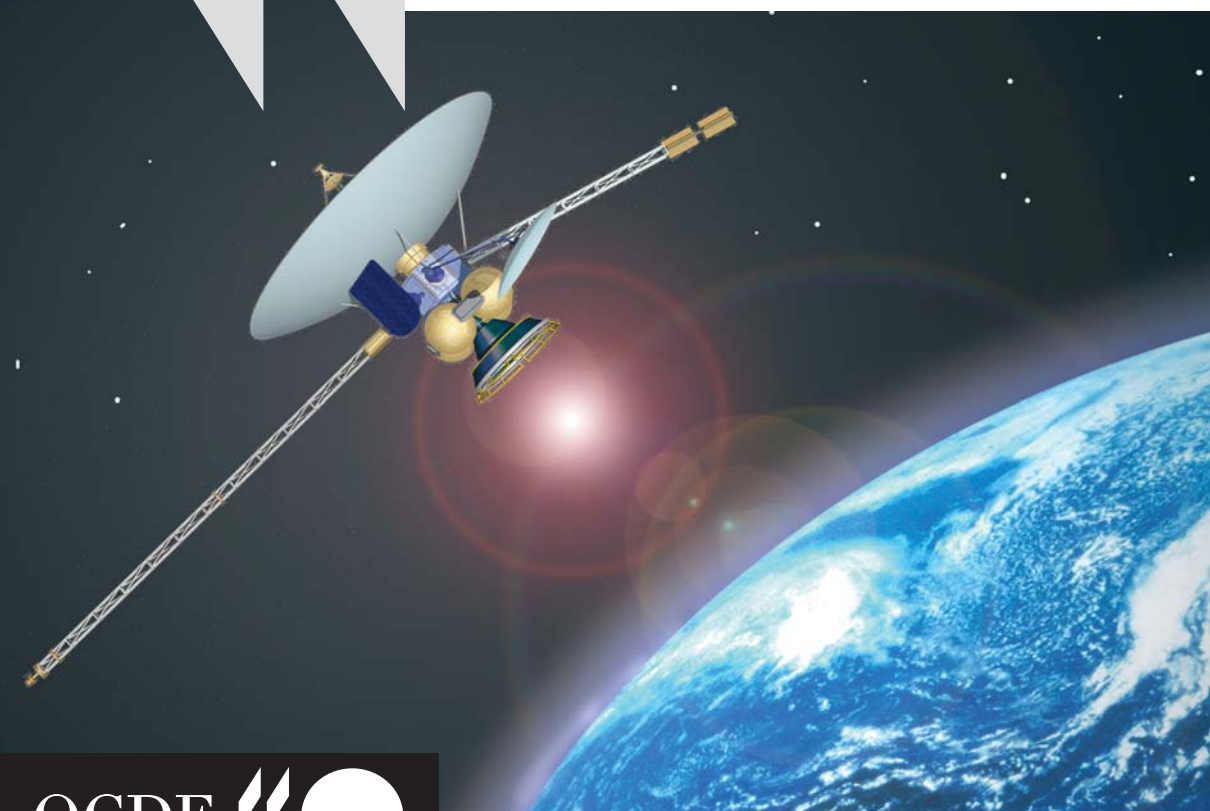


L'espace à l'horizon 2030

QUEL AVENIR POUR LES
APPLICATIONS SPATIALES ?



L'espace à l'horizon 2030

Quel avenir pour les applications spatiales ?



ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

Also available in English under the title:

Space 2030

Exploring the Future of Space Applications

© OCDE 2004

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France, tél. (33-1) 44 07 47 70, fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : www.copyright.com. Toute autre demande d'autorisation de reproduction ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

Avant-propos

Les décideurs d'aujourd'hui doivent opérer au sein d'un monde complexe et incertain dans lequel l'évaluation des tendances qui vont modeler notre avenir à long terme représente une difficulté majeure. C'est la raison pour laquelle en 1990 l'OCDE a créé son Programme sur l'avenir, afin d'aider les décideurs des secteurs public et privé à aborder les questions émergentes.

Les perspectives d'avenir du secteur spatial et ses contributions à l'économie et à la société dans son ensemble sont l'une des questions majeures sur lesquelles les pouvoirs publics doivent se pencher, en raison non seulement de l'importance stratégique de ce secteur mais aussi des difficultés auxquelles celui-ci doit faire face et des retombées que le développement d'applications spatiales commerciales et civiles pourrait procurer dans les décennies à venir.

De ce fait et après d'intenses consultations avec de grands acteurs du secteur spatial, l'OCDE a lancé en janvier 2003 un projet de prospective sur deux ans portant sur la commercialisation de l'espace et le développement de l'infrastructure spatiale, projet auquel ont participé 25 organisations publiques et privées.

Cet ouvrage peut être considéré comme un rapport d'étape. Il rend compte des travaux réalisés dans la première phase du projet. Le texte s'attache plus particulièrement à explorer l'évolution future du secteur spatial pour tenter d'identifier des applications spatiales pouvant être considérées comme prometteuses dans les décennies à venir. La préface expose la finalité et la portée du projet, et elle en présente succinctement les principales phases.

Michael Osborne

Directeur du Programme de l'OCDE sur l'avenir

Préface

Depuis l'aube de l'ère spatiale, des missions spectaculaires – lancement de Spoutnik en 1957, alunissage d'Apollo en 1969 et les premières images par la sonde Mars – Pathfinder en 1997 – ont excité l'imagination de milliards de personnes. Dans le même temps, des désastres comme la destruction de la navette spatiale Colombia faisaient les manchettes du monde entier, tandis que les dépassements de coût, les retards dans la réalisation des objectifs affichés et les promesses non remplies suscitaient des interrogations sur l'intérêt des programmes spatiaux, sur leur direction et, plus généralement, sur les avantages des entreprises spatiales pour l'ensemble de l'humanité.

Toutefois, l'espace n'est pas simplement une vitrine par laquelle les pays démontrent leur maîtrise technologique. Le déploiement de la technologie spatiale a contribué à faire progresser de façon considérable notre compréhension de l'univers dans lequel nous vivons et l'intérêt stratégique de la maîtrise de l'espace est de plus en plus reconnu. C'est d'ailleurs ce qui motive une bonne partie des efforts de développement du secteur spatial dans les grandes nations ayant une activité dans ce domaine. De plus, le développement d'applications civiles et commerciales a de plus en plus d'incidences sur les vies de centaines de millions de personnes. Des vies et des biens ont été sauvés grâce à l'utilisation de services météorologiques et d'urgence utilisant des satellites, des dizaines de millions de ménages dans le monde peuvent recevoir directement chez eux un large choix de programmes de télévision diffusés par satellite, qu'ils résident en zone urbaine, en zone rurale ou dans des régions isolées, et un nombre croissant d'entreprises et de particuliers utilisent des systèmes de positionnement et de navigation par satellite. Avec le développement d'une large gamme de technologies liées à l'espace dans les prochaines décennies, l'éventail des applications tant publiques que privées de l'espace civil va sans doute fortement augmenter. S'ils sont exploités dans de bonnes conditions, ces progrès pourront avoir une incidence majeure à l'échelle mondiale, que ce soit pour stimuler la croissance économique ou pour répondre à des besoins sociaux et environnementaux.

Il ne sera pas aisé de récolter toutes les retombées des futures innovations spatiales pour l'ensemble de la collectivité. Premièrement, les nations sont désormais de plus en plus nombreuses à marquer leur intérêt pour l'espace, pour des raisons aussi bien stratégiques que commerciales. Si

leurs efforts peuvent aider à promouvoir le développement de nouvelles applications, ils peuvent aussi conduire à une surcapacité chronique sur des segments clés du marché spatial (notamment le marché des services de lancement). Deuxièmement, bien que la technologie spatiale soit susceptible d'un grand nombre d'utilisations potentielles, il s'est révélé très difficile de développer des applications financièrement viables. En particulier, la transition d'activités sur fonds publics à des applications fondées dans une large mesure sur des ressources privées s'accompagne de multiples problèmes. Troisièmement, avec la multiplication des applications spatiales et l'augmentation du nombre des pays actifs dans l'espace, le besoin apparaît de plus en plus clairement, tant au niveau national qu'international, d'un environnement institutionnel et réglementaire qui prenne pleinement en compte l'expansion de la composante commerciale de ce secteur (par exemple en définissant des conditions d'égalité de concurrence pour tous) et qui accompagne pleinement son essor.

Cette situation amène un certain nombre de pays déjà actifs dans l'espace à réévaluer leur stratégie globale dans ce domaine. Beaucoup sont confrontés à des choix difficiles concernant le niveau global de l'effort qu'ils devraient consacrer aux activités spatiales, la façon dont cet effort devrait être réparti et le rôle que le secteur privé pourrait jouer.

Dans ce contexte, et après des consultations approfondies avec de grands acteurs du secteur spatial, l'OCDE a lancé officiellement en janvier 2003, dans le cadre de son Programme sur l'avenir, un projet de deux ans intitulé *La commercialisation de l'espace et le développement de l'infrastructure spatiale : rôle des acteurs publics et privés* (Projet espace). Il vise essentiellement à faire un bilan des enjeux et des possibilités auxquels sont confrontés les acteurs du secteur spatial, pour mieux comprendre les questions en jeu et les mesures qui pourraient contribuer à faire en sorte que le secteur spatial contribue pleinement au développement de l'économie et de la société dans son ensemble.

Plusieurs facteurs font de l'OCDE un lieu particulièrement adapté pour la réalisation de ce projet. Tout d'abord, beaucoup de pays de l'OCDE consacrent d'importantes ressources à des activités liées à l'espace. Deuxièmement, la plupart des acteurs clés, publics et privés, appartiennent à la zone de l'OCDE. Troisièmement, les applications spatiales intéresseront de plus en plus des domaines dans lesquels les gouvernements des pays de l'OCDE ont des responsabilités majeures, au-delà de leurs attributions traditionnelles dans les domaines militaire et scientifique (par exemple sécurité, environnement, éducation, santé, communication et transports). Enfin, beaucoup de questions de fond soulevées par le développement futur du secteur spatial (par exemple réglementation des marchés, politique industrielle et scientifique, gouvernance publique et privée) appartiennent clairement au champ de compétence de l'OCDE.

Le projet est conduit par une Équipe de projet au sein du Programme de l'OCDE sur l'avenir, qui est une unité multidisciplinaire prospective chargée d'alerter précocement le Secrétaire général et l'Organisation sur les questions émergentes, en cernant les grandes évolutions et en analysant les domaines de préoccupation clé à long terme, pour aider les gouvernements à définir leur stratégie.

Vingt-cinq organisations publiques et privées participent et contribuent financièrement au Projet espace. Un groupe de pilotage, présidé par Michael Osborne, directeur du Programme pour l'avenir, assure la direction générale de l'Équipe de projet. Le projet devrait être achevé en décembre 2004 et la publication du rapport final devrait intervenir en 2005. Il devrait :

- Proposer une évaluation originale, qui soit à la fois prospective et tournée vers l'action, des questions auxquelles doit faire face le secteur.
- Apporter une meilleure compréhension des approches qui pourraient être adoptées pour développer les applications spatiales prometteuses.
- Mieux sensibiliser les décideurs non spécialistes et la société dans son ensemble aux possibilités offertes par l'espace et aux enjeux auxquels doit faire face le secteur spatial.
- Contribuer à la formulation de possibles solutions que les gouvernements pourraient trouver utiles pour répondre à certains des principaux problèmes auxquels le secteur doit faire face.
- Promouvoir la coopération internationale entre les gouvernements des nations spatiales du monde entier.

Le projet se déroule en cinq phases principales. La phase 1 consiste en un examen de la situation actuelle du secteur spatial et une évaluation de son évolution future, de manière à disposer des éléments nécessaires pour la phase 2, consacrée au choix et au regroupement des applications prometteuses sur lesquelles va se focaliser le reste du projet. Dans la phase 3, on explore les modèles économiques qui pourraient être utilisés pour mettre en œuvre avec succès ces applications et dans la phase 4, on analyse les obstacles réglementaires, juridiques et institutionnels à cette mise en œuvre, et les mesures permettant d'améliorer les conditions cadres dans lesquelles s'inscrivent les activités spatiales. Les conclusions générales et recommandations issues de ces travaux seront élaborées au cours de la phase 5.

Une série de publications intérimaires et de documents de travail doit déboucher sur la préparation d'un rapport de synthèse final. Le présent ouvrage constitue le premier rapport d'étape. Il s'appuie sur les travaux réalisés par l'Équipe de projet au cours des phases 1 et 2. Il est consacré spécifiquement à une analyse de l'évolution future du secteur spatial ayant

pour objet d'identifier les applications spatiales qui pourraient se révéler prometteuses dans les prochaines décennies. À mesure que progresseront les travaux, d'autres rapports intérimaires sur les phases ultérieures du projet pourront être publiés.

Michel Andrieu est le principal auteur de la présente publication. Il était assisté de Claire Jolly et Marit Undseth. Pierre-Alain Schieb, initiateur et coordonnateur du projet, et Barrie Stevens, qui dirige la préparation de la série des rapports, ont fourni de précieux conseils, tandis que Manon Picard a assuré le soutien technique.

Les travaux du Secrétariat ont énormément bénéficié des contributions de fonds des membres du groupe de pilotage et notamment de l'Agence spatiale européenne. Ils ont également bénéficié de la contribution d'experts éminents du secteur (voir l'annexe C), dont certains documents sont diffusés en tant que documents de travail de l'OCDE, ainsi que des connaissances et des conseils de collègues de diverses directions et agences de l'OCDE, notamment de la Direction de la science, de la technologie et de l'industrie.

L'OCDE tient à remercier le Centre national d'études spatiales (CNES) pour son assistance éditoriale à cette version française de la publication, notamment en :

- vérifiant que la traduction française des termes techniques est fidèle à la version originale rédigée en anglais ;
- s'assurant de la conformité du vocabulaire technique retenu dans la traduction française.

Les changements apportés par le CNES sont de nature purement technique et ne modifie en rien le contenu du texte.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE.

Paris, février 2004

Table des matières

Résumé analytique	11
Introduction	23
Chapitre 1. La situation actuelle du secteur spatial	27
Chapitre 2. Élaboration des scénarios de synthèse	73
Annexe 2.A.1. La méthode des scénarios	93
Chapitre 3. Scénarios pour l'avenir du secteur spatial	99
Chapitre 4. Conséquences pour les applications spatiales	125
Annexe 4.A.1. Technologies habilitantes et technologies spatiales .	149
Remarques finales	173
Annexe A. Mesure de l'économie spatiale	177
Statistiques officielles du secteur spatial Indicateurs existants	181
Le secteur spatial dans les indicateurs statistiques privés	207
Annexe B. Principaux facteurs et tendances	225
Annexe C. Experts contributeurs	250
Annexe D. Membres du groupe directeur	251
Bibliographie	255
Acronymes	261

ISBN 92-64-02033-0

L'espace à l'horizon 2030

Quel avenir pour les applications spatiales ?

© OCDE 2004

Résumé analytique

A l'issue de consultations approfondies menées en 2002 avec les principaux intervenants du secteur spatial, le Programme de l'OCDE sur l'avenir (IFP) a officiellement lancé, en janvier 2003, un projet de deux ans pour étudier l'avenir de ce secteur sur les vingt à trente prochaines années, l'objectif étant de définir comment les pays de l'OCDE pourraient retirer des applications spatiales, civiles et commerciales, des avantages qui profiteraient à l'ensemble de la société.

Ce premier rapport intérimaire décrit les phases liminaires du projet. Il fait d'abord le point sur la situation actuelle du secteur et sur les obstacles institutionnels, juridiques et réglementaires à son développement, recensés par divers spécialistes dans ce domaine. Cet examen sert de fondement à l'analyse prospective présentée dans les chapitres suivants. Une approche fondée sur l'élaboration de scénarios a été retenue pour examiner l'évolution future des grandes branches du secteur spatial et pour inventorier les applications éventuellement « prometteuses », c'est-à-dire réalisables sur le plan technique et susceptibles de créer une valeur sociale nette substantielle dans le secteur public ou privé.

Situation actuelle du secteur spatial

La commercialisation de l'espace

Au début de l'ère spatiale, le secteur public a joué un rôle dominant puisque l'État était le seul client de produits et de services spatiaux. L'acquisition d'actifs spatiaux était motivée par des questions de stratégie et de prestige et visait à l'accomplissement d'objectifs civils (le développement du savoir scientifique par exemple). Étant donné les défis technologiques colossaux que présentait la mise au point d'applications spatiales, il aurait été déraisonnable d'attendre des sociétés privées qu'elles mènent leurs propres recherches dans ce domaine.

Malgré les obstacles, le secteur privé n'a pas tardé à manifester son intérêt pour l'espace, mais c'est seulement dans les années 80 que les opérations spatiales à caractère commercial ont véritablement commencé. Les activités publiques ont permis à l'industrie spatiale de procéder à des transferts technologiques d'applications publiques (civiles et militaires) à des produits commerciaux, mouvement qui s'est accéléré dans les années 90. La

réduction des budgets publics consacrés à l'espace à la fin de la guerre froide a obligé les sociétés privées à trouver des débouchés commerciaux à l'expertise acquise dans le cadre de marchés publics, et à compenser la perte de contrats publics par le développement des ventes privées. Avec la privatisation et la libéralisation des marchés de services, l'exploitation commerciale est devenue plus intéressante, ce qui a amené la restructuration et la concentration du secteur spatial. C'est pourquoi seules quelques entreprises occupent aujourd'hui les segments stratégiques du secteur. Par suite de cette évolution, la part des activités spatiales commerciales a régulièrement progressé partout dans le monde : en 2000, elle était de 65 % aux États-Unis, de 50 % en Europe et de 30 % au Japon.

Situation actuelle du secteur spatial

Après une phase d'expansion rapide dans les années 90, l'industrie spatiale se remet aujourd'hui lentement de l'éclatement de la bulle Internet et de « l'effondrement du marché des LEO », c'est-à-dire de l'échec des grandes constellations de satellites à orbite basse (LEO – « low Earth orbit ») pour les télécommunications mobiles, comme Iridium, qui n'ont pas répondu aux attentes de leurs investisseurs. Le secteur amont (fabricants de lanceurs et de satellites et prestataires de services de lancement), notamment, a été durement atteint au début des années 2000. Les entreprises en aval (prestataires de produits et de services spatiaux, en particulier les services de télécommunications, de localisation et de navigation et les services d'observation de la Terre) ont mieux tiré leur épingle du jeu.

Lente reprise en amont. En 2003, le marché des opérations de lancement est resté déprimé pour la troisième année consécutive. Mis à part le lancement de la navette Columbia, qui s'est désintégrée lors de sa rentrée dans l'atmosphère, 62 lancements ont été effectués dans le monde, autant qu'en 2002. Les fabricants de satellites ont connu des problèmes analogues, aggravés par l'amélioration substantielle de la durée de vie et de la capacité des satellites, qui a diminué les besoins en nouveaux satellites. Le secteur satellitaire a particulièrement souffert en 2001, année où 75 satellites seulement ont été lancés, soit le nombre le plus bas de la décennie écoulée, en chute de 32 % par rapport à l'année précédente. L'année 2002 a vu le lancement d'à peine plus de 80 satellites et en 2003, seulement 69 engins ont été mis en orbite (à titre de comparaison, 150 satellites avaient été lancés en 1998). Selon Euroconsult, 19 satellites commerciaux seulement ont été commandés en 2003, pour un montant total estimé à USD 2.1 milliards.

Il semblerait toutefois que le pire soit derrière nous. Arianespace, par exemple, a renoué avec la rentabilité en 2003, en réduisant ses coûts et en évitant les contrats déficitaires. Des signes de reprise sont également

observables à la division Espace de la société European Aeronautic Defence and Space (EADS Espace), le plus grand fabricant de matériel spatial européen, qui a procédé à une restructuration (dont des licenciements massifs à EADS Astrium) pour réduire ses coûts, et a enregistré plus de EUR 600 millions de commandes de satellites de télécommunications et scientifiques en 2003. Des restructurations de même nature ont eu lieu de l'autre côté de l'Atlantique.

Le secteur du lancement et de la construction de satellites devrait à l'avenir rester lourdement tributaire des contrats publics. Le Teal Group estime que près des trois quarts des 1 174 satellites censés être lancés au cours des dix prochaines années seront construits sur fonds publics. Au cours de la même période, 324 satellites commerciaux seulement devraient entrer en service, dont la plupart seront lancés dans la deuxième moitié de la décennie. Le marché militaire sera probablement un moteur essentiel de la reprise. En effet, les contrats militaires offrent un travail lucratif de longue durée à des entreprises qui voient leurs opérations commerciales périlcliter. Les bénéficiaires les plus directs devraient en être les grands fournisseurs américains d'équipement spatial militaire, les États-Unis représentant 95 % des dépenses mondiales dans ce secteur.

Croissance inégale en aval. La situation est un peu plus encourageante en aval, malgré une croissance inégale. Le chiffre d'affaires des 36 opérateurs de satellites de télécommunications qui constituent le secteur des services de télécommunications fixes par satellite, l'activité la plus développée en aval, est resté stable en 2003, à USD 6.15 milliards. Ces services représentent 95 % du chiffre d'affaires total des télécommunications par satellite. Si ces opérateurs ne se sont pas encore complètement remis de l'éclatement de la bulle des entreprises « point-com », ils ont néanmoins tiré profit du développement rapide de leurs principaux clients, les prestataires de services de radiodiffusion directe (DBS), qui leur apportent les deux tiers de leur chiffre d'affaires. En effet, le secteur mondial du DBS a enregistré une progression foudroyante, son chiffre d'affaires étant passé de USD 1.5 milliard en 1995 à 22.5 milliards en 2001, année où plus de 54 plateformes de diffusion directe à domicile ont distribué plus de 5 000 chaînes de télévision à plus de 45 millions d'abonnés dans le monde. En 2003, le chiffre d'affaires des 54 sociétés qui forment ce secteur a atteint USD 33 milliards, en augmentation de 27 % par rapport à l'année précédente. La radiodiffusion directe par satellite vers des véhicules en déplacement est aussi bien accueillie sur le marché nord-américain, quoique à moindre échelle (1.3 million d'abonnés à la fin de 2003). L'accès haut débit par satellite est une nouvelle application susceptible d'offrir un moyen efficace de satisfaire aux besoins des usagers résidant dans les régions rurales et reculées dans les prochaines années.

Un autre segment du marché, les services de localisation et de navigation par satellite, connaît une expansion rapide, bien qu'un seul système – le système

mondial de radiorepérage américain (GPS) – soit pleinement opérationnel aujourd’hui dans la zone de l’OCDE. Le GPS a déjà créé un marché substantiel en aval, estimé à quelque USD 10.6 milliards en 2001 pour le matériel et les services à valeur ajoutée. Il pourrait atteindre 41 milliards à l’horizon 2010 étant donné l’intégration de puces GPS à des produits toujours plus nombreux. L’arrivée du système Galileo, dans la deuxième moitié de la décennie, devrait encore alimenter la croissance de ce marché. Des prévisions optimistes tablent même sur 2.5 milliards d’utilisateurs de systèmes de navigation en 2020.

Le secteur de l’observation de la Terre, troisième composante du segment aval, est beaucoup plus étroit et connaît des difficultés. L’observation du globe terrestre est certes l’une des plus anciennes applications satellitaires, mais les satellites commerciaux d’observation sont encore relativement nouveaux. Le secteur n’a pu commencer à se développer que lorsque les restrictions pesant sur les technologies d’imagerie satellite ont été assouplies à la fin de la guerre froide. Malgré les progrès techniques considérables accomplis ces dernières années, les perspectives économiques de ces satellites sur un marché très concurrentiel demeurent incertaines. En 2003, les ventes du secteur de la télédétection commerciale, segments aérien et satellitaire compris, ont été estimées à USD 2.6 milliards, le segment satellitaire représentant environ un tiers du total. En 2010, les ventes pourraient atteindre 6 milliards, dont 2 milliards pour ce segment.

Marchés spatiaux publics

Si la demande commerciale de produits et services spatiaux a pris de l’ampleur au fil des ans, les marchés publics conservent une importance de premier plan pour l’industrie spatiale. Par suite du fléchissement de l’activité commerciale depuis 2000, ils ont en fait retrouvé une place prépondérante. En 2001, les budgets publics mondiaux consacrés aux activités spatiales étaient estimés à USD 38 milliards environ ; ils ont atteint 43 milliards en 2003, et pourraient dépasser 50 milliards en 2010. En 2003, quelque 57 % des ressources spatiales publiques étaient consacrées aux applications civiles (USD 24.3 milliards), les 43 % restants (18.5 milliards) étant alloués aux programmes spatiaux militaires. À la fin de la décennie, les budgets spatiaux militaires pourraient rattraper ceux des programmes civils pour la première fois depuis la fin de la guerre froide.

L’augmentation et la réorientation escomptées des budgets spatiaux publics américains revêtent une importance particulière pour l’avenir du secteur. Le budget spatial militaire des États-Unis devrait passer de USD 17.5 milliards en 2003 à un montant estimé à 25 milliards en 2010, soit une hausse de 40 %. Dans le cadre du nouveau programme d’exploration spatiale du président Bush, annoncé le 14 janvier 2004, le budget de la NASA

devrait également progresser, mais moins vite (5 % par an au cours des cinq prochaines années); il pourrait atteindre 18 milliards en 2010 (16 milliards en 2004). Parallèlement, on procédera probablement à une réallocation substantielle des crédits – de la navette spatiale (dont le retrait de service est prévu en 2010) et de la station spatiale internationale (qui doit être terminée en 2016) aux missions d'exploration et à la mise au point d'un engin d'exploration habité. Le budget spatial européen consolidé, plus modeste (EUR 5 milliards ou USD 6.2 milliards en 2003) devrait également s'étoffer, quoique plus lentement, et atteindre un montant de USD 8 milliards en 2010. Une hausse rapide des budgets publics spatiaux des grandes nations spatiales asiatiques, la Chine et l'Inde notamment, est également prévue mais à partir de montants nettement inférieurs.

Ces tendances sont favorables à l'industrie spatiale puisque 70 % des budgets publics spatiaux environ sont alloués, sous une forme ou une autre, à des contrats avec des entreprises privées. Une autre évolution notable ces dernières années est le poids grandissant du capital privé dans le financement de programmes publics pour lesquels les organismes publics ne disposent que d'une marge de manœuvre étroite. Ces capitaux donnent aux administrations la souplesse financière nécessaire à l'élaboration de programmes d'une envergure qui serait inconcevable avec les seuls fonds publics. Sept projets spatiaux ont déjà été engagés dans le cadre de partenariats public-privé (PPP); six sont réalisés en Europe (dont Galileo), le plus coûteux à ce jour étant de EUR 3.2 milliards (hors coûts d'exploitation).

Obstacles structurels à la croissance future

Selon bon nombre d'experts, outre les difficultés technologiques et économiques, l'industrie spatiale se heurte à divers obstacles d'ordre institutionnel, juridique et réglementaire qui freinent son développement et risquent même de mettre en péril l'existence de certaines entreprises, y compris les plus grandes. Les principaux obstacles recensés sont les suivants :

- **Restrictions à l'entrée sur le marché** : malgré la libéralisation résultant de l'Accord sur les services de télécommunications de base de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), en 1997, le processus de libéralisation demeure inachevé.
- **Politique relative aux marchés publics** : si le secteur public offre au secteur spatial son principal débouché, les pouvoirs publics ne sont pas toujours pour lui des clients et partenaires fiables et prévisibles.
- **Contrôles sur les exportations et restrictions aux investissements** : ces restrictions créent des incertitudes, entraînent la perte de marchés et empêchent la restructuration fructueuse du secteur.

- **Problèmes d'allocation du spectre** : malgré les efforts de l'Union internationale des télécommunications (UIT), les questions d'attribution et d'utilisation des fréquences, ainsi que l'atténuation du brouillage, deviennent de plus en plus problématiques.
- **Obstacles à la mise au point de nouvelles applications** : les États ne prêtent pas suffisamment d'intérêt au développement commercial de l'espace, mais leur comportement revêt une importance cruciale compte tenu des risques techniques et commerciaux gigantesques auxquels les entreprises privées sont confrontées.
- **Obstacles juridiques et réglementaires** : parce que les principes fondamentaux du droit international ont été établis dans le cadre du droit public, leur application au monde des affaires doit faire une place importante à l'interprétation, ce qui constitue une source d'incertitudes pour le secteur. Par ailleurs, la diversité des réglementations fragmente les marchés, augmente les frais et freine inopportunément le déploiement des applications.

Examen de l'avenir du secteur spatial

Approche générale

Étant donné la perspective de long terme adoptée dans l'étude, la méthode suivie pour analyser la demande est fondée sur l'établissement de scénarios et s'inspire largement d'une méthode mise au point par la Rand Corporation; elle s'articule de la façon suivante : i) élaboration de scénarios appropriés qui présentent des visions différentes de l'évolution future de la planète; ii) esquisse des conséquences de chaque scénario d'un point de vue politique, économique, social, énergétique, écologique et technologique; iii) définition des implications pour l'évolution future des principales composantes du secteur spatial et pour la demande de certaines applications.

Quatre grandes forces ont été prises en considération pour bâtir les scénarios : les événements géopolitiques, les évolutions socioéconomiques, les tendances liées à l'énergie et à l'environnement et les innovations technologiques. Ces éléments ont été retenus en raison de leur importance pour l'évolution future des événements planétaires et pour le secteur spatial.

Des experts indépendants ont été invités à rédiger pour chacun de ces domaines des documents de travail contenant une évaluation de l'évolution future du monde à partir de scénarios. Il leur a été demandé d'en définir les conséquences pour le secteur spatial et d'en dégager les implications pour le développement ultérieur des applications spatiales.

Ces travaux de référence constituent le fondement de l'analyse présentée ici. Dans un premier temps, trois scénarios de synthèse ont été élaborés à partir des scénarios mis au point par les experts dans chaque domaine. On en a ensuite étudié les implications pour l'évolution des trois grandes composantes du secteur spatial (espace militaire, commercial et civil) et identifié des applications spatiales éventuellement « prometteuses ».

Les scénarios de synthèse

Les trois scénarios de synthèse élaborés à partir des rapports de référence se présentent comme suit : *mer calme* (plutôt optimiste), *retour vers le futur* (intermédiaire) et *avis de tempête* (plutôt pessimiste).

Scénario n° 1 : Mer calme. Ce scénario imagine un ordre mondial global sous l'autorité bienveillante des organisations internationales, où les marchés libres et la démocratie deviennent progressivement le modèle universel acceptable des institutions nationales. Le développement du commerce mondial et l'internationalisation de la production en sont les moteurs essentiels. D'autres tendances notables sont les progrès en matière de transport et de communications et l'intérêt croissant pour les questions d'ordre planétaire. Dans une conjoncture économique favorable, la coopération entre nations apporte une contribution efficace à la résolution des problèmes mondiaux, notamment en termes de réduction de la pauvreté. Même dans ce scénario, tout ne va cependant pas pour le mieux. Plusieurs groupes, qui se sentent tenus à l'écart ou s'opposent à l'ordre en place pour des motifs idéologiques, résistent à ce qu'ils estiment être une « occidentalisation » du monde. Le crime organisé continue de sévir, tirant parti de l'ouverture planétaire. Ces deux groupes ont accès à des armes de destruction massive et les utilisent pour exercer un chantage sur les États les plus vulnérables. Qui plus est, la dégradation de l'environnement se poursuit – mais à moindre échelle que dans les autres scénarios – malgré les efforts visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. À cet égard, l'Union européenne se lance dans l'élaboration d'un accord contraignant post-Kyoto qui ouvre la voie à la stabilisation des émissions vers la fin de la période considérée.

Scénario 2 : « Retour vers le futur ». Ici, trois grandes puissances économiques dominant le monde : les États-Unis, l'Europe et la Chine. Les États-Unis conservent un certain temps leur position dominante, mais perdent progressivement du terrain étant donné la relative médiocrité de leurs performances économiques. Cette place leur est contestée par la Chine, une puissance en pleine expansion et de plus en plus sûre d'elle, qui rejette les valeurs occidentales et souhaite retrouver, avec l'aide de la diaspora chinoise, son statut historique « d'empire du Milieu », dans lequel elle voit sa juste place. La Russie lui apporte un soutien considérable, les critiques de l'Occident

ayant également suscité l'hostilité des autorités russes. L'Europe demeure un géant économique, mais elle est introvertie et ses institutions restent déficientes; l'élargissement de l'UE à 25 pays membres a considérablement freiné les efforts d'intégration. Face à la coalition dynamique de la Chine et de la Russie, elle choisit de consolider ses liens avec les États-Unis et de coordonner ses forces armées, ce qui conduit graduellement à un monde bipolaire, où la rivalité entre les deux blocs domine l'ordre du jour politique dans toutes les grandes sphères d'activité. Les tensions concernant l'accès aux sources d'énergie et à d'autres ressources sont particulièrement fortes, la Chine devenant un importateur de première importance d'énergie et de nourriture.

Scénario 3 : Avis de tempête. De graves dissensions entre les grandes puissances entraînent un affaiblissement graduel des institutions internationales. Suite aux vives critiques qu'ont suscitées leurs interventions sur la scène internationale, les États-Unis mènent une politique de plus en plus isolationniste, se retirent de toute action militaire non justifiée par une menace à leurs intérêts vitaux et décident de déployer un système de défense anti-balistique pour protéger leur territoire contre des attaques balistiques limitées. Les conflits ethniques se multiplient, provoquant ainsi des migrations massives et une aggravation du terrorisme. Un nombre grandissant de pays acquièrent une capacité nucléaire, augmentant ainsi les risques de conflits dévastateurs à l'échelon régional, notamment en Asie et au Moyen-Orient. La situation économique se dégrade, tous les pays rétablissant des politiques protectionnistes. Les problèmes sociaux et écologiques croissants sont en grande partie négligés, car la coopération internationale fait place à un bilatéralisme entièrement motivé par des considérations de *realpolitik* à court terme.

L'élaboration de scénarios est, bien entendu, quelque peu arbitraire. D'autres possibilités auraient pu être envisagées : l'émergence d'une Europe fédérale forte, s'imposant à la première place dans plusieurs domaines stratégiques, ou un renforcement de la coopération entre l'Europe, la Russie et la Chine pour contrebalancer la domination des États-Unis. Les scénarios constituent, dans le meilleur des cas, des perspectives possibles plutôt que probables. Ils ont pour principal intérêt de mettre en lumière les implications que peuvent avoir les différentes hypothèses sur l'avenir du domaine concerné (ici, celui du secteur spatial).

Implications pour le secteur spatial

Les trois scénarios de synthèse présentés ici offrent des visions très différentes de l'avenir, qui vont de l'optimisme du scénario 1, où d'immenses progrès sont accomplis pour améliorer la condition humaine dans le cadre

d'une coopération internationale, au sombre tableau brossé au scénario 3, où le monde est pris dans un cercle vicieux de violence et où la plupart des grands problèmes auxquels l'humanité est confrontée aujourd'hui (conflits, pauvreté, malnutrition, maladies, dégradation de l'environnement) s'aggravent. Pourtant, le scénario optimiste lui-même comporte des éléments négatifs, avec la montée en puissance d'acteurs non étatiques toujours plus à même de recourir aux armes à effet de masse pour défendre leur cause, quelle qu'elle soit.

Malgré leurs différences, ces scénarios présentent quelques aspects communs en ce qui concerne leurs retombées sur le secteur spatial.

L'espace militaire occupe une place importante dans les trois scénarios, mais à des degrés divers. Même dans le monde relativement pacifique du premier, la sécurité figure au premier rang des préoccupations et plusieurs pays s'emploient à renforcer leur capacité spatiale militaire. La demande d'équipements militaires et spatiaux à double usage est donc forte, et les budgets de R-D dans ces domaines augmentent substantiellement en dehors des États-Unis.

Le poids de l'espace civil varie également d'un scénario à l'autre, mais reste substantiel dans tous les cas, pour des raisons néanmoins différentes. Dans le premier, il contribue à affermir la coopération internationale afin de résoudre les problèmes planétaires (éducation, santé, environnement). Dans le deuxième, des projets de prestige et l'ambition de renforcer leur pouvoir de persuasion conduisent les pays à engager des programmes spectaculaires vers la Lune ou vers Mars. L'espace est également utilisé pour résoudre les problèmes mondiaux, mais de façon moins coordonnée, plus fragmentée et moins efficace. Même dans le scénario 3, les perspectives ne sont pas si sombres pour l'espace civil, bien que le montant des ressources qui lui sont consacrées soit parfois assez modique : comme dans les autres scénarios, la mise au point de technologies à usage dual est prioritaire, le prestige et le pouvoir de persuasion jouant aussi un rôle moteur. Son application aux problèmes mondiaux est plus fragmentée que dans le deuxième scénario, mais peut être encouragée si l'industrie est capable de prouver que des solutions spatiales apporteraient des économies substantielles à des États à court d'argent.

L'espace commercial varie beaucoup plus selon les scénarios. Il prospère dans le premier, conserve une place de premier plan dans le deuxième, mais il est fortement limité dans le troisième. Cela dit, le plus favorable pour les entreprises spatiales européennes et américaines est peut-être le deuxième étant donné la protection qu'il offre contre la concurrence des entreprises non occidentales. Dans les trois cas, l'espace commercial tire profit des budgets alloués à l'espace militaire.

Identification des applications spatiales prometteuses

L'approche adoptée pour identifier les applications spatiales prometteuses est essentiellement de nature qualitative. Elle consiste dans un premier temps à analyser les implications des différents scénarios sur la demande potentielle d'applications spatiales et, ensuite, à examiner la situation sur le plan de l'offre afin d'évaluer les possibilités de répondre à cette demande. À partir de cet « examen objectif », une liste d'applications « prometteuses » est dressée, à savoir les applications susceptibles de faire l'objet d'une demande et d'être techniquement réalisables au cours des prochaines années. La notion de demande est vaste. Elle recouvre la demande privée, ou « commerciale », et la demande civile. Par ailleurs, la demande militaire future est également prise en considération dans la mesure où, comme par le passé, les transferts de technologie du secteur militaire pourraient avoir une influence notable sur la faisabilité des applications civiles dans les prochaines décennies. Enfin, l'analyse tient aussi compte de l'existence éventuelle de solutions terrestres susceptibles de concurrencer les applications spatiales sur les mêmes marchés.

Cinq secteurs d'application sont pris en considération : les télécommunications, l'observation de la Terre, la localisation et la navigation, le tourisme et l'aventure, et la production spatiale (fabrication et services en orbite).

Télécommunications : dans les trois scénarios, une forte demande de services de télécommunications est prévue au cours de la période concernée. Le poids relatif des diverses composantes (militaire, civile, commerciale) varie toutefois. Le rôle assez considérable de l'espace civil et commercial dans le premier scénario permet d'apporter des solutions spatiales aux problèmes sociaux et de combler le fossé numérique. En revanche, c'est la demande de services de télécommunications militaires qui tend à dominer dans le troisième scénario. Dans le deuxième, les différentes composantes sont plus équilibrées. Les applications les plus prometteuses dans ce domaine pourraient être la télémédecine, le téléenseignement, le commerce électronique et le divertissement multimédia.

Observation de la Terre : la demande de services d'observation de la Terre devrait progresser dans les trois scénarios, le dosage des différentes composantes étant inégal. Comme dans le cas des services de télécommunications, la demande militaire sera vraisemblablement plus forte dans les deuxième et troisième scénarios que dans le premier, où la demande civile et commerciale devrait dominer. Les applications visant à renforcer la sécurité nationale (y compris des mesures pour faire face aux catastrophes naturelles et artificielles et aux conditions climatiques extrêmes) devraient occuper une place de premier plan dans les trois cas.

Localisation et navigation : dans les trois scénarios, la demande potentielle de services de localisation et de navigation est forte. Là encore, sa composition peut varier, et la demande militaire dominera probablement dans les deuxième et troisième cas, la demande commerciale dans le premier. Le déploiement plus rapide de l'infrastructure dans le scénario n° 1 pourrait susciter une demande dérivée substantielle de services de localisation par satellite de la part de l'industrie du bâtiment et des urbanistes. De la même façon, l'augmentation prévue de la circulation devrait entraîner une croissance sensible de la demande de services de navigation et de localisation.

Tourisme/aventure dans l'espace : il s'agit d'emmener, à titre onéreux, des clients en vol orbital ou sub-orbital. Le tourisme est l'un des secteurs d'activité les plus vastes et les plus dynamiques dans le monde, et il se pourrait que l'espace soit la prochaine destination de choix pour le touriste en quête d'aventures. Mais l'essor du tourisme spatial dépend pour une grande part des progrès technologiques (surtout en termes de coût et de sécurité des voyages dans l'espace) et de la conjoncture économique. Il ne connaît donc un développement complet que dans le cadre du premier scénario. Dans les scénarios 2 et 3, un climat de méfiance généralisée et la nature duale des lanceurs limitent considérablement son potentiel commercial.

Production dans l'espace : ce domaine recouvre les services en orbite, la fabrication en orbite (essais et fabrication de produits pharmaceutiques et de nouveaux alliages en microgravité), la production d'énergie spatiale (mise au point de systèmes d'énergie solaire spatiaux pour approvisionner la Terre en énergie depuis l'espace) et exploitation minière extraterrestre (sur la Lune par exemple). Les perspectives dans ce domaine reposent en grande partie sur la baisse des coûts d'accès à l'espace et sur un climat propice à l'entreprise privée dans l'espace. La demande portant sur la plupart de ces activités est modérée dans les trois scénarios, sauf en ce qui concerne les satellites de relais d'énergie. En effet, elle pourrait être assez élevée dans le deuxième scénario car la possibilité de transmettre de l'énergie via l'espace permettrait de sécuriser l'approvisionnement énergétique.

Sur le plan de la faisabilité technique, plusieurs des applications jugées prometteuses devraient encore gagner en intérêt en termes de coûts et de services fournis, même si certaines risquent de se trouver confrontées à une concurrence plus vive des applications terrestres. Cela est surtout le cas des services d'information comme les télécommunications, l'observation de la Terre et les services de localisation, qui ne seront guère atteints par l'évolution des coûts d'accès à l'espace. Par contre, la faisabilité technique du tourisme spatial, des services en orbite et des satellites de relais d'énergie est plus incertaine, car elle dépendra au premier chef de l'évolution ultérieure du coût de cet accès.

Introduction

Le présent rapport examine la situation actuelle du secteur spatial et étudie son évolution au cours des vingt à trente prochaines années, afin d'identifier des applications « prometteuses » dans ce domaine. L'analyse part du principe que la situation mondiale dans laquelle le secteur évoluera sera en grande partie déterminée par certaines des forces qui l'ont jusque lors influencé lui ainsi que les événements planétaires et qui devraient continuer de le faire, à savoir les évolutions géopolitiques, socioéconomiques et technologiques. Par ailleurs, de nouvelles préoccupations ayant trait, pour l'essentiel, à l'énergie et à l'environnement devraient également jouer un rôle décisif.

À première vue, toute tentative d'imaginer l'avenir du secteur spatial paraît impossible. Il est vrai que les péripéties et les tragédies de ces dernières années conduiraient à juger une telle demande comme étant fondamentalement vouée à l'échec. Il est cependant tout aussi clair que l'on ne peut aujourd'hui prendre de décision stratégique sans chercher à appréhender le contexte dans lequel ses conséquences devraient être ressenties. Il serait par exemple complètement irrationnel de construire une nouvelle voiture, un nouvel avion ou un nouveau lanceur sans avoir une idée assez précise de son utilisation potentielle et des flux de revenus qu'il/elle pourrait créer.

Pour aborder ce problème, auxquels se heurtent chaque jour les décideurs du monde entier, il est utile de procéder à un examen approfondi du passé. Avec le recul, on constate souvent que des événements qui ont pris tout le monde de court à l'époque où ils ont eu lieu auraient en fait pu être anticipés si l'on avait prêté davantage attention aux tendances de fond et aux facteurs qui les ont déterminés. Certains peuvent être des « surprises inévitables », autrement dit des forces ou tendances qui sont « inévitables » parce qu'elles existent déjà et sont assez dynamiques pour se déployer inexorablement sur une durée considérable. Or, bien qu'inévitables, ces tendances recèlent parfois d'innombrables surprises. En effet, si les événements fondamentaux sont en grande partie prédéterminés, il n'en va pas de même du moment où ils se produisent, de leurs résultats et de leurs conséquences (on trouvera des informations détaillées sur les surprises inévitables dans Schwartz, 2003).

Un examen du passé livre de nombreux exemples de « surprises inévitables ». Il aurait par exemple dû apparaître clairement à la plupart des experts, dans les années 70, que l'Union soviétique était engagée dans une voie sans issue et s'effondrerait tôt ou tard. Nul n'aurait cependant pu prévoir quand ou comment. Le vieillissement de la population offre aujourd'hui un cas intéressant de surprise inévitable à venir. Nous savons ainsi qu'il va bouleverser la composition par âge de la population de nombreux pays de l'OCDE dans les prochaines décennies. La hausse prononcée des ratios retraités/actifs qui en résultera se traduira par d'énormes pressions sur les régimes de protection sociale. Nous ne savons toutefois pas comment l'inquiétude du public pour ce problème va évoluer, quelles mesures les pouvoirs publics seront enclins à prendre pour y remédier et quelles seront les retombées éventuelles sur l'économie et l'ensemble de la société.

C'est là que l'élaboration de scénarios entre en jeu. En partant d'hypothèses pertinentes quant aux principaux éléments d'incertitude qui influenceront les événements futurs, il est possible de formuler différentes visions de l'avenir, c'est-à-dire d'imaginer que certaines tendances ou facteurs interviendront différemment. Chaque scénario représente un point sur la carte des avenir possibles. Il constitue dans le meilleur des cas un futur éventuel plutôt que probable. Conjointement, ces scénarios peuvent néanmoins donner des indications utiles sur les mesures qu'il convient d'adopter, aujourd'hui et demain, pour infléchir le cours des événements vers une issue plus avantageuse et/ou pour élaborer les plans d'intervention appropriés. Dans le cas du vieillissement démographique, par exemple, les autorités pourraient améliorer les perspectives en engageant dès maintenant une réforme des régimes de retraite. Les particuliers peuvent garantir leur niveau de vie futur en commençant aujourd'hui à épargner pour leur retraite.

Le premier chapitre du rapport analyse la situation actuelle dans le secteur spatial et examine quelques-uns des principaux problèmes auxquels sont confrontés ses acteurs aujourd'hui, jetant ainsi les bases de l'analyse prospective présentée dans les chapitres suivants. On trouvera des détails complémentaires à l'annexe A, qui réunit des estimations officielles et officieuses concernant ce secteur et ses retombées sur l'économie. Le chapitre 2 explique comment les scénarios utilisés pour étudier l'évolution ultérieure du secteur ont été élaborés à partir d'un examen des forces qui détermineront le futur environnement spatial. Comme indiqué plus haut, il s'agit des évolutions géopolitiques et socioéconomiques, des tendances liées à l'énergie et à l'environnement physique, et des innovations technologiques. Le chapitre 3 développe les scénarios brièvement décrits au chapitre 2 et en dégage les implications pour les grandes composantes du secteur spatial, à savoir l'espace militaire, l'espace civil et l'espace commercial. Enfin, le

chapitre 4 s'appuie sur les résultats sectoriels pour examiner le sort probable des différents types d'applications spatiales dans le cadre de chaque scénario.

Les travaux présentés ici se fondent sur quatre documents de référence rédigés au cours de l'été 2003 par des experts indépendants et qui ont été publiés sous forme de documents de travail de l'OCDE :

- Bouchard, R. (2003), « Commercialisation of Space, Technology Trends ».
- Hertzfeld, H. et M. Fouquin (2003), « Economic Conditions and the Space Sector ».
- Kane, T. et M. Mowthorpe (2003), « The Space Sector and Geopolitical Developments ».
- Macauley, M. et D. Chen (2003), « Space Resources and the Challenge of Energy and the Environment ».

Par ailleurs, un cinquième document, plus particulièrement axé sur les applications spatiales, a été utilisé au cours de l'analyse. Il est également disponible sous forme de document de travail de l'OCDE :

- Peeters, W. et C. Jolly (2003), « Evaluation of Future Space Markets ».

Bibliographie

Schwartz, Peter (2003), *Inevitable Surprises: Thinking Ahead in a Time of Turbulence*, Gotham Books, New York.

Chapitre 1

La situation actuelle du secteur spatial

Jusqu'à présent, ce sont les pouvoirs publics qui ont en grande partie déterminé l'évolution du secteur spatial, même si le segment commercial a pris de plus en plus d'importance à partir des années 90, au lendemain de la guerre froide. Le secteur spatial, dont les activités sont très cycliques, se rétablit progressivement du grave ralentissement économique du début des années 2000, essentiellement dû à l'éclatement de la bulle Internet. À moyen terme, ce sont les marchés publics qui devraient être le principal moteur de la croissance du secteur car la valeur stratégique de l'espace est de plus en plus reconnue dans la zone de l'OCDE, comme en Russie et dans quelques autres pays qui acquièrent une compétence spatiale tels que la Chine, l'Inde et le Brésil.

Introduction

Le présent chapitre fait le point sur la situation actuelle et les principales composantes du secteur spatial, afin de présenter le contexte dans lequel nous explorerons l'avenir du secteur dans les chapitres suivants. Une attention particulière est accordée non seulement au secteur proprement dit, mais aussi au rôle central de l'État et aux divers obstacles auxquels se heurtent les acteurs du domaine spatial.

Au plan de l'offre, on considère que le secteur spatial englobe tous les acteurs des secteurs public et privé engagés dans la fourniture de produits et services utilisant l'espace. Ces acteurs font partie d'une longue chaîne de valeur ajoutée qui a deux grandes composantes :

- La composante amont, à savoir les fabricants de matériel spatial et les fournisseurs de services de lancement.
- La composante aval, notamment les exploitants de satellites et les fournisseurs de produits et services utilisant l'espace.

Un troisième groupe d'acteurs, les agences spatiales, jouent un rôle majeur dans les deux composantes. Ce sont elles qui dirigent une grande partie de la R-D en amont et en aval et qui font parfois office d'opérateurs de systèmes spatiaux.

Du côté de la demande, le marché de l'espace se compose de deux éléments principaux :

- Le marché institutionnel, qui acquiert des ressources spatiales pour plusieurs raisons, allant de la recherche scientifique et des vols spatiaux habités aux services publics de base et à la R-D qui en est le fondement. Les budgets sont en général relativement stables, même si les priorités ont changé avec le temps.
- Le marché commercial, dans lequel des entreprises privées ou semi-privées fournissent des services ou produits utilisant l'espace à d'autres entreprises ou utilisateurs finaux. Les trois principales composantes de ce marché sont les télécommunications (service fixe et service mobile), l'observation de la Terre (EO) et les services géolocalisés (LBS). Le développement de ce marché a été tributaire des marchés institutionnels; sans la demande institutionnelle, par exemple, le marché des lanceurs et des satellites commerciaux n'aurait sans doute pas existé.

L'exposé qui suit fournit tout d'abord des informations sur les principales caractéristiques des activités spatiales, à savoir l'utilisation de l'espace en tant que moyen d'action, les leviers dont disposent les pouvoirs publics pour mettre en œuvre les politiques spatiales, ainsi que les tendances et les facteurs qui ont modelé l'évolution passée du secteur spatial et qui sont susceptibles de continuer à influencer sur son développement dans les années à venir. C'est sur ces éléments que s'appuie l'examen de la situation actuelle des segments amont et aval du secteur, puis nous examinons le débat sur la politique actuelle et l'état des marchés spatiaux publics. Le chapitre se conclut par un aperçu général de certains obstacles au développement futur du secteur qui ont été mis en évidence dans des publications récentes.

Généralités

Caractéristiques déterminantes des activités liées à l'espace

Certaines caractéristiques des activités liées à l'espace ont des conséquences importantes pour la structure et le cadre institutionnel de l'industrie et pour son évolution dans le temps. Parmi les plus marquantes on citera le rôle joué par la R-D et la maîtrise des nouvelles technologies, l'importance des économies de gamme, le caractère dual de la technologie spatiale, la durée généralement longue du développement des ressources spatiales, la longue chaîne de valeur ajoutée entre les entreprises en amont et en aval ainsi que l'importance des économies d'échelle dans le segment aval.

La R-D et la maîtrise de nouvelles technologies : les satellites ont été utilisés pour explorer et exploiter l'espace avant même la mise au point des ordinateurs personnels (PC), mais il n'en demeure pas moins que le secteur est toujours aux prises avec nombre d'obstacles technologiques et scientifiques considérables, nécessitant des efforts de R-D soutenus. Comme les investissements nécessaires sont à haut risque, ils nécessitent souvent des aides de l'État ou le recours au secteur public. Les niveaux de R-D élevés sous-entendent aussi d'importantes économies d'échelle dans les activités spatiales et d'importantes retombées dont d'autres pourraient tirer profit. De plus, en raison de la complexité des défis techniques à prendre en considération, la réputation de fiabilité et l'apprentissage par la pratique jouent un rôle déterminant dans de nombreuses applications spatiales. Par exemple, il est généralement admis dans les milieux du lancement, que « plus on fait de lancements, plus on signe de contrats et vice versa ».

Économies de gamme : les technologies spatiales sont du même ordre que celles utilisées dans le secteur aérospatial au sens large, et les applications spatiales sont souvent étroitement associées à des technologies terrestres pour assurer des services de bout en bout. Aussi est-il logique d'associer les activités spatiales à des activités techniquement proches ou complémentaires, telles

que l'aéronautique et les télécommunications. Cela permet d'atténuer les risques commerciaux et, dans le cas des entreprises, de trouver plus facilement des capitaux. Toutefois, lorsque les économies de gamme sont substantielles, elles peuvent contribuer à dresser des barrières importantes à l'entrée dans les principaux segments de l'industrie (celui des lanceurs, par exemple).

Caractère dual de la technologie : comme la technologie spatiale a souvent des applications tant militaires que civiles, l'État porte un intérêt marqué non seulement à la recherche spatiale fondamentale mais aussi à la mise en place de certaines ressources spatiales et à la création d'une industrie nationale saine capable d'assurer de rapides progrès technologiques. D'un point de vue économique, le côté militaire de l'équation présente toutefois quelques inconvénients. Tout d'abord, il est plus difficile pour une entreprise de tirer parti des économies de gamme quand certaines de ses activités sont de nature militaire, étant donné que certaines informations et technologies peuvent être tenues secrètes et interdites de partage, même au sein de l'entreprise. De plus, des considérations d'ordre stratégique peuvent décourager les transferts de technologie internationaux et l'internationalisation du secteur. Enfin, l'appui aux « champions nationaux » peut entraîner des surproductions endémiques dans des segments du secteur spatial tenus pour stratégiques par de nombreux pays à compétence spatiale (par exemple la fabrication de lanceurs et d'engins spatiaux).

Longue gestation et durabilité des ressources spatiales : comme l'élaboration de ressources spatiales est un processus long et onéreux, un financement à long terme est nécessaire. Les financeurs privés sont bien entendu peu désireux de répondre à ce besoin, étant donné que les commandes spatiales sont limitées et que les cycles de production sont généralement très courts. De ce fait, la fabrication de moyens spatiaux doit souvent s'appuyer sur le service public. De plus, comme la durée de vie des ressources spatiales est relativement longue une fois qu'elles sont en place (un satellite de télécommunication dure généralement de dix à quinze ans), l'offre ne peut s'adapter rapidement aux évolutions de la demande. Pour cette raison, le secteur a une tendance fortement conjoncturelle. Le problème de surproduction est encore aggravé lorsque les nations à compétence spatiale tentent de maintenir leurs champions nationaux en activité, pour des raisons stratégiques, même quand les entreprises concernées fonctionnent à perte sur de longues périodes.

Longue chaîne de valeur ajoutée : la technologie spatiale est essentiellement une technologie transversale que l'on peut utiliser pour un large éventail de domaines dans lesquels le segment spatial, même s'il est déterminant, représente souvent très peu en termes de valeur. Il en résulte une très longue chaîne de valeur ajoutée dans laquelle les entreprises en amont sont rarement

en mesure de capter, par intégration verticale, une part significative des gains de productivité qu'elles génèrent. De là découle une répartition inégale entre les composantes amont et aval du secteur : une stagnation dans le segment amont et une solide croissance dans le segment d'aval peuvent coexister.

Économies d'échelle en aval : de manière générale, les services utilisant l'espace sont mondiaux ou, du moins, couvrent de très grandes régions. Leur principale force réside dans leur ubiquité, autrement dit dans leur capacité à desservir des clients sur de vastes territoires, indépendamment de la densité de la population et des frontières politiques. En particulier, et contrairement à de nombreuses technologies terrestres, ils ne sont pas exposés au problème de raccordement entre usager et opérateur, ce qui revient à dire que le service peut être assuré au même coût dans les zones rurales que dans les zones urbaines. De plus, par l'emploi de faisceaux étroits, les satellites peuvent se concentrer sur les marchés géographiques les plus lucratifs, ajustant leurs zones de couverture en fonction de l'évolution de ces marchés. Dès lors, plus le marché est grand, plus les solutions utilisant l'espace peuvent être efficaces. Il s'ensuit que de tels services tirent particulièrement profit de la libéralisation du marché, de l'interopérabilité et de la normalisation des besoins et des équipements.

Le secteur spatial et l'État

Depuis le commencement de l'ère spatiale, les activités spatiales ont été dans une grande mesure façonnées par les pouvoirs publics. Actuellement, ceux-ci jouent toujours un rôle majeur et continueront de le faire. Dans ces conditions, pour bien comprendre la situation du secteur spatial, il est indispensable de tenir compte de la perception qu'ont les pouvoirs publics de l'espace en tant qu'instrument de la réalisation de leurs objectifs globaux et de leurs stratégies pour tirer un maximum de bénéfices des applications spatiales dans un monde en évolution.

L'espace, en tant qu'instrument de la politique publique

Généralement, les gouvernements considèrent l'espace comme un outil pouvant contribuer à un large éventail d'objectifs de politique publique. Il s'agit notamment de la défense et de la sécurité, des politiques environnementales, de la quête de connaissances scientifiques et du développement économique.

Souveraineté nationale : les systèmes spatiaux offrent aux pouvoirs publics les moyens de réduire leur dépendance à l'égard des informations fournies par des ressources spatiales nationales étrangères.

Défense et sécurité : les systèmes spatiaux permettent aux autorités civiles et militaires : i) de collecter et fournir des informations tactiques et

stratégiques en continu au niveau mondial; ii) de diffuser des informations et de communiquer partout dans le monde; et iii) de fournir des systèmes d'aide à la navigation et de guidage. Ces outils peuvent être utilisés pour surveiller le respect de traités et autres accords internationaux.

Politique environnementale : des systèmes spatiaux peuvent être utilisés pour la surveillance des conditions climatiques et des pressions environnementales (telles que la surpopulation, la désertification, l'utilisation des ressources aquatiques, la déforestation) mais aussi pour gérer les catastrophes naturelles (par exemple anticiper les phénomènes naturels tels que les ouragans et offrir des moyens pour gérer l'aide, d'évaluer les dommages et de faciliter les procédures d'indemnisation).

Quête de connaissance et d'exploration scientifique : la recherche et l'exploration de l'espace contribuent à améliorer notre connaissance de l'univers, notamment la recherche de l'origine de la vie et l'unification des lois fondamentales de la physique.

Développement économique : plusieurs applications spatiales ont déjà eu un impact significatif sur l'économie, à savoir :

- *Les télécommunications* : l'espace est un moyen puissant pour la diffusion directe de l'information, notamment pour les services de télévision et de communications à haut débit. L'espace peut également être utilisé pour collecter des informations auprès d'entités terrestres dispersées (par exemple réseau de franchises ou de filiales d'entreprises multinationales, surveillance d'enregistreurs).
- *La navigation* : des équipements de navigation utilisant l'espace facilitent la gestion des parcs mobiles et des flottes (par exemple camions, navires, taxis), améliorent la régulation du trafic aérien et ferroviaire et aident les particuliers à naviguer.
- *L'observation de la Terre* : la télédétection peut aider dans la conception et la réalisation de nouvelles infrastructures terrestres, dans la gestion des récoltes et des ressources naturelles, ainsi que dans l'application des traités en matière de politique agricole et d'environnement.
- *La météorologie* : les satellites de météorologie facilitent les prévisions du temps ainsi que l'anticipation des conditions extrêmes et des mesures de prévention correspondantes.
- *L'aide au développement* : dans les pays en développement, les moyens spatiaux offrent des outils pour mieux gérer les ressources naturelles et mieux desservir leurs populations (avec la télémédecine, l'enseignement à distance, les télécommunications, la radiodiffusion), surtout dans les régions isolées. Même si ces services utilisant l'espace nécessitent la mise en place d'équipements adéquats au sol, ils peuvent être extrêmement

précieux lorsque les infrastructures terrestres ne sont pas complètement mises en place.

Si le « spatial » peut aider à réaliser de nombreux objectifs, il arrive cependant que ceux-ci ne soient pas cohérents. Des tensions peuvent apparaître entre les objectifs stratégiques et les objectifs économiques, par exemple. D'une part, les autorités souhaitent une industrie spatiale forte pour répondre aux besoins du pays en matière de sécurité, d'autre part elles veulent que ce secteur reste national ou en partage avec des alliés proches, raisons pour lesquelles elles refusent les grandes alliances internationales. Elles sont par ailleurs préoccupées par le transfert des technologies stratégiques et par les applications commerciales de technologies à usage dual. S'efforcer de résoudre de telles tensions n'est pas aisé et nécessite souvent un arbitrage difficile et complexe.

L'espace, en tant qu'objectif de la politique publique

Pour faire en sorte que l'espace apporte toute sa contribution à la réalisation des objectifs de politique publique, les gouvernements disposent d'un certain nombre de leviers pour orienter le développement du secteur. En premier lieu, ils décident dans une large mesure des orientations de la R-D dans le domaine spatial, et leur politique de passation des marchés influence fortement les activités spatiales. Deuxièmement, les lois et règlements qu'ils mettent en œuvre ont un effet majeur sur le comportement des acteurs du secteur.

Le rôle des pouvoirs publics dans l'établissement des orientations de la R-D et dans le développement et l'utilisation de systèmes civils et militaires utilisant l'espace a été déterminant. Pour les activités civiles, ils ont créé des agences spatiales ayant un important mandat dans les questions liées à l'espace. Les grandes agences spatiales s'occupent généralement elles-mêmes de la recherche de base comme de la réalisation des systèmes spatiaux et des principaux moyens utilisés (lanceurs, satellites). Elles transfèrent ensuite à d'autres entités l'exploitation de ces systèmes et ressources. L'Agence spatiale européenne (ESA), par exemple, a transféré l'exploitation des lanceurs, des satellites de communication et des satellites de météorologie à des organisations spécialisées : Arianespace, Eutelsat, Inmarsat, et Eumetsat. Aux États-Unis, et ce dès 1996, la NASA a fait part de son intention, aux termes de son Consolidated Space Operations Contract (CSOC), de déléguer la responsabilité des moyens spatiaux et de leur exploitation au secteur privé.

En termes de passation des marchés, les pouvoirs publics ont longtemps eu la haute main sur le secteur spatial étant donné qu'ils étaient les seuls clients. Bien que cela ne soit plus le cas, le marché public est toujours un marché important, sinon le plus grand marché, pour l'industrie spatiale. Les

effets d'une politique de passation des marchés publics dépendent dans une large mesure des méthodes adoptées par les responsables. Ceux-ci peuvent penser, par exemple, que les experts techniques du service public sont les mieux placés pour déterminer la manière de procéder et qu'ils ont la capacité de mettre au point les spécifications techniques d'un produit qui doit être obtenu dans le secteur privé. Cette procédure est valable pour la plus grande partie de la recherche, mais elle a été critiquée lorsqu'elle était utilisée au-delà du stade de R-D au motif qu'elle encourageait les entrepreneurs à adopter une approche « coût-valeur » passive afin d'atténuer les coûts du développement technologique et les risques au niveau du calendrier que la procédure impose aux fournisseurs privés.

Simultanément, les pouvoirs publics sont des clients des infrastructures et des services commerciaux existants. Les services de communications privées par satellites, par exemple, peuvent être utilisés pour assurer des services publics tels que l'éducation à distance et la télé-médecine (par exemple la fourniture de soins de santé aux forces armées britanniques et américaines). Les pouvoirs publics agissent aussi en tant que clients de satellites d'observation commerciaux (COS). En 2003, par exemple, la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), connue auparavant en tant que NIMA (US National Imagery and Mapping Agency), a attribué deux contrats distincts de trois ans, l'un de USD 120 millions à Space Imaging, LLC, ayant son siège à Thornton (Colorado), et l'autre, de USD 72 millions à DigitalGlobe, Inc., ayant son siège à Longmont (Colorado), dans le cadre d'une passation de marchés sous le nom de « ClearView ». Les contrats « ClearView » garantissent aux fournisseurs d'imagerie à haute résolution un montant minimum d'achats sur une période de trois à cinq ans. Une nouvelle procédure de licence unique permet à la NGA de partager cette imagerie avec tous les partenaires potentiels (militaires, services secrets, corps diplomatique, nations alliées et partenaires de coalitions, agences civiles fédérales, services de police et de justice et services d'urgence), étant donné que l'objectif consiste à stimuler la demande des institutions fédérales et locales.

Par ailleurs, le mécanisme de passation de marchés NextView permet à la NGA de participer dès les premières phases à la prochaine génération de moyens d'imagerie commerciale. NextView vise à s'affranchir des méthodes d'achat axées uniquement sur ce produit pour assurer à la NGA un accès, des droits d'attribution prioritaires, un volume et des conditions de licence étendues sur la prochaine série de satellites américains d'imagerie commerciale à haute résolution. L'agence n'achète pas de satellites, mais elle aide à financer la R-D en échange de conditions d'achat de données spécifiques. Après un appel d'offres, DigitalGlobe a battu SpaceImaging dans l'attribution d'un contrat NextView de plus de USD 500 millions pour la construction d'un satellite qui doit être lancé en 2006. Il y a néanmoins un

débat politique sur les moyens de conserver un niveau donné de concurrence pour les futures systèmes commerciaux.

Les pouvoirs publics jouent aussi un rôle important par l'application de lois et de règlements qui régissent les activités spatiales des acteurs du secteur privé. Mais ils n'ont cependant pas les mains entièrement libres. Les lois nationales et les activités des acteurs privés qu'elles régissent doivent être alignées sur les obligations résultant du droit international relatif à l'espace extra-atmosphérique. Les activités spatiales sont peut-être le seul domaine dans lequel les pays ont accepté d'être directement responsables des actions de leurs citoyens. Le droit spatial international est principalement constitué de règles énoncées dans des accords multilatéraux ou des « conventions », notamment le « Traité sur l'espace » de 1967, l'« Accord sur le sauvetage » de 1968, la « Convention sur la responsabilité » de 1972, la « Convention sur l'immatriculation » 1975, et l'« Accord sur la Lune » de 1979.

Au niveau national, quelques pays ont introduit une législation spatiale nationale considérable (par exemple les États-Unis, le Royaume-Uni et la Russie). Le cadre de la législation spatiale des États-Unis est de loin le plus complet et il peut être une indication intéressante de ce qui est susceptible de se produire dans d'autres pays à compétence spatiale, à mesure que leur secteur spatial commercial se développe. La législation nationale sur les contrôles à l'exportation de technologies sensibles a également un effet majeur sur la capacité de l'industrie spatiale à desservir les marchés internationaux.

Au niveau international, la gestion du spectre des radiofréquences et des orbites des satellites géostationnaires et non géostationnaires occupe une place prépondérante. Ces ressources communes ne sont pas illimitées et l'utilisation accrue de l'espace pour les besoins des télécommunications a fait naître le besoin d'une réglementation. Le droit d'utiliser une fréquence donnée est déterminé au niveau national dans le contexte d'un système juridique en évolution établi au plan international par les membres de l'Union internationale des télécommunications (UIT), une institution spécialisée des Nations Unies. Le cadre réglementaire est codifié dans la Constitution et la Convention de l'UIT et dans le Règlement des radiocommunications de cette même organisation.

Principaux facteurs et tendances du développement du secteur spatial

Au cours des dernières décennies, un vaste éventail de tendances et de facteurs a orienté l'offre et la demande de biens et services liés à l'espace, ainsi que la structure de l'industrie spatiale. Il est important d'examiner ces

facteurs de plus près pour comprendre la situation actuelle du secteur et être en mesure d'évaluer son développement futur.

Facteurs géostratégiques

La fin de la guerre froide : la grande détente des tensions Est-Ouest et la fin de la course aux armements ont donné lieu à une réduction significative des budgets militaires dans la première moitié des années 90 et à une baisse de la demande de matériel spatial militaire (de 1991 à 1996, par exemple, le budget spatial militaire américain est passé de 0.25 % à 0.15 % du PIB). Une conséquence importante en a été, aux États-Unis, la consolidation de l'industrie spatiale, qui est désormais dominée par deux grands fournisseurs, que sont Boeing et Lockheed Martin. La réduction des tensions a également produit une ouverture sans précédent pour une coopération internationale accrue, en particulier entre les États-Unis, l'Europe et la Russie.

Reconnaissance croissante de la valeur stratégique de l'espace : la fin de la guerre froide ne signifie pas la « fin de l'histoire ». Les questions de souveraineté nationale, la protection des citoyens, le prestige et la projection d'un « pouvoir de persuasion » restent des motivations majeures de la plupart des pays. Dans ce contexte, un nombre croissant de pays, comprenant tous les futurs principaux acteurs géopolitiques (les pays dits du BRIC : Brésil, Russie, Inde et Chine), sont conscients de la valeur stratégique – mais aussi de la menace stratégique – que représente l'espace à mesure que la technologie se perfectionne de plus en plus. Cela motive de nombreux pays n'ayant pas encore de compétence spatiale à acquérir une telle capacité. Les nations « spatiales » confirmées, quant à elles, réévaluent leurs stratégies spatiales compte tenu de l'environnement géostratégique changeant dans le but de mettre plus fortement l'accent sur la sécurité et la compétitivité de leurs industries dans les technologies clés. Toutefois, seuls les pays ayant des ressources considérables et qui sont à la pointe de la technologie peuvent espérer devenir de grandes nations spatiales. Les autres sont obligés de se cantonner dans un créneau particulier et de coopérer activement avec d'autres.

L'augmentation de l'intérêt porté à la sécurité soulève de sérieuses questions relatives à la militarisation de l'espace et à l'interprétation du droit international à cet égard (en particulier les articles III et IV du Traité sur l'espace de 1967). Une source perpétuelle de débat est l'interprétation des termes « utilisation pacifique » et « fins pacifiques ». Certains prétendent que les activités militaires ne peuvent jamais être pacifiques et devraient donc être complètement interdites dans l'espace. L'autre interprétation, qui est de plus en plus partagée, est que les utilisations militaires sont permises dans la mesure où elles ne sont pas de nature agressive. Néanmoins, il serait difficile

d'appliquer cette interprétation à une ressource spatiale faisant partie intégrante d'un système d'arme d'agression.

Facteurs économiques

Mondialisation, libéralisation et privatisation : depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, une tendance générale à une libéralisation croissante du commerce et des mouvements des capitaux tend à se généraliser dans le monde entier, mouvement qui s'est accéléré après la fin de la guerre froide. Dans le secteur spatial, deux instruments ont joué un rôle déterminant au cours des dernières années : l'Accord de l'OMC sur les télécommunications de base, signé en 1997, qui a considérablement libéralisé les marchés des télécommunications, y compris celui des télécommunications spatiales ; et l'Orbit Act américain de 2000, qui a déclenché la privatisation de certaines grandes organisations spatiales internationales. Ces tendances ont conféré un plus grand rôle au secteur privé, ouvert de nouvelles opportunités de marché et engendré des pressions pour la restructuration et la création de nouveaux consortiums spatiaux internationaux. Les services spatiaux pouvant être fournis partout à la fois, les solutions spatiales ont grandement bénéficié de la libéralisation du marché.

Développement économique : au cours des dernières décennies, le progrès économique s'est traduit par une évolution progressive vers des économies fondées sur le savoir, dans lesquelles une part croissante des recettes est consacrée aux biens et services à forte composante d'information et aux activités de loisirs. Simultanément, le mouvement des personnes et des biens a augmenté de manière significative, ce qui a produit une augmentation de la demande de services d'information, de transport et de navigation. Ces développements ont bénéficié aux services correspondants utilisant l'espace (tels que les communications par satellite, les systèmes mondiaux de navigation et l'observation de la Terre). Toutefois, l'industrie spatiale, fortement conjoncturelle, a souffert de l'actuel ralentissement économique, en particulier de l'éclatement de la bulle Internet.

Facteurs sociaux et politiques

Intérêt moindre du public pour l'espace : après qu'Apollo eut atteint son objectif et mis fin à la course à l'espace, le grand public a, dans l'ensemble, perdu de l'intérêt pour les entreprises spatiales de prestige pour en venir à considérer les vols spatiaux comme des vols de routine. Même si des missions ou des événements spectaculaires suscitent de temps en temps l'intérêt, un scepticisme très répandu sur la valeur des activités spatiales est notable au sein du grand public et dans de nombreux cercles officiels, ce qui explique l'appui limité apporté aux solutions « spatiales » à des problèmes spécifiques et aux programmes spatiaux en général. Les activités spatiales sont souvent

perçues comme onéreuses, risquées et offrant des avantages limités par rapport aux solutions terrestres correspondantes. Toutefois, la valeur des applications spatiales au niveau de la sécurité, des secours en cas de catastrophe et de la réduction de la « fracture numérique » est de plus en plus reconnue.

Tendances démographiques dans les pays en développement : la croissance de la population nécessite un développement rapide des services d'éducation et de santé dans les pays en développement, où l'infrastructure terrestre publique est fragile. Cela devrait en principe susciter de l'intérêt pour les solutions de nature spatiale, surtout dans les pays les plus vastes. À cet égard, l'Inde est un cas intéressant qui attire l'attention d'autres pays en Asie, en Afrique et en Amérique latine. Néanmoins, des facteurs institutionnels et culturels ont souvent ralenti la mise en œuvre des applications spatiales.

Facteurs environnementaux

L'intérêt croissant pour l'environnement a suscité un intérêt accru pour des outils (y compris ceux fonctionnant dans l'espace) permettant de surveiller les changements des conditions environnementales et l'application des traités internationaux relatifs à l'environnement, de faciliter la gestion des ressources naturelles et de fournir de l'aide dans la résolution des crises environnementales (par exemple, le Sommet de Johannesburg). La mise au point des satellites de météorologie a aussi considérablement amélioré notre capacité d'anticiper l'évolution des conditions météorologiques, en particulier les conditions extrêmes, et donc de sauver des vies et des biens.

Technologie

Le progrès des technologies spatiales et des technologies complémentaires (telles que la microélectronique et les technologies de communication) a ouvert la voie à de nouvelles applications à fort potentiel, tant dans le domaine commercial que sur les marchés publics. Toutefois, les technologies terrestres ont parfois écarté les satellites de certains marchés (par exemple, les câbles à fibres optiques ont largement évincé les satellites pour les télécommunications vocales à grande distance et les téléphones cellulaires ont relégué les téléphones satellitaires dans une niche étroite du marché). De plus, l'incapacité à réduire fortement le coût de l'accès à l'espace a ralenti la croissance du secteur et retardé le développement d'autres applications jugées un temps prometteuses (par exemple, la production dans l'espace).

Dans le futur, les facteurs exposés ci-dessus continueront vraisemblablement à jouer un rôle clé dans l'évolution du secteur spatial. Pour cette raison, il conviendra d'en tenir compte dans l'examen du développement futur du secteur.

Situation actuelle du segment amont

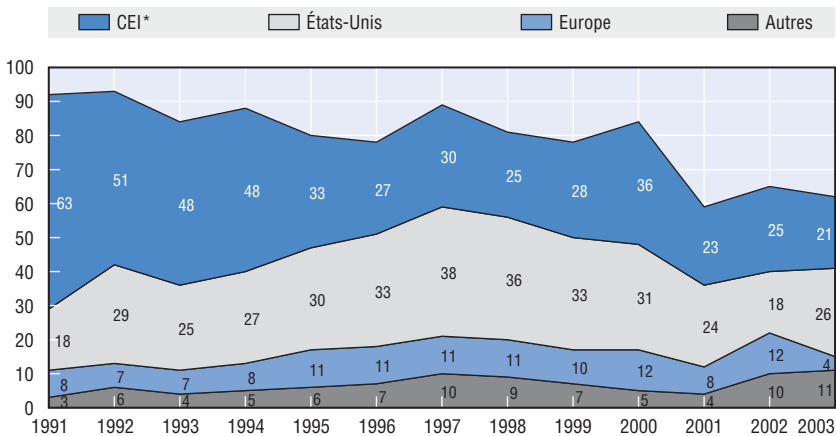
Lanceurs et services de lancement

Alors que le marché des lancements avait été relativement animé dans les années 90, la demande de services de lancement a fortement baissé depuis 2000 par suite de facteurs conjoncturels et d'attentes non comblées (figure 1.1). L'éclatement de la bulle Internet a touché les communications spatiales, la principale application du secteur, ainsi que d'autres segments du marché des télécommunications. L'industrie a aussi été touchée par l'échec ou les résultats décevants des grandes constellations de satellites de communications mobiles en orbite basse (LEO), telles qu'Iridium.

En 2001, à peine 60 lancements ont été tentés dans le monde, soit le nombre le plus faible depuis le début des années 60 et un déclin de 30 % par rapport à 2000, mais aussi le plus grand déclin annuel depuis dix ans. Les affaires ne se sont guère améliorées depuis lors : seuls 65 lancements en 2002 et 63 en 2003 (y compris celui de la navette Columbia, perdue lors de sa réentrée dans l'atmosphère).

En dépit de cette chute de l'activité, l'offre n'a pas été réduite. Au contraire, de nouvelles capacités de lancement voient le jour et conduisent à une sérieuse surcapacité. Une nouvelle génération de lanceurs lourds est apparue sur le marché au début des années 2000, dans une grande mesure en réponse à la tendance vers des satellites de communications toujours plus grands et aux attentes soulevées par la bulle Internet. Il s'agit notamment des gros lanceurs des principaux acteurs du secteur (figure 1.1) tels qu'Ariane 5

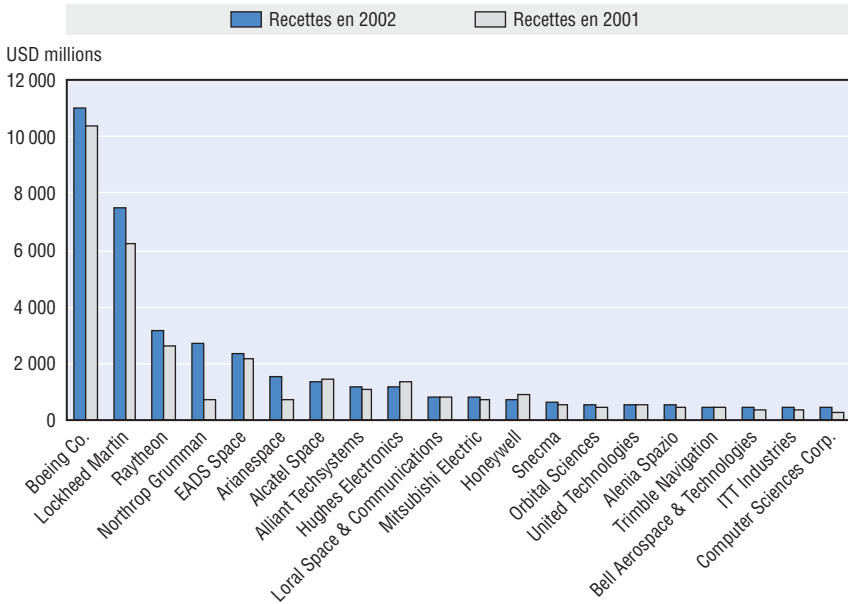
Figure 1.1. **Lancements mondiaux, 1^{er} janvier 1991-31 décembre 2003**



* Communauté des États indépendants.

Source : Société EADSC (European Aeronautic Defence and Space Company).

Figure 1.2. Revenu du secteur amont en 2001 et 2002



Source : Space News, 2003.

(Arianespace), Atlas 5 (Lockheed Martin) et Delta 4 (Boeing), capables de mettre des charges utiles de 8 à 10 tonnes ou davantage en orbite de transfert géostationnaire (GTO). Cette surcapacité rend la situation difficile, même pour les plus grands constructeurs de lanceurs.

Ariane 5 : Arianespace, qui a parié son avenir sur le succès d'Ariane 5, a été déficitaire pendant les trois années de la période 2000-2002 avec une perte cumulée de EUR 538 millions (USD 677 millions). En 2001, la société a annoncé une perte de USD 183 millions, dont un tiers à peu près couvre les dépenses nécessaires pour rendre Ariane 5 entièrement opérationnelle après l'échec du lancement du 12 juillet 2001. L'échec du vol inaugural de la version lourde du lanceur, le 11 décembre 2002, n'a fait qu'accroître les incertitudes. Toutefois, la situation de l'entreprise s'est légèrement améliorée en 2003. La rentabilité revient par la réduction des coûts et le refus de contrats non rentables, même si quatre lancements seulement ont eu lieu en 2003 (contre 12 en 2002). L'entreprise a également bénéficié de l'appui politique et financier des pays de l'ESA, ce qui devrait lui permettre de signer une commande de 30 fusées avec EADS (European Aeronautic Defence and Space Company), le maître d'œuvre Ariane 5. L'avenir commercial de l'entreprise dépend maintenant en grande partie de sa capacité à corriger le problème du moteur cryogénique Vulcain 2

de l'étage principal (qui était à l'origine de l'échec du vol inaugural de la version lourde) et à qualifier la fusée en 2004 (deux lancements de qualification sont prévus) pour proposer ensuite le lanceur sur le marché commercial en 2005.

Un des grands défis pour le lanceur européen, quand on le compare à ses concurrents américains, est son marché institutionnel nettement moins important. Pour cette raison, Arianespace dépend considérablement de son succès commercial. Toutefois, les gouvernements européens (à travers l'ESA) et la Commission européenne ont fait savoir en 2003 qu'un lanceur européen indépendant, rentable, faisait partie des intérêts stratégiques de l'Europe et ne devait pas être menacé par les fluctuations du marché commercial.

Le véhicule de lancement européen sera opposé à la rude concurrence d'autres lanceurs actuels tels que le Proton russe et le Zenit ukrainien, mais aussi de l'entrée en scène probable de nouveaux modèles, notamment les Atlas 5 et Delta 4, respectivement lancés pour la première fois en août et novembre 2002. Toutefois, ces deux lanceurs lourds, développés dans le contexte de la double stratégie de lanceurs modulaires EELV du Département américain de la défense, ont aussi connu des problèmes.

Atlas 5 : quand la décision a été prise de produire ce lanceur, on estimait que Lockheed Martin recevrait des offres pour quelque 19 lancements par an. Cette hypothèse, qui s'est avérée très irréaliste, ne tenait pas compte de la forte concurrence des lanceurs de capacité moyenne à élevée, en service ou dont le développement se poursuivait activement. Dans le premier lot d'attribution de charges utiles pour les lanceurs EELV, Atlas a remporté l'attribution de neuf unités Delta 19. Le transfert ultérieur de deux des charges utiles d'Atlas 5 à Delta n'a fait qu'accroître le déséquilibre. À la fin de 2002, le nombre de lancements d'Atlas 5 était donc considérablement inférieur à ce que Lockheed Martin avait envisagé lorsque l'entreprise décidait d'investir USD 1 milliard dans le programme. En 2003, deux lancements d'Atlas 5 seulement ont été effectués.

Delta 4 : le lanceur Delta 4 est un modèle pour ainsi dire entièrement nouveau et plus puissant que les modèles précédents de la famille; il a par ailleurs été conçu pour être moins onéreux à construire et à exploiter, surtout face à la concurrence future de Boeing sur le marché des lanceurs lourds. La structure des coûts de Delta 4 a été fondée sur l'hypothèse que le coût du développement pourrait être étalé sur un grand nombre de missions commerciales. À la fin de 2002, les perspectives semblaient prometteuses : Boeing affirmait détenir plus de 18 commandes fermes de Delta 4 jusqu'en 2004 et plus de 40 options, ce qui était censé maintenir une activité pendant cinq ans au moins. Toutefois, les 30 lancements commerciaux de Delta 4 escomptés par l'entreprise ne se sont pas matérialisés, réduisant ainsi la charge de travail prévue du lanceur de près de 50 %. Cela a forcé Boeing à

retirer le Delta 4 du marché commercial et à passer environ USD 550 millions par pertes et profits en juillet 2003.

Au plan mondial, plusieurs lanceurs, en plus des lanceurs russes compétitifs, pourraient s'attaquer aux trois principaux prétendants dans les années à venir. Il s'agit de la famille chinoise des Long March, dont la crédibilité commerciale croît par suite de la réussite du programme Shenzhou, ainsi que des fusées PSLV et GSLV indiennes, qui obtiennent des missions qui auraient été confiées auparavant à des lanceurs Ariane ou des lanceurs russes. Le véhicule de lancement japonais H-2A pourrait également faire son apparition sur le marché commercial, dès que les difficultés actuelles auront été surmontées.

Pour l'heure, les trois principaux acteurs du marché des lanceurs commerciaux sont Arianespace, la société américano-russe de services de lancement internationaux, ILS, sous le contrôle de Lockheed Martin et l'entreprise mixte États-Unis/Ukraine « Sea Launch » (lancement effectué depuis une plate-forme maritime), sous le contrôle de Boeing. Arianespace et ILS ont signé sept nouveaux contrats de lancement de satellites commerciaux en 2003. Par souci de flexibilité, Arianespace a signé des accords de lancement réciproques avec Boeing Launch Services (opération Zénith) et Mitsubishi Heavy Industries, le maître d'œuvre de la fusée japonaise H-2A. Arianespace utilise aussi la fusée Soyouz comme lanceur complémentaire de capacité moyenne, alors qu'ILS utilise le Proton comme fusée de réserve pour l'Atlas.

Il est prévu, dans les années à venir, quelques baisses des coûts du lancement, grâce notamment à la solution du lancement de charges utiles multiples, à l'utilisation de lanceurs en partage et aux efforts pour abaisser le rapport de coût lanceur/charge utile. Dans le contexte fortement concurrentiel actuel, les économies devraient exercer une pression vers le bas sur le prix des contrats de lancement. Mais ce prix réduit ne permettra toutefois pas de réaliser d'importants revenus additionnels, la demande de services de lancement n'étant guère élastique.

Fabrication de satellites

Le marché des engins spatiaux est un marché plus différencié que le marché des lanceurs : les fabricants de satellites se concurrencent au niveau des prix mais aussi au niveau de la qualité et des caractéristiques qu'ils proposent. Cela signifie que les barrières à l'entrée sur le marché sont probablement moins importantes que celles du marché des lanceurs, et de ce fait certaines entreprises peuvent survivre en se concentrant sur des créneaux du marché. Les acteurs potentiels sur ce secteur sont non seulement les fabricants de véhicules de lancement, en raison de la synergie commerciale entre les lanceurs et les engins spatiaux, mais aussi les fabricants

d'équipements de télécommunications (par exemple, Alcatel Space), qui peuvent être fort bien placés pour intégrer des satellites de télécommunication dans des systèmes de télécommunication plus importants.

Tout comme les fabricants de lanceurs, les fabricants de satellites ont dû affronter des temps difficiles au cours des dernières années, difficultés qui ont été aggravées par les progrès significatifs en termes de longévité et de capacité des engins spatiaux, ce qui a diminué le besoin de satellites additionnels, et par la fusion de fabricants de satellites.

Alors que plus de 150 satellites ont été lancés en 1998, ce nombre a fortement diminué au début des années 2000 en raison de restrictions importantes sur les commandes, en particulier pour les satellites de communication commerciaux. En 2001, 75 satellites seulement ont été lancés (60 lancements), soit le nombre le plus faible au cours des dix dernières années et une baisse de 32 % par rapport à l'année précédente. En 2002, on a lancé un peu plus de 80 satellites (65 lancements), mais leur nombre est ensuite retombé à 69 en 2003 (63 lancements). Selon Euroconsult, 19 satellites commerciaux seulement ont été commandés en 2003 pour une valeur estimée à USD 2.1 milliards. Les « maxi LEO » qui ont été lancés dans les années 90 (par exemple Globalstar, Iridium et Orbcomm) n'ont pas été remplacés comme prévu initialement. De nouveaux systèmes à large bande tels que Astrolink, Skybridge, Spaceway et Teledisc ont été soit reportés, soit annulés. En plus de l'effondrement des maxi LEO, l'annulation des commandes de satellites par des opérateurs confirmés de satellites géostationnaires, face à une situation de surcapacité, est une autre raison d'accablement. Face à ces réductions, le secteur a été forcé de réduire ses effectifs. Tous les grands fabricants de satellites, dont Boeing, Lockheed Martin, Alcatel Space et Astrium, ont supprimé des emplois en 2002. Les ajustements semblent particulièrement lourds chez Astrium, qui a prévu quelque 1 500 licenciements, soit 20 % de sa main-d'œuvre.

Aucune reprise substantielle à court terme n'est prévue. Si quelques nouvelles applications sont annoncées, il ne semble pas qu'elles apporteront beaucoup de commandes de satellites. L'Internet, par exemple, alimente le développement d'applications industrielles et commerciales pour les satellites commerciaux. Toutefois, la plupart des entreprises qui envisagent de proposer des services Internet par satellite n'achèteront pas de satellites mais loueront de la capacité sur des satellites déjà en orbite, du moins à moyen terme.

La seule lueur positive vient du marché militaire, qui compensera partiellement l'atonie du marché commercial. Les contrats militaires offrent du travail lucratif à long terme aux entreprises qui voient se réduire leurs

activités commerciales. Cela profitera aux grands fournisseurs américains d'équipements spatiaux militaires mais n'aidera guère les entreprises non américaines. L'Europe compte très peu de satellites militaires; en outre, certains d'entre eux sont à « usage dual », assurant aussi des services commerciaux. Toutefois, d'autres projets tels que Galileo et le Global Monitoring for Environment and Security (GMES – surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité) pourraient soutenir la demande future de satellites en Europe.

En dépit de ces ombres au tableau, quelques signes précurseurs de reprise se manifestent. EADS, par exemple, a réussi à réduire ses coûts par la restructuration (dont les licenciements chez EADS Astrium évoqués ci-dessus) et à ajouter à son carnet de commandes pour plus de EUR 600 millions de satellites de télécommunications et scientifiques en 2003. Alcatel Space et Lockheed Martin Commercial Space Systems, quant à elles, ont dégagé des bénéfices en 2003.

La sous-traitance a été un facteur important dans la capacité des constructeurs de satellites à abaisser leurs coûts. Elle a, par exemple, permis à Lockheed Martin de réduire ses effectifs de 40 % en deux ans. Actuellement, quand Boeing remporte un contrat de satellite commercial, il n'effectue qu'à peine plus de 50 % du travail. Cela crée de nouvelles opportunités commerciales pour les sous-traitants qui travaillent pour de nombreux maîtres d'œuvre.

Il apparaît toutefois que la reprise sera relativement modérée. On admet maintenant dans le secteur que les espoirs initiaux portant sur un flux constant de 25 à 30 commandes de satellites commerciaux par an se sont dissipés, et cela peut-être pour toujours. Il se peut qu'un marché de 15 contrats de fabrication de satellites par an soit tout ce que l'on peut espérer. Si tel est le cas, il se peut que les cinq grands fournisseurs se rapprochent dans les années à venir.

Assurance spatiale

L'assurance spatiale est un élément décisif pour les secteurs de la fabrication et du lancement des satellites commerciaux étant donné que, sans la possibilité de souscrire des assurances à des prix raisonnables, les clients sont moins susceptibles d'acheter et de lancer des engins spatiaux. Le marché de l'assurance spatiale est un marché mondial sur lequel interviennent beaucoup d'acteurs différents, notamment les propriétaires de satellites, les constructeurs de satellites, les fournisseurs de services de lancement, les courtiers d'assurances, les souscripteurs, les institutions financières et les réassureurs, ainsi que divers organismes gouvernementaux.

Les principaux types de couverture possible sur le marché sont :

- *L'assurance pré-lancement*, qui couvre les dommages causés aux satellites ou aux véhicules de lancement pendant les phases de construction, de transport et de préparation au lancement.
- *L'assurance lancement*, qui couvre la perte d'un satellite au cours de la phase de lancement. Elle assure contre une défaillance totale du lancement ou contre l'impossibilité de placer le satellite sur l'orbite appropriée.
- *L'assurance « en orbite »*, qui couvre les problèmes techniques pouvant se produire en orbite et les dommages que le satellite peut subir après sa mise en orbite.
- *L'assurance responsabilité civile et les assurances contre les dommages aux propriétés de l'État*, qui protègent les fournisseurs de services de lancement et leurs clients en cas de mise en jeu de la responsabilité publique ou de dommage à la propriété de l'État causé par le lancement ou la défaillance d'une mission.

Une société de lancement peut également faire office d'assureur auprès de ses clients en leur offrant des garanties, à savoir qu'elle procédera à un nouveau lancement pour mettre la charge utile en orbite en cas de défaillance du tir précédent. Lorsqu'elle offre une telle garantie, l'entreprise de lancement se protège généralement elle-même en souscrivant une assurance portant sur une série de lancements, répartissant ainsi le risque sur un certain nombre d'événements et obtenant des primes plus intéressantes que pour un lancement unique.

Depuis la fin des années 80, le secteur de l'assurance a connu deux périodes distinctes : une décennie de croissance continue entre 1989 et 1999, suivie d'un déclin important au début des années 2000. Les facteurs qui ont contribué sont : i) la détérioration des conditions économiques dans le secteur de l'assurance en général; ii) l'effet dévastateur du 11 septembre 2001; iii) un déclin des activités commerciales de lancement qui a considérablement diminué le montant total des primes d'assurances payées aux assureurs; et iv) l'augmentation des pertes de satellites au lancement et en orbite. En dépit de certains signes avant-coureurs de reprise économique au troisième trimestre de 2003, la situation globale reste relativement terne. Les primes montent et la capacité à assurer devrait rechuter à USD 700 millions en 2003 ; seuls 23 lancements de satellites géostationnaires devaient être couverts par les assurances cette année-là, contre 27 en 2002.

Situation actuelle du segment aval

Services de télécommunications par satellite

Le segment des télécommunications est le plus grand et le plus mûr des segments aval du secteur spatial. Il est formé de deux grandes composantes : les télécommunications et la radiodiffusion, avec une distinction entre le service fixe et le service mobile. Les principales tendances qui ont marqué ce secteur au cours des dernières années sont la révolution numérique, qui a tendance à faire converger les divers services proposés, et la demande de services toujours plus élaborés, avec des besoins croissants en termes de bande passante.

Le secteur des opérateurs de satellite

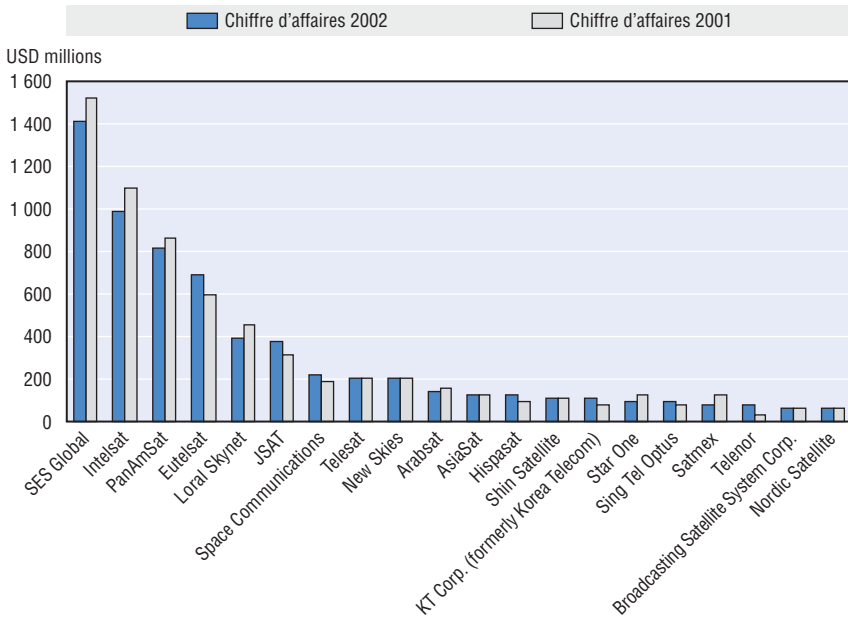
Près de 95 % des recettes proviennent du service fixe (USD 6.15 milliards en 2003 contre 8.3 milliards en 2001), dont les deux tiers trouvent leur origine dans la location de répéteurs pour des services de radiodiffusion, en général des services de réception directe par satellite (RDS).

Après avoir investi pendant des années dans les satellites et l'infrastructure, le secteur des opérateurs de satellites est engagé actuellement dans un processus de rapprochement. La crise des télécommunications sans précédent du début des années 2000 a incité le secteur à réduire ses coûts et à consolider et recentrer ses activités. Les entreprises se regroupent de plus en plus et le secteur a connu une croissance lente mais constante au cours des dernières années, avec des marges de bénéfice accrues (figure 1.3).

En 2001, six opérateurs se partageaient 66 % du marché mondial : SES Global, Intelsat, PanAmSat, Eutelsat, JSAT et Loral Space and Communications. Depuis l'acquisition de GE Americom en novembre 2002, SES Global est le premier opérateur mondial de systèmes satellitaires.

Les opérateurs de services à large de bande ont beaucoup souffert pendant la crise économique par suite d'un environnement financier hostile et de la faiblesse de la demande. On observe cependant des indications de reprise. Le lancement des systèmes Spaceway de Hughes Network Systems et IPSTAR de Shin Satellites est prévu pour la première moitié de 2004. La situation des services mobiles par satellite s'améliore également. L'organisation Inmarsat est toujours forte et Thuraya se profile en tant que fournisseur régional de services mobiles par satellite. La société vient de lancer un deuxième satellite et en a commandé chez Boeing un troisième qui pourrait être lancé dans les deux années à venir si la demande est suffisante.

Figure 1.3. **Revenu des 20 principaux opérateurs de systèmes à satellites en 2001 et 2002**



Source : Space News, 2003.

Services d'abonnement satellitaire et services au détail – l'industrie de la réception directe par satellite (RDS)

Le segment de la RDS est de loin le plus important du secteur. Son développement est relativement récent. La France, par exemple, a lancé en 1985 sa première plate-forme RDS analogique (Télédiffusion de France TDF) alors que la première plate-forme RDS numérique (Orbit) est devenue opérationnelle en 1994. Les opérateurs de RDS ont pleinement exploité les progrès techniques réalisés en amont dans la fabrication de satellites et en aval dans le domaine de la compression numérique, ainsi que de la libéralisation du marché au lendemain de l'Accord sur les télécommunications de base de l'OMC, pour concurrencer efficacement les câblo-opérateurs, en dépit des importantes barrières à l'entrée sur le marché de la télévision par abonnement.

La croissance a été extrêmement rapide. Entre 1995 et 2001, le secteur de la RDS est passé de USD 1.5 milliard à 22.5 milliards. En 2001, plus de 54 plates-formes RDS distribuaient plus de 5 000 canaux de télévision à plus de 45 millions d'abonnés dans le monde entier. Pendant les deux dernières

Encadré 1.1. Restructuration dans le secteur des télécommunications par satellite

Loral Space & Communications

Le secteur des télécommunications par satellite est un secteur à risques et les entreprises individuelles deviennent très vulnérables en cas de repli économique. Les difficultés auxquelles s'est heurté Loral Space & Communications (Loral) pendant ces dernières années sont un cas particulièrement instructif.

La position de Loral dans le secteur est inhabituelle en ce sens qu'elle est à la fois une entreprise de télécommunications par satellite qui détient et exploite son propre réseau de satellites de télécommunication et un concepteur et fabricant de satellites.

Loral s'est débattu ces quelques dernières années avec une dette très lourde, dont le poids a été aggravé par le repli économique général du début des années 2000, entraînant une baisse des commandes de fabrication de satellites et un ralentissement de la croissance des services fixes par satellite. Un autre facteur en cause a été la banqueroute en février 2002 de Globalstar, une entreprise de téléphonie par satellite dans laquelle Loral avait investi USD 1.5 milliard, dont la plus grande partie est passée aux pertes et profits. Vers la mi-2003, Loral avait une dette à long terme de quelque USD 2.1 milliards.

Étant donné cette situation, les institutions financières n'ont plus consenti de prêt à la société. Incapable de financer sa dette, Loral a demandé le 15 juillet 2003 la protection au titre du chapitre 11 et a été forcé d'abandonner quelques-uns de ses satellites au plus offrant. Le 25 octobre 2003, un tribunal des faillites a approuvé la vente prévue de cinq satellites Loral à Intelsat, qui avait fait la meilleure offre. Aux termes de l'accord, Loral vendra à Intelsat les satellites Telstar 5, 6, 7 et 13, actuellement en orbite, ainsi que le satellite Telstar 8 qui doit être lancé en 2004, pour un montant « pouvant atteindre » USD 1.1 milliard. L'accord porte également sur les droits relatifs à un créneau orbital, à 77° Ouest, qui avait appartenu à Loral mais jamais utilisé. Lorsque l'affaire sera conclue, Loral conservera cinq satellites desservant d'autres régions ainsi que son entreprise de fabrication de satellites.

Pour Intelsat, l'acquisition des actifs de Loral, sous réserve de l'approbation de la Federal Communications Commission (FCC) au début de 2004, est une façon de compléter son réseau mondial de services par satellite. L'accord confère à l'entreprise une plus grande couverture du marché nord-américain et accroît sa base de clientèle dans les segments du câble et de la radiodiffusion.

Encadré 1.1. **Restructuration dans le secteur des télécommunications par satellite** (suite)

Pour Loral, la vente à Intelsat permet à la société d'éliminer pratiquement la totalité de sa créance garantie de USD 1 milliard, mais elle force l'entreprise à se réorganiser autour de ses services par satellite restants, composés d'un parc de cinq satellites internationaux et de Space Systems/Loral (SS/L), son entreprise de fabrication de satellites. Le temps dira si cette réorganisation sera suffisante pour permettre à la société de vaincre ses difficultés actuelles. À cet égard, quelques signes positifs peuvent être constatés du côté de la production : Space Systems/Loral a récemment reçu des commandes pour la construction de quatre nouveaux satellites, un pour Intelsat, un pour PanAmSat Corporation et deux pour DIRECTV, inc.

années, les recettes provenant des plates-formes RDS ont dépassé celles du spectacle et des jeux vidéo. Les principaux segments du marché sont les films (23 %), les films documentaires/mode de vie (12 %), le sport (10 %) et les informations (8 %). Le succès de la diffusion directe est dû en grande partie aux progrès considérables en matière de productivité des satellites RDS de la dernière décennie, qui résultent eux-mêmes d'une augmentation de la longévité des satellites, du nombre de répéteurs par satellite et de la population desservie. La capacité de distribution de l'image vidéo par satellite a été multipliée par 187 en dix ans. Dans le même temps, le nombre de canaux pouvant être distribués par chaque répéteur a été multiplié par 12.

En 2003, les recettes des 54 opérateurs formant le secteur de RDS se sont élevées à USD 33 milliards, soit une augmentation de 27 % par rapport à l'année précédente. Echostar a été le fournisseur ayant la croissance la plus rapide, avec 1.3 million de nouveaux abonnés en 2003. La radiophonie par satellite a également rencontré un vif succès sur le marché nord-américain. XM, le leader du marché, qui a commencé ses activités en 2001, comptait plus de 1.3 million de clients à la fin de 2003 et a vu la valeur de ses actions gonfler de USD 3 au début de janvier 2003 à USD 26 à la fin de l'année, soit une croissance de plus de 750 %.

Services interactifs à haut débit

Même si la RDS va poursuivre sa croissance et reste importante, le moteur de la prochaine décennie pourrait être celui des services interactifs à haut débit qui pourront être ajoutés aux services de transmission RDS classiques. À mesure que les services de RDS deviendront de plus en plus interactifs, les services à haut débit et les services de radiodiffusion auront

tendance à converger et seront proposés sous la forme d'un bouquet commercial unique.

Le haut débit par satellite a un avantage évident sur les technologies terrestres : moyennant une infrastructure minimale, il permet d'assurer une couverture universelle pratiquement sans délai. Il présente toutefois aussi de sérieux inconvénients : les coûts sont très élevés et le service n'est pas toujours fiable. Par ailleurs, en raison du temps de latence, le haut débit par satellite ne peut assurer des services tels que les jeux, qui nécessitent un niveau d'interactivité élevé. Il s'ensuit que de nombreux experts le considèrent comme une solution intermédiaire pour des pays ayant un réseau terrestre relativement sous-développé ou comme un créneau spécialisé (par exemple pour les zones rurales et éloignées) dans les pays ayant une infrastructure terrestre développée.

Les estimations des perspectives de haut débit par satellite varient considérablement et sont difficiles à comparer. Selon Northern Sky Research, il y avait quelque 125 000 abonnés au haut débit par satellite en 2002 aux États-Unis; en 2001, 100 000 utilisateurs « bidirectionnels » ont généré un chiffre d'affaires de USD 330 millions. En 2006, les recettes des services à haut débit par satellite pourraient atteindre USD 12.4 milliards. Euroconsult estime que le nombre de terminaux avec accès direct à l'Internet par satellite (la voie de retour étant assurée par câble ou par satellite) passera de 350 000 en 2000 à 12.6 millions en 2010. La société Frost & Sullivan est moins optimiste. Elle pense que les services à haut débit par satellite présenteront un revenu potentiel de USD 5.1 milliards d'ici à 2008 (3.6 milliards pour le marché de l'accès direct à haut débit et 1.5 milliard pour le marché du réseau d'interconnexion d'Internet).

À moyen terme, trois facteurs sont susceptibles de jouer un rôle décisif dans le développement futur des services à haut débit par satellite :

- La capacité du secteur à diminuer ses coûts et à produire en grande série des terminaux bidirectionnels bon marché, efficaces et simples d'emploi. On prévoit que dans les quatre années à venir les nouvelles technologies devraient permettre de diviser par quatre le coût de fourniture du service. Par la normalisation et des volumes de production suffisamment grands, le coût des terminaux pourrait passer d'environ EUR 1 500 aujourd'hui à moins de EUR 300. Cela devrait ramener le coût du haut débit par satellite au niveau de celui de l'ADSL (ligne d'abonné numérique asymétrique).
- La capacité du secteur à s'organiser pour offrir au client des services d'une qualité comparable à celles des concurrents terrestres.
- L'appui public au développement du service à haut débit par satellite comme moyen de combler la « fracture numérique », tant aux plans national qu'international, surtout pour fournir des services publics tels que

l'administration électronique, la télémédecine et l'enseignement à distance. Néanmoins, cela soulèvera probablement des questions de politique de concurrence difficiles à résoudre.

Services mondiaux de localisation et de navigation

L'emploi de satellites pour les besoins de la localisation et de la navigation se développe rapidement même si un seul système, l'US Global Positioning System (GPS) est à ce jour pleinement opérationnel. Initialement mis au point par l'US Department of Defence pour maintenir le contact avec ses troupes et suivre leurs mouvements, le GPS est formé d'un réseau d'au moins 24 satellites en orbite moyenne (17 000 km) régulièrement entretenus et modernisés. Le GPS a démontré sa valeur militaire au cours de la première guerre du Golfe et a été mis plus tard gratuitement à la disposition des utilisateurs commerciaux, bien qu'il reste sous contrôle militaire américain. Son succès sur les marchés grand public et professionnels a été instantané. Le GPS devient rapidement un outil de base aussi bien pour les services de recherche et de sauvetage que pour la navigation automobile et les loisirs. On peut même l'utiliser pour les travaux souterrains : les constructeurs du tunnel sous la Manche ont été parmi les premiers utilisateurs commerciaux de la technologie GPS, en l'utilisant pour guider les équipes progressant de l'Angleterre vers la France et *vice versa* jusqu'au point de rencontre, exactement à mi-chemin. Le GPS a d'ores et déjà créé un substantiel marché en aval estimé à USD 10.6 milliards environ en 2001 (y compris le matériel et les services à valeur ajoutée). À l'horizon 2010, ce marché devrait quadrupler pour atteindre USD 41 milliards étant donné que des circuits GPS sont intégrés dans un nombre toujours plus grand de produits.

Le GPS américain devenant de plus en plus omniprésent, étant intégré dans toujours plus de systèmes qui dépendent de son bon fonctionnement, une interruption du signal (qu'elle soit accidentelle ou délibérée) aurait des conséquences sans précédent dans le monde entier. Cela a contribué pour beaucoup à persuader les pays spatiaux non américains de lancer leur propre système de localisation et de navigation. C'est le cas du système civil européen Galileo qui devrait être le complément et le concurrent du GPS, sur les marchés civils et militaires, à partir de 2008. Par suite d'un accord entre les États-Unis et l'Union européenne conclu en février 2004, Galileo et le GPS américain fonctionneront de manière complémentaire. Par la combinaison des deux systèmes, les utilisateurs bénéficieront d'une fiabilité plus grande que celle rendue possible par un seul système. Des questions subsistent toutefois concernant le niveau de financement nécessaire pour le déploiement de GALILEO et les phases d'exploitation qui devront être gérées par le secteur privé.

Observation de la Terre

L'observation de la Terre a été l'une des premières applications des satellites (le projet Corona remonte à 1960 et le premier satellite civil d'observation de la Terre, Landsat, a été lancé en 1972). Malgré cela, les satellites d'observation commerciaux (SOC) sont encore relativement nouveaux. Les activités dans cette branche ont commencé quand les restrictions imposées aux technologies de l'imagerie par satellite ont été assouplies à la fin de la guerre froide, mais elles n'ont pas connu depuis la croissance rapide escomptée. La technologie a joué un rôle important dans le développement des SOC. Ce sont notamment des progrès dans les domaines de l'optique et de la détection radar qui ont rendu possible la fabrication de satellites plus petits, moins onéreux et plus agiles que les SOC initiaux.

Auparavant, une différence relativement claire existait entre les satellites d'observation militaires et civils, de même qu'entre les satellites d'observation civils et commerciaux, mais cela est moins clair de nos jours étant donné que la capacité des SOC a augmenté de manière significative et que les agences militaires et de renseignements s'appuient de plus en plus sur eux. Les perspectives économiques des SOC sont toutefois incertaines. D'une part, à mesure que de nombreux pays évoluent vers une économie basée sur la connaissance, un marché pour l'imagerie par satellite et les produits d'information complexes peut surgir et se développer rapidement partout dans le monde dans les quelques années à venir. D'autre part, les SOC se heurtent à une forte concurrence au niveau de la vente de produits d'information de nature géospatiale. Ils sont d'abord en concurrence avec la photographie aérienne, qui a longtemps dominé le marché et qui poursuit sa propre trajectoire au niveau de l'innovation. Ensuite, ils sont en concurrence avec les études au sol réalisées au moyen du système mondial de satellites de navigation (GNSS) et de systèmes d'information géographique (SIG). Enfin, la concurrence internationale deviendra sans doute très forte lorsque de nouveaux acteurs à faible coût, aidés par les pouvoirs publics ou soutenus par des économies émergentes, se profileront sur le marché. Une intervention publique est donc déterminante pour le développement futur des satellites SOC.

Le débat politique actuel

Depuis la fin de la guerre froide, l'espace a cessé d'être essentiellement une affaire de prestige et de puissance. Les systèmes spatiaux sont maintenant utilisés pour résoudre des problèmes mondiaux, et de nouvelles opportunités de coopération internationale sont apparues. Beaucoup de pays considèrent l'espace comme un moyen de réaliser leurs objectifs stratégiques.

Les **États-Unis** voient l'espace comme un instrument pour préserver leur prépondérance économique, politique et scientifique. Dans son rapport de

2002 au président, la Commission sur l'avenir de l'industrie aérospatiale a souligné l'importance d'une industrie aérospatiale américaine saine pour préserver l'équilibre de la prépondérance actuelle et de faire le nécessaire pour qu'elle se maintienne. La Commission s'est aussi inquiétée de la concentration de l'industrie (cinq grandes entreprises) et du vieillissement des effectifs.

Europe : dans le *Livre blanc sur la politique spatiale européenne* établi par la Commission des communautés européennes et l'ESA, et publié par la Commission en novembre 2003, il est dit que l'Europe a besoin d'une politique spatiale à l'appui des missions clés de l'Union : croissance économique accélérée, création d'emplois et compétitivité industrielle, élargissement et cohésion, développement durable, sécurité et défense. Une politique spatiale européenne est censée réduire la dépendance vis-à-vis des systèmes spatiaux non européens dans les applications tant stratégiques que commerciales, pour augmenter la possibilité d'une coopération plus équilibrée avec les États-Unis et pour donner à l'Europe un rôle plus éminent sur la scène mondiale.

Le **Japon** a concentré son action passée sur des programmes d'aide considérable et immédiate aux îles japonaises dans les domaines des télécommunications, des alertes météorologiques et maritimes et de l'observation de la Terre. Il a également utilisé ses programmes spatiaux pour développer et conserver son avance dans les secteurs des communications et des techniques industrielles. Actuellement, les autorités japonaises sont de plus en plus préoccupées par la compétitivité et la sécurité. En 2002, le Council for Science and Technology Policy, conduit par le Premier ministre Junichiro Koizumi, a proposé de restructurer le budget spatial japonais en se concentrant sur les programmes qui favorisent l'industrie spatiale et la sécurité nationale du pays.

Russie : après un déclin brutal à la fin de la guerre froide, les budgets spatiaux ont été rétablis, mais s'ils ont pratiquement doublé entre 1998 et 2001 en termes de monnaie nationale, leur montant calculé en dollars a réduit de moitié. Le budget est estimé à USD 260 millions, dont 70 % sont consacrés aux applications civiles gérées par l'Agence spatiale russe (RKA). Face au besoin urgent de reconstituer les systèmes de satellites nationaux vieillissants, la Russie exporte des services de lancement pour combler le déficit du financement public. Toutefois, étant donné le niveau des activités russes de lancement en 2003 (24 lancements, dont 8 commerciaux, au moyen de fusées russes, soit plus que tout autre pays), les données budgétaires sous-estiment énormément les capacités du pays.

L'Inde accorde une grande priorité à l'acquisition de la technologie spatiale pour son développement. Cela apparaît dans la part relativement importante du PIB consacrée à la R-D civile depuis des années (0.08 % en 2001).

Il en résulte que l'Inde est devenue la quatrième puissance spatiale en termes financiers avec un budget de USD 402 millions pour l'exercice 2001/02, principalement géré par l'Indian Space Research Organisation (ISRO). Au cours de l'exercice 2002/03, le budget de l'ISRO a encore été augmenté pour atteindre USD 500 millions. Une collaboration future plus étroite est prévue entre l'Inde et les États-Unis après la signature d'un pacte de coopération entre les deux pays en janvier 2004, pacte qui pourrait notamment porter sur la production conjointe de satellites civils.

Chine : au taux de change actuel, le budget spatial chinois a été estimé à USD 150 millions pour les programmes civils et à 30 millions pour les programmes militaires. Toutefois, ces chiffres sous-estiment très fortement les dépenses effectives en termes réels. Certains experts pensent même qu'avec une main-d'œuvre spatiale estimée à 260 000 personnes, la Chine peut dépenser en termes réels, à l'appui de ses ambitieux programmes spatiaux, en particulier pour les vols spatiaux habités, autant que la NASA (US National Aeronautics and Space Administration). Ses efforts ont été couronnés de succès lorsqu'elle a envoyé son premier « taïkonaute » dans l'espace, le 15 octobre 2003. Pour 2004, la Chine envisage de lancer dix satellites, tout en développant une plate-forme de communications géostationnaires à 50 répéteurs, d'une durée de vie de 15 ans. Une question fondamentale pour l'avenir est de savoir si un tel effort pourra être poursuivi à long terme.

Accès à l'espace

États-Unis : pour la NASA, les grands problèmes ont été, après l'accident de Columbia, la politique à adopter au sujet de la navette spatiale et la réalisation d'un avion spatial orbital (OSP) pour la Station spatiale internationale (ISS). Des questions ont été posées sur l'intérêt d'un avion orbital et sur le fait de savoir si la prolongation de la durée de vie de la navette était la meilleure solution possible. On s'interroge aussi sur l'utilité des vols habités par rapport aux vols automatiques (par exemple les missions dans l'espace lointain qui ne peuvent utiliser que des instruments automatiques) et sur la nécessité pour les programmes d'être axés sur l'exploration planétaire ou sur la physique fondamentale. L'initiative Bush, décrite ci-dessous, propose de mettre fortement l'accent sur l'exploration par des vols habités.

Du côté militaire, le principal débat est articulé autour de la poursuite du programme de lanceurs modulaires EELV, dans le cadre d'une double stratégie, jugé onéreux mais nécessaire pour conserver l'accès garanti à l'espace, particulièrement à une époque où il faut procéder à une remise en état et à une modernisation des ressources spatiales existantes. Entre-temps, la recherche sur les moyens hypersoniques a connu un nouvel essor. Tant la NASA que la DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) étudient

des projets de véhicules hypersoniques. La DARPA compte faire un vol de démonstration dès 2006.

Au plan purement commercial, un certain nombre de jeunes entreprises ambitionnent de proposer un accès moins onéreux à l'espace. Une initiative privée intéressante est le X Prize, un concours organisé par Peter Diamandis, offrant une récompense de USD 10 millions à la première personne capable de mettre au point un véhicule de lancement réutilisable opérationnel (RLV). Le SpaceShipOne de Scaled Composites est le projet jugé le mieux placé pour remporter le prix, car il a franchi une étape importante en décembre 2003 en dépassant le mur du son lors d'un vol d'essai.

Europe : l'échec d'Ariane 5 ECA (la version la plus lourde à ce jour) a forcé Arianespace à réexaminer l'ensemble de sa stratégie. Le Conseil de l'ESA au niveau ministériel, réuni à Paris le 27 mai 2003, a pris des décisions sur la restructuration du secteur du lanceur Ariane, sur le rétablissement de la compétitivité d'Ariane 5 et sur les mesures à prendre pour préparer les futurs lanceurs. Les ministres ont adopté des mesures pour mener à bien la qualification du lanceur Ariane 5 ECA afin d'augmenter sa compétitivité tout en assurant la continuité des services de lancement avec des versions génériques d'Ariane 5 et des services de soutien économiques. La réorganisation du secteur du lanceur Ariane rationalise cette activité en désignant un seul maître-d'œuvre pour le système de lancement, tant pour la fabrication que pour le développement futur d'Ariane 5. Arianespace reste chargée de la phase de production, effectue les opérations de lancement, est responsable des lancements vis-à-vis des clients et achète des lanceurs au maître d'œuvre. La participation du secteur public a également été simplifiée. L'ESA a été chargée de la gestion du projet de lanceurs, en s'appuyant sur les compétences et le personnel des agences spatiales nationales. L'ESA a été chargée de proposer une réorganisation des opérations de lancement d'Ariane 5 au Centre spatial de Guyane, destinée à garantir aux institutions utilisatrices européennes l'accès à l'espace et à maximiser l'utilisation institutionnelle, en accordant la priorité aux lancements des institutions européennes tout en offrant les meilleurs prix du marché. Les ministres ont en outre décidé d'exécuter le programme du principe d'accès garanti à l'espace pour l'Europe, qui porte sur un choix d'activités à coût fixe associées à la production d'Ariane 5, mettant ainsi l'industrie européenne et Arianespace sur un pied d'égalité avec la concurrence internationale.

Japon : après les premiers succès, on espérait que le lanceur H2-A pourrait être proposé sur le marché commercial, mais après l'échec du sixième lancement, en décembre 2003, qui devait mettre deux satellites espions en orbite, l'avenir du lanceur est incertain. Il doit aussi rattraper la nouvelle génération de lanceurs lourds américains et européens. Enfin, le temps dira ce que le nouveau partage de responsabilités entre Mitsubishi

Heavy Industries et la Japanese Aerospace Exploration Agency (JAXA) apportera dans la pratique.

Questions de sécurité

États-Unis : les questions de sécurité globale ont été à l'origine de la création du Département de la sécurité intérieure, la plus grande réorganisation du gouvernement fédéral depuis la création du Département de la défense, en 1947. L'espace occupe une place centrale dans l'esprit des analystes de la sécurité. Il est perçu comme un outil majeur pour renforcer la sécurité, mais aussi comme un danger dans la mesure où d'autres nations, y compris des adversaires potentiels, acquièrent progressivement des capacités spatiales qui pourraient constituer un danger pour les États-Unis. Dans ce contexte, la maîtrise de l'espace, la protection des systèmes américains et la capacité d'attaquer un adversaire retiennent de plus en plus l'attention des décideurs.

L'augmentation des dépenses spatiales à des fins militaires par les États-Unis est non seulement jugée souhaitable dans une perspective de sécurité, mais aussi considérée comme un moyen d'amortir le fort ralentissement de l'activité sur le marché de l'industrie aérospatiale commerciale. L'efficacité future de cette solution a soulevé bien des questions, notamment de savoir si le programme quinquennal de défense, qui prévoit une augmentation de 30 % des achats, sera réalisable étant donné que le budget militaire global n'est censé s'accroître que de 10 %. Certains experts avancent également que les dépenses militaires pourraient être utilisées comme un levier dans les négociations commerciales avec l'Europe étant donné que l'industrie aérospatiale européenne n'est pas autorisée à soumissionner pour les contrats publics américains, y compris les contrats du DoD, ce qui l'a désavantagée par rapport aux firmes américaines.

L'Europe, elle aussi, a admis l'utilité de l'espace à des fins militaires depuis les événements du 11 septembre, et la volonté de recourir davantage à l'espace dans la planification militaire est apparue clairement dans les grands pays européens. Simultanément, l'Europe s'achemine vers une plus grande coopération militaire interne globale par l'établissement d'une politique européenne de sécurité et de défense (PESD). Mais si le besoin de coopération entre les pays européens est acquis, on ne constate jusqu'à présent aucune stratégie dominante en ce qui concerne les utilisations militaires de l'espace en Europe. Étant donné les maigres budgets attribués aux activités militaires spatiales en Europe, l'intérêt à tirer parti du caractère dual de la technologie spatiale, à savoir les économies de coût et les gains d'efficacité pouvant être obtenues par l'utilisation militaire judicieuse de systèmes civils polyvalents s'est accru.

Pour réaliser de telles économies de coût et des gains d'efficacité, le ministère de la Défense du Royaume-Uni s'est prononcé en faveur d'initiatives financières privées auxquelles il pourrait être fait appel, le cas échéant, pour réaliser une infrastructure particulière destinée aux militaires. Avec le programme Skynet 5, elle compte établir un nouveau marché pour les services de télécommunication militaires d'une valeur de USD 2 milliards sur 10 ans. Le contrat Skynet 5, d'une valeur de GBP 2.5 millions (USD 4.6 millions) a été signé avec EADS le 24 octobre 2003. Les autorités françaises, également tentées par les initiatives de financement privées, ont fait savoir qu'elles pourraient laisser à l'industrie le soin de s'occuper du troisième et dernier des satellites de communications militaires Syracuse III au cas où Skynet 5 serait une réussite. Le programme mixte ESA/EU de navigation par satellite Galileo s'inspire du modèle IFP (initiative financière privée) pour la mise en place et l'exploitation.

Les appels en faveur d'une plus grande indépendance ont aussi été un élément décisif des efforts européens pour renforcer la coopération dans le développement des systèmes spatiaux, surtout dans le cas de Galileo, qui est perçu tant comme complément que comme concurrent du GPS américain. Galileo sera un système partiellement commercial. Un « concessionnaire » obtiendra le droit d'exploiter le système pendant une période donnée en contrepartie des deux tiers du coût de déploiement, estimé à quelque EUR 2.2 milliards (USD 2.8 milliards). Toutefois, le réseau restera sous le contrôle de l'UE, par l'intermédiaire d'une « Autorité de surveillance » qui aura le contrôle total sur le service public réglementé (PRS), à l'usage exclusif des gouvernements de l'UE. Les partenaires non européens (la Chine et éventuellement le Brésil, l'Inde et Israël) n'auront pas accès au canal PRS et n'auront pas de pouvoir de décision au sujet de l'utilisation de Galileo en période de crise.

L'initiative européenne GMES (surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité), même si elle est essentiellement civile ou à usage dual, reflète également le fait que les pays européens souhaitent de plus en plus collecter l'information de façon indépendante. Le programme GMES était initialement conçu à des fins de protection contre les menaces environnementales et à la surveillance de celles-ci, mais l'aspect sécuritaire a pris de l'importance au cours de la dernière année, comme le souligne une résolution du Parlement européen en date du 29 janvier 2004. De plus, des efforts modestes pour intégrer des programmes satellitaires militaires sont en cours. La France, l'Allemagne et l'Italie ont abouti à un accord sur l'utilisation réciproque de leurs systèmes d'imagerie optique respectifs, et d'autres membres de l'UE sont intéressés par une participation dans un système d'observation militaire de nouvelle génération, destiné à compléter le programme GMES.

Le **Japon** aussi se soucie de plus en plus de la sécurité, notamment vis-à-vis de la Corée du Nord, et il reconnaît pleinement la valeur de l'espace à cette fin. C'est depuis 1998 que les missiles nord-coréens ont été considérés comme une menace majeure pour la sécurité du Japon, quand l'un de ces missiles est passé au-dessus de la principale île japonaise de Honshu pour terminer sa course dans le Pacifique. Depuis, le Japon a restructuré son budget de la défense afin d'y inclure une architecture de défense contre les missiles basée sur l'architecture américaine de défense par missiles PAC-3. Un système de détection lointaine pourrait le compléter dans le cadre de la défense japonaise contre la menace que présente la Corée du Nord, ce qui a amené le Japon à procéder au lancement de son premier satellite de reconnaissance militaire, en 2003.

Questions de politique soulevées par la situation actuelle du secteur

L'état de crise des marchés spatiaux commerciaux a forcé de nombreuses entreprises à réexaminer leur stratégie globale, d'où des initiatives qui ont eu des conséquences significatives pour le secteur spatial et des questions de politique importantes, surtout au niveau de la concurrence et des compromis entre l'efficacité et les impératifs stratégiques.

Abandons : face à l'effondrement du marché, certaines entreprises ont choisi d'abandonner complètement le secteur. C'est le cas par exemple de BAE Systems, qui a décidé de se retirer d'Astrium et de Paradigm Secure Communications. La principale raison avancée était que les risques substantiels pris dans un certain nombre de programmes majeurs de la défense ne l'incitaient guère à prendre des risques additionnels, surtout dans un domaine secondaire.

Fusions : alors que certaines entreprises quittent le secteur, d'autres tirent profit des difficultés rencontrées par les concurrents ou partenaires pour renforcer leurs positions dans les segments clés du marché spatial. EADS, par exemple, a tiré profit du départ de BAE Systems d'Astrium pour prendre le contrôle total de la société et rationaliser ses activités. Cela a permis à EADS de simplifier ses activités, surtout pour englober les activités de lancement d'Ariane 5 et celles d'Astrium dans le nouveau groupe EADS Space. La création d'un maître d'œuvre unique pour Ariane 5 est considéré comme une étape importante de l'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité du système de lancement, tout en rendant celui-ci plus compétitif. EADS Space est une société holding actuellement composée de EADS Space Transportation pour les lanceurs et l'infrastructure spatiale, de EADS Astrium pour les satellites et de EADS Space Services chargé de développer les services par satellite dans les segments de la télécommunication et de la navigation. EADS Space Services termine aussi l'établissement de Paradigm Secure Communications Ltd pour gérer le programme Paradigm. Un plan de réduction des coûts est en cours

afin de rendre les activités spatiales à nouveau rentables à partir de 2004. Néanmoins, les décisions relatives à la fermeture de certains sites seront délicates. Elles devront être prises d'une part sur la base de critères commerciaux et d'autre part en tenant compte de la nécessité de conserver des clients institutionnels dans chacun des marchés « principaux » d'EADS (la France, l'Allemagne et l'Espagne). De plus, la synergie entre la production des lanceurs et celle des satellites peut rester faible, dans la mesure où ces deux activités relèvent de deux divisions distinctes de la société holding.

Recherche de nouveaux marchés : la faiblesse du marché des satellites de télécommunication commerciaux force de nombreuses entreprises à trouver de nouveaux clients. Pour l'heure, ce sont les contrats militaires qui représentent l'alternative la plus attrayante. EADS, par exemple, table sur une forte croissance dans le secteur des satellites de télécommunication militaires. En plus de Skynet 5, EADS et Paradigm participent à une offre IFP pour des satellites de l'OTAN et étudient des initiatives analogues en France, en Italie et dans d'autres pays. Alcatel Space fait équipe avec Thales pour un contrat avec le gouvernement français portant sur la mise au point du nouveau système de communications militaires par satellite Syracuse III. Un recours accru aux contrats militaires est également une règle incontournable aux États-Unis. On notera en particulier à ce sujet les efforts consentis pour réaliser la Transformational Communications Architecture, qui englobera le système Wideband Gapfiller de l'Armée de l'air des États-Unis et les Mobile User Objective Systems de la Marine des États-Unis, de même qu'une nouvelle génération de satellites de l'Armée de l'air et du National Reconnaissance Office (NRO) dont les lancements commenceront en 2012. Ils seront dotés d'équipements laser et radioélectriques ayant dix fois la capacité des systèmes actuels.

Restructuration en aval : le ralentissement de la demande de services satellitaires a fait plonger de 40 à 50 % le prix des répéteurs au cours des cinq dernières années. Comme les nouveaux services se sont développés beaucoup moins rapidement que prévu, les opérateurs ont réduit les plans relatifs aux nouveaux satellites pour éviter la surcapacité. Une concentration se produit dans le marché de la radiodiffusion directe par satellite en raison des importantes économies d'échelle propres à ces activités. Les alliances et les prises de contrôle sont susceptibles de se poursuivre à mesure que les opérateurs élargissent leurs activités et accèdent au marché du haut débit. Mais une augmentation des concentrations soulève des questions de concurrence (dossier Echostar/DirecTV) et de souveraineté (Eutelsat).

Marchés spatiaux publics

Bien que la part du PIB consacrée par les pouvoirs publics à l'espace ait diminué pendant la dernière décennie, c'est toujours les gouvernements qui ont les plus gros budgets spatiaux et ceux-ci continuent de croître. En 2001, le total mondial des budgets publics consacrés aux activités spatiales a été estimé à USD 38 milliards; il a atteint 43 milliards en 2003 et pourrait dépasser 50 milliards en 2010.

Les dépenses publiques dans le domaine spatial représentent un marché majeur pour l'industrie spatiale car elles sont très élevées en valeur absolue et représentent 70 % des achats sous une forme ou une autre à l'industrie. Cela comprend l'achat de produits et services pour des besoins de R-D, les marchés du matériel spatial (y compris l'infrastructure orbitale) ainsi que l'achat et l'exploitation des lanceurs. Il existe deux types de client, les agences spatiales, qui sont principalement axées sur la R-D et mettent donc au point de nouveaux produits, et les clients institutionnels qui acquièrent généralement des produits standard. Le marché des satellites fait apparaître clairement l'importance des marchés publics pour l'industrie spatiale : en 2003, les missions financées par les pouvoirs publics ont représenté 75 % des 63 lancements effectués dans le monde.

Non seulement les pouvoirs publics consacrent des parts importantes des deniers publics à l'espace, mais ils encouragent aussi le financement privé d'opérations du service public. Ces dernières années, le capital privé a joué un rôle plus grand dans le financement de ces opérations, pour lesquelles la marge de manœuvre des institutions publiques est très réduite. Le financement privé donne aux pouvoirs publics la souplesse financière permettant d'établir des programmes à une échelle guère réalisable avec les seuls fonds publics. Sept projets spatiaux ont démarré avec des partenariats public-privé (PPP); six en Europe, notamment Galileo, le plus grand PPP à ce jour qui a atteint EUR 3.2 milliards (hors coûts d'exploitation). Depuis février 2004, la liste des candidats potentiels à la fonction de concessionnaire Galileo soumise à la Joint Undertaking a été ramenée à trois. Il s'agit de Eutelsat Consortium, formé d'Eutelsat SA, Hispasat SA, Logica CMG et AENA, du consortium NavSat, formé de EADS Space, Inmarsat Ventures PLC et Thales SA (avec SES Global et Lockheed Martin en tant que partenaires associés), et du consortium Vinci Concessions, formé de Vinci Concessions SA, Alcatel SA et Finmeccanica. Ces trois consortiums ont annoncé qu'ils sont disposés à financer les deux tiers des USD 2.2 milliards du projet de développement. Ils ont été choisis en partie pour leur capacité de financement mais aussi pour leur approche commerciale de l'exploitation de Galileo, ainsi que leurs plans pour la conception du réseau de satellites.

Les optimistes estiment que 2.5 milliards de personnes pourraient utiliser des systèmes de navigation d'ici à 2020. Ce qui pourrait s'avérer une entreprise très rentable, même si une faible partie seulement des utilisateurs seront disposés à payer pour la précision et la fiabilité additionnelles que propose le service commercial du système. De fait, la Commission européenne prévoit que Galileo créera plus de 100 000 emplois et produira des contrats de services et d'équipements atteignant EUR 9 milliards (USD 11.3 milliards) par an, ce qui en fait le projet d'infrastructure le plus lucratif du continent.

Les budgets spatiaux publics mondiaux ont deux grandes composantes : militaires et civils. En 2003, environ 57 % des ressources spatiales publiques ont été consacrées aux applications civiles (USD 24.3 milliards) et 43 % (USD 18.5 milliards) aux programmes spatiaux militaires officiels. Mais comme les budgets militaires augmentent plus rapidement que les budgets civils, les deux devraient atteindre la parité pour la première fois depuis la fin de la guerre froide à la fin de la décennie.

Les budgets spatiaux militaires et civils ont évolué de manière différente ces dernières années. Après un léger déclin de 1996 à 1998, les marchés spatiaux civils mondiaux ont augmenté de 10 % entre 1998 et 2001, sous l'effet de la croissance des budgets des principaux acteurs mondiaux dans le domaine de l'espace (les États-Unis, l'Europe et le Japon) et ont au moins retrouvé leurs niveaux du milieu des années 90. Les budgets militaires se sont contractés au début des années 90, après la fin de la guerre froide, mais ont repris après 1996, dans une large mesure en raison de la croissance renouvelée des dépenses militaires des États-Unis. C'est ainsi que le total des budgets spatiaux militaires a augmenté de 13 % entre 1996 et 2001 et ensuite de 25 % en 2003. Le volume relatif des deux budgets varie toutefois considérablement selon les pays. Si les États-Unis comptent pour la plus grande partie des dépenses spatiales militaires mondiales, les dépenses relatives aux activités spatiales civiles dominent dans le reste du monde.

Exception faite des postes du budget général, les dépenses spatiales civiles mondiales sont dominées par trois grandes activités : les vols habités, notamment la station ISS et la navette spatiale (environ 40 %), la science spatiale (20 %) et l'observation de la Terre, dont fait partie la météorologie (20 %). Ensemble, ces trois activités représentent environ 80 % de toutes les dépenses civiles dans le domaine de l'espace. Les 20 % restants sont répartis entre les lanceurs (R-D pour le lanceur ELV), les télécommunications, les recherches en microgravité et la navigation.

Tendances nationales dans les pays de premier plan

Même si de plus en plus de pays montrent de l'intérêt pour l'espace (il n'existe pas moins de 30 agences spatiales recensées dans le monde, auxquelles il faut ajouter 26 programmes émergents), le domaine spatial public reste dominé financièrement par les trois grandes puissances spatiales : les États-Unis, l'Europe et le Japon. Ensemble, ils comptent pour 95 % du financement public mondial des activités spatiales, et leur part globale en dollars est restée à peu près la même au cours de la dernière décennie. En 2003, les budgets combinés se sont montés à quelque USD 42 milliards.

États-Unis : avec plus de USD 33 milliards attribués aux activités spatiales militaires et civiles, (77 % du budget spatial public mondial) en 2003, les États-Unis sont le chef de file incontesté. Ils entrent pour 61 % dans le budget spatial civil mondial, contre 23 % pour l'Europe et 10 % pour le Japon, et leurs dépenses spatiales militaires représentent 95 % des apports financiers militaires mondiaux.

Une nouvelle augmentation des budgets est attendue. Au niveau militaire, les dépenses des États-Unis devraient passer de USD 17.5 milliards en 2003 à 25 milliards en 2010, soit une augmentation de 40 %. Au niveau civil, le budget de la NASA devrait aussi croître au cours des années à venir (bien que moins rapidement) et pourrait atteindre USD 18 milliards en 2010 (15.4 milliards en 2004) comme le prévoit le nouveau plan d'exploration de l'espace du président Bush annoncé le 14 janvier 2004.

Pour 2004, le budget approuvé de la NASA est réparti quasiment à parts égales entre d'une part les vols habités (USD 7.5 milliards) – principalement la navette spatiale (4 milliards) et les travaux sur l'ISS (1.7 milliard) – et d'autre part la science, l'aéronautique et l'exploration (7.9 milliards). L'initiative Bush préconise, pour les années à venir, une profonde réattribution des ressources. La NASA devrait bénéficier de USD 1 milliard supplémentaire au cours des cinq années à venir et il conviendrait de réattribuer 11 milliards sur la même période. Plus précisément, ces fonds devraient passer des budgets consacrés à la navette spatiale (dont la carrière se terminera en principe en 2010) et à la SSI (dont la fin est prévue en 2016) au financement des missions d'exploration et la réalisation d'un nouveau véhicule d'exploration habité (CEV).

D'ici le milieu de la prochaine décennie, environ trois quarts du budget de la NASA devrait être consacrés à l'exploration spatiale. Le montant cumulé de la facture pourrait atteindre USD 170 milliards à l'horizon 2020. Simultanément, le programme d'avion orbital OSP (USD 15 milliards) sera remplacé par le nouveau programme CEV, qui vise à envoyer des astronautes au-delà de l'orbite terrestre. Ce véhicule devrait être mis au point d'ici à 2008 et effectuer sa première mission habitée à l'horizon 2014.

Cette démarche reflète partiellement la nouvelle attitude de la NASA au niveau de sa confiance dans la navette spatiale après la tragédie de Columbia en février 2003 et le coût extrêmement élevé de l'application des recommandations de sécurité faites par le Columbia Accident Investigation Board. La recertification de la navette pour des vols au-delà de 2010 coûterait USD 3 milliards et son maintien en état de vol s'élèverait à 5 milliards par an contre 4 milliards actuellement. Selon le nouveau plan, la NASA doit encore programmer pas moins de cinq missions par an pour la navette jusqu'en 2010.

Le télescope Hubble, un des programmes de coopération NASA-ESA les plus réussis, est peut-être la principale victime des changements de priorité de la NASA. Il doit cesser de fonctionner dans trois ans, car plus aucune mission de la navette ne sera assurée pour sa maintenance et pour prolonger sa durée de vie. Un élément décisif à cet égard réside dans la recommandation ferme du Columbia Accident Investigation Board selon laquelle la NASA doit être en mesure d'examiner et de réparer une navette endommagée dans l'espace, une condition particulièrement problématique pour les missions qui ne sont pas destinées à assurer la liaison avec la SSI.

Europe : le budget spatial européen consolidé, qui s'est élevé à EUR 5 milliards (USD 6.2 milliards) en 2003, vient en deuxième place dans le monde et représente environ 15 % des dépenses spatiales publiques mondiales. Avec un budget de EUR 2.7 milliards (USD 3.4 milliards), l'ESA concentre 55 % de l'ensemble des financements spatiaux européens. Au niveau national, la France est le chef de file européen avec un budget spatial civil de EUR 1.3 milliard (USD 1.6 milliard), suivi de l'Italie et de l'Allemagne.

Après une période de croissance rapide entre 1985 et 1992, les budgets nationaux et ceux de l'ESA se sont stabilisés, pour même diminuer dans les années 90. En 2004, le budget de l'ESA, d'un montant de EUR 2.7 milliards (USD 3.4 milliards) est virtuellement inchangé par rapport à 2003, les nouveaux investissements dans la navigation par satellite étant en partie compensés par les dépenses affectées aux véhicules de lancement et aux programmes de vol habité. Les programmes de véhicules de lancement, même s'ils n'atteignent plus les 24 % du budget de l'ESA en 2003, sont toujours le poste individuel le plus important du budget 2004 avec 17 % du total. Les vols spatiaux habités absorbent 16 %, les missions scientifiques 14 %, l'observation de la Terre et la navigation obtenant 12 % chacune.

Dans les années à venir, l'analyse approfondie de la politique spatiale européenne, entreprise au premier semestre de 2003, pourrait donner lieu à des augmentations substantielles des budgets. Cette analyse, qui a été officiellement lancée quand la Commission européenne a adopté le « Livre vert : Politique spatiale européenne » le 21 janvier 2003, a conduit à la publication, en novembre 2003, d'un document d'orientation intitulé « Espace : une nouvelle

frontière européenne pour une Union en expansion. Plan d'action pour la mise en œuvre d'une politique spatiale européenne ».

Ce document, connu en tant que Livre blanc de la politique spatiale européenne, a été élaboré en coopération étroite avec l'ESA. Il recommande des mesures pour veiller à l'accès indépendant de l'Europe à l'espace et pour améliorer la technologie spatiale, encourager l'exploration de l'espace, attirer davantage de jeunes vers les carrières scientifiques et renforcer l'excellence européenne en science spatiale. Il préconise aussi une augmentation substantielle des budgets spatiaux et prévoit un renforcement considérable de la coopération entre l'ESA et l'UE, ainsi que le financement par l'UE de programmes spatiaux, même si certaines questions liées au blocage des discussions sur la Constitution européenne n'ont pas été résolues.

Ce lien plus étroit entre l'ESA et l'UE apparaît dans une feuille de route à moyen terme, l'*Agenda 2007*, établi par le directeur général de l'ESA et publié en décembre 2003. Il est estimé dans l'*Agenda 2007* que l'accroissement des investissements consentis par la Commission européenne contribuera à élargir le pouvoir de financement de l'ESA de 30 % d'ici à 2007, en partant de l'hypothèse que les investissements directs des pays membres de l'ESA resteront inchangés jusque là. On peut considérer que l'*Agenda 2007* est un tremplin vers un programme spatial à long terme visant à doubler l'importance de l'effort spatial européen.

L'*Agenda 2007* accorde une attention particulière aux programmes d'application réputés déterminants pour l'avenir économique et stratégique de l'Europe. Il s'agit notamment de Galileo, dont les phases de déploiement et d'exploitation n'ont pas encore de financement, du réseau GMES ainsi que d'une entreprise de services à haut débit par satellite, pas encore définie, qui doit combler la « fracture numérique » en Europe. Une autre grande priorité portera sur les moyens spatiaux pour la sécurité et la défense. Dans le contexte de l'environnement géopolitique changeant en Europe, celles-ci sont appelées à relever plus tard de la compétence tant de l'ESA que de l'UE. L'*Agenda 2007* situe pour la première fois clairement la défense dans le domaine de l'ESA.

Le **Japon** est la troisième puissance spatiale mondiale. En 2003, son budget spatial s'est élevé à USD 2.5 milliards, et il sera inchangé en 2004. La plus grande partie (65 %) en est attribuée à la Japan Aerospace and Exploratory Agency (JAXA), la deuxième (23 %) au Cabinet Office.

Un tournant important a été la mise en orbite réussie de deux engins spatiaux de la constellation Information Gathering Satellite (IGS) lors du cinquième tir de la fusée japonaise H2-A en mars 2003. Ce lancement était aussi considéré comme une démonstration de la fiabilité de cette fusée, un élément important pour le programme spatial japonais étant donné que la H-2A

a été retenue comme lanceur de choix pour les charges utiles du secteur public japonais. Démontrer la fiabilité du lanceur H2-A était en effet la grande priorité de la politique spatiale intérimaire du Japon, fixée en 2002 par l'organe qui chapeaute la politique spatiale japonaise, la Space Activities Commission (SAC). Les autorités espéraient également que ce lanceur serait aussi compétitif sur le marché des lancements commerciaux.

Toutes ces attentes ont été mises à rude épreuve par l'échec du sixième lancement de la fusée H2-A le 29 novembre 2003, qui a causé la perte de deux satellites IGS. Cet échec devrait entraîner de sérieux retards dans le programme spatial japonais, surtout pour le lancement de trois satellites additionnels de la constellation IGS. D'autres missions ont été ajournées, notamment l'Engineering Test Satellite 8 (ETS-8) qui a été reporté de 2004 à 2005. Le Wideband Internetworking Engineering Test satellite et la mission lunaire Selene, programmés pour 2005, ont été repoussés à 2006 ou 2007. Pour remettre le programme sur les rails, la JAXA a reçu JPY 7.4 milliards (USD 68 millions) en 2004 pour améliorer la fusée H2-A et la remettre en état de vol.

Examen des obstacles institutionnels et réglementaires au développement du secteur

La présente section passe en revue quelques-uns des principaux obstacles au développement du secteur dont il a été question dans des publications récentes, sans aucune tentative pour attribuer les avis exprimés à telle ou telle personne ou institution. Ces avis sont proposés uniquement pour alimenter le débat et ils ne peuvent en aucun cas être considérés comme reflétant de quelque manière que ce soit les opinions de l'OCDE.

Restrictions à l'accès aux marchés

Depuis la signature de l'Accord de l'OMC sur les télécommunications de base (ABT) en 1997, un certain nombre de pays ont considérablement démantelé les restrictions transfrontalières en matière d'accès aux marchés. Davantage de pays permettent maintenant : i) à des entités multiples d'obtenir des licences de service pour leur propre usage ou pour celui de tiers; ii) la propriété et l'exploitation d'équipements de station terrienne privée; iii) le choix des fournisseurs de capacité à bord de satellites; et iv) la propriété et l'exploitation privées, sans restriction, de ressources de transmission et de radiodiffusion. L'accord ABT peut aussi influencer indirectement l'action réglementaire de non signataires. Le résultat net a été une augmentation impressionnante des investissements transfrontaliers dans les services et ressources de télécommunications ainsi que dans les services satellitaires proposés au secteur public ou aux entreprises.

Pour nombre d'observateurs, le processus de libéralisation n'est toutefois pas encore complet. Ils avancent que les barrières réglementaires sont toujours en place dans certaines parties des Amériques, de l'Europe, de l'Asie, de l'Afrique et de la région des Caraïbes, soit parce que certains pays n'ont pas signé l'accord ABT, soit en raison d'une infrastructure insuffisante. Par ailleurs, il ressort que même dans les pays signataires de l'Accord, l'opacité des procédures nationales de licence est encore un obstacle majeur aux nouveaux investissements dans l'infrastructure satellitaire et à la disponibilité de nouveaux services satellitaires. Cela crée un contexte d'incertitudes dans lequel les investisseurs et les opérateurs ne peuvent être sûrs d'obtenir une licence dans des délais raisonnables.

Politiques de passation des marchés

Étant donné que les marchés spatiaux publics sont toujours les meilleurs clients de l'industrie spatiale, la politique de passation des marchés des pouvoirs publics est considérée comme ayant une influence déterminante sur la santé des entreprises spatiales.

Toutefois, certaines critiques avancent que dans un certain nombre de cas, la politique de passation des marchés n'est pas aussi efficace qu'elle pourrait l'être. D'une part, certains soutiennent que les pouvoirs publics ne tirent pas toujours profit des produits et services directement disponibles auprès de sources commerciales, d'autre part, on constate que les pouvoirs publics sont aux prises avec des impératifs politiques et institutionnels qui les empêchent d'être des clients fiables et prévisibles de l'industrie.

De plus, des obstacles semblent résulter du manque d'interopérabilité des systèmes spatiaux, même entre systèmes spatiaux publics d'un même pays. Beaucoup d'utilisations utiles et rentables des moyens spatiaux existants ne peuvent être mises en œuvre étant donné que les divers systèmes ne peuvent pas communiquer ou s'interconnecter. L'interopérabilité permettrait une intégration avantageuse de divers types d'information, mais la mise au point et l'introduction de normes nécessitent une coordination centralisée. Les agences spatiales sont donc encouragées à œuvrer avec l'industrie pour mettre au point des normes d'interopérabilité des systèmes spatiaux et à fournir un appui direct à l'industrie pour qu'elle mette en œuvre de telles normes.

Restrictions aux exportations et aux investissements

En raison du caractère dual de la technologie spatiale, les pouvoirs publics sont tentés de garder le contrôle sur le transfert international de cette technologie pour des motifs de sécurité nationale. Toutefois, ce souci légitime peut donner lieu à un traitement qui porte atteinte aux pratiques normales

des affaires, Dans ce contexte la législation actuelle des États-Unis a été vivement critiquée, notamment le Strom Thurmond National Defence Act de 1998, qui est perçu comme ayant instauré des barrières importantes au commerce, surtout dans l'industrie des satellites, en imposant des restrictions à l'exportation de charges utiles pouvant être lancées au moyen de fusées d'autres pays. Par cette Loi, la compétence en matière de contrôle des exportations a été transférée du Department of Commerce (DoC) au Department of State (DoS), avec effet au 15 mars 1999. Depuis, de sérieux retards dans l'approbation ou l'interdiction des exportations ont été constatés. Qui plus est, il a été signalé que des entreprises américaines avaient des difficultés à communiquer avec leurs filiales à l'étranger. Aux dires de certains experts, l'industrie des États-Unis peut avoir connu un déclin de 16 % de sa part du marché des satellites géostationnaires depuis le transfert de ce domaine de compétence. Les règles américaines en matière de transfert de technologie des satellites s'appliquent aussi au contenu « sensible » fourni par les États-Unis qui pourrait être utilisé par des constructeurs de satellites étrangers. Ceci a conduit des sociétés telles qu'Alcatel Space à chercher à éliminer tout contenu originaire des États-Unis susceptible de permettre aux autorités américaines de bloquer les exportations de satellites de l'entreprise vers des pays tels que la Chine, pour les remplacer par des composants d'autres fournisseurs. Il s'agit cependant d'une stratégie onéreuse que d'autres fournisseurs ne sont pas nécessairement disposés à suivre. Les responsables d'EADS Astrium sont d'avis que, du moins à court terme, les marchés qui posent des problèmes aux pouvoirs publics américains sont trop restreints pour justifier une telle initiative.

Problèmes d'attribution de fréquences

Depuis des années, la demande de fréquences radioélectriques à des fins spatiales ne cesse de croître et continuera de le faire en dépit de l'introduction de nouvelles technologies offrant des possibilités d'utiliser les fréquences plus efficacement. Tout d'abord, le nombre de satellites de communication en orbite a continuellement augmenté et les satellites sont devenus plus puissants. Ensuite, en plus des engins spatiaux légitimement envisagés et financés, on observe une prolifération de « projets de satellite sur papier », dont le but est sans doute pour les responsables de monnayer leur inscription à l'UIT par des contrats de location pour de nouveaux systèmes à satellites n'ayant pas d'« emplacement enregistré ». Enfin, d'autres demandes d'utilisation de fréquences vont sans doute apparaître par suite de l'introduction de nouvelles technologies. Les plates-formes HALE (grande altitude, grande endurance) auront probablement besoin de fréquences pour les communications depuis le « proto-espace ».

En dépit des efforts de l'UIT, l'attribution et l'utilisation des fréquences de même que l'atténuation des brouillages sont de plus en plus difficiles et contraignantes pour toutes les parties concernées. Le retard de l'UIT dans la publication des inscriptions dans le Fichier de référence est d'environ 30 mois. Cela contribue à retarder la possibilité pour les opérateurs de mettre leurs satellites en service. De plus, il est permis de penser que de nombreux systèmes de satellites n'utilisent pas le segment spatial « officiellement attribué » tel qu'il est prévu par l'UIT. Pour certains observateurs, cela souligne le fait que le processus d'attribution de l'UIT est trop lent, très peu souple et souvent inefficace, compte tenu des limitations qu'il impose.

Plusieurs améliorations possibles ont été proposées. Tout d'abord, on pourrait prendre des mesures pour améliorer le processus d'attribution. Ensuite, il a été suggéré que l'UIT devrait envisager l'établissement de règles pour utiliser au mieux l'arc orbital (employer par exemple un espacement de deux degrés dans les régions du monde qui s'y prêtent). À cet effet, il conviendrait d'évaluer l'effet des technologies actuelles et nouvelles sur la capacité des opérateurs à coordonner la mise en place de services de réception directe (DTH) utilisant de très petits terminaux.

Certains auteurs ont aussi fait remarquer qu'il faudrait tenir compte de l'utilisation des fréquences radioélectriques à des fins autres que la communication. L'industrie et les pouvoirs publics pourraient faire mieux comprendre à l'UIT et aux utilisateurs des télécommunications que la transmission d'énergie pourrait devenir une application spatiale commerciale et qu'il conviendrait d'examiner ses besoins en matière de fréquences. Alimenter la Terre en électricité depuis l'espace nécessiterait une transmission hertziennne d'énergie de l'espace vers le sol et donc l'attribution de radiofréquences. Il faudrait aussi étudier les risques de brouillage des télécommunications.

Obstacles au développement de nouvelles applications

Dans la mesure où les nouvelles applications spatiales commerciales peuvent contribuer aux objectifs politiques des pouvoirs publics et au bien-être général des sociétés, bien des experts font valoir que les pouvoirs publics doivent favoriser ces applications comme ils l'ont fait pour les services existants. Ils devraient avant tout analyser le potentiel économique et les retombées sociales de ces nouveaux moyens utilisant l'espace et promouvoir leur développement par des incitations financières appropriées (telles que crédits d'impôts, obligations exonérées d'impôts, garanties de prêts, prêts directs).

Or les décideurs accordent moins d'intérêt au développement de l'espace à des fins commerciales qu'aux questions de sécurité civile et nationale. Cela

est très regrettable, étant donné que les investissements commerciaux dans l'espace sont aussi onéreux et de haute technicité que les risques sont énormes. L'attitude des pouvoirs publics est donc déterminante dans les décisions commerciales d'aller de l'avant ou de rejeter un projet donné. Les efforts de coopération internationale et les PPP sont particulièrement sensibles aux incertitudes et à l'instabilité politiques.

De nombreux auteurs soulignent qu'en raison de l'horizon à court terme de l'industrie, ce sont les pouvoirs publics qui devraient prendre en mains la R-D à long terme. Ils estiment que cela est déterminant pour faire mûrir des technologies spatiales nouvelles, d'avant-garde, et permettre ainsi au bout du compte au secteur privé d'appliquer les technologies résultantes au marché commercial. Ils signalent aussi qu'il faudrait explorer de nouvelles sources pour financer le développement des applications spatiales. Davantage de fonds pourraient par exemple être récoltés par suite d'une reconnaissance grandissante du rôle crucial que les satellites pourraient jouer par leur contribution à un développement durable. À ce sujet, on avance que les institutions financières, telle que la Banque mondiale, qui participent au développement économique mondial, pourraient jouer un rôle plus important dans le financement et dans les nouvelles méthodes de passation des marchés.

De nombreux experts sont également soucieux du vieillissement des effectifs. Ils s'interrogent sur la manière dont l'industrie spatiale pourra attirer des nouveaux talents provenant des universités et d'industries concurrentes étant donné le fort ralentissement des cinq dernières années environ. Pourquoi les diplômés d'études techniques envisageraient-ils une carrière dans l'industrie spatiale quand on connaît les incertitudes des budgets et des programmes et les fréquents changements des politiques officielles? Cela pourrait être l'un des plus grands défis que l'industrie aura à relever dans les années à venir.

Obstacles juridiques et réglementaires

Les obstacles juridiques sont dus en premier lieu au fait que les principes de base du droit spatial international ont été établis dans le contexte du droit public. Leur application au monde des affaires requiert une interprétation considérable, qui est actuellement en cours. De plus, les dispositions relatives au règlement de différends du droit public ne sont guère appropriées au monde des affaires où la capacité de définir et d'appliquer les droits et obligations de toutes les parties à des contrats commerciaux et au règlement de questions de responsabilité est capital. Les difficultés soulevées par l'interprétation des principes du droit spatial international pour les entreprises touche aussi les activités des organisations intergouvernementales ayant un mandat relatif à l'espace, notamment l'UIT.

L'absence de législation spatiale nationale ou des différences significatives entre les droits spatiaux nationaux actuels peuvent être un obstacle pour les acteurs tant publics que privés dans de nombreux pays. Pour les acteurs du secteur public, les lois spatiales nationales sont importantes car elles représentent la meilleure manière pour les pouvoirs publics d'assumer leurs responsabilités au regard du droit international. Pour les acteurs du privé, l'absence de lois spatiales nationales est une source d'incertitude, car cette situation les désoriente en ce qui concerne la manière dont les pouvoirs publics interprètent le droit spatial international. Toutefois, même en présence de lois nationales, les acteurs du spatial peuvent toujours se heurter à de nombreux obstacles juridiques étant donné que les incertitudes de l'interprétation des principes du droit international peuvent donner lieu à des différences dans les droits nationaux, et donc à des différences dans les dispositions applicables selon les juridictions.

Les règlements visent à mettre en œuvre les dispositions législatives en vigueur. Dans certains cas, les règlements peuvent faciliter le développement des applications spatiales. Ils peuvent par exemple augmenter la confiance accordée par les utilisateurs des services liés à l'espace (règlements concernant la sécurité, la sûreté et la protection de la vie privée) et celle des investisseurs et des assureurs (par exemple des règles claires relatives aux droits de licence, à la responsabilité et au droit de propriété). De plus, il est généralement admis que le développement des normes de l'industrie (surtout pour les équipements terminaux) peuvent également faciliter considérablement le développement de nouvelles applications. Mais la réglementation peut être un obstacle si elle fragmente les marchés, si elle fait monter les coûts ou si elle retarde indûment la mise en place de nouvelles applications, ou encore si elle crée des incertitudes (par exemple des règles relatives à l'attribution des fréquences du spectre).

Problème de mesure

La compréhension actuelle de la valeur de l'espace au sens large est limitée. Les entreprises spatiales, les opérateurs, les entreprises conférant de la valeur ajoutée et les secteurs de la recherche évaluent les marchés spatiaux en termes de recette. Cela n'est guère approprié au développement et à l'exploitation de l'infrastructure et des services spatiaux qui comportent souvent un élément important de bien public. Il faut appréhender le contexte d'ensemble pour rechercher les avantages plus généraux de l'espace dans les services publics, le commerce et la science.

Conclusions

Globalement, le secteur spatial se rétablit progressivement de la grave récession du début des années 2000 qui a suivi l'éclatement de la bulle Internet.

Le segment amont, qui a été le plus touché, est toujours victime de surcapacités chroniques, dans une large mesure dues à la volonté des pouvoirs publics des puissances spatiales de conserver un accès garanti à l'espace, quel qu'en soit le coût. Comme la demande commerciale s'est tarie, la dépendance des entreprises spatiales amont vis-à-vis des contrats publics a augmenté. La forte demande publique de ressources spatiales, tant dans le domaine civil que militaire, devrait se maintenir, notamment aux États-Unis et en Europe. Le facteur important à cet égard est l'intérêt accru porté à la sécurité nationale. La demande de ressources spatiales devrait également augmenter dans le reste du monde étant donné que de plus en plus de pays souhaitent tirer profit des applications spatiales. De nombreux marchés seront toutefois fermés aux fournisseurs étrangers pour des raisons stratégiques, alors que les nouveaux acteurs spatiaux émergents des pays en développement sont susceptibles de représenter une concurrence croissante pour les entreprises spatiales occidentales.

Le segment aval du secteur a bien mieux affronté la crise. Les opérateurs de satellites ont bénéficié des bonnes conditions proposées pendant la récession par les fournisseurs de ressources spatiales. De plus, ils ont su consolider leur position par des regroupements. Les grands opérateurs qui exploitent des positions orbitales de choix sont en bonne position pour négocier, ce qui est accentué par le fait que, pour la plupart de leurs clients, abaisser le coût de location des répéteurs n'est pas une priorité étant donné que le segment spatial ne représente qu'une très faible part de leurs coûts globaux, même si ces répéteurs sont déterminants pour leurs activités.

Les principaux clients des opérateurs de satellite, les fournisseurs de services RDS, ont une position encore plus enviable que les opérateurs étant donné que les satellites de télécommunication sont un moyen très efficace pour offrir des services de radiodiffusion si on les compare à leurs homologues terrestres. Toutefois, la situation est moins nette pour les services à haut débit. Le marché émergent des satellites à large bande sera probablement un marché limité, non seulement en raison du coût élevé de la fourniture du service, mais aussi en raison des difficultés techniques que comporte l'établissement d'un canal de retour efficace. De plus, la nature dispersée de la clientèle potentielle signifie qu'il faudra mettre au point de nouveaux modèles commerciaux pour exploiter de tels marchés de manière satisfaisante.

Un autre segment aval qui se comporte bien est la fourniture de services liés à la navigation, dont la demande augmente fortement et qui n'ont que

très peu de concurrence réelle de la part d'équivalents terrestres. Le marché de l'observation de la Terre (EO) s'avère plus difficile étant donné que les entreprises commerciales de ce segment sont exposées à une forte concurrence de la part de variantes terrestres et estiment qu'il est difficile, voire impossible, de produire à partir de leurs activités un revenu suffisant pour couvrir les coûts élevés qu'engendrent le lancement et l'exploitation de satellites d'observation de la Terre.

À moyen terme, la reprise du secteur sera favorisée par les efforts des pouvoirs publics pour mettre au point ou consolider leurs positions stratégiques. Aux États-Unis, cela apparaît dans l'augmentation significative des budgets spatiaux militaires pour les années à venir, alors que le développement du service GMES et de Galileo soulignent la détermination de l'Europe à poursuivre à l'avenir une politique de sécurité plus indépendante.

À long terme, l'avenir du secteur reste incertain. Ces incertitudes se rapportent non seulement aux évolutions de la technologie, tant dans l'espace qu'au sol, mais également à l'environnement global dans lequel le secteur spatial se développera et la manière dont cet environnement influera sur la demande d'applications spatiales dans les décennies à venir. Cette question sera traitée dans les chapitres qui suivent.

Chapitre 2

Élaboration des scénarios de synthèse

L'élaboration de scénarios est une technique utile pour la réalisation d'études prospectives. Chacun représente une évolution différente, autrement dit, un point sur la carte des avènements possibles. Le présent chapitre en décrit trois qui ont été établis pour apprécier l'évolution potentielle du secteur spatial à l'horizon des trente prochaines années. Ils prennent en considération les principales forces censées exercer une influence notable sur l'avenir du secteur : les événements géopolitiques, les évolutions socioéconomiques, l'énergie et l'environnement.

Introduction

Les premières phases du projet ont été consacrées à l'étude de l'évolution future du secteur spatial dans le but de recenser les applications spatiales éventuellement prometteuses dans les prochaines décennies, c'est-à-dire les applications susceptibles de produire une valeur sociale nette substantielle dans le secteur public ou privé. Il a fallu pour cela analyser de quelle manière l'évolution du monde, influencée par certaines forces, peut créer un environnement plus ou moins propice aux activités spatiales futures et influencer sur la demande concernant certaines applications. En terme d'offre, il a fallu déterminer si ces applications étaient techniquement réalisables à un prix raisonnable.

Étant donné la perspective de long terme adoptée ici, on a opté pour une approche fondée sur des scénarios pour analyser l'évolution de la demande. En effet, pour étudier des avenir par essence imprévisibles – comme celui du secteur spatial –, l'élaboration de plusieurs scénarios offre un excellent moyen de procéder à des analyses décisionnelles, d'élaborer des plans d'intervention ou simplement de sonder l'avenir, puisque l'incertitude en est une caractéristique essentielle.

La méthode globalement appliquée ici se décompose comme suit : i) construction de scénarios appropriés pour donner différentes visions de l'évolution future du monde; ii) esquisse des conséquences de chaque scénario d'un point de vue politique, économique, social, énergétique, écologique et technologique, et mise en évidence des principales implications pour l'évolution ultérieure des grandes composantes du secteur spatial; et iii) évaluation des retombées sur la demande future d'applications données. La dernière étape consiste à évaluer la faisabilité technique des applications définies comme « éventuellement prometteuses » sous l'angle de la demande. Le présent chapitre porte essentiellement sur l'élaboration des scénarios sur lesquels se fonde l'analyse de la demande. Le chapitre 3 traite du point ii), le chapitre 4 couvrant à la fois le point iii) et l'évaluation de la faisabilité technique.

Les paragraphes qui suivent décrivent brièvement la méthodologie utilisée pour bâtir les scénarios. On en trouvera une explication plus détaillée à l'annexe 2.A1, qui justifie globalement le recours à une analyse par scénarios, définit l'approche particulière adoptée ici et explique comment elle est appliquée à l'appréciation de l'évolution future du secteur spatial.

Méthodologie d'élaboration des scénarios

La méthodologie se fonde sur un modèle souvent utilisé par les spécialistes en prospective, qui comprend les étapes suivantes :

1. Définir la question à laquelle il faut répondre.
2. Recenser les facteurs d'évolution qui exercent une influence sur la question considérée.
3. Analyser les tendances et les éléments susceptibles d'agir sur chacun de ces facteurs dans le but d'évaluer les « principaux éléments d'incertitude » quant à leur orientation future et définir un « cadre prospectif ».
4. Sélectionner dans ce cadre les scénarios qui feront l'objet d'une attention particulière.
5. Étoffer les scénarios et en dégager les implications pour la question considérée.

L'application de ce modèle à l'évolution future du secteur spatial a permis de recenser trois grands facteurs d'évolution – les événements géopolitiques, les évolutions socioéconomiques, l'énergie et l'environnement – particulièrement pertinents, d'une part parce qu'ils détermineront en grande partie ce que sera le monde de demain, mais aussi en raison de leurs relations étroites avec le secteur spatial.

Un quatrième facteur, la technologie, a également été examiné. Il a été décidé de ne pas l'inclure explicitement dans l'analyse car ses retombées devraient surtout porter sur l'offre. Qui plus est, la technologie est implicitement prise en compte dans les trois autres cas, et elle est expressément intervenue dans la définition de certains des scénarios moteurs.

Compte tenu du nombre de facteurs d'évolution relativement élevé et de leur très large définition, le modèle n'a pu être appliqué directement; en effet, cette démarche aurait abouti à l'établissement d'un cadre prospectif multidimensionnel. Nous avons préféré recourir à une analyse en deux étapes : dans un premier temps, des experts indépendants de chacun de ces grands domaines ont été priés d'élaborer des « scénarios moteurs », c'est-à-dire des scénarios fondés au premier chef sur « leur » facteur d'évolution, et d'en dégager les implications pour le secteur spatial et les applications spatiales; les trois jeux de scénarios ainsi établis ont ensuite été intégrés dans des « scénarios de synthèse ».

L'exposé ci-après présente d'abord les hypothèses de base qu'ont retenues les experts et l'équipe du projet et qui forment le cadre général de l'étude. Il examine ensuite chacune des versions stylisées des scénarios qu'ont bâtis les experts. Enfin, il décrit l'élaboration des scénarios de synthèse.

Hypothèses de base

Les hypothèses de base ont pour finalité première de fournir un cadre général à l'analyse. Si elles limitent quelque peu la gamme des scénarios, elles permettent d'assurer la cohérence du processus de synthèse. Les hypothèses retenues sont les suivantes :

Situation politique : aucune guerre de grande ampleur n'a lieu au cours de la période considérée, mais des conflits régionaux, des guerres civiles et des actions terroristes ne sont pas exclus.

Situation économique : aucune crise économique d'une gravité et d'une portée comparables à celle de 1929 ne se produit, mais quelques pays ou groupes de pays pourraient être confrontés à de graves difficultés.

Situation sociale : des troubles sociaux peuvent intervenir mais n'entraînent jamais de bouleversement social. Les pandémies ne sont pas exclues, mais elles touchent des régions ou des pays particuliers et/ou demeurent gérables. La croissance démographique correspond aux projections de moyen à long terme des Nations unies.

Énergie : l'approvisionnement en énergie suffit à satisfaire la demande globale, même si la course aux ressources risque de s'intensifier.

Environnement : la dégradation de l'environnement se poursuit. Néanmoins, aucune catastrophe de portée planétaire ne se produit qui viendrait altérer sensiblement les conditions de vie.

Technologie : la technologie continue d'évoluer. Aucune catastrophe technologique majeure n'intervient qui serait susceptible de susciter un rejet des technologies.

Il serait bien entendu intéressant d'analyser l'effet qu'aurait l'élargissement de certaines de ces hypothèses. On pourrait par exemple étudier ce qui se produirait si une catastrophe de grande ampleur amenait un rejet des technologies ou une modification substantielle des conditions de vie sur Terre.

Le scénario géopolitique : version stylisée

Tendances et facteurs géopolitiques

Sur le front politique, une tendance prononcée est observable à long terme : le déclin progressif de la puissance des États-nations et du rôle qu'ils sont censés jouer, ce qui pourrait avoir des répercussions considérables sur l'organisation future de la société. D'abord, les mouvements sécessionnistes pourraient se trouver en meilleure posture pour arracher le pouvoir aux administrations centrales, et des entités jusqu'alors infranationales plus nombreuses pourraient accéder à l'indépendance. Ensuite, le nombre d'États

en faillite risque d'augmenter. À l'inverse, les organisations internationales, les acteurs non étatiques – dont les sociétés multinationales, les organisations non gouvernementales (ONG), le crime organisé et les groupes terroristes – devraient gagner en puissance.

Les États-nations ne sont toutefois pas appelés à disparaître. Ils devraient au contraire conserver une place centrale dans les relations internationales au cours des trente prochaines années, même s'ils sont confrontés à une situation politique plus complexe étant donné le dynamisme croissant des acteurs non étatiques. Par ailleurs, la hiérarchie des nations devrait évoluer, les nations occidentales perdant du terrain face à de nouveaux acteurs qui iront de l'avant et deviendront des puissances régionales. Les États-Unis devraient conserver la première place, mais leur puissance va s'émousser et pourrait même être contestée par la Chine vers la fin de la période considérée. La coopération entre les « moindres puissances » ayant un intérêt commun à l'établissement d'un ordre mondial moins hégémonique pourrait se resserrer.

Sur le plan militaire, les conflits à venir devraient se cantonner aux territoires nationaux et mobiliser de plus en plus d'acteurs non étatiques, comme les groupes terroristes ou le crime organisé. La prolifération d'armes de destruction massive (ADM) suscitera des inquiétudes grandissantes pour la sécurité nationale dans la plupart des pays. Face à cette menace, les États-Unis (qui resteront la puissance militaire dominante au cours de la période considérée) devraient adopter, dans les premiers temps au moins, une double stratégie de sécurité nationale (par la construction d'un bouclier antimissile notamment) et de recours préventif à la force militaire à l'étranger. Les Européens aussi devraient renforcer leur sécurité nationale et consolider leur défense collective. La Chine, l'Inde et la Russie pourraient également développer leur capacité militaire et feront probablement appel à leurs ADM pour dissuader toute intervention américaine.

Principaux éléments d'incertitude

Le premier porte sur la question de savoir si le monde restera unipolaire au cours de la période examinée, ou si une autre nation ou coalition de nations pourra s'opposer aux États-Unis. Dans le premier cas, l'environnement géopolitique futur sera en grande partie déterminé par les agissements des États-Unis; dans le second, une rivalité internationale d'un genre nouveau pourrait naître, semblable à certains égards à la guerre froide, mais dans un contexte très différent.

Si l'unipolarité persiste, l'affermissement ou l'affaiblissement de la coopération internationale sera essentiellement fonction du comportement des États-Unis envers le reste du monde. En effet, deux dynamiques opposées interviendront. D'un côté, la perte de souveraineté de l'État-nation et le poids

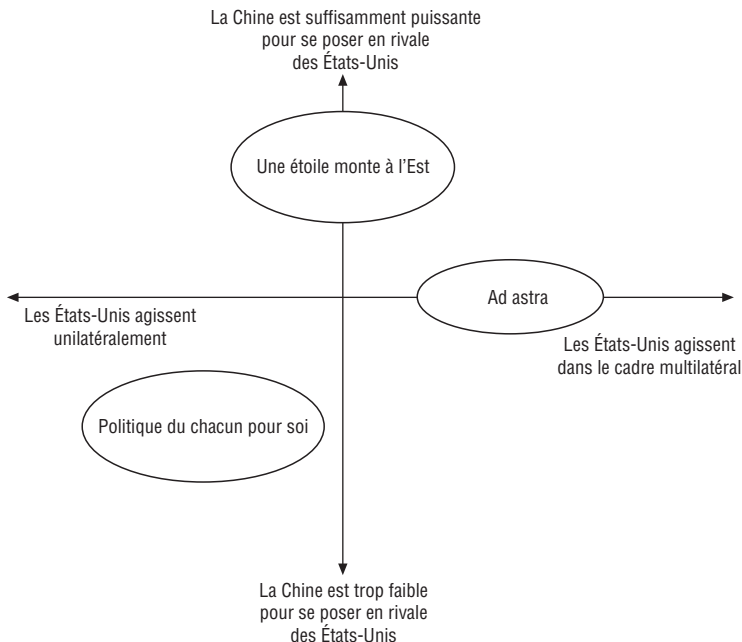
grandissant du droit international ouvrirait la voie à un nouvel ordre mondial fondé sur la paix et le resserrement de la coopération internationale dans un monde plus ouvert. De l'autre, l'affaiblissement de l'État-nation, le pouvoir croissant des acteurs non étatiques, l'apparition de menaces asymétriques et l'émergence de nouveaux pouvoirs étatiques pourraient susciter des troubles. En tant que première puissance mondiale, les États-Unis seraient en mesure de déterminer laquelle de ces tendances l'emportera.

Définition du cadre prospectif

L'unilatéralisme éventuel des États-Unis et la montée en puissance potentielle de la Chine jusqu'à pouvoir rivaliser avec les États-Unis dans les trente prochaines années servent de critères à la définition du cadre prospectif (figure 2.1). Celle-ci est bien évidemment quelque peu arbitraire, et d'autres éléments auraient pu être pris en considération. Il serait par exemple possible d'envisager une Europe occupant une place de premier plan dans de nombreux domaines d'action, si l'évolution vers une structure européenne fédérale devait s'accélérer.

Si le monde unipolaire persiste, les relations internationales seront essentiellement influencées par la politique de l'unique superpuissance. Si les

Figure 2.1. Scénarios géopolitiques



États-Unis optent pour une action unilatérale, le monde risque d'être dominé par la *realpolitik* ; autrement dit, il s'agirait d'un monde où les politiques seraient essentiellement motivées par des considérations nationalistes et amèneraient une confrontation plutôt qu'une coopération. Dans une situation internationale à l'interdépendance de plus en plus marquée, la confrontation serait lourde de conséquences. *A contrario*, si les États-Unis optent pour une « hégémonie bienveillante », ils pourraient se servir de leur position dominante pour renforcer les institutions internationales et favoriser la coopération internationale. Leur choix ferait peut-être intervenir des arbitrages entre leurs objectifs à court et long termes, qu'il conviendra d'examiner à la lumière des défis grandissants qui se poseront pour les États-nations.

En revanche, si le monde évolue vers la bipolarité, avec la Chine en rivale, l'évolution de l'équilibre des pouvoirs pourrait modifier sensiblement la donne internationale. Au vu de la performance de l'économie chinoise au cours des vingt à trente dernières années, une telle évolution est plausible, malgré le scepticisme de plusieurs experts qui mettent en avant les immenses difficultés qu'elle devra surmonter rapidement et le fait qu'elle ne pourra maintenir très longtemps son taux de croissance actuel. Néanmoins, si cette bipolarité se concrétisait, les conséquences géopolitiques pourraient être considérables, étant donné le sentiment qu'a la Chine d'avoir été auparavant humiliée par l'Occident et ses préoccupations grandissantes quant à son autosuffisance alimentaire et énergétique. La guerre froide pourrait resurgir sous une forme nouvelle, même si la composition des deux blocs et la conjoncture socioéconomique sont très différentes de la situation qui régnait dans la période qui a suivi la Seconde Guerre mondiale.

Le tableau 2.1 résume les conséquences de chacun des scénarios au plan mondial.

Les scénarios géopolitiques

Dans ce cadre prospectif, les auteurs ont établi trois scénarios :

- **Politique du chacun pour soi** : la détérioration des relations internationales entraîne la fragmentation de l'économie mondiale et la montée du protectionnisme. La croissance économique décélère, ce qui attise les tensions sociales et politiques dans les pays de l'OCDE et dans le reste du monde. L'environnement se dégrade et l'accès aux sources d'énergie crée des tensions entre les grands pays consommateurs. Les problèmes de sécurité s'accroissent, provoquant une hausse substantielle des dépenses d'équipement militaire dans le monde.
- **Ad astra** : le resserrement des relations internationales crée un climat plus propice à la croissance économique. Dans un souci de coopération internationale, on s'attache davantage à résoudre les problèmes qui

Tableau 2.1. Les scénarios géopolitiques stylisés

	1) Politique du chacun pour soi	2) Ad astra	3) Montée d'une étoile à l'Est
Économique	Croissance économique inégale du fait de la régionalisation et du protectionnisme. Disparités économiques croissantes à l'intérieur des pays et entre eux.	Croissance dynamique grâce à la poursuite de la libéralisation du commerce. Diminution mais persistance des disparités économiques à l'intérieur des pays et entre eux. La Chine et l'Inde deviennent de nouvelles puissances économiques régionales.	Poursuite d'une croissance économique soutenue en Chine, croissance moindre aux États-Unis. Le protectionnisme et le régionalisme coexistent avec le développement de la Chine ou en sont a conséquence.
Social	Pressions sociales grandissantes dues à l'aggravation des disparités économiques. Les pays en développement ont du mal à assumer le fardeau de l'évolution et de la croissance démographiques et de la migration urbaine	Une plus grande attention est accordée, à l'échelon international et national, à l'allègement du fardeau démographique des pays en développement. La croissance économique « suit » la croissance démographique.	Identique au scénario 1).
Politique	Les organisations et traités internationaux souffrent de l'unilatéralisme croissant des États-Unis et des contre-mesures européennes, russes et chinoises. L'Europe consolide sa politique étrangère commune. Des accords régionaux surgissent en Asie.	Le multilatéralisme règne. Renforcement des organisations et accords internationaux. Resserrement de la coopération européenne. Persistance du multilatéralisme en Asie.	Les accords internationaux sont mis à rude épreuve. Éventuelle alliance des États-Unis et de l'Europe contre la Chine. Le Japon demande le soutien des États-Unis. L'Inde se sent menacée par l'hégémonie chinoise en Asie.
Technologique	Degré moyen d'innovation technologique. Faible diffusion vers les pays en développement. Priorité à la technologie militaire, mais retombées possibles sur les applications civiles	Degré élevé d'innovation technologique. Large diffusion vers les pays en développement. Recherche financée par les entreprises et par l'État.	Investissements publics importants dans les technologies de défense militaire. Très faible diffusion.
Écologique	Aggravation persistante des problèmes écologiques. Pénurie alimentaire et raréfaction de l'eau. Conditions météorologiques exceptionnelles et catastrophes naturelles dues au réchauffement planétaire et au changement climatique.	Mesures internationales communes et perfectionnement des technologies pour lutter contre les problèmes écologiques. Augmentation, suivie d'une diminution, des émissions de CO ₂ résultant de la croissance économique des pays en développement. Pas de pénurie d'eau ou de nourriture.	Identique au scénario 1). La prospérité de la Chine et la priorité qu'elle donne aux progrès militaires et économiques aggravent ses problèmes en matière d'environnement
Énergétique	Malgré une offre énergétique suffisante, augmentation des prix des combustibles fossiles et interruptions dans l'approvisionnement dérivant d'une conjoncture géopolitique tendue et de la dépendance à l'égard des fournisseurs d'Asie centrale et du Moyen-Orient.	Sécurité de l'approvisionnement en combustibles fossiles. Développement de sources d'énergie de substitution.	Concurrence énergétique : la Chine essaie d'exercer son influence en Asie centrale et d'assurer ses intérêts au Moyen-Orient pour assurer la stabilité de son approvisionnement énergétique.

affligent les pays en développement. Les inégalités de revenus, la pauvreté et la malnutrition reculent sensiblement. Des mesures efficaces de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) sont instaurées. Les marchés de l'énergie fonctionnent sans accroc et les budgets militaires diminuent.

- **Une étoile monte à l'Est** : alors que la croissance économique demeure léthargique en occident, l'économie chinoise poursuit sa progression à un rythme soutenu. Confrontée à des besoins grandissants en nourriture et en énergie, la Chine joue des coudes sur la scène internationale pour obtenir ce qu'elle estime être « sa juste part ». Cette politique accentue les tensions avec l'ouest à l'heure où le monde évolue vers une structure bipolaire. L'occident réagit en fermant ses marchés aux produits chinois. Il s'instaure une situation de guerre froide d'un genre nouveau, qui voit chaque partie consacrer des moyens considérables à l'équipement militaire et s'efforcer d'amplifier au maximum son « pouvoir de persuasion ».

Tout comme le choix des facteurs d'évolution, celui des scénarios dans un cadre prospectif donné est arbitraire. Il pourrait ainsi être envisagé, à la place du scénario du « chacun pour soi » où chaque nation agit de sa propre initiative, un scénario où l'unilatéralisme des États-Unis incite les autres pays à coopérer pour mettre en place des règles du jeu plus équitables.

L'analyse du scénario socioéconomique : version stylisée

Tendances et facteurs socioéconomiques

Sur le plan démographique, la croissance mondiale de la population devrait ralentir et ne concerner que le monde en développement. Le vieillissement démographique deviendra un phénomène mondial, quoique plus prononcé à l'Ouest et dans certains pays non occidentaux, la Chine et la Russie notamment. Dans les pays en développement, l'amplification de l'exode rural créera des besoins d'investissements infrastructurels massifs. L'émigration des pays en développement vers l'Ouest s'intensifiera également, créant une source permanente de tensions dans les sociétés occidentales, en même temps que de nouvelles possibilités. La mondialisation de la culture devrait se poursuivre, les sociétés traditionnelles risquant toutefois de résister énergiquement au changement et de se replier sur elles-mêmes, ce qui se traduira par des poussées de fondamentalisme. À l'inverse, les sociétés occidentales devraient voir le sécularisme, le pragmatisme et l'individualisme s'accroître, et devenir plus difficile à gouverner dans la mesure où le respect pour l'autorité établie s'émoussera.

Du point de vue économique, le monde pourrait devenir un lieu plus agréable à vivre pour une partie croissante de la population au cours des trente prochaines années. En effet, la croissance démographique se tasse, et

l'économie pourrait par ailleurs connaître une embellie si le processus de mondialisation se poursuit, avec l'arrivée de nouvelles technologies de premier plan qui stimuleront la croissance. Les risques économiques tendront cependant à augmenter : les forces du marché devraient sanctionner plus sévèrement la mauvaise gouvernance, tant à l'échelon national qu'international, et les chocs économiques pourraient avoir des répercussions désastreuses dans un monde de plus en plus interdépendant. Par ailleurs, les inégalités de revenus devraient se creuser, dans les pays et entre eux, et le chômage risque de constituer une source majeure de mécontentement dans les pays en transition. La pauvreté devrait dans l'ensemble reculer, mais se concentrer de plus en plus dans certaines régions du monde, en particulier l'Afrique et l'Asie du Sud.

Principaux éléments d'incertitude

La planète est confrontée à deux tendances opposées : d'un côté, la mondialisation et la libéralisation progressive des marchés sont indispensables pour assurer une croissance suffisante capable de réduire la pauvreté, de rehausser les niveaux de revenus dans le monde en développement et de fournir les ressources nécessaires au maintien des régimes de protection sociale dans les pays de l'OCDE. Par contre, si la répartition des avantages dérivant de cette évolution des marchés est très inégale, il se pourrait que les tensions s'accroissent partout dans le monde et que de vastes segments de la population aient une réaction de rejet. La question stratégique pour l'avenir consiste donc à déterminer si le processus de libéralisation se poursuivra, autrement dit si les mesures qui seront adoptées ces prochaines années pour renforcer la gouvernance, à l'échelon national et international, et pour résorber la pauvreté et les inégalités de revenus suffiront à éviter un rejet généralisé du processus de mondialisation.

Définition du cadre prospectif

Le degré de libéralisation est le facteur essentiel retenu ici. Depuis la Seconde guerre mondiale, l'économie mondiale a connu une période d'expansion sans précédent, due en grande partie à la libéralisation progressive de la circulation des biens, des services, des investissements et des personnes. La question est de savoir si ce processus va se poursuivre, malgré les avantages qu'il pourrait apporter à l'ensemble de la planète. Plusieurs éléments entrent en jeu : i) le nombre de membres de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) a sensiblement augmenté, ce qui réduit la probabilité d'un consensus sur une libéralisation plus poussée; ii) les cibles faciles ont déjà été atteintes, ce qui signifie que les questions à traiter sont de plus en plus complexes au plan politique (agriculture, droits de propriété intellectuelle, investissements, par exemple); iii) certains des promoteurs les

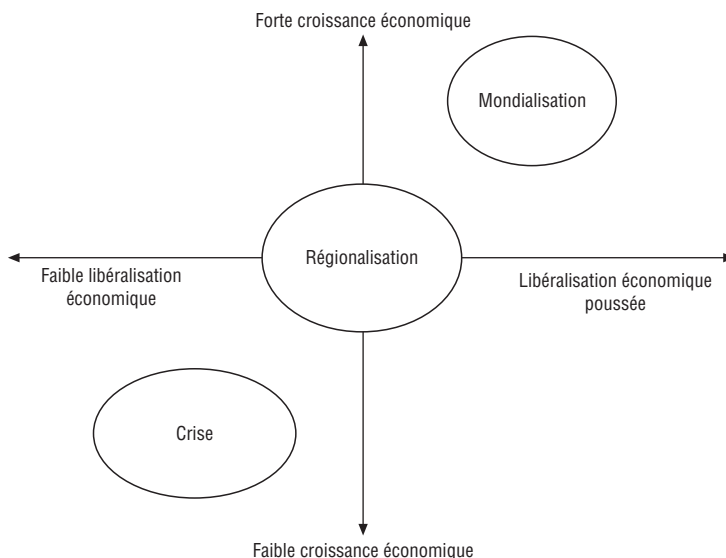
plus actifs du libre-échange sont peut-être moins enthousiastes que par le passé (ils ont par exemple recours à des mesures unilatérales quand il y va de la perte d'emplois dans des secteurs ou des branches politiquement sensibles, ou concluent des accords commerciaux bilatéraux pour des raisons stratégiques, au détriment du régime multilatéral); iv) des segments de la population qui ont le sentiment d'être oubliés, ou des gouvernements qu'irrite le *diktat* des forces du marché ou qui craignent les risques systémiques dans un monde marqué par une interdépendance croissante peuvent s'opposer à une plus grande libéralisation. Celle-ci dépendra en grande partie de la possibilité de surmonter ces obstacles. Dans le cas contraire, le monde pourrait revenir à une situation analogue à celle qui a dominé la période suivant la crise de 1929, à savoir un ralentissement économique donnant lieu à des remous sociaux et politiques de grande ampleur dans de nombreux pays.

Les scénarios socioéconomiques

Les auteurs ont retenu dans ce cadre prospectif trois scénarios (figure 2.2) :

- **Mondialisation** : la poursuite de la libéralisation de l'économie mondiale dans un esprit de coopération internationale se traduit par des gains économiques qui profitent largement aux pays en développement. La pauvreté et la malnutrition reculent progressivement. Des initiatives

Figure 2.2. Scénarios socioéconomiques



communes sont engagées pour résoudre les problèmes écologiques et les marchés de l'énergie fonctionnent sans heurts.

- **Régionalisation** : face à l'enlisement du processus de l'OMC, un nombre grandissant de pays décide de conclure des accords bilatéraux avec d'autres nations ou de créer des organisations régionales, entraînant ainsi une réorientation substantielle des échanges. Un réseau complexe d'accords commerciaux se met en place dans le monde, qui contribue à l'érosion progressive de la discipline de l'OMC. La croissance économique se grippe et les inégalités de revenus se creusent, ce qui alimente les tensions sociales et politiques, les progrès sur le front de l'environnement étant pour leur part négligeables.
- **Crise** : deux phénomènes enrayent la croissance économique mondiale. Le système multilatéral s'effondre, et les pays s'en remettent à des accords régionaux ou bilatéraux. Par ailleurs, la productivité américaine diminue. Le ralentissement de la croissance qui en résulte dans la zone de l'OCDE se propage au reste du monde. Les pays en développement et les pays développés se trouvent aux prises avec une agitation sociale croissante, la diminution des budgets publics ne permettant pas de résoudre les difficultés existantes et les nouveaux problèmes à mesure qu'ils surgissent. L'environnement figure tout au bas de la liste des priorités.

Le tableau 2.2 énumère les conséquences mondiales de chacun des scénarios.

Analyse du scénario concernant l'énergie et l'environnement : version stylisée

Énergie et environnement : tendances et facteurs principaux

Les perspectives environnementales sont peu encourageantes. Du fait que les émissions de GES pourraient plus que doubler au cours des trente prochaines années, une augmentation de la température moyenne paraît inévitable, qui amènera une hausse sensible du niveau des mers, une instabilité météorologique accrue et un déplacement géographique des maladies endémiques et infectieuses. Il sera difficile d'appliquer les politiques de réduction des GES pertinentes à l'échelon international compte tenu de la forte dépendance des économies à l'égard des combustibles fossiles et des externalités en cause (les pollueurs ne paient par exemple qu'une fraction des coûts qu'ils imposent à la société). Une aggravation locale de la pollution est également attendue dans une grande partie du monde en développement, de même que la poursuite de la déforestation, de l'érosion des sols et du recul de la biodiversité. Par ailleurs, les pays de l'OCDE et plusieurs pays à revenu intermédiaire devraient prêter une plus grande attention aux problèmes écologiques.

Tableau 2.2. **Les scénarios socioéconomiques stylisés**

	1) Mondialisation	2) Régionalisation	3) Crise
Économique	Croissance économique soutenue due à la poursuite de la libéralisation du commerce. Diminution mais persistance des disparités économiques à l'intérieur des pays et entre eux. La Chine et l'Inde deviennent de nouvelles puissances économiques régionales.	Croissance économique inégale compte tenu de la régionalisation et du protectionnisme. Disparités économiques croissantes à l'intérieur des pays et entre eux.	Croissance économique nulle quasiment partout. Risque d'effondrement général. Les économies émergentes sont frappées de plein fouet par la crise.
Social	Une plus grande attention est accordée, à l'échelon international et national, à l'allègement du fardeau démographique des pays en développement. La croissance économique « suit » la croissance démographique.	Pressions sociales grandissantes dues à l'aggravation des disparités économiques. Les pays en développement ont du mal à assumer le fardeau de l'évolution et de la croissance démographiques et de la migration urbaine	Les pays développés et en développement ont moins d'argent pour remédier aux problèmes sociaux croissants, qu'il s'agisse du vieillissement de la population ou du chômage. Baisse des dépenses sociales et réforme de l'État-providence dans les pays développés.
Politique	Le multilatéralisme règne. Renforcement des organisations et accords internationaux. Resserrement de la coopération européenne. Persistance du multilatéralisme en Asie.	Les organisations et traités internationaux pâtissent de l'unilatéralisme croissant des États-Unis et des contre-mesures européennes, russes et chinoises. L'Europe consolide sa politique étrangère commune. Des accords régionaux surgissent en Asie.	Les pays donnent priorité aux problèmes nationaux étant donné la conjoncture économique difficile. La coopération internationale, si elle existe, s'inscrit dans un cadre régional. Quelques mesures internationales pour contrer la hausse de la criminalité et de la migration transnationales.
Technologique	Degré élevé d'innovation technologique. Ample diffusion vers les pays en développement. Recherche financée par les entreprises et par l'État.	Degré moyen d'innovation technologique. Faible diffusion vers les pays en développement. Priorité à la technologie militaire, mais retombées possibles sur les applications civiles.	Faible degré d'innovation technologique. Priorité aux technologies économiques. Recherche financée dans le cadre de partenariats public-privé.
Écologique	Mesures internationales communes et perfectionnement des technologies pour lutter contre les problèmes écologiques. Augmentation, suivie d'une diminution, des émissions de CO ₂ résultant de la croissance économique des pays en développement. Pas de pénurie d'eau ou de nourriture.	Aggravation persistante des problèmes écologiques. Pénurie alimentaire et raréfaction de l'eau. Conditions météorologiques exceptionnelles et catastrophes naturelles dues au réchauffement planétaire et au changement climatique.	La pollution et les émissions de CO ₂ se stabilisent en raison du recul de la consommation et de la léthargie économique de l'Asie, mais les rares innovations technologiques ne permettent pas de réduire la dépendance à l'égard des sources d'énergie classiques. Faible sensibilisation aux problèmes de l'environnement.
Énergétique	Sécurité de l'approvisionnement en combustibles fossiles. Développement de sources d'énergie de substitution.	Malgré une offre énergétique suffisante, augmentation des prix des combustibles fossiles et interruptions dans l'approvisionnement dérivant d'une conjoncture géopolitique tendue et de la dépendance à l'égard des fournisseurs d'Asie centrale et du Moyen-Orient.	Le climat politique perpétuellement tendu au Moyen-Orient motive la recherche de sources d'énergie locales ou de substitution. Les réserves de combustibles fossiles durent plus longtemps que prévu étant donné la faible demande.

S'agissant de l'énergie, les combustibles fossiles continueront probablement de dominer la consommation d'énergie primaire, le pétrole conservant la première place. Les réserves pétrolières devraient suffire à satisfaire la demande, mais des investissements massifs s'imposeront dans les domaines de l'exploration, de l'extraction et du transport. De plus, la volatilité des cours du pétrole pourrait augmenter étant donné la diminution des réserves d'énergie classiques et leur concentration dans la région du Golfe persique. Compte tenu de son contenu relativement faible en carbone, le gaz devrait rester le combustible fossile de choix pour la production d'électricité; une hausse rapide de la demande est donc prévue. La demande de charbon à forte intensité de carbone devrait progresser plus modérément, l'énergie nucléaire demeurant pour sa part controversée, malgré son net avantage en termes d'émissions de GES. Les efforts visant à encourager le recours aux énergies renouvelables redoubleront, mais la part de ces technologies dans l'énergie consommée restera très faible car il s'avérera extrêmement difficile de détourner le système énergétique des combustibles fossiles.

Principaux éléments d'incertitude

Les deux grands éléments d'incertitude ont trait à la rapidité des progrès technologiques et à l'inquiétude des populations pour l'environnement. D'une part, une évolution technologique rapide devrait stimuler la croissance économique et provoquer une hausse de la consommation d'énergie et des émissions de GES. D'autre part, la technologie peut améliorer le rendement énergétique de la production et offrir de nouvelles méthodes pour lutter contre la pollution et/ou atténuer les effets de la production et de la consommation d'énergie sur l'environnement. Si les populations sont très inquiètes pour l'environnement, elles seront probablement plus disposées à accepter des mesures de réduction des GES qui risquent d'exiger des ajustements douloureux à leur mode de vie et à se montrer favorables à l'augmentation des investissements dans la recherche énergétique. Toutes choses égales par ailleurs, il paraît plausible que les préoccupations pour l'environnement suivront à peu près l'évolution des problèmes écologiques. Cela dit, si les personnes les mieux placées pour prendre des mesures de réduction des GES optent plutôt pour une adaptation au changement climatique (construction de barrages plus hauts pour parer aux inondations, introduction de cultures plus résistantes à la chaleur, climatisation des bureaux et résidences), les coûts du changement climatique retomberont en grande partie sur ceux qui sont le moins à même de s'y adapter, surtout dans le monde en développement.

Définition du cadre prospectif

Le rythme d'innovation technologique et l'intérêt public pour l'environnement sont les facteurs qui ont servi à définir le cadre prospectif. L'évolution technologique devrait avoir un effet considérable et complexe sur la situation énergétique et l'état de l'environnement. C'est ce que permet d'illustrer l'emploi de ce qu'il est convenu d'appeler l'« identité de Kaya » (Kaya, 1990), telle que l'a énoncée le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2000, chapitre 3) :

$$\text{Émissions de CO}_2 = \text{Population} \times (\text{PIB/population}) \times (\text{énergie/PIB}) \times (\text{CO}_2/\text{énergie})$$

L'innovation technologique contribue à l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) étant donné son incidence sur le produit intérieur brut par habitant (PIB) (deuxième terme de l'identité de Kaya). Elle peut néanmoins concourir à leur réduction si elle diminue la quantité d'énergie par unité de PIB (troisième terme de l'identité) et si elle permet d'adopter des formes d'énergie moins polluantes, à savoir celles qui produisent moins de CO₂ par unité d'énergie produite (quatrième terme de l'identité). Des études (Watson *et al.*, 1996) ont estimé que les émissions de CO₂ liées à l'énergie ont augmenté de quelque 1.7 % par an depuis le milieu du XIX^e siècle, la croissance de 3 % du produit mondial brut (soit la somme de la croissance démographique de 1 % et de la croissance de 2 % du revenu par habitant) étant partiellement compensée par une baisse annuelle de 1 % de l'intensité énergétique (énergie/PIB) et par la diminution annuelle de 0.3 % de l'intensité de carbone de l'énergie primaire (CO₂/énergie) (Watson *et al.*, 1996). Les modifications dans la composition de la production dues à la hausse du niveau de vie (part grandissante des services dans la consommation par exemple) jouent également un rôle crucial. Si les résultats factuels agrégés donnent un ordre de grandeur, ils ne permettent pas d'effectuer des projections, car ils diffèrent sensiblement d'une région à l'autre et varient considérablement par rapport au niveau de consommation énergétique par habitant. De plus, la composition de l'énergie primaire risque d'empirer par la suite si les réserves de pétrole et de gaz s'épuisent et que la demande de charbon augmente en conséquence.

Les préoccupations écologiques de la population devraient avoir une influence déterminante sur l'état futur de l'environnement, et ce pour deux raisons. Elles pourraient d'abord modifier directement les comportements individuels dans la mesure où des citoyens sensibilisés au problème sont plus enclins à adopter de leur propre chef des modes de consommation respectueux de l'environnement. Elles peuvent ensuite se traduire par un soutien politique à l'adoption de mesures écologiques publiques. Sans un tel appui, il est douteux que les pays démocratiques prennent des mesures de cette nature car elles imposent un coût immédiat et tangible à l'ensemble de

la société, tandis qu'une grande partie de la population jugerait que leurs avantages sont hypothétiques, trop distants, ou ne profitent qu'aux autres. Les études empiriques indiquent une relation en U inversée entre la pollution et le développement économique, connue sous le nom de courbe de Kuznets, qui traduit l'évolution de l'attitude de la population envers l'environnement à mesure que les revenus progressent. Il apparaît que, dans la première phase du développement industriel, la pollution augmente rapidement, les gens s'intéressant davantage à l'emploi et aux revenus qu'à la pureté de l'air et de l'eau. Les collectivités sont en outre trop pauvres pour assumer le coût de la lutte contre la pollution et les règlements environnementaux sont insuffisants. Néanmoins, à mesure que les revenus augmentent, la population attache davantage d'importance à l'environnement et les institutions réglementaires gagnent en efficacité. Il ressort de résultats empiriques que la pollution de l'eau et de l'air atteint son sommet dans les pays à revenu intermédiaire (dont le revenu par habitant est compris entre USD 5 000 et 8 000) (GIEC, 2000; Dasgupta et al., 2002). Ce phénomène semble bien établi pour les polluants classiques (matières particulaires et soufre par exemple), mais les opinions divergent en ce qui concerne les émissions de GES. Qui plus est, le profil de la courbe de Kuznets peut varier considérablement d'un pays à l'autre, selon les valeurs et les institutions de chacun.

Le tableau 2.3 énumère les conséquences mondiales de chacun des ces scénarios.

Les scénarios pour l'énergie et l'environnement

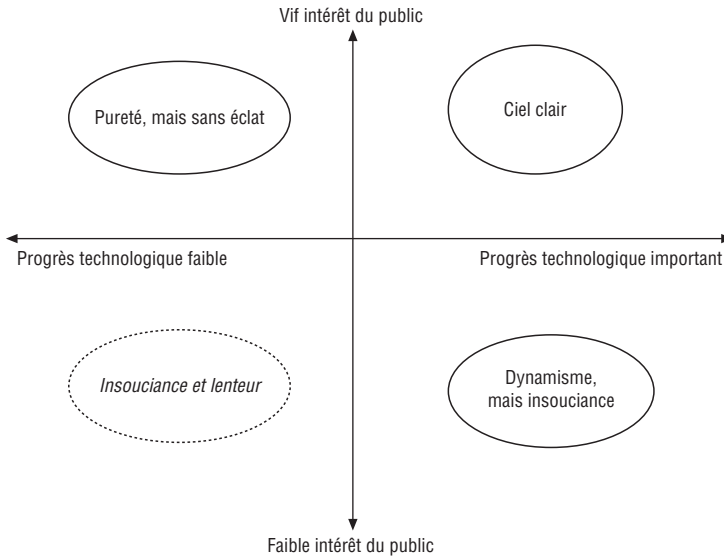
Les auteurs ont défini dans ce cadre prospectif trois scénarios (figure 2.3) :

- **Dynamisme, mais insouciance.** Les tendances actuelles persistent, à savoir une faible sensibilisation du public aux problèmes de l'environnement et une croissance économique soutenue entraînant une hausse de la consommation énergétique et de la pollution, surtout en Asie. La recherche de sources d'énergie de substitution et locales gagne en importance.
- **Ciel clair.** Ce scénario associe au progrès économique assorti d'avancées technologiques rapides l'inquiétude grandissante du public pour l'environnement. Une évolution planétaire dynamique et positive s'ensuit, qui permet de réaliser des progrès substantiels vers des formes de développement plus durables.
- **Pureté, mais sans éclat.** Celui-ci est le plus distinct, voire le plus marginal, des neuf scénarios établis. Il envisage un bouleversement complet des mentalités, partout dans le monde, en faveur de l'environnement. La croissance économique ralentit et les progrès technologiques sont modérés.

Tableau 2.3. **Les scénarios pour l'énergie et l'environnement stylisés**

	1) Dynamisme, mais insouciance	2) Ciel clair	3) Pureté, mais sans éclat
Économique	Croissance économique soutenue dans les pays développés et en développement. Persistence, mais diminution des disparités économiques à l'intérieur des pays et entre eux.	Croissance économique soutenue, comme au scénario 1).	Croissance économique plus modérée que dans le cadre des scénarios 1) et 2). Réduction des disparités.
Social	Tensions sociales dues aux disparités économiques. Les pays en développement ne peuvent que partiellement faire face à la croissance et à l'évolution démographiques et à la migration.	Des mesures internationales communes et la mobilisation nationale tempèrent les effets de l'évolution démographique dans les pays en développement.	Pressions démographiques. Les pays en développement doivent mettre au point des régimes de sécurité sociale. Hausse du chômage.
Politique	Les organisations internationales sont bien établies, mais leur influence varie selon l'enjeu. La société civile « commerciale » et les sociétés multinationales sont en position de force. Orientation marquée sur la sécurité de l'approvisionnement énergétique et mesures interventionnistes à l'égard des pays producteurs de pétrole.	Renforcement des organisations internationales et du Protocole de Kyoto. Rôle accru des ONG « vertes » et de la société civile. Attention des pouvoirs publics à l'importance de l'environnement et du développement durable. Partenariats public/privé.	Organisations et accords internationaux soutenus par la société civile. Degré de solidarité et d'aide internationales élevé. Forte mobilisation en faveur de la protection de l'environnement. Développement de la société civile « verte ». Évolution des mentalités.
Technologique	Priorité aux gains d'efficacité et à la recherche de sources d'énergie de substitution. Diffusion moyenne.	Mesures vigoureuses du côté de l'offre et investissements importants dans la R-D. Perfectionnement des technologies de séquestration du carbone. Ample diffusion.	Progrès technologiques moyens – pas d'innovation décisive, mais perfectionnement des technologies existantes. Diffusion élevée/moyenne.
Écologique	Aggravation des problèmes écologiques, dans le monde en développement notamment. Stress hydrique. Changement climatique et réchauffement planétaire. Déforestation.	Aggravation des problèmes écologiques dans un premier temps, étant donné la croissance économique des pays en développement, mais les effets négatifs sont atténués par la mobilisation du public, l'intervention des pouvoirs publics et les nouvelles technologies. Résolution du problème de l'eau ?	L'évolution des styles de vie et l'amélioration des technologies atténuent les problèmes écologiques.
Énergétique	Forte dépendance à l'égard des combustibles fossiles.	Augmentation de la demande en énergie en raison de la croissance économique. Dépendance accrue à l'égard des combustibles fossiles. L'énergie nucléaire perd du terrain.	Le gaz naturel remplace le pétrole. Tendance à remplacer tous les combustibles fossiles par des énergies renouvelables sans émissions.

Figure 2.3. Scénarios pour l'énergie et l'environnement



Un quatrième scénario, « insouciance et lenteur », qui n'a pas été soumis à l'examen des experts indépendants, pourrait également être envisagé. Il se caractérise par une évolution technologique lente et par le faible intérêt du public pour l'environnement. L'hostilité à l'égard de la technologie progresse, tandis que la population se préoccupe davantage des questions socioéconomiques et sécuritaires que de l'état de l'environnement. Ce scénario, présenté sous forme d'ellipse en pointillé dans le troisième quadrant de la figure 2.3, est employé dans l'un des scénarios de synthèse décrits ci-dessous.

Aperçu des scénarios de synthèse

L'étape suivante consiste à regrouper les scénarios fondés sur les facteurs d'évolution en trois scénarios de synthèse à la fois plausibles et intrinsèquement cohérents. Il serait par exemple très improbable qu'une croissance économique dynamique se produise dans un contexte de fortes tensions géopolitiques. Par ailleurs, l'environnement soulève vraisemblablement moins de préoccupations quand la croissance est faible et les relations internationales moroses. Sur la base de ces considérations, trois scénarios de synthèse associent des éléments des scénarios décrits plus haut.

Scénario de synthèse n° 1 (*mer calme*) : il s'agit là d'un scénario optimiste fondé sur un cercle vertueux faisant intervenir les trois principaux facteurs d'évolution. Plus précisément, il allie les événements géopolitiques du scénario *ad astra* aux perspectives socioéconomiques exposées dans le

scénario mondialisation et aux évolutions concernant l'énergie et l'environnement contenues dans le scénario *ciel clair*. Il imagine un monde en paix, dominé par le multilatéralisme et la coopération internationale, où la mondialisation apporte la prospérité à l'ensemble de la planète, notamment aux pays en développement. La pauvreté recule substantiellement, l'offre énergétique satisfait à la demande et des mesures efficaces d'assainissement de l'environnement sont adoptées collectivement.

Scénario de synthèse n° 2 (*retour vers le futur*) : il s'agit d'un scénario « intermédiaire » qui conjugue le scénario géopolitique *une étoile monte à l'Est* au scénario socioéconomique *régionalisation* et au scénario *dynamisme*, mais *insouciance* pour l'énergie et l'environnement. Fondamentalement, il décrit un retour à un monde bipolaire où les relations internationales sont dominées par l'interaction difficile entre deux blocs : les États-Unis et l'Europe d'une part, et la coalition formée par la Russie et la Chine de l'autre. Malgré les difficultés politiques, la croissance économique reste assez soutenue dans les pays de l'OCDE, dans le cadre d'une régionalisation économique qui suppose une coopération plus étroite entre les États-Unis et l'Europe. Les tensions s'accroissent toutefois sur plusieurs fronts, notamment ceux de l'environnement et de la sécurité énergétique.

Scénario de synthèse n° 3 (*avis de tempête*) : ce scénario plutôt pessimiste se fonde sur un cercle vicieux entre le scénario géopolitique du *chacun pour soi* et le scénario socioéconomique *crise*. Il décrit un monde où l'effondrement du multilatéralisme, provoqué par de vives divergences d'opinion entre les principaux intervenants, précipite une crise économique qui envenime les relations internationales. Il prévoit une croissance économique léthargique et un intérêt peu marqué pour l'environnement (scénario *insouciance* et *lenteur* pour l'énergie et l'environnement).

Les trois scénarios sont décrits en détail au chapitre 3. Ils présentent trois visions différentes des perspectives d'évolution possibles de la planète. Aucun n'est cependant « plus probable » que les autres; les trois doivent être considérés à la fois comme plausibles et invraisemblables. Ils ne représentent que trois points sur l'ensemble des futurs possibles. Ils illustrent le fait que l'avenir ne sera pas un simple prolongement du présent. Ils fournissent également une base utile pour étudier l'évolution éventuelle du secteur spatial dans les années à venir.

Bibliographie

Dasgupta, S., B. Laplante, H. Wang et D. Wheeler (2002), « Confronting the Environmental Kuznets Curve », *Journal of Economic Perspectives*, volume 16, n° 1, hiver, pp.147-168.

Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (2000), *Rapport spécial du GIEC – Scénarios d'émissions*, GIEC, Genève.

Kaya, Y. (1990), « Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios », document non publié présenté au Sous-groupe pour l'énergie et l'industrie du GIEC, Groupe de travail III (formulation de stratégies), Paris.

Watson R.T., M.C. Zinyowera et R.H. Moss (1996), *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.

ANNEXE 2.A1

La méthode des scénarios

Dans les phases initiales du projet Espace, l'Équipe du projet a été invitée à analyser les perspectives à long terme du secteur spatial, à évaluer le potentiel de développement futur des segments actuels du marché spatial, et à explorer l'émergence probable de nouveaux marchés dans les quelque trente ans à venir. L'étude devait adopter une méthode essentiellement « descendante » et se focaliser sur les moteurs du changement susceptibles d'avoir le plus d'effet sur les conditions futures de l'offre et de la demande.

La présente annexe expose la méthode des scénarios utilisée pour les chapitres 2-4. Tout d'abord, elle expose de façon générale les raisons du choix de l'analyse fondée sur des scénarios, puis elle présente la méthode spécifique utilisée pour élaborer les scénarios et, enfin, elle explique comment la méthode est appliquée pour évaluer l'évolution future du secteur spatial.

Pourquoi créer des scénarios ?

Pour explorer l'avenir, les analystes ont la possibilité de choisir parmi diverses techniques, selon la nature de l'exercice en question. La prévision est sans doute la technique la plus courante. Elle fait appel à des modèles prévisionnels offrant une description simplifiée de la réalité et des relations censées exister entre des variables indépendantes ou exogènes (dont les valeurs sont déterminées à l'extérieur du modèle) et des variables dépendantes ou endogènes (dont les valeurs sont générées par le modèle).

Les modèles prévisionnels sont utiles pour les projections à court terme mais présentent peu d'intérêt dans l'exploration de l'avenir à long terme, car de tels modèles sont tributaires d'une « inertie structurelle », autrement dit ils partent implicitement de l'hypothèse que la structure sous-jacente du modèle (plus précisément la relation entre les variables dépendantes et indépendantes) ne varie pas sur la durée de la période de prévision. Si cette hypothèse peut être raisonnable à court terme, il est peu probable qu'elle se

vérifie à long terme. Il est possible de résoudre ce problème en élaborant plusieurs prévisions sur la base de diverses valeurs de certains paramètres structurels, mais dans cette perspective les incertitudes sont perçues comme des déviations par rapport à l'orientation ou à la destination « préférée » ou « la plus probable ».

Dans le présent rapport, la méthode des scénarios est clairement préférable étant donné que les éléments moteurs sont définis de façon très générale et qu'ils font intervenir des interactions complexes avec une large gamme de variables sur une longue période.

Méthode générale de construction des scénarios

Le plan utilisé ici pour la construction de scénarios est fondé dans une large mesure sur une méthode couramment utilisée par les spécialistes de prospective, notamment les experts de la Rand Corporation (pour un exemple récent, voir Baer et al., 2002). Pouvant être présenté comme une forme de « modélisation qualitative », il comporte cinq grandes étapes :

1. Définir la question à laquelle il faut répondre (en modélisation classique, il s'agit de définir la variable dépendante).
2. Identifier les moteurs du changement ayant une incidence sur la question (en modélisation quantitative, cela correspond à l'identification des variables indépendantes). Comme en analyse quantitative, il est important de simplifier la réalité en se concentrant sur un petit ensemble de facteurs sous peine de rendre l'analyse ingérable.
3. Analyser les tendances et facteurs susceptibles d'influencer chacun des moteurs du changement dans le but d'évaluer les « principales incertitudes » qui s'appliquent à leur état futur (en modélisation quantitative, il s'agit de projeter la fourchette de valeurs que pourront prendre des variables indépendantes à l'avenir). Les divers futurs états des moteurs définissent l'« espace des scénarios ».
4. Sélectionner les scénarios auxquels il faudra accorder une attention particulière dans l'espace des scénarios.
5. Compléter les scénarios et déterminer les incidences sur le sujet examiné.

Une description succincte de la manière d'utiliser le plan dans la pratique est présentée dans ce qui suit. Le tableau 2.A1.1 porte sur les trois premières étapes. Dans la première étape, on fait l'hypothèse que l'objet de l'étude porte sur les perspectives d'avenir de l'économie mondiale. Dans la deuxième étape le postulat posé est, que compte tenu de l'expérience passée, le commerce international et l'évolution de la technique sont les principaux facteurs de croissance économique à long terme. Aussi, ces deux variables sont utilisées comme les principaux moteurs de l'analyse. La troisième étape consiste à

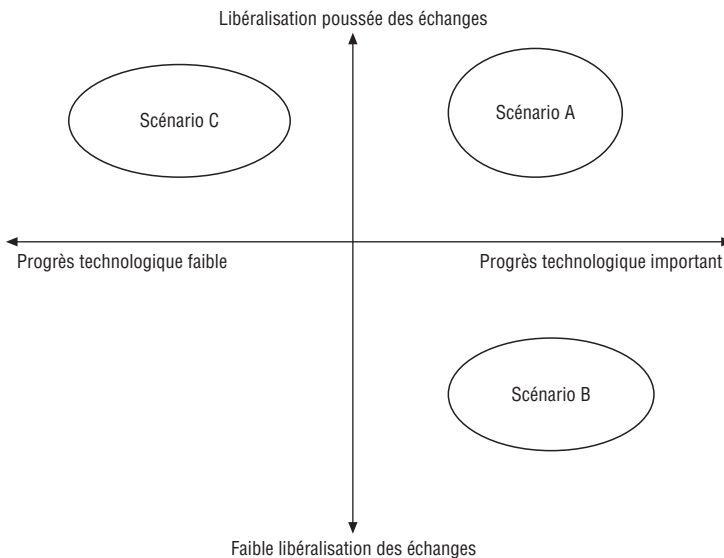
Tableau 2.A.1.1. Les trois premières étapes de l'analyse des perspectives à long terme de l'économie mondiale établies sur la base d'un scénario

Exemple spécifique	
Question	Quelles sont les perspectives d'avenir de l'économie mondiale ?
Principaux moteurs	Commerce international, progrès technique.
Principales incertitudes	Niveau de libéralisation du commerce, rapidité du développement et de la diffusion des nouvelles technologies.

identifier les éventuelles incertitudes possibles au regard de ces deux moteurs. Dans le cas du commerce international, la principale incertitude est liée au degré de libéralisation du commerce, autrement dit la mesure dans laquelle les nations commerçantes s'entendront à l'avenir sur le maintien d'un environnement d'échange ouvert. Dans celui de l'évolution technique, la principale incertitude porte sur le niveau qu'atteindra la R-D à l'avenir, ainsi que la rapidité avec laquelle les nouvelles technologies seront diffusées dans le monde.

Les deux incertitudes peuvent ensuite être utilisées pour définir un espace des scénarios bidimensionnel comme celui montré à la figure 2.A.1.1. Le rythme du progrès technique est porté en abscisse, de « faible » à « élevé », et le niveau de libéralisation du commerce en ordonnée, de « rapide » dans la partie supérieure de la figure à « lent » dans la partie inférieure. Dans la

Figure 2.A.1.1. Scénarios de l'économie mondiale



pratique, les notions de « rapide » et de « lent » doivent être clairement précisées.

Dès que l'espace des scénarios a été défini, on peut choisir les scénarios. Cela est illustré par les scénarios A, B et C qui apparaissent dans les premier, deuxième et quatrième quadrants et représentent diverses combinaisons possibles des grands moteurs.

La dernière étape de l'analyse consiste à déterminer les incidences des scénarios sur le sujet considéré, dans ce cas précis les perspectives à long terme de l'économie mondiale. Dans notre exemple sommaire, le scénario A donne le résultat le plus favorable : la libéralisation du commerce conjuguée à l'évolution rapide de la technique contribuent pleinement à une croissance économique rapide. Les perspectives de croissance mondiale sont moins bonnes dans les scénarios B et C, mais pour des raisons différentes selon le cas. Dans le scénario B, l'évolution technique est rapide, mais elle ne peut être pleinement exploitée en raison des barrières douanières qui entravent le commerce international. Dans le scénario C, la situation est opposée : la libéralisation du commerce est importante mais l'évolution technique est lente. Lorsque chacun des scénarios est parfaitement étoffé, il devient possible de tirer quelques conclusions au sujet des mesures qu'il conviendrait de prendre pour créer les conditions nécessaires à la réalisation du scénario préféré.

Application de la méthode à l'espace

Cette méthode est appliquée à l'exploration de l'avenir du secteur spatial et du développement des applications spatiales.

À ce sujet, trois grands moteurs de changement particulièrement pertinents ont été identifiés, à savoir les évolutions géopolitiques, le développement socioéconomique ainsi que l'énergie et l'environnement, non seulement en raison de leur place capitale au niveau des orientations mondiales, mais aussi par leurs liens étroits avec le secteur spatial.

Tout d'abord, le secteur est étroitement lié aux développements géopolitiques étant donné que l'espace représente l'ultime « position de force ». Les ressources spatiales peuvent jouer un rôle décisif dans le commandement, les communications, la conduite des opérations et le renseignement (C3R), tandis que la maîtrise des armes spatiales peut conférer à une puissance spatiale une position dominante.

L'espace est aussi étroitement lié aux développements socioéconomiques. Seuls les pays ayant une économie forte peuvent envisager devenir de grandes nations dans le domaine spatial. De plus, les ressources spatiales peuvent apporter une contribution substantielle à

l'économie et la société en général. Elles offrent surtout un moyen inestimable pour recueillir et mettre en œuvre des services d'information (communications, observation de la Terre, navigation) sur de vastes territoires avec un minimum d'infrastructures terrestres.

Une relation forte unit aussi l'énergie, l'environnement et l'espace. Les ressources spatiales peuvent être utilisées pour surveiller l'environnement, pour prévoir les changements météorologiques et pour fournir de l'aide en cas de catastrophe écologique. Elles peuvent aussi être utilisées pour gérer plus efficacement les ressources naturelles, pour surveiller l'application des traités écologiques internationaux et pour, à long terme, exploiter une source d'énergie propre.

Un quatrième moteur du changement, la technologie, a également été envisagé, mais il n'a pas été explicitement introduit dans l'évaluation de la demande future de ressources étant donné que son influence se situe probablement surtout du côté de l'offre.

Dans le plan présenté ci-dessus, l'étape suivante consisterait, logiquement, à définir l'espace des scénarios et à sélectionner les scénarios. Toutefois, vu que les complexités et les incertitudes propres à chacun de ces moteurs ne peuvent pas être réduites à une seule dimension dans le scénario spatial, il serait extrêmement difficile de tenter de tenir compte simultanément des trois moteurs dans l'élaboration des scénarios. En réalité, une application directe du plan en question équivaldrait à définir un scénario spatial multidimensionnel (à huit dimensions si deux dimensions sont attribuées à chaque moteur). Le choix des dimensions appropriées pour chacun des moteurs nécessite par ailleurs des connaissances très approfondies.

C'est la raison pour laquelle on a décidé de demander à des spécialistes indépendants de construire des scénarios autour de chacun de ces trois moteurs et d'établir les incidences correspondantes pour le secteur spatial. Les trois ensembles de scénarios ainsi réalisés ont ensuite été combinés en interne pour aboutir à des « scénarios de synthèse ».

Par souci d'homogénéité des trois analyses, une méthodologie commune et un format de présentation normalisé ont été mis au point. En particulier, les experts ont été invités à identifier clairement cinq grandes étapes :

1. L'examen des principales tendances et facteurs intervenant sur « leur » moteur de changement.
2. L'identification des principales incertitudes relatives au moteur.
3. La définition de l'espace des scénarios.
4. Le choix et la caractérisation des scénarios.
5. L'établissement d'un tableau résumant toutes les répercussions de l'analyse sur l'évolution future des applications spatiales.

Les auteurs ont également décidé d'adopter un ensemble commun d'hypothèses de base (c'est-à-dire des hypothèses restant inchangées tout au long des scénarios). Enfin, comme dernier élément de cohérence, les premiers projets des auteurs ont été soumis à l'Équipe du Projet et aux autres auteurs pour observations.

Dans la construction des scénarios de synthèse, des versions standardisées des analyses des experts, dans lesquelles les étapes définies ci-dessus sont clairement présentées et systématiquement suivies, ont été rédigées. Ces versions standardisées ont ensuite été intégrées dans les scénarios de synthèse. Il convient toutefois de noter que si ces versions standardisées sont basées sur les travaux des experts, elles ne reflètent pas toujours exactement leur travail.

Référence

Baer, W., S. Hassell et B. Vollaard (2002), *Electricity Requirements for a Digital Society*, Rand Corporation, www.rand.org/publications/MR/MR1617/.

Chapitre 3

Scénarios pour l'avenir du secteur spatial

Ce chapitre esquisse les conséquences politiques, économiques, sociales, énergétiques, écologiques et technologiques, de chacun des trois scénarios de synthèse présentés au chapitre 2 et en dégage les implications pour l'évolution future des principales branches du secteur spatial (militaire, civile et commerciale).

Introduction

Le présent chapitre développe les différentes visions de l'avenir qui découlent des scénarios de synthèse élaborés au chapitre 2 et évalue leurs implications pour l'évolution du secteur spatial. Il décrit les caractéristiques politiques, économiques, sociales, énergétiques, environnementales et technologiques de chacun d'eux et en analyse les conséquences pour les branches militaire, civile et commerciale de cette industrie. Dans le cas de l'espace civil, deux aspects essentiels sont examinés : les retombées sur l'exploration et la science spatiales et l'incidence sur l'expansion de l'infrastructure. Dans celui de l'espace commercial, l'étude porte principalement sur l'effet de chaque scénario sur l'environnement économique auxquels les acteurs spatiaux sont confrontés, l'expansion de l'infrastructure spatiale commerciale et le développement de l'industrie spatiale.

Scénario n° 1 : Mer calme

Ce que réserve l'avenir

Introduction

Ce scénario imagine un ordre mondial global sous l'autorité bienveillante des organisations internationales, où les marchés libres et la démocratie deviennent progressivement le modèle universel reconnu des institutions nationales. Le développement du commerce mondial et l'internationalisation de la production en sont les moteurs essentiels. Les progrès en matière de transport et de communications et l'intérêt croissant pour les questions d'ordre planétaire sont d'autres tendances significatives. Dans une conjoncture économique favorable, la coopération entre nations apporte une contribution efficace à la résolution des problèmes mondiaux, notamment en termes de réduction de la pauvreté. La dégradation de l'environnement se poursuit toutefois, malgré les préoccupations croissantes qu'elle suscite. Par ailleurs, différents groupes, qui se sentent exclus ou s'opposent à l'ordre établi pour des motifs idéologiques, résistent à ce qu'ils estiment être une « occidentalisation » du monde. Cette opposition se traduit par la persistance d'actes terroristes perpétrés par des groupes transnationaux, à qui les « États préoccupants » servent parfois de base stratégique pour former de nouvelles recrues et organiser des actions contre leurs ennemis. Le crime organisé

continue de sévir, tirant profit de l'ouverture planétaire. Ces deux groupes ont accès à des armes de destruction massive (ADM) et les utilisent pour exercer un chantage sur les États les plus vulnérables.

Principales caractéristiques

Aspects politiques : Sur le front politique, on voit naître un puissant esprit de coopération à l'échelon international, les pays prenant conscience que, dans un monde marqué par une interdépendance croissante, il est de plus en plus difficile de faire cavalier seul, et que la communauté internationale peut rapidement sanctionner les comportements opportunistes. Une mise à l'index est très coûteuse, et l'opinion publique internationale exerce une forte influence. Les États-Unis, l'Union européenne, le Japon, la Russie, l'Inde et la Chine entretiennent des relations cordiales. Ils font cependant toujours face à la menace d'une utilisation d'ADM par des terroristes et des groupes criminels. Pour y parer, ils renforcent leur propre sécurité et resserrent leur coopération avec d'autres pays dans ce domaine. L'Europe consolide sa politique étrangère et de sécurité commune afin de rehausser sa capacité à intervenir indépendamment sur la scène internationale. Elle entretient une coopération étroite avec les États-Unis en matière de sécurité.

Aspects économiques : sur le plan économique, la rapidité des progrès dans de nombreux domaines technologiques dope les taux de croissance partout dans le monde, surtout dans les pays en développement qui rattrapent progressivement l'Occident. L'esprit de coopération qui domine les relations internationales se traduit par un renforcement de la discipline de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), malgré des revers occasionnels, notamment dans les secteurs qui revêtent une importance particulière pour le monde en développement, comme les textiles et l'agriculture. Des accords internationaux portant sur la protection de la propriété intellectuelle sont par ailleurs conclus, plusieurs pays à revenu intermédiaire devenant des créateurs nets de produits et services riches en information (les logiciels en Inde par exemple). L'investissement direct étranger (IDE) est mieux protégé, les pays en développement étant de plus en plus nombreux à se rendre compte qu'il ouvre des perspectives de transfert technologique et de nouveaux investissements. Dans ce contexte de mondialisation rapide, la demande de services de transport et de communication augmente sensiblement. Les services éducatifs sont très demandés en raison du nombre sans précédent de travailleurs arrivant sur le marché du travail dans le monde en développement. Des efforts substantiels sont déployés pour moderniser les pratiques agricoles face à l'exode rural massif et rapide que connaissent la plupart de ces pays.

Aspects sociaux : la prospérité croissante permet d'amortir les conséquences défavorables des tendances démographiques. Dans les pays

développés, elle apporte les ressources permettant d'assumer les coûts associés au vieillissement de la population; dans les pays en développement, elle crée des emplois pour une main d'œuvre en pleine expansion. De ce fait, les flux migratoires du sud vers le nord n'augmentent que modérément et un nombre croissant d'emplois sont délocalisés vers le sud. La coopération internationale et la prospérité économique donnent également les moyens de lutter plus efficacement contre la pauvreté et la malnutrition et d'élaborer des programmes plus performants pour s'attaquer aux pandémies quand elles se produisent. L'urbanisation rapide appelle des investissements colossaux dans l'infrastructure et des programmes de santé et d'éducation publiques sont mis en place.

Aspects énergétiques : la croissance économique vigoureuse induit une augmentation de la demande d'énergie, surtout dans les grands pays en développement comme la Chine et l'Inde. Les tensions internationales à cet égard demeurent toutefois modérées du fait du développement de sources d'énergie de substitution (sables bitumineux, énergies renouvelables) et de l'encouragement par le marché et d'autres mécanismes d'une utilisation plus efficace de l'énergie. Le prix de l'énergie n'augmente ainsi que modérément. Il n'est cependant pas facile de satisfaire la demande croissante, et des efforts considérables s'imposent dans les domaines de l'exploration et de l'extraction, ainsi que du transport des produits énergétiques vers les marchés. Des ressources substantielles sont également consacrées au développement de technologies énergétiques propres.

Aspects écologiques : la croissance économique s'accompagne généralement d'une amplification des problèmes écologiques à court et moyen termes. Néanmoins, le nombre de pays accédant au statut de pays à revenu intermédiaire augmentant, les efforts visant à lutter contre la pollution locale s'intensifient, et la plupart d'entre eux sont disposés à plafonner leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) dans la mesure où d'autres le font également. L'Union européenne est la première à prendre des mesures politiques contraignantes pour résoudre les problèmes écologiques mondiaux. Un nouveau traité portant sur la réduction des émissions de GES, fondé sur le Protocole de Kyoto, est établi. Il est assorti d'un dispositif de contrôle exhaustif destiné à vérifier son application effective.

Aspects technologiques : des progrès sont accomplis dans de nombreux domaines technologiques (technologies de l'information, biotechnologie, nanotechnologies). Ils stimulent la croissance économique et offrent également de nouveaux outils pour s'attaquer aux problèmes écologiques (nouvelles techniques de lutte contre la pollution, énergies renouvelables plus économiques, et avancées en matière de séquestration du carbone). La diffusion rapide des technologies nouvelles dans le monde en développement est un moyen particulièrement efficace d'aider ces pays à rattraper l'Occident.

Pour que le transfert technologique soit fructueux, il faut toutefois que des dispositifs de formation appropriés soient en place pour remettre à niveau les compétences des travailleurs des pays bénéficiaires et les aider à s'adapter aux innovations. La mise au point des technologies s'internationalise de plus en plus, les équipes de recherche utilisant couramment la téléconférence et d'autres techniques de communications pour rester en contact avec leurs collègues partout dans le monde.

Implications pour le secteur spatial

Étant donné l'embellie des relations internationales, ce scénario fait une place moins large aux dépenses militaires, bien que le recours aux moyens spatiaux militaires augmente. D'immenses progrès sont accomplis en termes d'application des technologies spatiales à la résolution des problèmes sociaux et écologiques mondiaux. L'espace commercial se développe aussi substantiellement dans un climat économique plus ouvert.

Espace militaire

Dans un monde plus pacifique, les dépenses militaires passent au second plan. Globalement, les budgets spatiaux militaires diminuent. Les nations spatiales autres que les États-Unis consacrent néanmoins relativement plus de ressources à l'espace militaire du fait qu'elles consolident leur capacité de guerre « infocentrée » (configuration de forces armées dans laquelle toutes les unités et chaque soldat sont interconnectés par un réseau de communications multicouche qui permet aux chefs militaires de suivre les opérations sur le champ de bataille et de donner des ordres en temps réel). Priorité est donnée au déploiement d'une infrastructure spatiale militaire dans les domaines des télécommunications, de l'observation de la Terre et de la navigation à des fins de commande, de contrôle, de communication et de renseignement (C3R).

À mesure que les tensions entre les grandes puissances spatiales s'atténuent, ces dernières renforcent leur coopération pour faire face à la menace que représentent les États préoccupants et les groupes terroristes. À brève échéance, les principales nations spatiales :

- Conviennent d'adopter un traité sur les antimissiles balistiques (ABM) révisé afin de reconnaître la nécessité de systèmes de défense nationaux ou multinationaux, mais de les limiter à des intercepteurs à terre équipés de capteurs spatiaux pour détecter et suivre les missiles entrants.
- Déploient une capacité perfectionnée, à l'échelon national et multinational, pour surveiller les opérations des États préoccupants et des groupes terroristes. Alors que les moyens spatiaux font partie du système de surveillance, le rôle des engins télépilotés gagne nettement en importance.

À moyen et long terme, les grandes nations spatiales conviennent de collaborer au déploiement de systèmes de défense anti-missiles régionaux, selon les besoins. Dans le même temps, les États-Unis accélèrent la mise au point d'un avion spatial hypersonique. L'Europe leur emboîte le pas, en collaboration avec la Russie.

Espace civil

Ce scénario prévoit une coopération très étroite des grands pays spatiaux au développement de toutes les branches de l'espace civil, notamment la science et l'exploration spatiales, la R-D pour le perfectionnement de la technologie spatiale et l'expansion de l'infrastructure spatiale.

Science et exploration de l'espace. Un nombre grandissant de pays, dont la Chine, l'Inde et le Brésil, décident de participer à la station spatiale internationale (SSI). La Russie, l'Europe, le Japon et les États-Unis unissent leurs efforts afin de mettre au point l'avion spatial orbital (OSP) qui servira de véhicule de transport et de secours pour la SSI.

Un consortium international est créé pour élaborer un programme ambitieux d'exploration extraterrestre comportant des missions vers la Lune et vers Mars. Avant 2020, une station internationale permanente est installée sur la Lune. En 2025, la première mission habitée à destination de Mars est lancée.

Parallèlement, toutes les grandes agences spatiales travaillent en étroite collaboration pour améliorer la propulsion et mettre au point de nouvelles plates-formes satellitaires.

Développement de l'infrastructure spatiale civile. La conjoncture politique et économique favorable permet de resserrer la coopération internationale de manière à lutter contre les principaux problèmes sociaux de la planète. L'intérêt de plus en plus manifeste des solutions spatiales entraîne la création de l'Agence spatiale internationale (ISA) pour faciliter les travaux dans ce domaine.

Avec l'aide de pays précurseurs comme l'Inde, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) apporte un soutien énergique à l'utilisation de la télémédecine dans le monde en développement afin d'atteindre son objectif « La santé pour tous au XXI^e siècle ». Dans le même temps, un mécanisme efficace de lutte contre les pandémies, inspiré du concept militaire C3R, est mis en place à l'échelle mondiale.

L'OMS unit ses forces à celles de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), de l'Organisation internationale du travail (OIT) et de l'ISA pour promouvoir le téléenseignement afin de

résorber concrètement les disparités éducatives et de faciliter l'éducation d'une population d'âge actif en pleine expansion dans les pays en développement. Les entreprises occidentales privées qui investissent massivement dans ces pays participent également à ces efforts. Les ministres de l'éducation d'un groupe restreint de pays décident de créer une nouvelle organisation intergouvernementale, EducSat, dans le but de fournir des services de téléenseignement aux pays participants. Le nombre d'adhérents à EducSat augmente à mesure que les pays prennent conscience des avantages du téléenseignement.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) intensifie ses efforts en vue de promouvoir une utilisation plus rationnelle des ressources naturelles à l'échelon planétaire. Les moyens spatiaux sont largement utilisés pour la surveillance des cultures, la lutte antiparasitaire et l'agriculture de précision. Cette dernière ayant une empreinte écologique moins marquée, il est fait appel, en matière de surveillance spatiale, au système mondial de radiopéage (GPS) et à Galileo pour superviser la production de produits agricoles « verts » dans le but de mieux répondre à la demande croissante de produits « biologiques ».

En vue de maîtriser les émissions de GES, Les mesures collectives adoptées essentiellement à l'instigation de l'Union européenne créent une demande de technologies spatiales pour surveiller les émissions. Le Protocole de Kyoto est suivi de la création d'un organisme mondial de protection de l'environnement qui met en place un système spatial pour surveiller, en coopération avec l'ISA, l'application des accords relatifs à l'environnement.

Espace commercial

Dans ce monde plus serein, des conditions plus propices à l'espace commercial se mettent rapidement en place. L'infrastructure spatiale à l'appui des échanges et du commerce est substantiellement modernisée. L'industrie spatiale, tirant parti de la libéralisation et de l'apparition de nouveaux créneaux commerciaux, se lance dans une vaste restructuration d'envergure mondiale, ce qui ouvre la voie à une réduction sensible des coûts d'accès à l'espace et au développement de services spatiaux nouveaux et innovants capables d'exploiter pleinement les avantages offerts par l'espace par rapport aux solutions terrestres.

Création d'un environnement commercial plus ouvert. S'agissant de l'environnement institutionnel qui régit l'espace commercial, des progrès sont observables sur plusieurs fronts :

- La discipline de l'OMC est étendue à un large éventail de produits spatiaux. Les sociétés spatiales, comme les autres entreprises, peuvent bénéficier des nouvelles règles internationales concernant le traitement de l'IDE.

- Les conventions des Nations Unies relatives à l'espace sont amendées de manière à donner des définitions plus claires, à préciser les responsabilités concernant les opérations associées au lancement, à l'exploitation et à l'élimination des objets spatiaux, et à mieux prendre en compte les droits de propriété commerciale.
- Le rôle de l'Union internationale des télécommunications (UIT) dans l'attribution des fréquences et des créniaux orbitaux est renforcé. Des règles appropriées garantissent l'efficacité et l'impartialité de ces attributions. Les droits et obligations des exploitants sont précisés.
- Toutes les nations spatiales adoptent une législation nationale sur l'espace conforme à un code type ou uniforme, de sorte que les définitions, responsabilités et droits de propriété puissent être aisément établis.
- La Convention relative aux garanties internationales portant sur des matériels d'équipement mobiles (Le Cap) est ratifiée par une vaste majorité de pays, ce qui donne une assise commerciale nettement plus solide au financement des moyens spatiaux.

D'importants progrès sont également accomplis en matière de libéralisation des flux d'information :

- Des règles communes sont établies pour réglementer le commerce électronique et les flux de données transfrontières.
- La réglementation des opérateurs de systèmes spatiaux est harmonisée dans l'ensemble des pays, et les procédures sont sensiblement simplifiées. Les règles concernant la participation étrangère sont toutes supprimées.

Les restrictions concernant les technologies spatiales sont allégées. Les grandes nations spatiales acceptent d'assouplir celles qui portent sur l'investissement étranger, les contrôles sur les exportations et le transfert technologique entre elles. Dans le même temps, elles fixent des règles précises qui ont pour objet de refuser l'accès aux technologies sensibles aux États préoccupants ou aux groupes terroristes.

L'expansion de l'infrastructure spatiale. Le contexte institutionnel favorable offre une bonne assise à l'amplification des infrastructures spatiales qui favorisent le développement mondial du commerce et des échanges par les moyens suivants :

- Déploiement d'une infrastructure mondiale de télécommunication haut débit dans laquelle les moyens spatiaux interviennent non seulement pour établir les liaisons, mais aussi pour assurer « le dernier kilomètre », c'est-à-dire la connexion des usagers finaux, en concurrence avec les réseaux terrestres. Dans ce monde plus ouvert, l'espace universel constitue un argument de vente stratégique pour les solutions spatiales.

- Mise au point d'une véritable infrastructure mondiale de localisation et de navigation à usage civil et commercial qui garantit l'interopérabilité intégrale de plusieurs systèmes régionaux existants. Elle sert à tous les modes de transport et favorise grandement l'expansion mondiale de l'aviation civile en particulier.
- Développement d'une infrastructure mondiale d'observation de la Terre, utilisable tant à des fins de sécurité civile qu'à des fins commerciales.

Le déploiement de l'infrastructure spatiale mondiale favorise l'augmentation de la productivité directement, grâce aux services qu'elle fournit, mais aussi indirectement, en imposant une harmonisation universelle des normes.

Le développement de l'industrie spatiale. Les sociétés spatiales peuvent procéder à une restructuration mondiale afin de tirer pleinement parti des économies d'échelle et de gamme, les sociétés russes et chinoises jouant un rôle croissant dans ce processus. Certaines deviennent les piliers d'importants consortiums spatiaux qui opèrent à l'échelon planétaire et rivalisent directement avec leurs homologues occidentaux. De nouvelles entreprises de nations spatiales émergentes, notamment l'Inde, le Brésil et Israël, font leur entrée dans le secteur.

Les sociétés spatiales se livrent une concurrence acharnée. Elles s'attachent à réduire les coûts et à améliorer la qualité des services. Elles consacrent d'importants budgets de R-D au développement de produits spatiaux innovants. Quelques-unes s'efforcent d'atténuer les pressions concurrentielles par des regroupements, mais l'intervention des autorités de surveillance des marchés limite ce type d'initiatives.

Les efforts de l'industrie et l'expansion de l'espace commercial se traduisent par une réduction substantielle des coûts d'accès à l'espace. Le coût de fabrication des lanceurs, en particulier, diminue considérablement, et d'immenses progrès sont accomplis dans la fabrication de micro et de nanosatellites. Le tourisme spatial commence à se développer après qu'une petite société remporte le X Prize, en 2005 (le concours récompense le lancement d'un engin habité capable de transporter trois personnes à une centaine de kilomètres d'altitude et de recommencer dans un délai de 14 jours). Le tourisme spatial propose pour commencer des vols sous-orbitaux puis, dans les années 2020, des vols en orbite. Les progrès sur le plan commercial convergent avec ceux de la branche militaire dans le développement d'un avion spatial hypersonique; tout cela aboutit, vers la fin de la période considérée, à la création d'un véritable lanceur réutilisable.

Scénario n° 2 : Retour vers le futur

Ce que réserve l'avenir

Introduction

Ici, trois grandes puissances économiques dominent le monde : les États-Unis, l'Europe et la Chine. Les États-Unis conservent un certain temps leur position dominante, mais perdent progressivement du terrain étant donné la relative faiblesse de leur performance économique. Cette place leur est contestée par la Chine, une puissance en pleine expansion et de plus en plus sûre d'elle, qui rejette les valeurs occidentales et souhaite retrouver, avec l'aide de la diaspora chinoise, son statut historique « d'Empire du Milieu », dans lequel elle voit sa juste place. La Russie lui apporte un soutien considérable, les autorités russes éprouvant également du ressentiment à l'égard des critiques occidentales. L'Europe demeure un géant économique, mais elle est repliée sur elle-même et ses institutions sont déficientes, l'extension de l'UE à 25 pays membres ayant considérablement freiné les efforts d'approfondissement de la communauté. Face à la coalition dynamique de la Chine et de la Russie, elle conforte ses liens avec les États-Unis et consolide et coordonne ses forces armées. Un monde bipolaire émerge peu à peu, dans lequel la rivalité entre les deux blocs domine les préoccupations gouvernementales dans toutes les grandes sphères d'activité. Les tensions concernant l'accès aux sources d'énergie et à d'autres ressources sont particulièrement fortes, la Chine devenant un importateur d'énergie et de produits alimentaires de première importance.

Principales caractéristiques

Aspects politiques : les tensions internationales dérivent essentiellement des divergences profondes de la Chine avec les autres grandes puissances. Après des siècles de domination et d'humiliation, la Chine est particulièrement désireuse de tirer profit de sa puissance économique nouvellement acquise, pour promouvoir ses intérêts nationaux avec énergie, au plan régional et mondial. Les conflits territoriaux avec ses voisins s'enveniment et elle adopte une attitude de plus en plus conflictuelle à l'égard des États-Unis et de l'Ouest en général, surtout en ce qui concerne l'accès aux ressources énergétiques et naturelles. La Russie, en réaction aux critiques occidentales, renforce ses liens avec la Chine. La complémentarité économique des deux pays s'accroît (par exemple la Russie vend des ressources naturelles et des technologies à une Chine de plus en plus prospère, mais pauvre en ressources), et ceux-ci se partagent le contrôle de l'Asie centrale. Face à ce défi, les pays occidentaux restent unis. Européens et Américains gardent conscience de leurs idéaux politiques, de leur patrimoine culturel et de leur régime économique communs, malgré des divergences

d'opinion occasionnelles. Les deux blocs réagissent aux tensions croissantes, comme dans le cas du Taipei chinois, en développant leur capacité militaire. La sécurité figure au premier rang des préoccupations. L'Organisation du traité de l'Atlantique Nord (OTAN) est renforcée. Les ressources consacrées aux budgets militaires augmentent, surtout en Europe qui met en œuvre son propre modèle de guerre infocentrée. La coopération transatlantique en matière de sécurité se renforce en termes de services de renseignement et de contre-espionnage. Les restrictions au transfert de technologies sensibles se durcissent. Les pays occidentaux tentent également d'encourager une coopération militaire avec l'Inde.

Aspects économiques : la stagnation économique domine en Occident, ce qui tient en partie à l'incapacité des États-Unis à véritablement résorber leur déficit commercial et le poids de leur dette, l'Europe et le Japon étant pour leur part incapables d'engager les réformes structurelles nécessaires pour stimuler la croissance (marchés financiers au Japon, marchés du travail en Europe par exemple). La Chine, en revanche, conserve des taux de croissance élevés; les autorités sont en mesure de réformer les institutions financières, de privatiser les entreprises publiques et de promouvoir la croissance dans les provinces intérieures. Elles le font dans l'idée de maximiser à terme la puissance nationale de leur pays, et non parce qu'elles adoptent des idéaux libéraux. La prospérité croissante de la Chine induit une forte hausse de sa demande de nourriture et de ressources naturelles, y compris de pétrole, qui est partiellement satisfaite dans le cadre d'une coopération avec la Russie, l'économie russe s'intégrant progressivement à la chinoise. Les tentatives de la Chine pour mettre la main sur une plus grande part de l'approvisionnement en dehors de la Russie donne lieu à des confrontations avec le reste du monde, l'Ouest notamment. Les gouvernements occidentaux ripostent par la fermeture de leurs marchés aux produits chinois. L'économie mondiale en ressort divisée en deux blocs rivaux, ce qui a pour effet de doper la croissance des autres pays en développement, qui bénéficient de la réorientation des échanges et des investissements. La croissance mondiale enregistre une décélération globale. Les préoccupations sécuritaires évoquées plus haut s'étendent à la sphère économique, et l'inquiétude des entreprises pour leurs actifs à l'étranger augmente. La circulation des biens et des personnes continue de progresser, mais se concentre généralement à l'intérieur des deux blocs.

Aspects sociaux : l'atonie économique à l'ouest attise les tensions sociales, y compris les tensions générationnelles. Face au creusement des déficits budgétaires, des mesures d'envergure sont prises pour optimiser le fonctionnement des régimes de protection sociale, en particulier celui du régime de santé. Les immigrants du sud se trouvent en butte à une hostilité croissante. Dans ce contexte troublé, l'ordre public occupe une place de

premier plan dans des sociétés vieillissantes qui se sentent de plus en plus vulnérables. Le sentiment isolationniste demeure tempéré aux États-Unis, les Américains étant de plus en plus nombreux à prendre conscience qu'un resserrement de la coopération avec l'Europe s'impose pour faire front à la puissance grandissante de la Chine. Au sud, l'essor économique résultant de la réorientation des échanges et des investissements vers ces pays atténue les tensions sociales.

Aspects énergétiques : le monde reste fortement tributaire des combustibles fossiles. Malgré des événements indésirables dus au changement climatique, l'Ouest et le reste du monde continuent de donner priorité à une croissance forte, à la baisse des prix de l'énergie et à la stabilité de l'approvisionnement énergétique. La Chine tire profit du resserrement de ses relations avec la Russie et l'Asie centrale et investit par ailleurs massivement dans l'énergie nucléaire. Les préoccupations relatives à la sécurité de l'approvisionnement s'intensifient, et d'immenses efforts sont déployés pour développer des sources d'énergie de substitution.

Aspects écologiques : alors que les tensions internationales redoublent, tout espoir de parvenir à un accord international sur le contrôle des émissions de GES s'évanouit. L'environnement se dégrade. On observe toutefois un renforcement de la coopération régionale en vue de résoudre les problèmes de pollution locaux. Divers traités portant sur la lutte contre la pollution sont appliqués entre pays limitrophes.

Aspects technologiques : le rythme d'innovation pâtit de la conjoncture économique morose à l'Ouest. Les transferts technologiques vers le Sud sont en grande partie orientés vers des pays amis de l'Occident. Priorité est donnée à la recherche militaire, notamment aux technologies de surveillance et de communications, à la biotechnologie, aux nanotechnologies, à l'intelligence artificielle (IA), à la robotique et aux armes de destruction massive.

Implications pour le secteur spatial

Pour le secteur spatial, la confrontation entre l'alliance sino-russe et l'Occident aboutit à l'émergence de trois grands blocs de coopération : Amérique du Nord – Europe – Japon; Chine – Russie; Inde – autres nouveaux acteurs spatiaux. Le resserrement des liens entre l'Amérique du Nord et l'Europe entraîne une intégration de l'industrie spatiale. Les entreprises spatiales bénéficient de la hausse des budgets militaires spatiaux mais souffrent d'un environnement moins ouvert sur le plan des échanges et de l'investissement. L'espace civil consacre une bonne part de ses efforts à réduire le coût du régime de la protection sociale par la mise au point de technologies à usage dual, tandis que les opérations de prestige ont pour objectif de renforcer le « pouvoir de persuasion ».

Espace militaire

L'aggravation des tensions entre l'Occident et l'alliance Chine-Russie débouche à terme sur une nouvelle forme de course spatiale et une militarisation progressive de l'espace qui voient les États-Unis d'abord, suivis des autres grandes nations spatiales, déployer des systèmes de défense anti-missiles terrestres nationaux, dont des systèmes de surveillance et d'alerte rapide. Cette militarisation croissante se traduit également par le développement de systèmes anti-satellites (ASAT), notamment de lasers aéroportés et terrestres et de satellites parasites. Elle engendre en outre déploiement de lasers spatiaux capables d'attaquer à la fois des missiles et des satellites vers la fin de la période considérée.

Les pays de l'Union européenne renforcent leur politique de sécurité et de défense commune. L'espace militaire y occupe une place centrale et un groupe restreint de pays idéologiquement proches conviennent de coordonner leurs programmes spatiaux militaires de manière à éviter autant que possible les redondances. Cette démarche se traduit par la rationalisation et le développement de l'infrastructure spatiale militaire européenne. Les Européens souhaitent établir une capacité spatiale indépendante, mais ils veulent également privilégier l'interopérabilité avec les systèmes spatiaux militaires américains. L'intégration des industries spatiales militaires des États-Unis et de l'Union européenne s'accroît.

La Chine accorde une priorité élevée à la modernisation de ses forces armées, avec l'appui des transferts technologiques russes. Elle estime que l'utilisation de l'espace revêt une importance cruciale et ouvre la voie à son propre modèle de guerre « infocentrée ». Le renforcement du dispositif militaire des deux grands blocs encourage d'autres pays, l'Inde en particulier, à développer leur capacité spatiale militaire. La demande de satellites de communication et d'observation de la Terre augmente.

Espace civil

Les rivalités internationales font qu'une part importante des budgets spatiaux civils est consacrée à des projets susceptibles de créer une « pouvoir de persuasion » se manifestant par davantage de prestige, à l'échelon national et à l'étranger, ou pour renforcer et élargir l'influence internationale du pays. Cet environnement est particulièrement propice aux nouveaux programmes d'exploration, aux avancées technologiques et aux solutions spatiales destinées à répondre aux demandes sociales régionales (comme la télémédecine).

Exploration et science de l'espace. Les pays mettent sur pied leurs programmes d'exploration respectifs pour des raisons de prestige.

Les tensions politiques et le déficit de communications amènent la Russie à se retirer du programme de la Station spatiale internationale, qui continue dans un premier temps de fonctionner sous forme de laboratoire orbital onéreux avec la participation des États-Unis, de l'Europe et du Japon.

Tout en abandonnant progressivement la SSI, ces trois pays lancent un ambitieux programme de missions d'exploration martienne non habitées dans l'objectif d'envoyer des humains sur la planète rouge avant le milieu du XXI^e siècle. Faisant suite à quelques tentatives européennes du début des années 2000, le Japon engage un programme lunaire avec, pour commencer, les projets *Lunar A* et *Selene*, afin d'étudier les ressources lunaires et de préparer une exploration plus approfondie de la planète.

La Chine entreprend aussi un ambitieux projet d'exploration lunaire avec, dans un premier temps, l'envoi d'une sonde lunaire non habitée. L'expérience sans égal de la Russie dans le domaine des vols habités de longue durée donne à la Chine un avantage sur l'Occident. Ces deux pays ont pour objectif officiel à long terme d'exploiter les ressources minérales et énergétiques potentielles de la Lune pour le profit de l'humanité, leur but à court terme étant de rehausser leur prestige national, chez eux et à l'étranger. À la fin des années 2030, ils installent une base habitée sur la Lune.

L'Inde, qui envoie une mission sans équipage sur la Lune avant 2008, marche sur leurs brisées. La mission a pour but de servir de vitrine aux compétences scientifiques du pays, de susciter l'enthousiasme des jeunes générations et de développer la confiance nationale. Elle est également considérée comme une démarche décisive au plan stratégique et économique. Elle offre à l'Inde un moyen de se faire entendre, tout comme ce fut le cas après les essais d'armes nucléaires de Pokhran en mai 1998. Qui plus est, l'Inde ne veut pas rester en chemin quand les humains coloniseront la Lune et Mars dans quelques décennies. Elle encourage des projets spatiaux coopératifs entre les pays en développement, notamment l'Indonésie, l'Iran et le Brésil, ce qui augmente le nombre de partenaires éventuels de New Delhi, tout en renforçant son indépendance à l'égard de l'Occident et de l'axe sino-russe.

S'inspirant du modèle indien de développement spatial, de nombreux pays privilégient tout particulièrement les projets faisant appel à de petits satellites et aux technologies disponibles pour réaliser des missions spéciales revêtant une utilité au plan économique.

Déploiement de l'infrastructure spatiale civile. Dans une époque marquée par de fortes revendications sociales, les applications spatiales se développent et fournissent des solutions financées sur fonds publics. De nouvelles technologies à usage dual sont mises au point.

Face à l'escalade du coût des soins de santé, la télémédecine offre un moyen intéressant d'assurer des services de santé, notamment des soins à domicile aux personnes âgées, en mettant à profit la capacité haut débit de diffusion directe à domicile (DTH) dont sont déjà équipés de nombreux foyers. Il est ainsi possible de surveiller en permanence leur état de santé et de procéder à des téléconsultations avec l'assistance de personnels infirmiers spécialement formés dans ce domaine. Les visites à domicile et à l'hôpital, coûteuses et dévoreuses de temps, étant réduites au minimum, des économies substantielles sont réalisées. D'autres activités spatiales civiles sont orientées sur l'environnement. Si peu de progrès sont accomplis sur le front de la réduction des émissions de GES, les deux grands blocs géopolitiques rivalisent pour obtenir l'allégeance des pays en développement en apportant leur concours à des opérations de surveillance de la pollution par satellite et en fournissant des services d'urgence en cas de grandes catastrophes naturelles. Les moyens spatiaux servent en outre à contrôler l'application des traités régionaux de lutte contre la pollution.

Les pays en développement présentent régulièrement aux organismes multilatéraux en place des recommandations afin d'éviter la multiplication des débris spatiaux en orbite, mais peu de progrès sont observables car les directives promulguées n'ont pas force exécutoire.

Sur le plan du développement technologique, des progrès substantiels dans les domaines de l'intelligence artificielle, de la robotique et des nanotechnologies permettent de diminuer le coût des missions spatiales, comme dans le scénario n° 1.

Les acteurs privés mettent au point des lanceurs suborbitaux, et les pouvoirs publics financent en priorité le développement de l'avion spatial à des fins militaires.

La fin des années 2030 voit le développement des satellites de relais énergétique dans le cadre de travaux régionaux coopératifs faisant intervenir les entreprises d'énergie et les pouvoirs publics. Quelques préoccupations d'ordre sécuritaire, en particulier la vulnérabilité de ces systèmes aux armes ASAT, limitent leur emploi.

Espace commercial

Dans un contexte international tendu, où les blocs régionaux ont tendance à défendre leurs propres intérêts stratégiques, les activités spatiales commerciales se développent plus lentement que dans le premier scénario. Les questions de sécurité encouragent un retour limité, mais réel, au protectionnisme dans le secteur spatial. Chaque bloc met au point des applications commerciales s'inscrivant dans le cadre de sa stratégie.

La conjoncture commerciale. Dans ce scénario, les marchés spatiaux intérieurs sont en grande partie protégés et une bonne part des évolutions évoquées dans le cadre du premier scénario ne se concrétise pas. Les transferts technologiques entre blocs se heurtent à d'importants obstacles réglementaires.

La Convention UNIDROIT est finalement adoptée, mais seulement dans les pays occidentaux.

Un Accord de libre-échange de l'Atlantique Nord est conclu entre les pays Parties à l'Accord de libre-échange nord-américain (ALENA) et l'UE. Plusieurs pays latino-américains et nord-africains y sont associés, ce qui favorise la création d'un climat commercial plus ouvert dans la zone Atlantique et encourage dans une certaine mesure la mise au point d'applications spatiales. Néanmoins, la priorité donnée à l'espace militaire freine le développement de l'espace commercial, les sociétés spatiales consacrant une part plus importante de leurs ressources aux contrats militaires.

La stratégie spatiale double adoptée par la Chine dans la première décennie du XXI^e siècle (établissement de co-entreprises avec des entreprises occidentales et participation à de grands programmes de coopération) lui permet d'élargir son expertise et son savoir-faire technologiques. Elle lui fait également gagner son indépendance dans le domaine spatial commercial (à savoir la capacité à offrir des produits et services spatiaux sans obtenir au préalable l'accord des fournisseurs occidentaux de composantes stratégiques) avant de rompre avec l'Occident. Sa coopération grandissante avec la Russie et certains pays de l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ANASE) lui permet d'exporter des services spatiaux (l'imagerie spatiale, l'accès aux satellites de télécommunications par exemple) vers le reste du monde. Ce vaste pays étant doté d'une infrastructure limitée, les transmissions satellitaires lui offrent un moyen utile de déployer rapidement un réseau national de télécommunications. La Chine est aussi soucieuse de recourir à l'imagerie spatiale pour découvrir et gérer des ressources naturelles ainsi que pour exporter ses produits spatiaux à prix compétitif au reste de la planète. Étant donné l'aggravation des tensions internationales, elle est obligée d'orienter ses exportations sur les pays extérieurs à la zone de libre-échange occidentale et de rivaliser avec d'autres nouveaux venus de premier plan (comme l'Inde), les entreprises occidentales étant assujetties à des contrôles plus rigoureux sur les exportations de moyens et de composants spatiaux jugés stratégiques par les experts militaires.

Expansion limitée de l'infrastructure spatiale commerciale. Bon nombre de nouveaux produits et services spatiaux sont mis au point à l'échelon régional. Néanmoins, les restrictions aux exportations et aux investissements freinent en général la diffusion à grande échelle des nouvelles technologies et applications.

Les restrictions imposées aux flux d'informations (telle que la réglementation de l'Internet, les licences d'exploitation) portent préjudice au secteur des télécommunications et au développement des applications d'infocommunication dans certains pays. L'industrie de la diffusion (télévision par satellite par exemple) se heurte à une vive concurrence des câblopérateurs à l'échelon régional.

L'emploi des systèmes de navigation par satellite est courant dans tous les modes de transport, notamment l'aviation civile. Cette situation oblige les concepteurs de systèmes de navigation (États-Unis, Europe, Chine, Russie) à coordonner leurs efforts et à discuter des problèmes d'interopérabilité.

La demande croissante d'énergie a pour conséquences d'intensifier l'exploration (pétrolière et gazière par exemple) et d'augmenter les besoins en technologies spatiales adaptées. À cet égard, le perfectionnement de la télédétection hyperspectrale s'avère particulièrement utile dans le cadre de l'exploration pétrolière. Les moyens spatiaux sont aussi amplement utilisés pour surveiller les oléoducs et pour aider à la réalisation de grands projets d'infrastructure énergétique, nécessaires pour satisfaire la demande grandissante d'énergie. Cependant, la rivalité qui existe entre les deux blocs se traduit par de nombreuses opérations redondantes.

Une nouvelle branche commerciale, le tourisme spatial sous-orbital, connaît un développement limité, surtout à l'ouest. Des entreprises privées dynamiques mettent au point des lanceurs sous-orbitaux qui font appel aux technologies à usage dual standard, mais les tensions sécuritaires internationales limitent leurs opérations commerciales (comme les conditions de lancement ou le nombre annuel de vols). Se fondant sur le succès commercial des nouvelles offres de tourisme d'aventure, quelques entreprises s'efforcent d'utiliser les nouveautés technologiques de l'avion spatial militaire.

Le développement de l'industrie spatiale. Aux États-Unis, en Europe et au Japon, des sociétés spatiales semi-privées continuent d'intégrer leurs opérations et tirent profit de la hausse des budgets militaires pour développer des applications à usage dual dans le cadre de partenariats public-privé. Sur leurs propres marchés, elles parviennent à obtenir un certain degré de protection vis-à-vis des importations bon marché d'autres intervenants (Chine, Russie, Inde par exemple).

Dans chaque bloc, les sociétés spatiales rivalisent entre elles, mais elles sont également confrontées à la forte concurrence des systèmes terrestres régionaux.

Scénario n° 3 : Avis de tempête

Ce que réserve l'avenir

Introduction

De graves dissensions entre les grandes puissances se traduisent par un affaiblissement graduel des institutions internationales. Suite aux critiques virulentes qu'ont suscitées leurs interventions sur la scène internationale, les États-Unis mènent une politique de plus en plus unilatérale, se retirent de toute action militaire non justifiée par une menace à leurs intérêts vitaux et décident de déployer un système de défense anti-missile pour protéger leur territoire contre des attaques balistiques limitées. Alors que les États-Unis s'effacent en grande partie de la scène internationale, les conflits ethniques se multiplient, provoquant des migrations massives et une aggravation du terrorisme. Un nombre grandissant de pays acquièrent une capacité nucléaire, augmentant ainsi les risques de conflits dévastateurs à l'échelon régional, notamment en Asie et au Moyen-Orient. La situation économique se dégrade, tous les pays rétablissant des politiques protectionnistes. Les problèmes sociaux et écologiques croissants sont pour l'essentiel négligés, la coopération internationale faisant place à un bilatéralisme entièrement motivé par des considérations de *realpolitik* à court terme.

Principales caractéristiques

Aspects politiques : confrontés au terrorisme et à d'autres menaces à leur sécurité nationale, les États-Unis perdent patience à l'égard des règlements internationaux, dans lesquels ils voient une entrave abusive à leur souveraineté nationale, notamment à leur capacité à protéger leurs intérêts nationaux vitaux comme ils l'entendent. L'opinion publique marque une hostilité croissante envers les Nations unies et les pays qui cherchent à freiner les opérations unilatérales américaines, et devient de plus en plus isolationniste. Cela contribue notablement à saper l'autorité des Nations unies, à encourager un nombre croissant de grands pays à faire fi de leurs obligations internationales et à alimenter les tensions entre les États-Unis et d'autres pays, y compris leurs alliés européens, ce qui fragilise l'alliance transatlantique. L'OTAN perd toute efficacité et finit par être démantelée. Le régime multilatéral se détériore peu à peu et un réseau complexe d'alliances et d'accords partiels *ad hoc* et mouvants se met en place entre les pays qui partagent une optique commune. L'Europe, la Russie, la Chine, le Japon et l'Inde décident d'augmenter les ressources consacrées à leur capacité de défense. Ces pays s'efforcent dans une certaine mesure de resserrer leur coopération, ce qui aboutit notamment à un rapprochement entre la Russie et l'Inde d'une part, entre l'Europe et le Japon d'autre part. La coopération reste toutefois restreinte et ne se traduit pas par une intégration significative des capacités de défense.

Aspects économiques : L'effondrement du régime multilatéral transparait dans l'érosion graduelle de la discipline de l'OMC. Les pays confrontés à des difficultés économiques n'hésitent pas à adopter des politiques préjudiciables aux intérêts communs, amenant ainsi leurs partenaires commerciaux à prendre des mesures de rétorsion. En conséquence, le processus de libéralisation entamé après la Seconde Guerre mondiale s'enraye. Les obstacles tarifaires et non tarifaires augmentent, les flux d'IDE se tarissent et le mouvement de mondialisation s'inverse progressivement, déclenchant une série de crises économiques et financières.

Aspects sociaux : les tensions politiques et les difficultés économiques se traduisent par de graves troubles sociaux en Occident et dans le reste du monde. Les problèmes de sécurité viennent au premier rang des préoccupations politiques. La pauvreté s'accroît au sud et les flux migratoires vers les pays industrialisés se gonflent, aggravant encore les problèmes sociaux et politiques de ces derniers. L'aide étrangère diminue considérablement, abandonnant de vastes régions de la planète (comme l'Afrique) à une pauvreté extrême.

Aspects énergétiques : le tassement de la croissance a pour effet de modérer la hausse de la demande énergétique. La sécurité de l'approvisionnement est toutefois la préoccupation première de la plupart des nations, ce qui attise les tensions entre les pays importateurs d'énergie et stimule, dans le même temps, la recherche de sources d'énergie de substitution.

Aspects écologiques : dans la plupart des pays, la priorité publique donnée à la sécurité nationale, au développement économique et à la sécurité de l'approvisionnement énergétique a relégué la protection de l'environnement au second plan. Quelques efforts sont engagés en vue d'atteindre un accord sur le plafonnement des émissions de GES, mais les tensions internationales et l'absence de soutien public font échouer les négociations. Des mesures anti-pollution sont prises à l'échelon national dans les pays de l'OCDE, ainsi que dans certains pays à revenu intermédiaire. Quelques accords internationaux de lutte contre la pollution transfrontière sont conclus.

Technologiques : la conjoncture économique déprimée se traduit par un taux relativement faible d'innovation, sauf dans le domaine de la technologie militaire, et par une diffusion plus lente des nouvelles technologies aux pays en développement.

Implications pour le secteur spatial

Dans le cadre de ce scénario, la sécurité, la défense et d'autres utilisations publiques stratégiques de l'espace gagnent en importance. Les puissances spatiales ont pour la plupart tendance à développer leurs systèmes séparément, forgeant des alliances au gré des besoins, mais nous avons affaire

à un monde divisé où les alliances ne sont pas clairement définies. L'espace civil donne généralement priorité aux innovations ou activités technologiques à usage dual qui favorisent le développement d'un pouvoir de persuasion. Cela dit, les grandes nations spatiales sont de plus en plus conscientes de l'intérêt que présente l'infrastructure spatiale pour la prestation efficace et économique de services sociaux. Les retombées sur l'industrie spatiale sont mitigées. D'un côté, les entreprises spatiales bénéficient des contrats publics et des retombées commerciales qu'ils offrent. De l'autre, les marchés se fragmentent, les contrôles sur les exportations se durcissent et la restructuration des entreprises à l'échelon international est bridée par les considérations de sécurité nationale.

Espace militaire

Dans un monde perçu comme de plus en plus hostile aux intérêts nationaux vitaux des grandes puissances spatiales, les budgets spatiaux militaires augmentent dans tous les pays.

Aux États-Unis, bien que certains programmes soient modifiés par les gouvernements successifs, les projets visant à militariser l'espace l'emportent. Les États-Unis décident au début des années 2000 de poursuivre leur programme anti-balistique, l'abandon du traité ABM en juin 2002 ayant effectivement levé les restrictions au déploiement d'armes dans l'espace. Le programme antimissile américain prévoit le développement et le déploiement d'intercepteurs terrestres et maritimes, de systèmes cinétiques spatiaux de destruction par collision directe et de lasers aéroportés capables de détruire la majeure partie des satellites en orbite basse. Il envisage également de déployer une constellation de lasers spatiaux capables d'intercepter 94 % des missiles dans la plupart des scénarios de menace. Ces derniers peuvent également faire fonction d'armes anti-satellites. Il convient de noter que la concurrence des systèmes militaires terrestres (comme les drones) n'interrompt pas la mise au point de systèmes militaires spatiaux.

Les États-Unis redoublent d'efforts pour mettre au point un avion spatial hypersonique automatisé réutilisable, capable d'atteindre des vitesses de Mach 10 à Mach 15 et de placer des missiles sur des cibles militaires n'importe où dans le monde en quelques heures. L'avion est pleinement opérationnel à des fins militaires à la fin des années 2020. Outre la frappe d'objectifs sur toute la planète, il peut également servir de lanceur de microsattellites dans le but de développer les communications, ou à des fins de détection ou de navigation dans une région cible. Des versions plus petites de l'avion spatial hypersonique sont mises au point.

Emboitant le pas aux États-Unis, un nombre croissant de pays décident de développer ou de renforcer leurs propres moyens spatiaux militaires,

notamment à des fins de communication, d'observation de la Terre et de navigation.

À l'issue d'un long débat, les Européens engagent finalement un grand programme spatial militaire à la fin des années 2010. Celui-ci a pour objectif de résorber le fossé grandissant entre leur capacité spatiale militaire et celle des États-Unis et de maintenir l'Europe au niveau des autres grandes puissances spatiales, en particulier de la Chine. L'Europe met au point ce « système des systèmes » militaire complet pour les activités spatiales afin de garantir son indépendance et de pouvoir prendre des décisions autonomes et éclairées.

Une autre question très controversée est celle de savoir si l'Europe doit développer son propre système antimissile et, dans l'affirmative, si elle doit le faire seule ou en coopération avec les États-Unis ou avec la Russie. Cette question divise fortement atlantistes et continentalistes. Finalement, la voie de l'indépendance l'emporte.

Étant donné sa coopération instable avec la Russie, la Chine accorde aussi une priorité élevée au renforcement de sa capacité spatiale militaire au cours de la période étudiée. En réponse au déploiement de missiles de défense des États-Unis, elle met au point un missile anti-satellite perfectionné et réalise des essais terrestres. Elle intensifie par ailleurs ses efforts en vue de développer un laser terrestre.

La Russie tend à utiliser son savoir-faire industriel et scientifique pour établir un partenariat avec l'allié le plus prometteur dans le domaine des activités spatiales militaires. L'abondance de ses exportations militaires lui permet de développer, de manière limitée, de nouvelles technologies, surtout dans le domaine de la propulsion, qui présentent un grand intérêt pour des partenaires ponctuels potentiels (comme la Chine ou l'Europe).

Espace civil

Étant donné la conjoncture économique déprimée, de fortes pressions s'exercent sur les budgets civils, notamment sur les programmes qui ne sont pas jugés profitables dans l'immédiat.

Exploration et science de l'espace. Aucun grand programme international commun d'exploration n'est engagé, les programmes nationaux et régionaux conservant une place de premier plan.

Les agences spatiales lancent des opérations stratégiques coopératives, essentiellement pour tirer profit des travaux de recherche des autres nations et les influencer. Certaines opérations ont toutefois un effet boomerang et/ou vont à l'encontre des objectifs stratégiques. Ainsi, le programme de la SSI est bloqué à la fin des années 2010, le Congrès des États-Unis, inquiet des transferts

technologiques à la Russie, réduisant les budgets alloués à cette activité. Cette mesure entraîne la réduction progressive des activités de la SSI, dans un climat de méfiance.

Certains pays s'efforcent d'accroître leur puissance de persuasion par des projets spectaculaires qui ont pour ambition de démontrer leurs prouesses spatiales au monde. Comme dans le deuxième scénario, ces opérations revêtent le plus souvent la forme de missions concurrentes à destination de la Lune et de Mars. L'intérêt scientifique de ces entreprises est cependant fragilisé par la redondance des opérations et par la primauté accordée à la technologie sur la science. Qui plus est, les missions sont moins spectaculaires, car les ressources disponibles sont sensiblement inférieures dans le cadre de ce scénario.

L'expansion de l'infrastructure spatiale civile. Bien que les budgets civils soient très restreints, quelques pays ne perdent pas de vue que les programmes spatiaux civils ne sont pas un simple poste de dépenses, mais peuvent parfois être considérés comme un investissement qui contribue substantiellement à leur développement.

Les travaux de recherche spatiale civile sont en grande partie consacrés à la mise au point de technologies à usage dual. Cela s'applique notamment à la météorologie, à l'observation de la Terre, aux systèmes de télécommunications et de navigation, ainsi qu'aux lanceurs.

D'un point de vue stratégique, les Européens voient dans Galileo la composante essentielle de leur infrastructure spatiale. Ce système concourt à démontrer que l'Europe est présente sur la scène internationale dans tous les domaines technologiques de pointe et lui permet de s'affranchir de sa dépendance à l'égard du GPS américain. La création d'un conseil de surveillance sécuritaire indépendant, outre le conseil de surveillance civile, met en évidence la dimension stratégique de Galileo. Le maintien de l'interopérabilité de certains systèmes spatiaux (comme les constellations de navigation) avec ceux des États-Unis, de la Russie et de la Chine, provoque de vives polémiques.

La Chine et l'Inde – grands pays dotés d'une infrastructure terrestre limitée – occupent la première place en termes de développement d'applications de télémédecine et de téléenseignement et sont capables d'exporter leur expertise à d'autres pays en développement en Asie, en Amérique latine et en Afrique. Le modèle indien de développement spatial autonome inspire de nombreuses puissances spatiales émergentes (Brésil, Turquie, par exemple).

En Europe et en Amérique du Nord en particulier, la diffusion de la DTH offre une plate-forme pratique et économique aux applications visant à

résorber le fossé numérique et à promouvoir les services de santé à domicile en dehors des grandes zones urbaines dans le but d'atténuer les pressions croissantes sur les budgets de santé.

Espace commercial

L'intérêt des pouvoirs publics pour l'espace militaire a quelques retombées favorables sur l'espace commercial. Celles-ci sont toutefois fragilisées par les effets délétères de la mauvaise conjoncture économique et de la fragmentation du marché.

La conjoncture commerciale. Comme dans le deuxième scénario, le protectionnisme est très marqué, ce qui limite les transferts technologiques et les débouchés à l'exportation.

Quelques marchés lucratifs restent ouverts à l'exportation de produits et services spatiaux, un nombre croissant de nations étant désireuses de construire une capacité spatiale et d'acquérir la technologie nécessaire auprès des grandes puissances spatiales. Ces dernières acceptent de vendre leur technologie à certains pays, pour des raisons stratégiques et pour étendre leur influence régionale.

L'investissement privé dans l'espace recule, puisque les programmes d'investissement à haut risque exigeant la levée de capitaux de départ importants sont les premiers à être reportés en période de déprime économique. La situation défavorable est en partie compensée par la décision de plusieurs États d'acheter des services spatiaux directement auprès de sources privées plutôt que de les créer à l'intérieur des organismes publics. Ces sources de profit sont néanmoins, par la force des choses, lourdement réglementées et tributaires du processus budgétaire.

Expansion limitée de l'infrastructure spatiale commerciale. Les innovations de la technologie spatiale militaire présentent l'avantage des perspectives aux applications spatiales civiles et commerciales. Le développement d'autres segments de l'espace commercial n'enregistre cependant guère de progrès.

Les restrictions régionales rigoureuses auxquelles est assujettie l'information ont des effets très préjudiciables sur les services de télécommunications (comme la télévision via satellite ou Internet).

Certains systèmes spatiaux (comme ceux de la télédétection et de la navigation) sont très employés pour contrôler la production et la distribution du pétrole et du gaz (systèmes de navigation et d'observation de la Terre). Quelques pays, soucieux de réduire leur dépendance à l'égard des importations, conduisent également de vastes campagnes d'exploration.

Dans le secteur du lancement, le développement rapide d'une version civile et commerciale d'un petit lanceur et d'un avion spatial hypersonique donne aux États-Unis un avantage comparatif substantiel pour le lancement de petits satellites vers la fin des années 2020. Les mesures protectionnistes d'autres pays empêchent néanmoins l'industrie américaine d'exploiter pleinement son avance technologique. Il n'en demeure pas moins que plusieurs pays moins avancés n'hésitent pas à profiter des prix de lancement inférieurs proposés par les entreprises américaines pour envoyer leurs satellites dans l'espace.

Compte tenu de la situation internationale très tendue, le tourisme spatial sous-orbital se développe plus lentement que dans le cadre du deuxième scénario. Le climat général de méfiance et la nature duale des lanceurs limitent considérablement les possibilités commerciales de cette forme de tourisme.

Évolution de l'industrie spatiale. Comme dans le deuxième scénario, la plupart des sociétés spatiales font face à une farouche concurrence intrarégionale. Les progrès relatifs des technologies spatiales résultant de la forte priorité accordée à l'espace militaire confèrent parfois aux opérateurs spatiaux un avantage sur leurs concurrents terrestres (systèmes de surveillance par exemple), ce qui permet aux prestataires commerciaux de services spatiaux de maintenir leur chiffre d'affaires sur un marché en plein marasme. Les systèmes spatiaux en concurrence directe avec les solutions terrestres (comme les câbloopérateurs) essuient toutefois d'énormes pertes face à la fragmentation croissante des marchés.

Conclusion

Les trois scénarios de synthèse présentés ici offrent des visions très différentes du monde, qui vont des perspectives optimistes du scénario « mer calme », qui prévoit d'importants progrès en vue d'améliorer la condition humaine dans un esprit de coopération internationale, au sombre tableau dépeint par le scénario « avis de tempête », qui voit un monde pris dans un cercle vicieux de violence où la plupart des problèmes auxquels l'humanité est confrontée aujourd'hui (tels que les conflits, la pauvreté, la malnutrition, les maladies ou la dégradation de l'environnement) s'aggravent. Même le scénario le plus optimiste comporte des aspects inquiétants, notamment la montée en puissance d'acteurs non étatiques de plus en plus capables d'utiliser les armes de destruction massive pour défendre leur cause, quelle qu'elle soit. Malgré ces différences, les scénarios partagent quelques éléments communs quant à leurs retombées sur l'espace.

L'espace militaire joue un rôle de poids dans les trois scénarios, quoique à des degrés divers. Même dans le monde relativement pacifique du scénario

mer calme, les problèmes de sécurité sont considérables et plusieurs pays sont soucieux de renforcer leur capacité spatiale militaire. Il en résulte une demande importante et soutenue pour des moyens spatiaux militaires à usage dual partout dans le monde, ainsi que des hausses substantielles des budgets militaires et de R-D sur les techniques spatiales à usage dual en dehors des États-Unis.

L'espace civil occupe également une place stratégique dans les trois scénarios, mais pour des raisons différentes. Dans le scénario *mer calme*, il joue un rôle déterminant dans le renforcement de la coopération internationale en vue de résoudre les problèmes planétaires (éducation, santé, environnement). Dans le scénario *retour vers le futur*, les projets de prestige et les efforts des pays pour développer leur puissance de persuasion font la part belle aux missions spectaculaires à destination de la Lune ou de Mars. L'espace est également utilisé pour résoudre les problèmes mondiaux, mais de manière moins coordonnée, plus fragmentée et moins efficace. Même dans le scénario *avis de tempête*, les perspectives ne sont pas sombres pour l'espace civil, bien que les ressources qui lui sont consacrées soient parfois très faibles. Comme dans les autres scénarios, la mise au point de technologies à duales demeure prioritaire ; le prestige et le pouvoir de persuasion sont aussi des motivations de premier plan. Les problèmes mondiaux sont abordés de manière plus fragmentée que dans le scénario précédent, bien que d'importants progrès soient réalisables si les entreprises spatiales sont capables de prouver que les solutions spatiales peuvent créer des économies substantielles pour des gouvernements aux moyens limités.

L'espace commercial varie nettement plus que l'espace militaire d'un scénario à l'autre. Il prospère dans le premier, *mer calme*, conserve son dynamisme dans le deuxième, *retour vers le futur*, mais se heurte à de nombreux obstacles dans le troisième, *avis de tempête*. Il convient de noter que le scénario le plus favorable pour les sociétés spatiales européennes et américaines est peut-être le deuxième compte tenu de la protection qu'il offre vis-à-vis de la concurrence des entreprises non occidentales. Dans les trois cas, cette branche tire profit des budgets militaires consacrés à l'espace.

Le chapitre 4 analyse de quelle manière le poids de l'espace dans chacun des scénarios peut se traduire par une demande d'applications spatiales et dégage de cette étude, en tenant compte des paramètres de l'offre, quelques conclusions quant aux applications éventuellement « prometteuses ».

Chapitre 4

Conséquences pour les applications spatiales

Ce chapitre explore les conséquences des chapitres 2 et 3 pour l'évolution future des applications spatiales. On y examine à la fois la demande potentielle de ces applications dans différents scénarios et leur faisabilité technique. Cela permet d'identifier sur cette base les applications qui semblent « prometteuses », c'est-à-dire celles qui sont à la fois susceptibles de susciter une demande et techniquement réalisables à un coût raisonnable, par rapport aux solutions terrestres qui pourraient les concurrencer.

Introduction

Ce chapitre explore les implications de l'analyse par scénario des chapitres précédents sur l'évolution future des applications spatiales, et il identifie les applications qui pourraient être « prometteuses ». Dans un premier temps, la démarche consiste à examiner quelle pourrait être la demande potentielle d'applications spatiales dans les différents scénarios, puis de considérer dans un deuxième temps les aspects liés à l'offre, pour évaluer dans quelle mesure les applications en question pourraient éventuellement être en mesure de satisfaire cette demande potentielle. À l'issue de cette analyse, une liste est dressée des applications susceptibles à la fois de susciter une demande et d'être techniquement réalisables dans les années à venir. La demande, au sens où elle est considérée ici, englobe la demande privée ou « commerciale », la demande « sociale » et la demande militaire. Sont également prises en compte les alternatives terrestres susceptibles de concurrencer les solutions spatiales sur les mêmes marchés. L'analyse est essentiellement qualitative et il n'a pas été tenté de chiffrer la demande.

Dans l'identification des applications « prometteuses », il convient de prendre en compte à la fois leur développement technologique et les interrelations entre applications le long de la chaîne de valeurs spatiale. Cette chaîne de valeurs spatiale est constituée de trois grands groupes d'activités ou de services : les services d'information, les services de transport et la fabrication. Chronologiquement, les applications « immatérielles » telles que les applications d'information seront sans doute développées en premier, étant donné le coût élevé de l'accès à l'espace. Les applications de transport suivront ensuite dans la mesure où elles sont fortement tributaires des applications d'information, notamment pour la communication et la navigation. Les applications de fabrication/extraction minière, qui dépendent du développement efficace des deux premiers groupes, devraient venir en dernier. La question est alors la suivante : à quelle rythme cette séquence va-t-elle se dérouler à l'avenir et comment chacun de ces groupes va-t-il évoluer dans le temps? C'est ce qu'illustre succinctement le tableau 4.1. Les coûts de l'accès à l'espace sont purement indicatifs; ils visent simplement à donner une idée du moment auquel un groupe donné d'applications devrait devenir commercialement réalisable. Ainsi, le « tourisme spatial » pourrait commencer à devenir viable quand le coût de l'accès à l'espace tombera à USD 1 000/kg, en supposant que la fiabilité des vols spatiaux progresse de plusieurs ordres de grandeur.

Tableau 4.1. **Grandes catégories d'applications spatiales**

	Sous-catégories	Coût de l'accès à l'espace
Services d'information	<ul style="list-style-type: none"> • Communications • Observation de la Terre • Navigation 	– USD 10 000/kg
Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Accès public à l'espace • Transport spatial 	– USD 1 000/kg
Activité manufacturière	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie solaire • Microgravité • Extraction lunaire 	– USD 100/kg

Les sections qui suivent examinent d'abord dans quelle mesure les implications des scénarios pour les trois principales composantes du secteur spatial affectent la demande potentielle de diverses applications spatiales. Puis on y évalue la faisabilité technique de ces applications, et les possibilités que pourraient offrir de nouveaux progrès technologiques. La section finale propose une liste des applications prometteuses qui ressortent de l'analyse qui précède.

Demande future potentielle d'applications d'information

Services de télécommunications

Les scénarios présentés dans le chapitre 2 donnent tous à penser que la demande potentielle globale de télécommunications devrait demeurer soutenue dans un large éventail d'avenirs possibles (tableau 4.2). Le développement du haut débit dans les prochaines années (notamment le haut débit de quatrième génération) semble inévitable, même si le rythme et les acteurs ne sont pas toujours les mêmes suivant les scénarios.

Trois grands facteurs sont en jeu. Premièrement, le rythme global de croissance économique tire la demande commerciale et sociale de services de télécommunications. Deuxièmement, le degré de fragmentation des marchés influe sur la position concurrentielle relative des solutions utilisant l'espace et de leurs alternatives terrestres. Troisièmement, le niveau des tensions internationales tire la demande militaire de télécommunications utilisant l'espace (la demande de haut débit notamment), dans le contexte du développement de moyens militaires organisés en réseaux.

Il en découle que d'un point de vue social et commercial, la demande de solutions utilisant l'espace est plus grande dans le scénario 1 et moins importante dans le scénario 3. Dans les scénarios 1 et 2, les opérateurs spatiaux devraient pouvoir utiliser leur position de force dans la télévision directe par satellite pour étendre leurs services aux utilisateurs du haut débit. Ils sont également bien placés pour offrir des services dans les zones rurales et isolées et répondre aux besoins des utilisateurs itinérants. Dans les scénarios 2

Tableau 4.2. **Synthèse de la demande escomptée de services de télécommunications**

Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
<i>Demande escomptée</i> : avec la libéralisation croissante de l'économie et l'essor des échanges mondiaux, progression significative de la demande de communication, notamment à haut débit, aux niveaux national et international. Inquiétudes concernant l'extension de l'accès à haut débit.	<i>Demande escomptée</i> : progression de la demande plus limitée que dans le scénario 1 du fait de contraintes imposées par la bipolarité, mais elle devrait néanmoins rester forte, notamment pour le haut débit, dans les grandes régions du monde. Le déficit est contrebalancé en partie par une progression de la demande à caractère militaire.	<i>Demande escomptée</i> : demande internationale moindre que dans le scénario 2, mais priorité au haut débit. La demande militaire est sans doute équivalente à celle du scénario 2.
<i>Implications pour l'espace</i> : l'espace est très bien placé pour s'approprier une part significative de la demande car il fournit des services accessibles partout en tant que partie intégrante d'un réseau mondial à haut débit.	<i>Implications pour l'espace</i> : le rôle de l'espace est moindre que dans le scénario 1 du fait que son avantage sur le plan géographique est moins net et de la perception que les moyens spatiaux peuvent être plus vulnérables.	<i>Implications pour l'espace</i> : rôle plus limité que dans le scénario 2, la RDS elle-même pouvant être menacée sur certains marchés si ceux-ci sont trop étroits.

et 3, la baisse relative de la demande commerciale est contrebalancée, du moins en partie, par une progression de la demande militaire.

Dans tous les scénarios, la demande de communications mobiles devrait être forte. L'espace pourrait en bénéficier, si des solutions techniques appropriées sont trouvées. Toutefois, les télécommunications spatiales doivent faire face à de sérieux concurrents terrestres, et elles pourraient dans une large mesure perdre du terrain au profit des fibres optiques (ou d'autres solutions terrestres futures) dans les zones urbaines ou pour les communications entre zones urbaines.

Le tableau 4.3 illustre la croissance potentielle de la demande commerciale et sociale de services de télécommunications spécifiques. La demande évolue de façon sensible dans les trois scénarios.

Tableau 4.3. **Croissance de la demande potentielle de services d'information utilisant l'espace**

	Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
Loisirs multimédia	Forte	Moyenne	Moyenne
Commerce électronique international	Forte	Moyenne	Faible
Enseignement à distance	Forte	Moyenne	Faible
Télé médecine	Forte	Moyenne	Faible

L'existence d'un réseau à bande large, véritablement accessible partout, aura de profondes répercussions. Tout d'abord, il aura un fort effet positif sur l'économie. Il pourrait sensiblement doper la productivité et encourager le développement du commerce électronique. Les applications dans les domaines des loisirs et du commerce électronique, déjà bien établies, pourraient générer davantage de chiffre d'affaires.

L'évolution vers une société plus mobile et l'augmentation des coûts de transport sont des facteurs puissants en faveur de l'enseignement à distance et de la télémédecine, aussi bien dans la zone de l'OCDE qu'ailleurs. Leur développement pourrait contribuer à réduire la « fracture médicale » et la « fracture numérique » à l'intérieur des pays et entre eux. Même si la croissance économique se ralentit (scénarios 2 et 3), ces applications pourraient rester attractives en raison des économies de coûts qu'elles pourraient engendrer (par exemple développement des services de soins à domicile). Enfin, les grandes entreprises multinationales tireront sans doute parti des possibilités qu'offre l'apprentissage à distance pour former leur personnel et actualiser ses compétences. Les militaires seront intéressés par ces deux domaines d'application. Dans ce contexte, les solutions utilisant l'espace pourraient jouer un rôle important, non seulement dans les zones rurales et isolées, mais aussi dans les zones urbaines, suivant la façon dont la technologie évolue. La mobilité croissante de la population devrait également favoriser les solutions utilisant l'espace.

Conclusion pour les services de télécommunication

Étant donné la taille des marchés potentiels non exploités pour les télécommunications, les quatre grands domaines d'applications prometteurs sont, par ordre d'importance décroissante :

- La télémédecine.
- L'enseignement à distance.
- Le commerce électronique.
- Les loisirs multimédia.

Services d'observation de la Terre

L'observation de la Terre est une discipline spatiale technologiquement mature et très précieuse sur les plans militaire, social et commercial. De nombreuses applications sont développées, qui s'appuient sur des outils et des techniques spécifiques, comme l'imagerie de télédétection, les systèmes d'information géographique (SIG), la cartographie numérique et le suivi de subsidence. Bien que d'autres technologies (par exemple, observation

aérienne) aient progressé et que de nouvelles soient en préparation (par exemple, véhicules sans pilote), l'observation depuis l'espace constitue un moyen unique d'avoir une « vision d'ensemble » et elle offre de plus en plus de souplesse. Des progrès significatifs ont également été réalisés dans les systèmes nécessaires pour l'exploitation des données recueillies par les satellites d'observation de la Terre.

D'un point de vue militaire, l'observation de la Terre est un élément vital de ce que l'on appelle le C3R (commandement, communication, conduite et renseignement), notamment en ce qui concerne le renseignement et la conduite des opérations. Ainsi, elle offre un moyen unique de suivre le déploiement de forces hostiles et de disposer en temps réel d'une image de l'évolution de la situation sur un théâtre d'opérations donné. L'observation de la Terre s'est également révélée un outil efficace pour surveiller l'application des traités de désarmement.

Dans le domaine civil, l'observation de la Terre offre un large éventail d'applications utiles pour d'importantes missions de service public, notamment la sécurité (prévention et gestion des catastrophes naturelles, missions de recherche et sauvetage), la gestion des ressources naturelles, l'aménagement de l'espace et la planification urbaine, la prévision météorologique et le suivi du changement climatique [comme dans le cadre du programme GMES (surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité)].

Au plan commercial, l'observation de la Terre est utile pour un éventail croissant d'entreprises, depuis les sociétés d'assurance souhaitant estimer le coût d'une catastrophe naturelle jusqu'aux agriculteurs voulant connaître le volume potentiel d'une récolte donnée ou appliquer des techniques d'agriculture de précision.

Comme le montre le tableau 4.4, la demande de services d'observation de la Terre devrait augmenter dans tous les scénarios, bien que la composition de la demande varie. Ainsi, la demande militaire sera sans doute plus forte dans les scénarios 2 et 3 que dans le scénario 1, alors que la demande civile et commerciale sera vraisemblablement la plus forte dans le scénario 1. Enfin, les applications liées au renforcement de la sécurité intérieure (y compris celles qui permettent de faire face aux catastrophes naturelles ou provoquées par l'homme et aux conditions météorologiques extrêmes) devraient occuper une place de choix dans tous les scénarios. La principale différence entre les scénarios est le degré de coopération internationale dans le développement des systèmes. On peut penser que ceux-ci seront plus internationaux et plus complets en termes de champ couvert – et donc plus efficaces – dans le scénario 1, et plus éparpillés, s'accompagnant de davantage de doubles emplois et moins efficaces dans les scénarios 2 et 3 (tableau 4.5).

Tableau 4.4. **Synthèse de la demande escomptée de services d'observation de la Terre**

Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
<i>Demande escomptée</i> : forte pour les applications civiles, sécuritaires et commerciales, dans un large éventail d'activités. Les systèmes seront vraisemblablement régionaux ou mondiaux et pleinement intégrés.	<i>Demande escomptée</i> : forte pour les usages militaires, sécuritaires, civils et commerciaux. Les systèmes seront vraisemblablement régionaux.	<i>Demande escomptée</i> : forte pour les applications militaires et sécuritaires, moins importantes pour les applications civiles et commerciales. Les systèmes auront tendance à rester pour l'essentiel nationaux
<i>Implications pour l'espace</i> : un rôle clé pour l'espace en association avec d'autres techniques (par exemple, véhicules sans pilote pour des observations plus locales). L'espace est compétitif car les doubles emplois sont limités.	<i>Implications pour l'espace</i> : un rôle important pour l'espace, peut-être moins rentable que dans le scénario 1 en raison de double emploi. Demande militaire accrue.	<i>Implications pour l'espace</i> : forte demande militaire, coûts élevés pour les demandes civiles et commerciales, en raison des doubles emplois.

Tableau 4.5. **Demande potentielle d'applications d'observation de la Terre**

	Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
Météorologie	Forte	Forte	Forte
Océanographie, changement climatique	Forte	Moyenne	Faible
Agriculture de précision	Forte	Forte	Moyenne
Pêcheries	Forte	Moyenne	Moyenne
Sylviculture	Forte	Moyenne	Moyenne
Prospection (par exemple, pétrole, gaz)	Forte	Forte	Forte
Urbanisme	Forte	Forte	Forte
Prévention et gestion des catastrophes naturelles	Forte	Forte	Moyenne
Défense/sécurité	Moyenne	Forte	Forte
Surveillance des traités (par exemple, environnement, désarmement)	Forte	Moyenne	Moyenne

La valeur potentielle de l'observation de la Terre tant dans le domaine public que dans le domaine privé est une incitation puissante au développement d'applications tournées vers l'utilisateur, au cours des trente prochaines années. Indépendamment des applications militaires évidentes (par exemple, surveillance), l'observation spatiale peut apporter des solutions à nombre de problèmes sociaux et industriels clés :

- La demande d'énergie devrait augmenter à l'échelle mondiale. Il est probable que l'on aura besoin de davantage d'applications de prospection depuis l'espace (par exemple pour le pétrole et le gaz), dans la mesure où les moyens hyper-spectraux de plus en plus performants de la télédétection sont bien adaptés à la prospection.

- Des programmes nationaux, régionaux et/ou internationaux liés à la sécurité (par exemple météorologie, environnement, systèmes de prévention des catastrophes) pourraient être développés. Il existe une importante demande potentielle d'applications spatiales pour la prévention et la gestion des catastrophes naturelles.
- Certaines activités de contrôle depuis l'espace pourraient être mises en place, tant pour l'application de traités dans les domaines de l'environnement et/ou du désarmement, que pour la vérification de la mise en œuvre de politiques nationales ou régionales (par exemple politique agricole commune). Dans certains cas, la vérification depuis l'espace d'accords mettant en jeu des milliards de dollars sera le seul ou le principal instrument disponible à cette fin [par exemple, contrôle du respect des accords de limitation des émissions de gaz à effet de serre (GES)].
- La surveillance et la gestion des sols pour l'aménagement urbain, la sylviculture et l'agriculture constitueront une tâche de plus en plus importante pour les décideurs locaux et régionaux, de même que pour les acteurs commerciaux, qui doivent améliorer la sécurité, la rentabilité et le cadre environnemental de leurs activités (par exemple, formulation de projets d'aménagement du territoire, surveillance de l'urbanisation, évaluation pour les assurances, agriculture de précision).

Une partie de la demande potentielle relativement forte de ce type d'applications pourrait être satisfaite par des moyens terrestres concurrents, dans la mesure où des systèmes n'utilisant pas l'espace (par exemple photographie aérienne) vont également bénéficier des progrès en l'électronique et dans d'autres secteurs et constituer des solutions de remplacement pour certains usages.

Conclusion concernant l'observation de la Terre

Les applications les plus prometteuses dans les trente prochaines années (hors applications militaires) pourraient être :

- Les applications touchant l'environnement (météorologie, océanographie, changement climatique).
- L'aménagement du territoire (par exemple, urbanisme, agriculture de précision et sylviculture).
- La prospection (par exemple, le pétrole, le gaz).
- La prévention et la gestion des catastrophes naturelles.
- La surveillance des traités (par exemple, environnement, désarmement).

Positionnement et navigation

La radionavigation par satellite repose sur l'émission de signaux depuis des satellites, qui donnent une mesure extrêmement précise du temps. Au moyen d'un petit récepteur individuel bon marché, il est possible de déterminer sa propre position ou celle de tout objet stationnaire ou en déplacement (par exemple, un véhicule, un navire, un troupeau, etc.).

Développés au départ pour les militaires, les services de positionnement et de navigation par satellite ont trouvé un éventail croissant d'applications civiles ces dernières années. Ainsi, ils facilitent les mouvements des personnes et des biens dans divers types de transport (route, rail, aviation, transports en commun, transport maritime), pour la protection civile, pour la gestion des ressources naturelles (par exemple pêcheries), pour le développement d'infrastructures terrestres (par exemple réseaux d'énergie), pour la planification urbaine et pour le suivi d'objets en déplacement.

Comme le montre le tableau 4.6, la demande de services de positionnement et de navigation devrait être forte dans l'ensemble des trois scénarios, même si la composition de la demande est susceptible de varier quelque peu. Ainsi, la demande militaire sera sans doute la plus forte dans les scénarios 2 et 3, alors que c'est la demande commerciale sera plus forte dans le scénario 1. Un développement plus rapide des infrastructures urbaines et réseaux de transport terrestre dans le scénario 1 devrait créer une forte demande induite de services de positionnement par satellite de la part de l'industrie du bâtiment et des aménageurs en zone urbaine. La progression attendue du trafic devrait également générer une forte croissance de la demande de services de navigation et de positionnement. La principale différence entre les scénarios porte sur l'infrastructure qui sera éventuellement mise en place, laquelle pourrait être entièrement interopérable dans le scénario 1, mais ne l'être que très partiellement ou pas du tout dans le scénario 3, ce qui entraînerait des différences considérables dans

Tableau 4.6. **Synthèse de la demande escomptée de services de navigation**

Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
<i>Demande escomptée</i> : forte pour les usages sécuritaires, civils et commerciaux en raison du degré élevé de mobilité et de la forte croissance escomptée du trafic sous toutes ses formes.	<i>Idem</i> , mais la progression de la mobilité pourrait ne pas être aussi forte.	Mobilité internationale quelque peu inférieure à celle du scénario 2.
<i>Implications pour l'espace</i> : rôle clé pour la navigation depuis l'espace et utilisation généralisée dans toutes les formes de transport, de même que sur les marchés financiers.		

la qualité des services de positionnement et de navigation offerts et donc dans leur valeur pour les utilisateurs, notamment en zone urbaine.

L'accroissement de la mobilité des personnes et des biens sera particulièrement significatif et nécessitera une profonde refonte de l'infrastructure de transport, notamment pour le transport aérien, le transport routier et les transports en commun. Les systèmes de positionnement et de navigation joueront un rôle clé dans le développement de l'infrastructure nécessaire, la gestion du volume croissant de trafic et l'exploitation des aéronefs et véhicules. Notamment, le système international de gestion du trafic aérien devrait fortement s'appuyer sur des systèmes de navigation utilisant l'espace dans les 30 prochaines années.

Dans le même temps, l'intégration de récepteurs de positionnement dans les téléphones portables offrira des possibilités pour créer une multitude de services géolocalisés grand public, proposant des services de positionnement, de guidage, d'information en temps réel sur le trafic, etc. Le marché actuel des services géolocalisés comprend quatre segments :

- Services d'information et de navigation, fournissant des données directement à l'utilisateur, notamment localisation de la destination et critères pour l'optimisation du trajet.
- Services d'urgence, donnant la localisation des utilisateurs mobiles en situation de détresse ou ayant besoin d'assistance.
- Services de suivi, fournissant des données de localisation.
- Services sur réseau, avec lesquels la connaissance de la position de l'utilisateur améliore les services de communication.

Le marché potentiel des applications de géolocalisation est énorme (tableau 4.7), dans la mesure où il est lié à l'expansion du marché de la téléphonie mobile. Les études de marché prévoient qu'en 2010 il y aura en usage dans le monde 2.7 milliards de téléphones mobiles.

Tableau 4.7. **Demande potentielle d'applications de navigation**

	Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
Gestion de flotte et du trafic (route, maritime, fret, espace)	Forte	Forte	Forte
Gestion de la circulation aérienne	Forte	Forte	Forte
Recherche et sauvetage	Forte	Forte	Forte
Services géolocalisés	Forte	Forte	Forte

Conclusion concernant la navigation

Les applications les plus prometteuses au cours des 30 prochaines années devraient être les suivantes :

- Gestion de flotte et du trafic (air, route, maritime, espace).
- Services géolocalisés.
- Recherche et sauvetage.

Demande future potentielle de transport et de production dans l'espace

Aventure/Tourisme spatial

Le tourisme spatial, ou plutôt l'aventure spatiale, est une application qui consiste à emmener des clients payants dans l'espace, pour un vol soit suborbital, soit orbital. Un vol suborbital consiste en une brève excursion à une altitude supérieure à 100 km. Le véritable tourisme spatial implique l'organisation de voyages de plus longue durée dans l'espace, susceptibles de comporter un séjour limité dans des installations orbitales. Ce devrait être un produit attrayant pour les personnes qui souhaitent et peuvent – malgré le coût – repousser les limites pour vivre des aventures extraordinaires.

Selon le Conseil mondial du voyage et du tourisme (WTTC) qui est un organisme international représentant le secteur privé dans tous les segments de l'industrie du voyage et du tourisme, le tourisme fait partie des industries mondiales les plus importantes et dont les taux de croissance sont les plus forts, puisqu'elle assure plus de 10 % du produit intérieur brut (PIB) mondial. En 2003, le secteur du tourisme devrait générer 4 544.2 milliards d'USD. Sur les dix prochaines années, il pourrait croître de 4.6 % par an en termes réels, pour atteindre un volume estimé de 8 939.7 milliards d'USD en 2013.

Le tourisme d'aventure est un segment de plus en plus profitable. Aux raids sur des îles isolées, aux safaris et à l'alpinisme, s'ajoutent maintenant les vols à bord d'avions à réaction militaires. Par exemple, l'ascension du Mont Everest est de plus en plus populaire, malgré les dangers, les coûts (la licence à elle seule peut coûter 50 000 USD) et le délai d'attente de six ans que cela implique. Le tourisme spatial pourrait devenir l'étape suivante dans le tourisme d'aventure, même si les possibilités sont limitées au départ. Cette extension du tourisme et du voyage dans l'espace est présente dans l'ensemble des trois scénarios, mais la demande prévue diffère, car elle est fortement tributaire des tensions internationales, des impératifs de sécurité et du développement du transport spatial.

Diverses études de la demande potentielle de tourisme spatial ont été réalisées au fil des ans. Une étude effectuée en 2001 pour la National Aeronautics and Space Administration (NASA) dans le cadre de la Space Launch Initiative (SLI) a conclu que pour un prix du billet de 40 000 USD, 10 000 passagers par an achèteraient un voyage dans l'espace, ce qui générerait un chiffre d'affaires annuel de 4 milliards d'USD. Une étude financée dans le cadre de la SLI et réalisée en 2002 donne à penser que d'ici 2021, le segment orbital pourrait recevoir 60 passagers par an et produire un chiffre d'affaires dépassant 300 millions d'USD. Par ailleurs, le segment suborbital pourrait attirer jusqu'à 15 000 passagers par an, pour un chiffre d'affaires dépassant 700 millions d'USD.

Un signe positif intéressant du potentiel du tourisme spatial est fourni par le succès de Space Adventures, société qui propose aux touristes des visites des installations spatiales russes, des vols paraboliques en microgravité à bord d'avions russes ainsi que des vols sur un Mig 25 jusqu'à une altitude de 27 000 mètres. La formule luxe coûte USD 12 595 et a attiré près de 1 000 clients. Le 18 juin 2003, la société a annoncé son projet de lancer la première mission mondiale à financement privé vers la station spatiale internationale (ISS). Space Adventures a récemment obtenu un contrat avec l'Agence russe pour l'aviation et l'espace (RASA) pour faire voler deux explorateurs vers la SSI à bord d'un nouveau vaisseau anthropométrique TMA Soyouz. Ce véhicule a été développé pour répondre aux problèmes rencontrés dans le cadre du programme de coopération États-Unis – Russie. La version « anthropométrique » supprime les limitations quant à la taille des membres d'équipage pouvant embarquer à bord de Soyouz et permet donc son utilisation comme « engin de sauvetage » pour la SSI.

La première étape logique décrite dans l'ensemble des trois scénarios est la naissance du tourisme suborbital en tant qu'activité de tourisme d'aventure (tableau 4.8). Le potentiel de clientèle tend à diminuer du scénario 1 au scénario 3, en fonction de la détérioration de l'environnement géopolitique économique général. Un tourisme spatial en orbite pleinement développé n'est envisagé que dans le scénario 1, dans lequel les conditions économiques s'améliorent et les usages civils/commerciaux des technologies militaires s'accroissent. Dans ce scénario, les progrès réalisés sur le plan commercial convergent à terme avec ceux réalisés par les militaires dans la mise au point de technologies réutilisables, ce qui conduit à la fin de la période à l'apparition d'un véritable lanceur réutilisable (RLV). Dans les scénarios 2 et 3, l'environnement général de défiance et le caractère dual des lanceurs limitent fortement les possibilités commerciales de tourisme spatial.

Dans l'ensemble des trois scénarios, il existe une forte pression pour réduire les coûts de l'accès à l'espace, notamment par la mise au point d'un lanceur véritablement réutilisable. Dans le scénario 1, aussi bien les militaires

Tableau 4.8. Synthèse de la demande escomptée de tourisme spatial

Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
<i>Demande escomptée</i> : s'agissant de l'une des industries les plus importantes et les plus porteuses au monde, le tourisme se développe fortement malgré les questions de sécurité.	<i>Demande escomptée</i> : croissance de l'industrie du tourisme moins rapide que pour le scénario 1.	<i>Demande escomptée</i> : la croissance de l'industrie du tourisme est plus lente que dans le scénario 2.
<i>Implications pour l'espace</i> : certains touristes sont attirés par une aventure spatiale, s'ils y ont accès à un prix qui leur semble abordable.	<i>Implications pour l'espace</i> : moins de candidats potentiels que dans le scénario 1.	<i>Implications pour l'espace</i> : moins de candidats potentiels que dans le scénario 2.

que les chefs d'entreprise du secteur privé sont incités à élaborer un tel véhicule. Dans les scénarios 2 et 3, le principal moteur, du moins au départ, est militaire. À mesure que les pays développent leur coopération dans la poursuite d'objectifs civils, l'essor du tourisme spatial est facilité.

Conclusion concernant le tourisme spatial

Sur la base de la demande sociale et commerciale, cette projection étant toutefois hautement tributaire du développement du transport spatial et de la sécurité, les deux activités suivantes pourraient être prometteuses dans les 30 prochaines années :

- Tourisme suborbital.
- Tourisme spatial orbital.

Activités de production dans l'espace

Dans le contexte de cette étude, la production spatiale comprend trois types d'activités : la fabrication en orbite (par exemple, essais et fabrication de produits pharmaceutiques et de nouveaux alliages en microgravité), la production d'énergie dans l'espace (par exemple, développement de systèmes spatiaux à énergie solaire pour alimenter la Terre en énergie depuis l'espace) et l'extraction minière extraterrestre (par exemple, mines sur la Lune).

Certaines activités de fabrication en orbite ont été réalisées au cours des dernières décennies. Il s'agissait principalement de travaux de recherche scientifique ou commerciale limités, portant sur des produits pharmaceutiques et matériaux, et effectués sur différentes plates-formes spatiales. La demande de fabrication à grande échelle en microgravité dans l'espace demeure pour une large part potentielle et hypothétique. Elle pourrait éventuellement se

concrétiser pour des produits de très haute valeur (par exemple, cristaux pour semi-conducteurs, nouveaux alliages et composites) si le coût de l'accès à l'espace diminuait sensiblement.

La demande de production d'énergie dans l'espace est également très hypothétique, même si elle est prise en compte dans l'ensemble des trois scénarios (tableaux 4.9 et 4.10). Comme le chapitre 1 l'a montré, les approvisionnements terrestres actuels en énergie devraient rester suffisants pour répondre à la demande des trois prochaines décennies. Toutefois, on constate une demande sociale croissante de sources d'énergie plus propres. Il est possible d'envisager des systèmes spatiaux de production d'énergie complétant les sources d'énergie classiques à terme. Théoriquement, le potentiel économique existe, mais la capacité de production d'énergie dans l'espace et de transmission de cette énergie aux utilisateurs sur Terre à un prix

Tableau 4.9. **Synthèse de la demande escomptée de production dans l'espace**

Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
<i>Demande escomptée</i> : forte progression de la demande de biens et d'énergie, notamment dans les pays à revenu intermédiaire. Demande croissante de produits de haute technologie dans le monde développé (par exemple, nouveaux matériaux, produits électroniques sophistiqués, produits des biotechnologies). Hausse probable de la demande d'énergie propre.	<i>Demande escomptée</i> : même évolution de la demande, mais avec un progression moindre que dans le scénario 1.	<i>Demande escomptée</i> : même évolution de la demande, mais avec une progression moindre que dans le scénario 2.
<i>Implications pour l'espace</i> : attrait de certains producteurs pour cet environnement sans égal. À un prix compétitif, l'énergie produite dans l'espace serait intéressante.	<i>Implications pour l'espace</i> : comme pour le scénario 1, mais moins prometteuses. Des considérations stratégiques (améliorer la sécurité des approvisionnements) pourraient rendre plus attrayante l'énergie produite dans l'espace.	<i>Implications pour l'espace</i> : comme dans le scénario 2, mais moins prometteuses. Des considérations stratégiques (améliorer la sécurité des approvisionnements) pourraient rendre plus attrayante l'énergie produite dans l'espace.

Tableau 4.10. **Demande potentielle d'activités de production dans l'espace**

	Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
Fabrication en orbite	Moyenne	Faible	Faible
Extraction minière sur la Lune ou sur des astéroïdes	Faible	Faible	Faible
Production d'énergie dans l'espace	Faible	Faible	Faible
Satellites relais dans l'espace	Moyenne	Élevée	Moyenne

compétitif est loin d'être techniquement réalisable au stade actuel. En revanche, on pourrait imaginer d'utiliser des satellites de production d'énergie dans l'espace pour répondre à la demande de consommation d'énergie dans l'espace. De plus, des satellites relais pour le transport d'énergie depuis des producteurs sur Terre vers des consommateurs également sur Terre pourraient devenir envisageables sur la période.

L'extraction minière de corps célestes (par exemple, Lune, astéroïdes) afin de disposer de nouvelles ressources pour la Terre ou de construire des stations sur place est une activité pour laquelle la demande potentielle n'est pas bien définie. Toutefois, dans les trente prochaines années, des missions scientifiques et d'exploration pourraient déboucher sur une telle activité. Des débouchés commerciaux sont envisageables à l'avenir, mais les obstacles techniques et réglementaires sont importants.

Le développement global du secteur de la production dans l'espace dépendra de façon cruciale d'une réduction drastique du coût de l'accès à l'espace, de la disponibilité de sources d'énergie bon marché et fiables dans l'espace ainsi que de l'évolution des procédés et techniques de production dans l'espace. Il dépendra également des avantages que la production dans l'espace pourrait offrir par rapport à la production sur Terre. Jusqu'à présent, cet avantage n'a pas été démontré.

Conclusion concernant la production dans l'espace

Si certains obstacles techniques et systémiques majeurs sont surmontés, l'application suivante pourrait être prometteuse dans les 30 prochaines années :

- Transport d'énergie par satellite.

Maintenance en orbite

La maintenance en orbite comprend la maintenance des plates-formes spatiales (par exemple, satellites, stations spatiales) pour le réapprovisionnement en produits consommables et dégradables (par exemple ergols, batteries, panneaux solaires) ; le remplacement des systèmes défaillants (par exemple électronique de la charge utile et du bus, composants mécaniques) et/ou l'amélioration de la mission (par exemple, mises à niveau logicielles et matérielles). Il serait également logique d'inclure le désorbitage programmé des satellites à la fin de leur durée de vie utile, de même que la gestion des débris dans l'espace.

Jusqu'à présent, la maintenance en orbite se limitait aux missions habitées (par exemple mission de la navette pour réparer le télescope Hubble) et aux mises à niveau logicielles (par exemple mission Galileo). La principale limitation est le coût et le fait que les satellites ne sont généralement pas conçus pour faire l'objet d'une maintenance.

Comme le tableau 4.11 l'illustre, la demande potentielle de maintenance en orbite et d'élimination de débris spatiaux est susceptible de croître dans tous les scénarios. La capacité d'assurer la maintenance de satellites permettrait aux opérateurs de fournir un service plus fiable tout en ayant moins besoin de satellites de secours coûteux, et elle leur permettrait de moderniser l'électronique de leurs engins spatiaux. Le poids et le coût des satellites pourraient également être réduits si leur ravitaillement était plus aisé et moins coûteux. La demande militaire sera sans doute un important moteur de développement de la maintenance en orbite car cela sera un moyen de maintenir pleinement opérationnelle la flotte de coûteux satellites militaires en orbite basse. La maintenance en orbite pourrait également aider à réduire la menace des systèmes anti-satellite. De plus, les orbites qui accueillent un grand nombre de systèmes spatiaux d'aujourd'hui et de demain sont de plus en plus encombrées par des débris spatiaux, et il pourrait exister une forte demande stratégique, sociale et commerciale pour le désorbitage programmé des satellites.

Des programmes individuels ou conjoints d'exploration spatiale vers la Lune ou Mars par différentes puissances spatiales (États-Unis, Chine, Russie, Japon, Europe) pourraient stimuler le développement de certaines infrastructures spatiales et encourager les pratiques de maintenance en

Tableau 4.11. **Synthèse de la demande escomptée de maintenance en orbite**

Scénario 1 Mer calme	Scénario 2 Retour vers le futur	Scénario 3 Avis de tempête
<i>Demande escomptée</i> : multiplication et allongement de la durée de vie des satellites en service, besoin accru de services, notamment en matière de ravitaillement en ergols et de mise à niveau de l'électronique. Débris spatiaux de plus en plus préoccupants et conclusion d'un accord sur les procédures relatives aux débris spatiaux.	<i>Demande escomptée</i> : comme dans le scénario 1, mais plus forte demande militaire. Accord probable sur les débris spatiaux, car mutuellement bénéfique pour toutes les nations à vocation spatiale.	<i>Demande escomptée</i> : demande militaire un peu plus forte que dans le scénario 2. Programmes internationaux moins coordonnés à l'égard des débris spatiaux.
<i>Implications pour l'espace</i> : marché possible pour la maintenance de satellites, notamment le désorbitage programmé à la fin de leur durée de vie utile.	<i>Implications pour l'espace</i> : marché potentiel pour la maintenance des satellites, notamment le désorbitage programmé à la fin de leur durée de vie utile.	<i>Implications pour l'espace</i> : marché potentiel pour la maintenance des satellites, notamment le désorbitage programmé à la fin de leur durée de vie utile.

orbite. La principale limitation concerne la mise au point de satellites de maintenance (par exemple NextSat) ainsi que d'une infrastructure appropriée pour la réalisation de la maintenance.

Conclusion concernant la maintenance en orbite

L'activité suivante pourrait être prometteuse à long terme :

- Maintenance en orbite.

Conclusions concernant la demande

Une analyse des scénarios élaborés dans le chapitre 2 met en évidence certaines tendances générales de la demande dans chacun des grands secteurs d'applications spatiales : télécommunications, observation de la Terre, navigation et certains nouveaux secteurs potentiels (production dans l'espace, tourisme spatial).

La demande potentielle traduit des impératifs sociaux, gouvernementaux et commerciaux mais elle peut être altérée par différents facteurs (par exemple, concurrence des applications terrestres). Compte tenu de l'analyse qui précède, le tableau 4.12 répertorie un certain nombre d'applications susceptibles de faire l'objet d'une demande relativement forte.

Tableau 4.12. **Applications potentiellement prometteuses**

- | |
|---|
| 1. Enseignement à distance, télémédecine |
| 2. Commerce électronique |
| 3. Loisirs |
| 4. Services géolocalisés grand public |
| 5. Services géolocalisés : gestion du trafic |
| 6. Aménagement du territoire : agriculture de précision |
| 7. Aménagement du territoire : urbanisme |
| 8. Aménagement du territoire : prospection (par exemple pétrole) |
| 9. Prévention et gestion des catastrophes |
| 10. Applications d'environnement et météorologie |
| 11. Surveillance de l'application des traités, normes et politiques |
| 12. Aventure/tourisme spatial (suborbital et orbital). |
| 13. Maintenance en orbite |
| 14. Satellites relais de puissance |

La section suivante examine la façon dont les technologies habilitantes et les technologies spatiales sont susceptibles d'évoluer au cours des 30 prochaines décennies environ. Elle fournira ainsi une base supplémentaire

pour évaluer lesquelles parmi les applications ci-dessus devraient être considérées comme prometteuses du point de la demande et de la faisabilité technique.

Faisabilité et opportunités technologiques

La perspective qu'une application spatiale donnée se développe de façon satisfaisante dépend non seulement de la demande dont elle est susceptible de faire l'objet, mais aussi de la question de savoir si elle est d'ores et déjà techniquement réalisable ou susceptible de l'être et si elle pourra être disponible à un prix qui la rendra attractive pour les utilisateurs.

Cette section vise à procéder à un « contrôle de validité » des applications prometteuses identifiées plus haut. Pour chacune, il est procédé à une évaluation de l'impact probable des progrès futurs dans les « technologies habilitantes », c'est-à-dire celles qui devraient faciliter la mise en œuvre de l'application et réduire son coût. Les avancées attendues dans les technologies spatiales sont également prises en compte. Les technologies habilitantes examinées ici sont les nanotechnologies, les biotechnologies, les technologies de l'information et des communications (TIC), les technologies de fabrication ainsi que la robotique et l'intelligence artificielle. Il n'a pas été tenté de distinguer l'impact individuel de ces technologies. De fait, cela est généralement impossible à effectuer, car le progrès technique est le plus souvent le résultat de la combinaison de plusieurs technologies. Les systèmes micromécaniques (MEMS), par exemple, sont à la frontière entre la microélectronique et les nanotechnologies. Les technologies spatiales examinées sont les technologies de propulsion, le transport spatial, la production d'énergie et les systèmes orbitaux.

Le tableau 4.13 montre les résultats de l'analyse des technologies habilitantes et le tableau 4.14 ceux pour les technologies spatiales. L'appendice 4.A1 contient une analyse plus détaillée des technologies habilitantes et spatiales.

Implications quant à la faisabilité des applications prometteuses

Il découle de ce qui précède qu'un grand nombre d'applications identifiées plus haut comme « potentiellement prometteuses » sont non seulement techniquement réalisables aujourd'hui mais également susceptibles de devenir encore plus attrayantes à l'avenir, que ce soit du point de vue du coût ou de celui des services pouvant être fournis. Cela vaut notamment pour les services d'information « immatériels » comme les télécommunications, l'observation de la Terre et les services géolocalisés qui ne seront pas sensiblement affectés par des modifications du coût de l'accès à l'espace. Toutefois, certaines de ces applications, notamment les applications

Tableau 4.13. Impact des technologies habilitantes

Application ¹	Impact des technologies habilitantes
1 Enseignement à distance	<p>L'enseignement à distance bénéficiera énormément des progrès des TI et des avancées de l'intelligence artificielle, notamment en ce qui concerne les aspects suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Améliorations dans le stockage/l'extraction de l'information qui permettront aux apprenants d'avoir un accès plus rapide et virtuellement illimité à davantage de ressources pédagogiques en ligne. • Meilleur accès au haut débit. Les apprenants et enseignants auront ainsi davantage de possibilités d'interactions et les enseignants pourront produire des matériels pédagogiques plus attrayants et plus informatifs. • Des agents pédagogiques intelligents ou « enseignants virtuels » pourraient être capables de répondre à des questions en langage naturel ou d'adapter le contenu du cours à la progression de l'élève. • La traduction automatique pourrait aider les apprenants à élargir leur recherche de documents utiles pour les cours.
1 Télémédecine	<p>Comme l'enseignement à distance, la télémédecine profitera des progrès des TI et de l'IA. Il pourra également bénéficier des avancées des nanotechnologies et des biotechnologies :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cartes Santé électronique permettant le stockage du dossier médical et des diagnostics interactifs. • Nanocapteurs pour la surveillance de l'état du patient et nanoactionneurs pour la délivrance de médicaments ou d'impulsions neuronales, selon les besoins. • Kiosques sanitaires automatisés reliés aux hôpitaux pour les télédiagnostics. • Systèmes interactifs de diagnostic de santé à domicile. • Téléchirurgie avec l'assistance de paraprofessionnels.
2 Commerce électronique	<p>Les applications des TI et de l'IA augmenteront les utilisations potentielles du commerce électronique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les gains en matière de stockage/extraction de l'information devraient donner aux consommateurs un accès plus rapide aux informations sur les produits. Les acheteurs pourront effectuer une visite virtuelle des boutiques, avant de s'y rendre. • Les agents virtuels devraient faciliter pour les consommateurs les recherches sur Internet et pourraient même être utilisés pour des transactions. • Le haut débit rendra les transactions en ligne plus aisées et plus efficaces. • Les commerçants auront davantage de possibilités de faire connaître leurs produits en ligne et d'utiliser des techniques d'extraction de connaissances à partir de données afin de mieux cibler leurs offres. • Les agents intelligents aideront les commerçants à mieux connaître les goûts des consommateurs et à ajuster leurs offres en conséquence.
3 Loisirs	<p>Les progrès dans les TI et l'IA augmenteront considérablement le volume et la qualité technique des loisirs sur support électronique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Davantage de contenus seront proposés aux consommateurs qui auront un accès quasiment illimité à la musique, à la vidéo et aux livres. • Le développement de l'interactivité permettra des jeux et activités ludiques plus élaborés. • La haute définition rendra les offres plus attrayantes. • Les agents virtuels aideront les consommateurs à choisir leurs loisirs.
4 Services géolocalisés grand public	<p>Ces services bénéficieront des progrès dans les nanotechnologies, les TI et l'IA :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les récepteurs vont se miniaturiser, s'alléger et devenir meilleur marché. • Les progrès des TI permettront de produire des systèmes plus petits, plus puissants et plus faciles d'emploi. Les services tireront parti des capacités accrues de stockage, d'extraction et de traitement de l'information pour donner au consommateur l'information pertinente en temps réel et faciliter les transactions sur mobile. • L'IA permettra l'automatisation des tâches de routine et devrait grandement simplifier les transactions et les recherches d'information.

Tableau 4.13. **Impact des technologies habilitantes** (suite)

Application ¹	Impact des technologies habilitantes
5 Services géolocalisés : gestion de la circulation	Comme ci-dessus.
6 Aménagement du territoire : agriculture de précision	Les systèmes de satellites en orbite terrestre bénéficieront des progrès dans un large éventail de technologies habilitantes, notamment nanotechnologies, TI, IA et robotique : <ul style="list-style-type: none"> • Les nanotechnologies contribueront à la mise au point de nouveaux matériaux à la fois plus légers et plus solides. • Des nanocapteurs intégrés pourraient aider à surveiller en continu le fonctionnement de l'engin spatial. • La capacité accrue de stockage et de traitement de l'information se traduira par une réduction spectaculaire du poids des équipements. • Les progrès en optoélectronique conduiront à une augmentation considérable des performances des instruments spatiaux et à une réduction de leur poids. • Les MEMS offrent la possibilité de mettre au point et exploiter des machines miniaturisées. • Des gains d'ensemble de deux ou trois ordres de grandeur en termes de performances/masse sont attendus d'ici 2020.
7 Aménagement du territoire : urbanisme	Comme ci-dessus.
8 Aménagement du territoire : prospection	Comme ci-dessus.
9 Recherche et sauvetage	Comme ci-dessus. Notamment : <ul style="list-style-type: none"> • Il est possible d'équiper des objets ou des humains avec des circuits de positionnement. • La capacité accrue de stockage et de traitement de l'information facilite considérablement la prise de décisions (<i>p. ex.</i> SIG et cartographie des risques).
9 Prévention et gestion des catastrophes	Comme ci-dessus.
10 Applications d'environnement et météorologie	Comme ci-dessus. De plus, les progrès des TI offriront des possibilités d'une meilleure modélisation de la météorologie et du changement climatique, ce qui conduira à des prévisions plus précises dans ces deux domaines.
11 Suivi de l'application des traités, normes et politiques	Comme ci-dessus.
12 Aventure/tourisme spatial (suborbital et orbital)	Le tourisme spatial tirera avantage d'un large éventail de technologies habilitantes : <ul style="list-style-type: none"> • Les nanotechnologies fourniront des matériaux plus légers et plus résistants pour le vaisseau et l'équipement des touristes de l'espace. • Des capteurs et actionneurs intégrés offriront un moyen de surveiller la santé des touristes de l'espace. • Avec l'aide de l'IA, les touristes de l'espace pourront s'entraîner à la mission dans un environnement de réalité virtuelle très proche des véritables conditions dans l'espace. • L'IA pourrait être utilisée pour surveiller et contrôler des phases importantes de la mission. • La robotique et l'IA pourraient être utilisées pour assembler des hôtels dans l'espace.

Tableau 4.13. **Impact des technologies habilitantes** (suite)

Application ¹	Impact des technologies habilitantes
13 Maintenance en orbite	<p>Les nanotechnologies, les TI, l'IA et la robotique joueront un rôle clé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les nouveaux matériaux et les capteurs intégrés faciliteront l'exploitation des robots. • Les moyens accrus de traitement et de stockage de l'information faciliteront considérablement la prise de décisions. • Les robots assureront de façon autonome la plupart des fonctions en orbite (<i>p. ex.</i> contrôle de l'état du vaisseau, ravitaillement et remplacement de pièces si nécessaire). • Des robots autonomes dans une large mesure peuvent aussi effectuer l'assemblage de grandes structures telles que plates-formes spatiales, stations spatiales et grandes antennes, et également assurer l'élimination des satellites et débris dans l'espace.
14 Production d'énergie dans l'espace : satellites relais	<p>Les nanotechnologies, l'IA et la robotique joueront un rôle clé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De nouveaux matériaux pourraient servir de base pour la production de panneaux solaires meilleur marché. • De nouveaux semi-conducteurs et concentrateurs pourraient accroître le rendement des cellules solaires de 30-40 %. • Des robots dans autonomes une large mesure (capables de recevoir des communications, de comprendre leur environnement, de formuler et d'exécuter des plans et de surveiller leur fonctionnement) seront utilisés pour l'assemblage de centrale solaires et le déploiement de panneaux solaires.

1. Le numéro de l'application (colonne 1) correspond à celui utilisé dans le tableau 4.12.

2. Les technologies habilitantes considérées ici sont les nanotechnologies, la biotechnologie, les technologies de l'information (TI), la robotique et l'intelligence artificielle (IA).

de télécommunications, seront confrontées à une rude concurrence de la part de leurs alternatives terrestres.

La faisabilité de l'aventure ou du tourisme spatial, de la maintenance en orbite et des satellites relais et de puissance sur la période de trente années considérée est plus problématique. Pour chacune de ces applications, le coût de l'accès à l'espace est un élément important, et l'évolution future des coûts est une inconnue majeure. On a supposé ici, en s'appuyant sur l'avis d'experts, que les coûts seraient divisés par 5 d'ici 2030. Cela semble raisonnable, bien que peut-être ambitieux compte tenu des progrès plutôt modestes accomplis dans ce domaine au cours des quarante dernières années.

En conclusion, les applications potentiellement prometteuses répertoriées dans le tableau 4.12 peuvent être réparties en deux groupes : i) les « applications vedettes », c'est-à-dire celles qui semblent avoir une chance raisonnable de prospérer et les ii) « outsiders », c'est-à-dire celles qui semblent avoir moins de chance de se concrétiser sur la période considérée, même si les conditions de la demande apparaissent favorables (tableau 4.15).

Résumé et conclusion

Les trois scénarios décrits dans le chapitre 2 offrent des visions très différentes des avenir possibles et de l'évolution possible du secteur spatial

Tableau 4.14. **Impact des technologies spatiales**

Applications	Systèmes de transport	Systèmes orbitaux
Télécommunications <ul style="list-style-type: none"> • Enseignement à distance • Télémédecine • Commerce électronique • Loisirs 	<p>La réduction des coûts de lancement ne devrait avoir qu'une incidence limitée sur les systèmes de communications utilisant des satellites en orbite terrestre géostationnaire.</p> <p>Toutefois, le temps de rotation réduit des lanceurs réutilisables pourrait représenter un avantage considérable pour le lancement à bref délai d'une grappe ou constellation de satellites en orbite terrestre basse, permettant de créer très rapidement un réseau <i>ad hoc</i> sans infrastructure.</p>	<p>Les progrès de la technologie des satellites pourraient accroître la polyvalence et l'attractivité des solutions de télécommunications utilisant l'espace, par rapport aux solutions terrestres concurrentes :</p> <p>Le traitement embarqué permettra la commutation, <i>cad.</i> le traitement des paquets et leur routage à destination. La capacité des satellites pourrait augmenter d'un facteur de 3 à 10.</p> <p>Les faisceaux multispots permettent des usages multiples de fréquences peu abondantes. Le logiciel embarqué peut être mis à jour et la configuration des faisceaux peut être modifiée.</p> <p>La combinaison des deux technologies créerait un réseau poste à poste reliant simultanément plusieurs stations terriennes, ce qui augmenterait considérablement la bande passante à la disposition des utilisateurs.</p> <p>Les gains en matière de production et de stockage de l'énergie entraîneront un allègement et une augmentation de la durée de vie utile des satellites. L'augmentation de la puissance des satellites permettra l'utilisation d'antennes plus petites au sol, ce qui rendra les solutions par satellite plus attrayantes pour les utilisateurs.</p> <p>Les progrès dans la propulsion (<i>p. ex.</i> propulsion ionique, moteurs-fusées, thermiques, solaires) contribueront à augmenter la durée de vie escomptée des systèmes de communication par satellite et à les rendre plus polyvalents, <i>cad.</i> mieux à même de répondre aux évolutions de la demande. De nouvelles constellations de satellites pourraient bénéficier de la miniaturisation et des gains de performances des liaisons inter-satellites optiques ainsi que d'une amélioration considérable des terminaux. Cela signifie-t-il un retour aux gros satellites en orbite basse? Il pourrait en résulter de profondes implications pour le développement des télécommunications sans fil, notamment dans les pays dont l'infrastructure terrestre est peu développée.</p>
Observation de la Terre <ul style="list-style-type: none"> • Agriculture de précision • Urbanisme • Météorologie et changement climatique • Prospection de ressources naturelles 	<p>La division par cinq du coût de l'accès à l'espace escomptée sur les trente prochaines années et la capacité de déployer une grappe ou une constellation de satellites plus rapidement avec la mise au point de lanceurs réutilisables devraient contribuer à rendre plus attrayants les satellites d'observation de la Terre.</p>	<p>Plus encore que la réduction des coûts de lancement, l'amélioration attendue du rapport performances/masse qui devrait être multiplié par 2 ou 3 sur la période devrait contribuer à promouvoir le développement de satellites d'observation de la Terre, en les rendant attrayants pour une clientèle plus large englobant non seulement les gouvernements mais aussi les municipalités, les multinationales, les universités, les groupes agro-alimentaires et les sociétés d'assurance.</p>

Tableau 4.14. **Impact des technologies spatiales** (suite)

Applications	Systèmes de transport	Systèmes orbitaux
		La plus grande polyvalence des satellites devrait considérablement augmenter leur attrait. On pourrait ainsi déployer des systèmes spécialisés pour se concentrer sur des zones spécifiques quand le besoin s'en fait sentir (<i>p. ex.</i> secours en cas de catastrophe, prospection de ressources naturelles, urbanisme).
Services géolocalisés : <ul style="list-style-type: none"> • Gestion de flotte et du trafic (air, terre, mer, espace) • Services grand public 	<p>La réduction des coûts de lancement ne devrait avoir qu'un impact limité sur les systèmes de positionnement et de navigation.</p> <p>La possibilité de reconstitution rapide d'une constellation pourrait être très importante pour garantir la continuité du service.</p>	<p>Grâce aux gains de performances des capteurs (<i>p. ex.</i> gyroscopes, capteurs radar) la précision et l'intégrité des signaux de position seront améliorées.</p> <p>Le traitement des signaux sera amélioré (<i>p. ex.</i> détection et atténuation des multitrajets).</p>
Aventure/tourisme spatial (suborbital et orbital)	<p>Le développement de l'aventure et du tourisme dans l'espace est fortement tributaire de la mise au point d'un lanceur réutilisable, elle même conditionnée par les progrès dans les technologies de propulsion. Les candidats possibles sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des modèles de moteurs-fusées de type avancé pouvant être réutilisés un grand nombre de fois. • la mise au point de moteurs aérobie (<i>p. ex.</i> scramjets) pouvant accélérer des véhicules de transport spatial jusqu'à Mach 10-15, à une altitude de 60 km. <p>Si ces développements se concrétisent, des lanceurs réutilisables civils pourraient être disponibles d'ici 2020-25. Au cours de la période, une division par 4 à 5 du coût des lanceurs non réutilisables pourrait également contribuer à abaisser les coûts de construction des hôtels spatiaux.</p>	<p>Des robots autonomes pourraient être utilisés pour construire des hôtels spatiaux destinés à accueillir les touristes de l'espace.</p> <p>Des progrès dans la technologie des piles à combustible pourraient améliorer la production d'énergie et d'eau dans les hôtels spatiaux accueillant des touristes de l'espace.</p>
Maintenance en orbite	<p>Des avions spatiaux suborbitaux pourraient être utilisés pour transporter dans l'espace des pièces de rechange d'ici 2010 (<i>p. ex.</i> orbital express space operations architecture).</p> <p>Des lanceurs réutilisables seront utilisés pour effectuer des opérations commerciales de maintenance en orbite d'ici 2025.</p>	Des robots autonomes sont utilisés pour la maintenance.
Production d'énergie dans l'espace : satellites relais	<p>La baisse du coût de l'accès à l'espace n'est pas suffisante pour le déploiement d'un satellite de production d'énergie solaire. Toutefois, le déploiement de satellites relais et de satellites de puissance¹ est réalisable.</p>	Des robots autonomes sont utilisés pour construire des satellites relais et des satellites de puissance.

1. Un satellite de puissance peut servir à alimenter en énergie d'autres satellites.

Tableau 4.15. **Classement selon leur faisabilité des applications potentiellement prometteuses**

Applications vedettes	Outsiders
Enseignement à distance et télémédecine	Aventure et tourisme spatial (suborbital puis orbital)
Commerce électronique	Maintenance en orbite
Loisirs	Satellites relais de puissance
Services géolocalisés grand public	
Services géolocalisés : gestion du trafic	
Aménagement du territoire : agriculture de précision	
Aménagement du territoire : urbanisme	
Aménagement du territoire : prospection (p. ex. pétrole)	
Prévention et gestion des catastrophes	
Météorologie et changement climatique	
Suivi de l'application des traités, normes et politiques	

dans les décennies à venir. Sur la base de ces scénarios, ce chapitre 4 propose une liste d'applications « prometteuses », c'est-à-dire d'applications spatiales qui sont susceptibles de faire l'objet d'une forte demande dans une large éventail de circonstances futures et qui soit sont d'ores et déjà réalisables soit ont une bonne chance de le devenir dans les prochaines années.

Dans ce chapitre, les implications des scénarios de la demande potentielle d'applications spatiales pour les prochaines décennies ont été examinées plus en détail. La demande potentielle est généralement basée sur les besoins sociaux, gouvernementaux et commerciaux, mais elle peut être modifiée par d'autres facteurs (p. ex. concurrence d'applications terrestres). Des applications aussi bien traditionnelles que moins orthodoxes susceptibles de faire l'objet d'une forte demande ont été identifiées. Il s'agit des télécommunications, de l'observation de la Terre, de la navigation et de nouveaux secteurs potentiels comme l'aventure et le tourisme spatial et la production dans l'espace. Le tableau 4.12 propose une liste des applications considérées comme « potentiellement prometteuses » du point de vue de la demande.

Puis les technologies habilitantes spatiales et non spatiales ont été passées en revue pour évaluer l'évolution future probable des divers maillons de la chaîne de valeurs spatiale. Cela a apporté certains éclairages sur la faisabilité des applications « potentiellement prometteuses ».

De ce fait, deux grandes catégories d'applications prometteuses ont été définies : les « applications vedettes » qui pourraient se développer plus rapidement, et les « outsiders », qui nécessitent des développements technologiques complémentaires (voir le tableau 4.15). L'appendice 4.A1 fournit des informations plus détaillées sur l'évolution probable des technologies habilitantes et spatiales au cours des prochaines décennies.

ANNEXE 4.A.1

Technologies habilitantes et technologies spatiales

Introduction

Quels seront les effets des nouvelles technologies sur les activités spatiales entre le début du XXI^e siècle et 2030 ? Ces technologies seront, soit des technologies utilisées directement dans les systèmes spatiaux (les principes de propulsion par exemple), soit des technologies qui influenceront sur la manière dont les systèmes spatiaux seront conçus, construits et utilisés et dont les plus répandues seront probablement la nanotechnologie, la biotechnologie ainsi que les technologies de l'information et des communications (TIC). D'autres technologies élaborées pour des applications non spatiales, telles que l'intelligence artificielle et la productique, auront également des effets sur l'industrie spatiale. Avant d'étudier les technologies spatiales proprement dites, il est par conséquent utile d'examiner les questions liées aux technologies à caractère plus général que ce sont les technologies habilitantes, dans la mesure où elles pourraient s'appliquer à l'espace.

Technologies habilitantes

Nanotechnologie

La nanotechnologie sera celle qui aura probablement le plus grand impact parmi tous les développements examinés ici. Mais pendant la décennie à venir, son principal apport se situera sans doute au niveau de la recherche sur la structure atomique des objets moléculaires. Ce savoir peut ensuite être utilisé pour réaliser des matériaux plus robustes, une électronique plus compacte et plus rapide ainsi que des produits chimiques insolites aux propriétés exceptionnelles.

Si l'on peut alors intégrer des nanosystèmes dans les processus de fabrication, les pièces pourront comporter des matériaux qui augmentent la fiabilité tout en réduisant le poids des engins spatiaux, ce qui permettra d'augmenter la charge utile ou d'atteindre des orbites plus lointaines, et en fin de compte diminuer le coût de mise en orbite. Ces dispositifs pourraient par ailleurs comporter des éléments électroniques utilisant à peine quelques atomes pour stocker un bit d'information, ce qui réduirait considérablement la taille des équipements embarqués tels que les capteurs.

Un réseau dense de capteurs intégrés répartis pourrait surveiller en permanence les contraintes mécaniques, les gradients de température, les rayonnements incidents et d'autres paramètres, pour veiller à la sécurité des missions et optimiser la commande du système, permettant ainsi d'obtenir des meilleurs taux de réussite pour des missions à moindre coût. L'enveloppe extérieure de l'engin spatial pourrait fonctionner simultanément comme une caméra dotée de plusieurs capteurs et comme antenne. Si les capteurs pouvaient être utilisés comme des actionneurs, ils pourraient modifier divers paramètres et permettre de réaliser éventuellement des enveloppes extérieures « intelligentes » capables de réparer elles-mêmes certains types de dommages (dus par exemple à des micrométéorites).

À plus long terme, les nanosystèmes pourraient être capables d'exploiter des ressources *in situ*, par exemple provenant d'astéroïdes, pour réaliser et entretenir des systèmes nécessaires à la vie, réduisant ainsi le coût de la vie dans l'espace.

Biotechnologie

Le secteur spatial peut à la fois bénéficier des progrès de la biotechnologie et y contribuer. Des recherches sont en cours dans les domaines suivants :

- La biotechnologie régénérative, incluant notamment le traitement de l'air, de l'eau et des déchets solides dans des environnements clos.
- La production de nourriture dans des environnements clos, dont des substances alimentaires produites au niveau cellulaire.
- Les capteurs pour les applications de la biotechnologie spatiale, notamment la surveillance des fonctions vitales et de la santé des astronautes.
- L'écologie microbienne moléculaire des systèmes fermés d'habitation dans l'espace.
- La recherche sur la génomique comme appui à l'étude de l'agriculture spatiale.
- L'identification des gènes, des voies métaboliques et d'autres facteurs qui influent sur le développement des graines ainsi que sur la production globale d'aliments et de biomasse dans l'environnement spatial.

- Les solutions visant à permettre de futures missions spatiales habitées, notamment pour répondre aux problèmes de santé que pose pour l'homme un environnement à faible gravité.

Technologies de l'information

Au cours des cinq prochaines années, les dispositifs CMOS traditionnels utilisant le silicium approcheront de leurs limites dans de nombreuses applications, et de nouveaux dispositifs basés sur des architectures novatrices et des matériaux tirant profit des progrès de la nanotechnologie, voire de la biotechnologie, feront leur apparition. Ces matériaux pourraient comporter de l'arséniure de gallium (GaAs) aussi bien que des substances organiques et du diamant; la fabrication des microcircuits intégrés pourrait faire appel à l'auto-organisation et à l'auto-assemblage au moyen de techniques biomimétiques, analogues à ce qui se produit avec l'ADN et les enzymes, pour maîtriser le dépôt de matières.

À plus long terme, le calcul quantique retient l'attention en raison des effets quantiques rencontrés actuellement dans les processeurs classiques, même si ces dispositifs quantiques peuvent s'avérer difficiles à utiliser dans l'espace en raison du rayonnement. D'autres orientations de la recherche examinent la possibilité d'utiliser des biomatériaux pour construire des ordinateurs. Les chercheurs ont déjà réalisé des « biobots » qui miment les réseaux neuronaux de créatures peu évoluées telles que les nématodes, lesquels disposent de 302 neurones à peine (l'être humain en a mille milliards) mais sont pourvus de capacités d'analyse et d'adaptation très développées. Les experts espèrent être en mesure de comprendre le lien qui existe entre activité électrique et comportement au cours de la première décennie de notre siècle.

Quelles que soient les incertitudes liées à un développement donné, il est clair que la puissance de calcul continuera d'augmenter et que les coûts relatifs se contracteront. Cela offrira des possibilités d'élaborer des systèmes plus puissants, plus intelligents et plus autonomes. Les incidences sur le secteur spatial sont notamment les suivantes :

- L'augmentation de la puissance de calcul élargira la capacité de traiter utilement les masses de données que collecteront les satellites de détection. En combinaison avec les connaissances tirées de la biotechnologie, il sera possible de développer, entre autres, des macromodèles de processus environnementaux.
- L'augmentation de la puissance des ordinateurs et des capacités de modélisation entraînera le développement des capacités de conception et de visualisation dans les projets liés à l'espace.

- La robotique à capacités de détection étendues sera utilisée dans un large éventail d'activités spatiales, notamment l'exploration, la maintenance, la réparation et la production dans l'espace ainsi que la collecte des débris spatiaux en vue de leur recyclage.
- La télédétection, éventuellement combinée à l'intelligence artificielle, sera utilisée pour surveiller le respect de nombreux traités internationaux.
- Les étiquettes par radiofréquences d'identification (RFID) utiliseront un hybride de systèmes au sol et de systèmes spatiaux pour assurer des services de « transport intelligent » permettant non seulement de tracer les marchandises mais aussi, le cas échéant, des personnes.

Fabrication

Avant de passer en revue les nouvelles technologies, il est utile de noter que des mesures plus terre à terre telles que de la gestion sans papier, les systèmes modernes de gestion des stocks, les systèmes experts de mise au point et de préparation, de même que le rapprochement des sites de fabrication et de lancement permettraient de faire des économies substantielles. La « Space Transportation Architecture Study (STAS) » (étude de l'architecture du transport spatial) propose des exemples d'économies qui résulteraient d'une intégration des essais, de systèmes de gestion de données automatisés et de réservoirs cryogéniques en aluminium-lithium consommables et à faible coût. L'utilisation de réservoirs et structures non récupérables améliorés, la production automatique de logiciels et l'adoption de systèmes de gestion de vol plus performants pourraient aussi réduire les coûts.

Un des développements technologiques les plus intéressants se situe au niveau des systèmes micro-électro-mécaniques (MEMS), qui utilisent des technologies d'intégration à très grande échelle pour la réalisation de composants structurels. Au cours des cinq à six prochaines années, les applications commerciales pourront notamment porter sur :

- Les dispositifs mécaniques et inertiels (principalement microcapteurs de force, de pression, d'accélération et de débit ainsi que gyromètres).
- Les dispositifs optiques (systèmes d'affichage, composants de communication optique, scanners à faisceau laser et modulateurs).
- Les dispositifs de stockage de données.

Les applications à long terme pourront porter sur :

- Un module complet de « navigation » inertielle, sur un seul microcircuit, qui permettrait de suivre la position d'un objet dans l'espace à chaque instant en mesurant les accélérations qu'il subit sur ses six degrés de liberté (il serait aussi possible de suivre le préhenseur d'un robot). Cela permettrait

d'alléger considérablement les robots pour une précision identique, tout en les rendant beaucoup plus rapides.

- Une augmentation considérable de la vitesse et/ou de la densité de stockage de données et une intégration de nouveaux mécanismes de lecture et d'écriture au sein même des supports de stockage.
- Les systèmes de communication optique, tels que les commutateurs optiques à grande largeur de bande (micromiroirs) pour le multiplexage dans des applications de distribution par fibre jusque chez le particulier ou le quartier.
- La fabrication de pico ou de nanosatellites évoluant en orbite terrestre basse en remplacement de quelques grands satellites géosynchrones dans le but de répondre aux besoins futurs de télécommunications. Un grand nombre de ces satellites pourraient être lancés à un coût très avantageux pour deux raisons : du fait que leur poids est faible (quelques centaines de grammes au lieu de dizaines de kilos) et que le globe peut être couvert dans sa totalité par des dispositifs en orbite basse, si leur nombre est suffisant.

Robotique et intelligence artificielle (IA)

Il existe des bras articulés et autres mécanismes mobiles pouvant effectuer des travaux « manuels », tout comme des caméras et autres dispositifs d'entrée, mais les ordinateurs n'ont pas encore atteint la sophistication nécessaire pour permettre de construire un robot ayant les capacités d'apprentissage et d'adaptation propres aux humains. La rétine humaine, par exemple, traite 10 millions de détections par seconde ou, en termes informatiques, 1 000 MIPS (millions d'instructions par seconde). Le superordinateur le plus puissant actuellement peut traiter 10 millions de MIPS et IBM prévoit de construire pour 2005 un superordinateur de la prochaine génération dépassant le milliard de MIPS. La loi de Moore prévoit que la limite supérieure estimée de la puissance de traitement du cerveau humain (100 milliards de MIPS) sera atteinte avant 2020, alors que 1 000 MIPS suffiraient probablement pour guider des petits robots utilitaires mobiles dans des environnements inhabituels. D'ici à 2010, le premier « robot universel » à compétences générales pourrait être produit. Ce dernier serait doté de capacités « intellectuelles » équivalentes à 5 000 MIPS et pouvant être programmées pour presque tout type de tâche élémentaire. D'ici 2040, des robots universels se déplaçant librement pourraient avoir une capacité de type humain, ce qui leur permettrait de faire des abstractions et des généralisations.

Les contributions les plus importantes de la robotique et de l'intelligence artificielle aux programmes spatiaux pourraient se situer au niveau du développement de systèmes autonomes, évolutifs et hautement distribués. L'autonomie procurera des avantages synergiques, notamment une meilleure exécution des missions ainsi que des concepts de missions plus audacieux et

inédits. Les systèmes spatiaux pourraient exploiter la capacité d'évolution, par exemple en modifiant de façon dynamique leur architecture, structure ou fonction afin d'améliorer les performances de certaines activités. L'évolutivité aura un impact majeur sur les systèmes utilisables pour des missions qui doivent fournir à long terme des performances optimales dans des environnements inconnus, hostiles ou changeants.

Convergence

La classification employée ci-dessus est, bien entendu, quelque peu artificielle. Les changements les plus profonds résulteront probablement de la convergence et des enrichissements mutuels de plusieurs de ces technologies. Le calcul par ordinateur, par exemple, bénéficiera probablement des techniques de fabrication à l'échelle nanométrique et de conceptions inspirées de la biotechnologie. Des ordinateurs plus puissants faciliteront à leur tour le progrès dans ces deux domaines. Toutefois, ce n'est pas parce qu'une technologie est réalisable qu'elle sera nécessairement développée par la suite, ou qu'elle aura un effet majeur dans un domaine donné.

Technologies spatiales

Pour évaluer les effets de la technologie sur l'espace, il est important de déterminer si les activités spatiales ont une vocation facteur technologique ou ont pour objet de répondre à une demande publique ou commerciale. Voici une proposition de segmentation très simple :

- Activités à vocation technologique :
 - ❖ Transport spatial.
 - ❖ Vols spatiaux habités.
 - ❖ Science et exploration.
 - ❖ Reconnaissance (militaire).
 - ❖ Renseignement électromagnétique (militaire).
 - ❖ Programmes de R-D et de démonstration.
- Activités destinées à répondre à une demande publique ou privée :
 - ❖ Télécommunications (civiles et militaires).
 - ❖ Télédétection (civile, à usage dual).
 - ❖ Navigation (civile, à usage dual).

La situation n'est cependant pas aussi nette que le suggère cette énumération. Toutes les activités considérées comme « destinées à répondre à une demande publique ou privée » ont commencé dans les années 60, 70 ou 80 en tant qu'« activités à vocation technologie » relevant de domaines à la pointe du

progrès scientifique ou technique. C'est le cas de la télédétection civile, domaine dans lequel les satellites Landsat (aux États-Unis) et Spot (en Europe) étaient au sommet des performances techniques des capteurs numériques. C'était aussi le cas des premiers satellites du Système GPS, qui utilisaient pour la première fois des horloges atomiques miniaturisées dans l'espace. Sans l'existence de certaines technologies cruciales, de nombreuses applications n'auraient guère été possibles ou n'auraient pas quitté le domaine militaire, pour lequel le facteur coût revêt une importance beaucoup moins grande.

Les satellites de télécommunication actuels sont toutefois conçus pour atteindre une fiabilité et une longévité les plus grandes possibles, avec un minimum d'incertitudes techniques. Leur objectif est d'assurer le service demandé pendant 15 ans, ce qui exclut généralement l'utilisation de solutions innovatrices. Les développements technologiques de pointe, qui pourraient conduire à de nouvelles applications ou considérablement améliorer les applications existantes, doivent être testés dans le cadre de projets expérimentaux pris en charge par les agences spatiales plutôt que dans des programmes commerciaux opérationnels.

Le transport spatial, quant à lui, est classé dans la catégorie des activités axées sur la technologie, mais cela est surtout le cas pour les phases de développement et pour des technologies spécifiques : les moteurs-fusées et les structures qui déterminent la qualité de fonctionnement des systèmes de lancement. Une approche nettement plus prudente peut être adoptée pour les sous-systèmes, par exemple électroniques, qui sont sujets à des processus de qualification particulièrement longs. Dès que le lanceur est opérationnel, il faut éviter toute modification majeure de sous-systèmes qui présenterait un risque de défaillance. C'est la raison pour laquelle les systèmes électroniques sont rapidement dépassés par les technologies électroniques de pointe. Aussi, après quelques années de fonctionnement, les lanceurs spatiaux deviennent des « dinosaures » électroniques pour lesquels trouver des pièces peut poser une réelle difficulté.

Les systèmes spatiaux sont donc des monstres technologiques non sans paradoxes : ils reposent sur des technologies de premier plan pendant leurs phases d'expérimentation et de développement, mais dès qu'ils sont opérationnels, l'accent est mis sur la fiabilité, la longévité et le coût. Cette situation rend la R-D particulièrement importante en tant que source d'innovations majeures pour les activités et les applications spatiales.

Dès lors, la question qui se pose est donc la suivante : quels sont les progrès de la technologie qui pourraient ouvrir la voie à des améliorations majeures ou à des changements qualitatifs dans les activités spatiales au cours des trois décennies à venir ? Ces progrès feraient partie des activités « à vocation technologique » pour éventuellement migrer vers la catégorie des

activités orientées vers la demande ou le marché. Les cinq principaux secteurs technologiques dans lesquels on peut escompter de tels progrès sont :

- La propulsion spatiale.
- Les systèmes de transport spatial.
- La production d'énergie.
- Les systèmes orbitaux (plateformes, charges utiles et instrumentation).
- Les vaisseaux habités.

Propulsion spatiale

La propulsion spatiale est la technologie habilitante par définition pour aller dans l'espace et y effectuer des manœuvres, autour de la Terre ou beaucoup plus loin, pour se placer en orbite autour de corps célestes, atterrir sur certains et éventuellement revenir sur la Terre. Ce domaine technique peut être classé en trois catégories :

- La propulsion principale, pour les premiers étages des systèmes de transport. Elle est caractérisée par une grande poussée et un temps de fonctionnement limité (de quelques minutes à quelques dizaines de minutes au maximum).
- La propulsion utilisée pour l'injection sur orbite et les manœuvres dans l'espace, singularisée par une poussée moins importante, la possibilité d'arrêter et de redémarrer les moteurs à plusieurs reprises et un temps de fonctionnement plus long (de plusieurs dizaines de minutes à la plusieurs jours).
- Les systèmes de propulsion innovateurs.

Propulsion principale

La propulsion principale est actuellement limitée aux moteurs-fusées à ergol liquide ou solide (fusées à poudre). Bien que le premier satellite ait été mis en orbite plus de 46 ans maintenant, les moteurs-fusées à grande poussée nécessaires aux systèmes de transport spatial sont toujours des éléments déterminants, coûteux à mettre au point et à fabriquer, et fondamentalement non fiables. Les échecs catastrophiques de lancements sont toujours un risque pour les missions spatiales, malgré une fiabilité pour les meilleurs lanceurs opérationnels en 2003 de l'ordre de 95-98 %. C'est clairement un domaine où, plutôt que des innovations majeures, il s'agit de faire des améliorations progressives :

- De la fiabilité, ce qui signifie des marges techniques plus confortables, des meilleurs outils d'analyse de la fiabilité et des processus industriels améliorés.
- Du coût, qui est également lié à des processus industriels améliorés.

Avec ces priorités à l'esprit, des améliorations significatives peuvent être envisagées en termes :

- De durée de travail, conduisant progressivement à la possibilité de récupérer et de réutiliser des moteurs ou des systèmes de transport complets.
- D'acceptabilité écologique, ce qui peut entraîner la nécessité de passer de propulseurs d'appoint à ergol solide (Ariane 5, navette spatiale) à des propulseurs à ergol liquide (méthane/oxygène ou oxygène liquide/hydrogène liquide).

Il est probable que les progrès réalisés au niveau des moteurs des étages principaux porteront principalement sur les processus industriels jusqu'à la fin des années 2010, avec la disparition progressive des propulseurs à ergol solide ainsi que la récupération expérimentale et la réutilisation des moteurs des premiers étages. Les innovations radicales resteront du domaine de la R-D et des démonstrations, avec :

- Une conception novatrice des moteurs-fusées permettant un grand nombre de réutilisations.
- La mise au point de moteurs aérobies, tels les statoréacteurs à combustion supersonique (scramjet) qui pourraient théoriquement amener un véhicule de transport spatial jusqu'à Mach 10-15 à une attitude de plus de 60 km.

Les deux technologies envisagées seront axées sur la création de lanceurs réutilisables, mais il est impossible de prévoir lequel s'imposera. Les moteurs-fusées sont plus simples mais les moteurs aérobies sont théoriquement plus performants. De tels moteurs seront intégrés dans les lanceurs réutilisables qui devraient voir le jour à partir de 2015 au niveau des applications militaires et, vers 2020-2025, au niveau du transport spatial civil.

Aucune véritable innovation technique ne sera nécessaire pour réaliser les plus gros lanceurs, dont la charge utile sera bien plus grande que celle d'Ariane 5 ou de la navette (quelque 20 tonnes en orbite terrestre basse), qui pourraient être nécessaires pour les vols spatiaux habités vers la Lune et, plus tard, vers Mars. Un moteur à très grande poussée tel que le RD-171 russe peut suffire à cette tâche, surtout lorsque sa fiabilité aura augmenté de manière significative et que son coût aura baissé suite à une utilisation intensive par des lanceurs commerciaux (Zenit, Atlas-5).

Moteurs d'injection sur orbite et de manœuvre

La propulsion des étages supérieurs et des étages de manœuvre, utilisée pour envoyer des charges utiles sur orbite et pour modifier la trajectoire de sondes lunaires ou planétaires, s'appuie sur des technologies à ergol liquide,

arrivées à maturité et donc sûres. Les grandes innovations attendues se limiteront aux sondes et vaisseaux lunaires et planétaires par :

- L'utilisation de l'énergie solaire à la place de l'énergie chimique des moteurs-fusées à deux ergols. Les moteurs thermiques à énergie solaire peuvent servir aux manœuvres ou au passage d'une orbite basse à une orbite géostationnaire (GEO), à la Lune ou l'espace interplanétaire, pour autant que le vaisseau ne s'éloigne pas excessivement du Soleil.
- Les moteurs-fusées électriques, qui convertissent l'énergie électrique d'un générateur solaire ou nucléaire en énergie cinétique de particules chargées ou de plasma neutre accéléré par des champs électromagnétiques. Ils offrent des poussées relativement faibles mais de longue durée et permettent d'obtenir de grandes variations de trajectoire et de vitesse de manière économique.

La technologie la plus prometteuse est la propulsion électrique, qui commence à être régulièrement utilisée à petite échelle, pour les satellites de télécommunications et les vaisseaux expérimentaux comme la sonde lunaire Smart-1 de l'Agence spatiale européenne (ESA). Il sera indispensable, pour l'avenir de l'exploration du système solaire, que la propulsion électrique atteigne un niveau beaucoup plus élevé (poussée plus importante, meilleures performances et très longue durée). Il conviendra d'accorder une très grande priorité à la R-D, mais les applications dépendront de la disponibilité de sources d'énergie nucléaire puissantes (voir ci-dessous).

Systèmes de propulsion innovateurs

Les idées ne manquent pas dans le domaine des systèmes de propulsion innovateurs qui pourraient, en principe, révolutionner le transport spatial dans les décennies à venir. L'énumération ci-dessous n'est pas exhaustive :

- **Propulsion laser** : un faisceau laser émis depuis la surface de la Terre ou une station spatiale chauffe un moteur-fusée distant qui éjecte de l'hydrogène ou un autre ergol à très grande vitesse.
- **Canon électromagnétique** : un conteneur conducteur est accéléré par des forces électromagnétiques à très grande vitesse (de nombreux km/s) et éjecte (au sommet d'une montagne, dans l'espace, à la surface de la Lune) une charge utile qui peut être une masse inerte (exploitation de ressources extraterrestres pour des ateliers ou des colonies dans l'espace), l'étage supérieur d'une fusée ou un engin spatial.
- **Câble spatial** : une charge utile est attachée à un long câble, lui-même attaché à une station spatiale en vue de tirer parti de la loi de conservation de la vitesse pour augmenter l'énergie de cette charge utile et l'amener sur une orbite plus lointaine sans consommation d'ergol.

- **Voile solaire** : repose sur l'utilisation de la pression de l'énergie solaire sur une structure réfléchissant la lumière pour accélérer cette structure (une variante utilise la pression exercée par un faisceau laser).
- **Propulsion par fusion** : deux versions sont proposées : dans la première un réacteur nucléaire à fusion fournit l'énergie nécessaire à une propulsion électrique à très grande poussée, dans la seconde des micro-explosions thermonucléaires produites par des technologies de fusion laser éjectent les produits de fusion à des vitesses extrêmement élevées.
- **Propulsion par antimatière** : la réaction matière-antimatière comme source d'énergie d'une fusée.
- **Ascenseur spatial** : le système est basé sur la construction d'un câble de 100 000 km dont une des extrémités est proche de la surface de la Terre et dont le centre de gravité se situe au niveau de l'orbite géostationnaire. La loi de conservation de la vitesse ferait en sorte qu'un objet monterait lui-même jusqu'à 100 000 km le long du câble (l'augmentation de l'énergie dont bénéficie l'objet provient de l'énergie de rotation de la Terre, qui diminue légèrement).

Il n'existe pas d'obstacle technique insurmontable à l'application des quatre premières de ces technologies d'ici 2030. La question qui se pose pour chacune d'elles, comme il est d'usage pour les technologies innovatrices, est de savoir quel sera le véritable moteur du développement d'une telle technologie. Le système le plus prometteur pourrait être le canon électromagnétique, qui peut s'appuyer sur la R-D militaire (pour les armes cinétiques terrestres ou spatiales) et peut s'avérer très utile sur la Lune, dès qu'une base permanente y aura été établie.

Les trois autres technologies soulèvent des questions scientifiques ou techniques fondamentales. Les réacteurs à fusion ne devraient pas être disponibles avant 2030 et la production d'énergie par réaction matière-antimatière ne verra le jour qu'au-delà de la moitié du siècle, si ce n'est au siècle suivant. Le concept de l'ascenseur spatial est très simple et ne nécessiterait pas d'innovation scientifique fondamentale, excepté la mise au point d'un matériau dont la résistance sera supérieure d'un facteur dix à celle du diamant.

Systèmes de transport spatiaux

Les systèmes de transport spatiaux doivent être classés en deux catégories, les systèmes non habités à aller simple et les systèmes aller-retour habités ou non. Leurs exigences et leurs contraintes sont très différentes et demandent des solutions technologiques différentes. L'expérience acquise avec la navette spatiale américaine a permis de constater qu'il était erroné de concevoir un système destiné à couvrir les deux types de besoin.

Systèmes non habités à aller simple

Les lanceurs consommables tels que l'Ariane-5 européenne, les Delta-4 et Atlas-5 américains, les Proton et Soyouz russes, le Zenit ukrainien, le H2A japonais, les PSLV et GSLV indiens et le Long March chinois, resteront les principaux véhicules utilitaires de l'espace pour les transports spatiaux non habités dans les deux prochaines décennies. Il est certain qu'aucun nouveau lanceur lourd majeur non réutilisable n'apparaîtra, sauf peut-être l'Angara russe. Le passé nous a démontré que la durée de vie des lanceurs consommables peut être très longue (plus de 40 ans pour le Soyouz russe et le Delta-2 américain).

Il est fort probable préférable d'arguer que améliorer les fusées classiques graduellement plutôt que de passer à un lanceur entièrement nouveau. La situation est comparable à celle des moteurs-fusées à grande poussée : l'objectif sera une plus grande fiabilité et un moindre coût, la priorité étant donnée aux processus industriels. De grands progrès ne seront toutefois pas exclus, la marge des améliorations possibles étant grande. Au sujet des lanceurs consommables développés par les principaux pays à économie de marché, des progrès sont attendus :

- Une fiabilité accrue, dépassant 98 % d'ici à 2010 et 99.5 % en 2020.
- Une baisse du coût (en USD/kg en orbite basse) d'un facteur trois au moins d'ici 2010 et d'un facteur cinq d'ici 2020.

Cela rendra plus difficile l'entrée en scène de lanceurs réutilisables à aller simple non habités compétitifs. C'est pourquoi les lanceurs consommables seront utilisés jusqu'en 2030, si ce n'est plus tard. Cela n'est toutefois pas un véritable problème étant donné que :

- D'ici là ils seront devenus très fiables et économiques.
- Il faudra peut-être, aux alentours de 2020-2030, de nouveaux lanceurs lourds consommables de la classe « Saturn-5 » ou « Energia » pour les missions habitées à destination de la Lune et, plus tard, de Mars.
- Des lanceurs réutilisables seront construits dans les années 2010 et 2020 pour des missions spécifiques pour lesquelles les systèmes de lanceurs consommables ne conviennent pas.

Systèmes de transport aller-retour habités ou non

Ces systèmes sont définis comme étant capables d'aller dans l'espace, sur des trajectoires orbitales ou suborbitales, et de revenir sur la Terre avec au moins une charge utile partielle. On peut les classer en tant que :

- systèmes orbitaux récupérables mais non réutilisables ;

- systèmes orbitaux récupérables et (partiellement ou totalement) réutilisables ;
- systèmes suborbitaux réutilisables.

Systèmes orbitaux récupérables mais non réutilisables

Les astronefs récupérables habités ou non appartiennent à cette catégorie, qui comprenait auparavant des satellites de reconnaissance militaires (surtout en Union soviétique) et des vaisseaux spatiaux habités (Vostok, Voskhod et Soyouz en URSS/Russie ; Mercury, Gemini et Apollo aux États-Unis). Le nouvel astronef habité chinois, qui utilise un lanceur classique non récupérable pour la mise en orbite et une capsule récupérable pour le retour sur la Terre de la charge utile (équipage, images), est également de ce type.

Ce type de système était censé disparaître avec l'avènement de la navette spatiale, du moins pour les missions habitées. Les problèmes rencontrés par cette dernière ont cependant donné un nouvel élan à l'usage de capsules habitées; depuis l'accident de Columbia en janvier 2003, les équipages de la station spatiale internationale (SSI) sont transportés uniquement par des Soyouz russes, et cela jusqu'à ce que la navette soit de nouveau opérationnelle, c'est-à-dire en principe courant 20. Cette situation devrait encore dominer dans la décennie actuelle et probablement la suivante. Il est à prévoir :

- Que Soyouz restera en service jusqu'en 2010.
- Que la NASA mettra au point et exploitera dès 2010 un astronef récupérable, appelé « avion spatial orbital » (OSP). Sa partie récupérable pourrait ressembler à une capsule de rentrée à trajectoire balistique. Cet avion pourrait être lancé par une fusée classique non récupérable telle que l'Atlas 5 ou la Delta-4.
- Que le programme spatial chinois utilisera son astronef Shenzhou récupérable bien au-delà de 2010.

Cette catégorie des systèmes de transport :

- Bénéficiera pleinement de la plus grande fiabilité et du moindre coût des lanceurs consommables.
- Constituera la base technique du projet d'atterrissage d'un grand astronef sur Mars à partir des années 2020, avec notamment des missions habitées.

Systèmes orbitaux récupérables et (partiellement ou totalement) réutilisables

La navette spatiale est le seul système actif de cette catégorie étant donné que son seul concurrent, le Buran soviétique, n'a volé qu'une seule fois dans

les années 80. Avant le premier lancement de la navette en 1981, celle-ci portait des espoirs illusoire d'économie (moins de USD 50 millions par vol avec un équipage de sept personnes et une charge utile de 30 tonnes en orbite LEO) et de fiabilité (risque de défaillance catastrophique inférieur à 0.0001), avec un cycle de rotation court (50 vols par an avec une flotte de quatre véhicules orbitaux). La différence entre les attentes et la réalité est flagrante :

- Quelque 120 vols à peine en 22 ans.
- Deux accidents majeurs faisant 14 victimes et détruisant deux véhicules.
- Une facture d'environ USD 350 millions par vol.

Les États-unis ne peuvent pas abandonner la navette spatiale car elle est indispensable à l'assemblage final de la station spatiale internationale. Il est toutefois clair que la navette ne doit voler qu'occasionnellement (deux ou trois fois par an) pour des missions critiques, tout en étant secondée par l'avion spatial orbital (OSP), engin de la génération précédente de systèmes de transport habités (voir ci-dessus) plus petit et beaucoup moins performant mais représentant un risque nettement moindre. Mis à part un nouvel accident de la navette, la combinaison navette/OSP pourrait former le service de transport de base pour l'ISS jusqu'en 2020 au moins et peut-être jusqu'en 2030.

La leçon à tirer de la navette spatiale est que le développement d'un lanceur réutilisable sera plus long et plus difficile qu'initialement prévu. L'incapacité de beaucoup de programmes expérimentaux, en majorité américains (Orient-Express et X-33), à atteindre leur but est une autre marque des difficultés rencontrées. Pour cette raison, le programme de développement du lanceur réutilisable pourrait se présenter de la manière suivante :

- 2003-15 : R-D intensive, surtout aux États-Unis avec des financements militaires, axée sur une propulsion réutilisable sophistiquée et la réutilisation de structures chaudes, avec des démonstrateurs *ad hoc*.
- 2015-20 : véhicule de croisière hypersonique militaire, atteignant Mach 12-15, appelé à fonctionner comme bombardier à rayon d'action mondial et comme premier étage de lanceurs spatiaux militaires à grande réactivité et faible temps de rotation pour l'exécution de missions spéciales (inspection ou récupération de satellites).
- 2020-30 : co-existence du lanceur réutilisable civil TSTO (à bi-étages), basé sur des technologies d'avion spatial militaire et destiné à des missions spécifiques (notamment transport vers et depuis les stations spatiales et préparation de l'astronef lunaire habité et plus tard de l'astronef en orbite martienne basse) ainsi que d'un lanceur non réutilisable plus économique pour les transports spatiaux commerciaux usuels.

D'ici 2030, le lanceur réutilisable pourra venir concurrencer le lanceur non réutilisable dans le domaine du transport spatial usuel (transport de satellites d'application en aller simple) et la transition d'un système à l'autre pourra véritablement commencer, mais cela ne se produira pas avant 2040 ou 2050. L'expérience acquise par l'industrie dans d'autres domaines a montré que le remplacement d'une technologie dominante (comme l'énergie tirée du charbon) par une autre (le gaz ou le pétrole) est toujours un processus très long.

Cela créera de véritables défis pour l'Europe, la Russie et le Japon, et peut-être aussi la Chine et l'Inde, en ce sens que les investissements nécessaires dans la R-D et, plus tard, dans les systèmes proprement dits, seront gigantesques, d'autant plus que les technologies seront difficiles à maîtriser, sauf peut-être pour les États-Unis. Quoique même pour eux, le défi pourrait être tellement gigantesque qu'un effort multinational, de même nature que celui qui existe pour la recherche en fusion nucléaire, devienne nécessaire. Il est par exemple possible d'envisager une mise en commun des ressources européennes, russes et japonaises.

Systèmes réutilisables suborbitaux

Le développement d'un véritable tourisme spatial, autrement dit la démocratisation (en partie) des voyages spatiaux, ne peut être sérieusement envisagé sans l'astronef réutilisable (même si quelques vols touristiques ont eu lieu ces dernières années à bord de Soyouz, au prix de USD 20 millions) ou le lanceur réutilisable, qui apparaîtra vers la fin des années 2020. Il semble plus probable que le développement du tourisme spatial se fera suivant un parcours technique différent, et qu'il commencera par des vols suborbitaux à vitesse relativement modérée (Mach 4). Le développement des avions spatiaux suborbitaux pour une telle application, du même type que ceux utilisés pour la compétition « X prize » (portant sur le lancement d'un engin habité capable de transporter trois personnes à une centaine de kilomètres d'altitude et de recommencer dans un délai de 14 jours) nécessitera des progrès significatifs en matière :

- De moteurs-fusées réutilisables à ergol liquide.
- De structures capables de résister aux contraintes thermiques et mécaniques d'une rentrée brutale dans l'atmosphère à Mach 4.
- De systèmes-fusées à faible temps de rotation.

Ces défis techniques sont plus faciles à relever que ceux de la propulsion et de la rentrée pour un lanceur réutilisable. Des technologies du secteur aéronautique sont peut être également utilisables. Si la maîtrise technique

progressive des vols suborbitaux débouche sur un succès commercial, l'amorce d'une spirale constructive sera possible avec :

- Davantage d'activités et d'accumulation d'expérience.
- Le développement de systèmes permettant de voler plus vite et plus haut.

Parallèlement à cette spirale constructive, les systèmes mis au point et appliqués au tourisme spatial peuvent converger avec les avions orbitaux spatiaux et les systèmes de lanceurs réutilisables d'ici 2030. Ils peuvent en outre apporter à l'exploitation du lanceur commercial réutilisable l'expérience accumulée dans le tourisme suborbital pour développer le tourisme orbital.

Production d'énergie

L'énergie, élément capital des systèmes spatiaux, s'appuie actuellement sur trois sources différentes :

- Les générateurs solaires photovoltaïques, qui convertissent directement la lumière du soleil en électricité avec un rendement d'environ 20 %. Les générateurs solaires les plus grands fournissent une puissance inférieure à 100 kW.
- Les dispositifs de stockage d'électricité, utilisés quand les panneaux solaires ne sont pas éclairés (c'est-à-dire quand le soleil est éclipsé par la Terre) et sur les astronefs extrêmement maniables pour lesquels les panneaux solaires ne conviennent pas (par exemple la navette). La plupart des satellites utilisent des batteries électrochimiques (nickel-hydrogène par exemple). La navette utilise des piles à combustible H_2-O_2 , qui fournissent à la fois une quantité appréciable d'énergie (environ 12 kW pendant deux semaines) et l'eau nécessaire au système de survie. Les batteries lithium-carbone pourraient offrir un progrès plus significatif que celui obtenu par le passage des batteries nickel-cadmium aux batteries nickel-hydrogène.
- Les générateurs à énergie nucléaire, actuellement limités aux sondes spatiales interplanétaires voyageant loin du soleil (exploration de planètes extérieures) ou opérant à la surface de corps célestes tels que la Lune et Mars (deux semaines d'énergie sur la Lune). Tous les générateurs à énergie nucléaire actuellement en service sont des générateurs radioisotopiques utilisant la chaleur issue de la décroissance de la radioactivité pour réchauffer l'astronef et pour produire de l'électricité.

D'autres sources d'énergie sont :

- Les piles à combustible spatiales, qui sont plus onéreuses d'un facteur dix que les générateurs solaires photovoltaïques et qui ne peuvent être utilisées que pour des missions de courte durée .
- Les systèmes dynamiques utilisant l'énergie solaire pour réchauffer le fluide d'un moteur thermique ont un meilleur rendement et peuvent être

utilisés pour produire plus de puissance que les systèmes photovoltaïques. Ces derniers sont toutefois plus rentables pour les besoins en puissance limités à 20 kW, alors que les systèmes nucléaires seraient plus avantageux au-delà de 100 kW.

En ce qui concerne l'avenir de la production d'électricité dans l'espace, il convient d'examiner les points suivants :

- Les perspectives dans le domaine des panneaux solaires et du stockage d'électricité dans l'espace.
- Les générateurs à énergie nucléaire.
- Les ressources d'énergie dans l'espace pour des habitats spatiaux ou terrestres.

Perspectives dans le domaine des panneaux solaires et du stockage de l'électricité

Dans le cas de ces technologies arrivées à maturité, c'est-à-dire celles mises au point dès le début des applications spatiales, seules des améliorations progressives sont attendues, mais se focalisant sur leur fiabilité. L'énergie solaire spatiale est extrêmement onéreuse, d'un coût de l'ordre de USD 1 million/kW de puissance maximale installée. Avec l'augmentation des besoins en puissance, le silicium devra être remplacé par un semi-conducteur plus performant, le substitut le plus probable étant l'arséniure de gallium (GaAs). Le rendement de celui-ci est supérieur de 40 % à celui du silicium, sa résistance aux rayonnements est plus grande et son taux de dégradation dû à la température est inférieur de moitié à celui du silicium. Même si les cellules GaAs coûtent près de dix fois plus que les cellules au silicium, le surcoût pourrait être compensé par des coûts de lancement plus faibles grâce aux économies résultant du gain de poids. Le phosphate d'indium ($\text{In}_3\text{P}_2\text{O}_8$) est analogue au GaAs en ce qui concerne l'efficacité, mais il résiste mieux à la dégradation due aux rayonnements ; les applications fonctionnelles semblent toutefois encore lointaines.

Même si le rendement des cellules solaires augmente de 30-40 % par l'emploi de nouveaux semi-conducteurs et concentrateurs au cours des prochaines décennies, et même si le coût de fabrication diminue nettement, l'énergie solaire spatiale restera très coûteuse, dépassant ainsi les USD 100 000/kW. Pour améliorer cette situation, l'approche suivante mérite d'être prise en considération : la transformation des générateurs spatiaux en systèmes autonomes, mis au point par des services de fourniture d'énergie qui loueraient les générateurs aux utilisateurs. Ce concept, appelé « PowerSat », alimenterait en électricité les satellites et stations spatiales au moyen de liaisons physiques ou hertziennes. Cette solution ne serait viable que si la demande d'énergie dans l'espace serait telle qu'il serait de l'intérêt des

fabricants de satellites et de stations spatiales de sous-traiter la production d'énergie (en raison du grand nombre de satellites puissants et de nouvelles applications consommatrices d'énergie dans les stations spatiales).

Énergie nucléaire

L'énergie nucléaire est l'une des technologies les plus importantes pour l'avenir des activités spatiales. Elle est décisive pour :

- Permettre des trajectoires plus efficaces et plus courtes pour les voyages interplanétaires : les moteurs-fusées électriques nécessiteront une très grande puissance pour fournir la poussée nécessaire à la propulsion des grands astronefs robotisés et, plus tard, habités, allant sur Mars et peut-être d'autres corps célestes distants. Une durée de trois mois pour aller de la Terre à Mars, au lieu des sept mois habituels propres aux trajectoires à propulsion chimique, serait envisageable. Le niveau de puissance nécessaire se situera dans une fourchette comprise entre 100 kW et plusieurs dizaines de MW, puissances atteignables qu'avec des réacteurs à fission nucléaire. Ceux-ci devront être compacts et sûrs. Le lancement de ces réacteurs depuis la surface de la Terre ne posera pas de problème puisque que le réacteur pourra être lancé avant la divergence de son noyau, lorsque de la radioactivité à bord sera faible (l'uranium enrichi est très faiblement radioactif). Il faudra bien entendu résoudre certains problèmes, de sorte que les opérations dans l'espace soient sûres : protection de l'équipage contre les rayonnements et déclassement en toute sécurité du réacteur nucléaire à la fin de la mission.
- Les importantes sources d'énergie existant à la surface de la Lune ou de Mars, voire d'autres corps célestes, pour les stations de recherche, fixes ou mobiles (robotisées et, plus tard, habitées), permettant l'utilisation de ressources extraterrestres pour extraire l'oxygène, l'eau et d'autres éléments, molécules ou matières, de l'environnement.

Le développement et l'exploitation des réacteurs nucléaires spatiaux seront indispensables à tout programme sérieux d'exploration du système solaire.

Dans un futur prévisible, la puissance nucléaire est susceptible d'être limitée aux missions scientifiques telles que l'exploration des planètes ou de l'espace lointain, où les technologies solaires et autres ne sont guère utilisables. Pour l'heure, l'accent est principalement mis sur les petits systèmes, d'environ 100 kW, mais à plus long terme des réacteurs à fission nucléaire couplés à des générateurs magnétohydrodynamiques pourraient être utilisés comme centrales d'énergie, de faible masse spécifique, pour les systèmes de propulsion électrique à grande puissance. Ces systèmes offrent la densité d'énergie nécessaire tout en restant dans les limites de la faisabilité

technique actuelle. Selon la NASA, le risque que présente le développement technologique d'installations de plusieurs mégawatts est à peine supérieur à celui des centrales à turbogénérateurs, alors que l'avantage est immense : une diminution d'un facteur dix ou plus de la masse spécifique du système.

Ressources d'énergie d'origine spatiale pour les habitats terrestres et spatiaux

L'idée initiale de collecter l'énergie solaire dans l'espace et de la transmettre à la Terre au moyen de faisceaux hertziens remonte à 1968 et au fameux article de Peter Glaser dans *Science*. Le principe est remarquable, et encore plus actuellement dans la mesure où une grande attention est accordée au rôle joué par les centrales d'énergie dans l'émission de gaz à effet de serre. Un satellite à énergie solaire fournirait de l'électricité aux réseaux terrestres avec un minimum de rejet de gaz et de dégagement de chaleur pour l'environnement. Toutefois, la rentabilité du système est encore très éloignée, en raison du coût du transport spatial (qui reste supérieur à USD 1 000/kg en orbite terrestre géostationnaire d'ici à 2030) pour des systèmes particulièrement lourds (au moins 1 000 tonnes en orbite terrestre géostationnaire pour 1 GW de puissance) et pour les panneaux solaires. L'énergie spatiale est une option énergétique pour la seconde moitié du XXI^e siècle, de même que l'énergie de fusion. Des recherches préliminaires seront toutefois nécessaires au cours des prochaines décennies :

- Pour actualiser le concept en prenant en compte les progrès techniques notamment des cellules solaires ou des matériaux.
- Pour faire des essais de transmission hertzienne de l'énergie, technique qui pourrait aussi être utile pour les PowerSat.

Un autre schéma, moins ambitieux, mérite qu'on s'y attarde : l'emploi de la transmission hertzienne pour transférer d'énormes quantités d'énergie électrique depuis des régions isolées disposant de ressources d'énergie peu coûteuses (le nord du Canada, la Sibérie) vers des régions consommatrices situées à des milliers de kilomètres. Le faisceau hyperfréquences serait réfléchi par un réflecteur maillé, d'une masse de quelques tonnes à peine, en orbite terrestre géostationnaire. Un tel satellite-relais d'énergie est envisageable vers 2030, ou du moins dans les deux décennies suivantes.

Systèmes orbitaux

La propulsion et la production d'énergie sont envisagées séparément des systèmes orbitaux (satellites, sondes spatiales, stations orbitales) dont elles font partie intégrante. La raison de cette distinction tient à leur évolution qui dépend principalement de la physique appliquée, domaine dans lequel les progrès sont relativement lents, les grands changements s'étalant sur des années sinon des

décennies. Beaucoup d'autres parties des systèmes orbitaux dépendant davantage de types de technologies qui se développent actuellement beaucoup plus rapidement : microélectronique et traitement de l'information, optique et optoélectronique, systèmes micro-électro-mécaniques MEMS (qui font partie de la nanotechnologie) et matériaux.

- **Microélectronique** – Si la « Loi de Moore » reste valide dans les années à venir, les circuits intégrés auront des capacités de traitement 1 000 fois plus grandes en 2018 (soit le milieu de la période considérée) qu'en 2003. Même si les systèmes spatiaux intègrent les nouveautés électroniques matérielles et logicielles d'une manière prudente, cela aura un effet énorme sur les plateformes spatiales et leurs charges utiles.
- **Optoélectronique** – Domaine apparenté dans lequel les progrès sont extrêmement rapides. Parallèlement aux progrès accomplis en matière de systèmes optiques, tels que le développement de l'optique adaptative, cela augmentera considérablement les capacités des instruments spatiaux tout en les rendant beaucoup plus légers.
- **MEMS** – Systèmes micro-électro-mécaniques qui étendent aux micromécanismes les concepts de miniaturisation et d'intégration qui sont au cœur du succès de la microélectronique, permettant le développement et l'exploitation de machines miniaturisées robustes qui pourraient révolutionner l'exploration spatiale.
- **Nouveaux matériaux** – Robustes et légers, métalliques ou en composites, dont certains tirent parti des développements de la nanotechnologie (les nanotubes par exemple).

Il est impossible de se pencher sur tous les changements qui découleront de l'évolution de ces technologies, mais seulement de donner, comme suit, un aperçu des principales tendances :

Miniaturisation des satellites et sondes de collecte de l'information

Les satellites d'observation de la Terre ainsi que les satellites et sondes scientifiques, qui rassemblent, traitent des données et ne sont pas limités par des paramètres physiques (puissance rayonnée) comme le sont les satellites de télécommunications, s'allègeront tout en étant plus performants. En deux décennies, un facteur dix en termes de masse et de performances a déjà été gagné : en 1986, Spot-1 avait une masse de deux tonnes et une résolution de 10 mètres; en 2008, Pleiade pèsera 200 kilos et aura une résolution inférieure à un mètre, soit une amélioration des performances supérieure à un facteur 100 par unité de masse. La même tendance existe dans l'exploration de l'espace, la sonde Mars Express de 2003 étant plus performante que les sondes américaines Viking de 1976, pour un poids 20 fois plus petit. Cette tendance se

poursuivra probablement avec une amélioration d'un facteur dix ou cent d'ici à 2020 en termes de rapport performance/masse.

Satellites de télécommunications exploités en routeurs

Les satellites de télécommunications sont pour la plupart des relais très simples utilisant des répéteurs dits « à transposition de fréquence » retransmettant les signaux qu'ils reçoivent avec un minimum de traitement, la complexité des processus de télécommunications étant confiée à la composante terrestre. Cela se justifie par le fait qu'il est possible de moderniser cette composante terrestre afin de prendre en compte les progrès techniques, alors que les satellites en orbite ne peuvent pas être modernisés pendant toute leur durée de vie, qui va de 12 à 15 ans.

Cela est sur le point de changer avec l'introduction du traitement à bord, technologie déjà utilisée sur certains satellites militaires. Il s'agit d'une charge utile « intelligente » qui est capable de traiter le flux de paquets numériques formant le signal de télécommunications et d'envoyer chaque paquet individuel à un faisceau ou à une destination spécifique. Cela donnera lieu à des satellites plus complexes utilisant de multiples faisceaux étroits. Ils fonctionneront comme des « routeurs dans le ciel » et deviendront des nœuds du réseau de télécommunication mondial, permettant de réutiliser plusieurs fois les rares ressources en fréquences. Ils pourront fournir des services à large bande en des lieux où les autres technologies de ce type ne sont pas disponibles. Même si des modifications physiques ne peuvent être effectuées pendant la durée de vie du satellite, il est cependant aisément possible de mettre à jour le logiciel de bord et reconfigurer le rayonnement des faisceaux étroits.

Parallèlement, des terminaux à hautes performances et de faible coût, entièrement « plug and play » et utilisant des antennes-réseaux plates tendront à émerger. Le manque de tels équipements terminaux modernes explique la mise en place tardive des satellites multimédias utilisant le traitement embarqué comme les satellites Spaceway et Skybridge, au début des années 2000.

Le retour des constellations de satellites

Ces dernières années, une première génération de constellations de satellites offrant des services de téléphonie mondiaux (Iridium et Globalstar) a échoué sur le plan commercial. Ces échecs étaient principalement dus à une méconnaissance du marché des télécommunications et des avantages physiques élémentaires des constellations. Des réseaux mondiaux de satellites en orbite terrestre basse ou moyenne vont redonner vie à ce concept,

tant pour les télécommunications que pour la télédétection. Les nouvelles constellations pourront pleinement tirer profit :

- D'une réduction de la taille et de meilleures performances des satellites.
- De liaisons intersatellites optiques efficaces.
- De terminaux pour utilisateurs considérablement améliorés.

Robot explorateurs intelligents

L'exploration *in situ* des corps célestes profitera pleinement :

- De la petite taille des robots, permettant de multiplier les sondes et d'améliorer la couverture géographique.
- des grandes capacités de calcul à bord assurant une gestion autonome nettement améliorée, voire quelques applications d'intelligence artificielle.
- Des MEMS, offrant une grande mobilité et permettant d'accéder à des endroits difficiles, par exemple en creusant des trous ou en escaladant des rochers.
- De laboratoires miniatures capables de faire des analyses physiques, chimiques et biologiques élaborées.

Résumé et conclusion

L'examen des technologies habilitantes et des technologies spatiales proposé dans la présente annexe offre quelques indications sur l'évolution future probable des diverses composantes de la chaîne de valeur spatiale.

- **Télécommunications** : les télécommunications spatiales devraient pouvoir tirer avantage des progrès des technologies habilitantes (microélectronique et communication) pour maintenir et peut-être élargir leur part de marché. Des aspects particulièrement significatifs seront :
 - ❖ la commutation par paquets en orbite, l'emploi de faisceaux étroits et la réutilisation des fréquences ;
 - ❖ le retour des constellations de satellites.
- **Observation de la Terre** : les progrès se poursuivront avec la miniaturisation et la plus grande capacité des satellites. Des améliorations d'un facteur dix ou cent sont attendues.
- **Positionnement et navigation** : l'arrivée de Galileo et le GPS permettront de nouveaux progrès en matière de précision et de fiabilité des services de positionnement et de navigation, ouvrant la voie à une gamme plus étendue d'applications à mesure que le coût des récepteurs diminuera.

- **Services de transport** : le progrès sera sans doute plus évolutif que révolutionnaire :
 - ❖ Les lanceurs consommables deviendront plus fiables et leur coût sera divisé par cinq environ dans les 30 années à venir.
 - ❖ Les lanceurs réutilisables feront progressivement leur apparition, les premiers sous la forme d'un bombardier hypersonique, vers 2015 environ.
 - ❖ Le tourisme et l'aventure dans l'espace suborbital pourraient faire leur apparition dans la prochaine décennie, et évoluer vers le tourisme spatial orbital au cours des deux décennies suivantes, contribuant ainsi au développement des lanceurs commerciaux réutilisables vers la fin de la période considérée.
- **Énergie spatiale et production dans l'espace** : comme la réduction du coût de l'accès à l'espace devrait rester relativement modérée dans les 30 prochaines années, peu de progrès sont attendus sur ce plan :
 - ❖ Des progrès pourraient être accomplis dans la production et le transfert d'énergie (les satellites relais de transmission d'énergie solaire entre engins spatiaux pourraient apparaître vers la fin de la période).
 - ❖ Les progrès de l'intelligence artificielle et de la robotique faciliteront grandement la réalisation de grandes structures dans l'espace.

Remarques finales

Le secteur spatial est en phase de reprise après la récession du début des années 2000, mais il est probable qu'il connaîtra à l'avenir de nouvelles périodes d'activité réduite étant donné le caractère cyclique de cette industrie et la situation de surcapacité chronique qui affecte le segment amont.

Cette caractéristique du secteur spatial aura d'importantes conséquences pour les entreprises spatiales et pour la structure future de cette industrie. Les entreprises les mieux à même de résister aux fortes baisses de la demande dans les années à venir seront celles qui pourront attirer des clients dans l'ensemble des trois sous-secteurs de l'espace (c'est-à-dire aussi bien commercial que civil et militaire), car les segments civil et militaire sont moins sensibles au climat économique général que l'espace commercial. Les entreprises spatiales auraient avantage à être intégrées dans des ensembles plus vastes opérant également dans d'autres domaines d'activités et mieux protégés des cycles conjoncturels, surtout si ces entités ont des ressources financières suffisantes pour résister aux conditions défavorables du marché à moyen terme. Toutefois, cette intégration n'a de sens que s'il existe une synergie suffisante entre les activités spatiales et ces autres domaines d'activité. Une intégration verticale est aussi envisageable dans certains cas, car le segment aval semble s'approprier la majeure partie de la valeur générée par la filière et il est moins exposé aux cycles de l'activité. Toutefois, les acteurs spatiaux pourraient ne pas disposer de l'expertise nécessaire pour développer avec succès des applications en aval, et l'espace n'est souvent qu'un élément mineur de l'activité des entreprises en aval. De plus, les entreprises spatiales pourraient ne pas souhaiter se mettre dans la position délicate d'entrer en concurrence avec leurs clients.

Malgré ces problèmes à court et moyen termes auxquels seront confrontées certaines entreprises spatiales, l'avenir à plus long terme du secteur dans son ensemble apparaît positif sur un large éventail d'avenirs possibles, comme l'illustre l'analyse par scénarios des chapitres 2-4. En particulier, les progrès futurs dans le domaine spatial seront sans doute conditionnés dans une large mesure par des considérations stratégiques reflétant des préoccupations accrues quant à la sécurité au plan intérieur et à l'étranger. De plus, l'éventail des applications civiles est également appelé à augmenter, car la valeur de l'espace comme outil pour résoudre les problèmes

sociaux devrait être de plus en plus reconnue, tandis que les applications commerciales pourraient prospérer dans un environnement économique international favorable.

À court ou moyen terme, les applications d'information « immatérielles » comme les télécommunications, l'observation de la Terre et les applications de navigation, vont sans doute dominer compte tenu du coût élevé de l'accès à l'espace. À plus long terme, des applications de transport et de fabrication (par exemple tourisme spatial, satellites relais de puissance) pourraient devenir opérationnelles si le coût de l'accès à l'espace baisse et les voyages dans l'espace deviennent plus fiables.

Bien qu'un certain nombre d'applications spatiales apparaissent prometteuses, leur développement futur est loin d'être garanti. Plusieurs facteurs influenceront considérablement sur leur évolution, notamment les conditions cadres qui régissent l'environnement économique général dans lequel doivent opérer les entrepreneurs de l'espace, ainsi que des facteurs plus directement liés aux modèles économiques adoptés pour développer les applications. Les conditions cadres sont examinées dans la Phase 4 du projet, et les modèles économiques dans la Phase 3. La prise en compte de ce dernier aspect appelle des réponses à un certain nombre de questions, notamment :

- Quelle est la nature de la valeur créée pour l'utilisateur par les offres fondées sur la technologie ?
- Quels sont les utilisateurs potentiels et comment ceux-ci utiliseront-ils les offres ?
- Comment les offres seront-elles produites et fournies aux utilisateurs ?
- Quels sont la structure des coûts et le potentiel de profits du dispositif proposé ?
- Comment les entreprises qui exploitent la technologie vont-elles se positionner entre les fournisseurs et les clients dans la chaîne de valeurs et quels sont les partenaires et les concurrents ?
- Quelles stratégies seront utilisées pour établir et maintenir l'avantage concurrentiel sur les technologies rivales ?

La formulation de modèles économiques gagnants pour le secteur spatial est particulièrement délicate, notamment du fait que toute activité économique dans l'espace implique en général de lourds investissements, de longues périodes de retour sur amortissement et des risques élevés. Le niveau des risques est considérable, non seulement du côté de l'offre (les offres issues de la technologie seront-elles produites à temps et répondront-elles aux attentes ?) mais aussi du côté de la demande (le marché pour les offres proposées se matérialisera-t-il ? ces offres seront-elles encore supérieures aux solutions concurrentes quand elles parviendront sur le marché ?).

Le fait que le segment amont est en général très étroit comparé au segment aval complique encore plus les choses, bien que celui-ci soit un maillon essentiel dans la chaîne de valeurs qu'il contribue à créer. Cela signifie que les décideurs qui font les choix technologiques cruciaux en amont peuvent ne pas être en mesure de pleinement comprendre les implications de leurs décisions en aval, ou risquent de n'être guère incités à accorder beaucoup d'attention à ces implications, si les retombées en aval se font au profit d'autrui.

En gardant tout cela à l'esprit, il importera d'évaluer dans la Phase 3 du projet les initiatives que les pouvoirs publics pourraient souhaiter prendre pour réduire les obstacles à l'investissement privé et rendre ce type d'investissement attrayant pour les investisseurs privés. Les mesures envisageables pourraient comprendre : i) la réduction des besoins d'investissements privés ; ii) l'augmentation des retours sur investissements que peut escompter le secteur privé ; iii) la réduction des risques perçus par le secteur privé ; et iv) la création de nouvelles possibilités d'activités économiques. Dans certains cas, les applications considérées pourraient ne générer que des revenus directs limités, mais avoir aussi des retombées indirectes ou en aval substantielles et largement diffusées. Cela pourrait justifier une participation publique plus directe dans le développement de ces applications et/ou de nouvelles infrastructures spatiales publiques complémentaires.

ANNEXE A

Mesure de l'économie spatiale*

Champ couvert

La présente annexe rassemble des estimations, officielles et autres, du secteur spatial et de son incidence sur l'activité économique. Elle s'appuie principalement sur les bases de données de l'OCDE et les indicateurs développés par la direction de la science, de la technologie et de l'industrie ainsi que la direction des statistiques, mais comprend aussi des données provenant de sources privées telles que des associations professionnelles. Elle met en avant certains des principaux problèmes rencontrés dans l'établissement de données comparables au plan international pour le secteur. Les indicateurs portent sur :

- *La contribution du secteur spatial aux économies de l'OCDE* : la valeur ajoutée et les revenus du secteur spatial, la taille et la croissance de ses différents segments tels que la fabrication de matériel spatial ou les services par satellite.
- *Le commerce des équipements spatiaux* : le rôle des exportations d'équipements spatiaux, la croissance dans le temps et les principales destinations des exportations.
- *La recherche et le développement axés sur l'espace* : les budgets publics pour la R-D axée sur l'espace, les dépenses privées de R-D dans le secteur aérospatial.
- *L'innovation* : les brevets dans les technologies à vocation spatiale.
- *Les budgets publics pour le secteur spatial* : les principales administrations publiques concernées, leurs budgets civils et militaires, les rapports entre les budgets et le PIB, l'évolution des budgets dans le temps.

* La présente annexe a été établie par Dirk Pilat et Sandrine Kergroach-Connan de la Division des analyses économiques et des statistiques (AES) de la Direction de la science, de la technologie et de l'industrie (DSTI). La collecte des données s'est terminée en mars 2003.

Cette annexe est une première compilation de statistiques de l'économie spatiale ; elle pourrait être aussi un premier pas vers l'élaboration d'un ensemble de statistiques officielles et comparables sur le secteur spatial et sa contribution à l'activité économique. En raison du caractère inédit des données et des indicateurs présentés, il convient de faire preuve de prudence dans les comparaisons entre pays.

Conclusions et recommandations

La présente annexe fait apparaître la nature quelque peu fragmentée des statistiques du secteur spatial. Les statistiques officielles manquent souvent de précision et posent des problèmes d'interprétation globale. La plupart des classifications industrielles utilisées par les offices de statistique ne donnent pas la ventilation pour ce secteur, même si le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) fait partiellement exception. Si les classifications des produits et du commerce donnent plus de précisions, elles ne traitent toutefois que des biens produits et commercialisés. Elles ne portent pas sur les services associés au secteur spatial. La R-D et les informations relatives aux brevets donnent également des informations, mais uniquement sur des caractéristiques spécifiques du secteur.

Les données émanant de sources privées sont les plus détaillées et les plus complètes, mais elles soulèvent des questions de comparabilité internationale et de comparabilité des sources. Leurs définitions du secteur diffèrent considérablement, et les compilateurs privés n'utilisent pas toujours les conventions statistiques de référence. Néanmoins, des informations peuvent être obtenues sur le secteur spatial directement auprès de nombreuses sources, principalement parce qu'il est aisé de définir les activités liées au secteur spatial, mais aussi parce que de nombreuses entreprises du secteur sont relativement grandes et regroupées en associations. Les très nombreuses données privées à disposition offrent une vision relativement complète de nombreux pans de l'industrie.

En dépit de la richesse relative des données privées, il convient d'examiner ces sources de très près au niveau de leur utilisation des conventions et procédures statistiques acceptées, de leur cohérence dans le temps et de leur fiabilité en tant que support de documentation. Les dirigeants doivent en tout cas faire preuve de prudence dans l'utilisation d'estimations ou de projections de la demande du secteur industriel pour guider leurs décisions politiques, car les données privées ne suivent pas les mêmes principes statistiques que les sources officielles. Il est possible d'envisager la mise au point d'un ensemble de statistiques « officielles » du secteur spatial, qui pourrait être basé sur des données privées et les sources officielles

disponibles. Les recommandations suivantes peuvent aider à améliorer la qualité et la quantité des statistiques officielles du secteur spatial :

- Il faudrait envisager l'établissement d'un inventaire complet des statistiques disponibles sur le secteur spatial auprès de sources privées et publiques. Un examen attentif et la comparaison des estimations disponibles, de même que des méthodes et des sources de données sous-jacentes, pourraient améliorer la comparabilité internationale. Il serait également utile de travailler avec les fournisseurs de données privés pour améliorer leurs estimations, notamment leur cohérence dans le temps, et les sensibiliser davantage aux conventions statistiques admises au plan international.
- Il faudrait entreprendre des travaux pour aboutir à une ou plusieurs définitions pratiques du secteur spatial, autrement dit pour définir ce qu'il englobe et ce qu'il y a lieu de traiter dans les statistiques.
- Il serait utile d'examiner si des modifications doivent être apportées aux classifications industrielles pour mieux cerner le secteur spatial. Étant donné que 2007 est la date limite fixée par les Nations Unies pour la révision de la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique (CITI), beaucoup de temps pourrait être nécessaire avant que les propositions de changement des classifications industrielles ne soient intégrées dans les normes internationales. Les classifications nationales, telles que la NAICS, traitent déjà de certaines parties du secteur spatial et peuvent être plus faciles à modifier, surtout si les modifications sont relativement mineures.

Statistiques officielles du secteur spatial

Indicateurs existants

1. Taille et croissance du secteur aérospatial
2. Statistiques officielles du secteur spatial américain
3. Exportation de produits spatiaux
4. Aide publique à la R-D spatiale civile
5. Dépenses de R-D aérospatiale des entreprises
6. Les brevets liés au domaine spatial

1. Taille et croissance du secteur aérospatial

- Le secteur spatial n'est pas bien retracé dans les statistiques structurelles officielles. Toutefois, au premier coup d'œil, il apparaît que le secteur aérospatial est de taille relativement réduite. Il représente moins de 4 % de la valeur ajoutée totale du secteur manufacturier de l'ensemble des pays du G7 et moins de 0.6 % de la valeur ajoutée de l'ensemble de l'économie. Sa croissance a néanmoins été rapide.
- Les États-Unis, la France, le Royaume-Uni et l'Allemagne assurent la majeure partie de l'activité du secteur aérospatial des pays de l'OCDE.
- Dans la plupart des pays, la fabrication d'équipements spatiaux ne reflète qu'une petite partie du secteur aérospatial. Elle ne devrait donc compter que pour une très faible part de la valeur ajoutée totale du secteur manufacturier des pays de l'OCDE.

Le secteur spatial dans les statistiques officielles

Actuellement, la terminologie statistique ne propose pas de définition internationalement acceptée du secteur spatial. Globalement, on peut dire que le secteur spatial est le secteur qui englobe tous les acteurs publics et privés intervenant dans la fourniture de produits et de services à vocation spatiale. Pour cette raison, il constitue une longue chaîne de valeur ajoutée, allant des constructeurs de matériel spatial (comme les lanceurs, les satellites, les stations au sol) aux fournisseurs de produits à vocation spatiale (par exemple les systèmes de navigation utilisant le réseau mondial GPS) et de services (tels que les services de météorologie et les services de télévision directe par satellite) destinés aux utilisateurs finaux.

La principale difficulté pour obtenir des informations sur le secteur spatial à partir des statistiques officielles, réside dans le fait que ce secteur ne forme généralement pas une catégorie propre parmi les classifications industrielles existantes. La version actuelle (Révision 3.1) de la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique (CITI) des Nations Unies place la plupart des parties du secteur spatial dans des catégories relativement générales, dont les plus pertinentes sont :

Classe 3530 : Construction aéronautique et spatiale. Cette classe couvre la construction d'engins spatiaux et de leurs véhicules lanceurs, de satellites, de sondes planétaires, de stations orbitales et de navettes.

Classe 6220 : Transport aérien non régulier. Cette classe comprend le lancement de satellites et de véhicules spatiaux ainsi que le transport spatial de voyageurs et de marchandises.

Le secteur spatial dans les statistiques officielles (suite)

Classe 6420 : Télécommunications. Cette classe couvre la transmission de sons, d'images, de données ou d'autres informations par satellite.

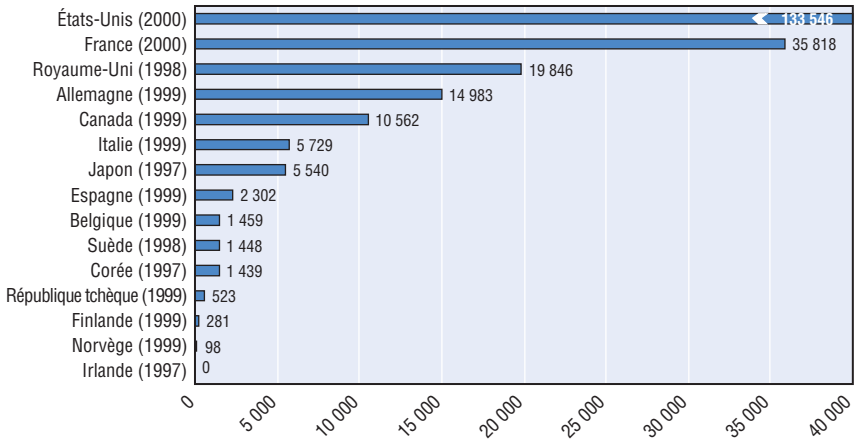
Dans les trois cas, le secteur spatial fait partie d'ensembles industriels beaucoup plus vastes tels que la classe 3530 pour la construction d'aéronefs, la classe 6220 pour les vols charters réguliers et la classe 6420 pour les télécommunications. D'autres segments du secteur spatial qui peuvent s'appliquer sont encore plus dissimulés dans les statistiques officielles : les équipements au sol et les équipements de communication par exemple se trouvent dans des catégories bien plus larges du secteur de la fabrication. Les données de l'industrie émanant de sources officielles se basant sur cette classification ne seront dès lors pas en mesure de donner beaucoup de précision sur le secteur spatial. Des classifications apparentées et comparables telles que la Nomenclature générale des activités économiques dans les Communautés européennes (NACE) ne sont pas plus précises, mais la NACE distingue la classe 6230, Transport spatial. Le North American Industry Classification System (NAICS) donne davantage de précisions que l'ISIC ou la NACE étant donné qu'il fait la distinction entre la construction des équipements spatiaux et celle du matériel aérospatial.

Quelques autres statistiques officielles donnent des indications utiles. Les statistiques des exportations d'équipements spatiaux, par exemple, ainsi que les estimations des budgets officiels consacrés à la R-D spatiale, peuvent être obtenues sans grande difficulté à partir des statistiques officielles.

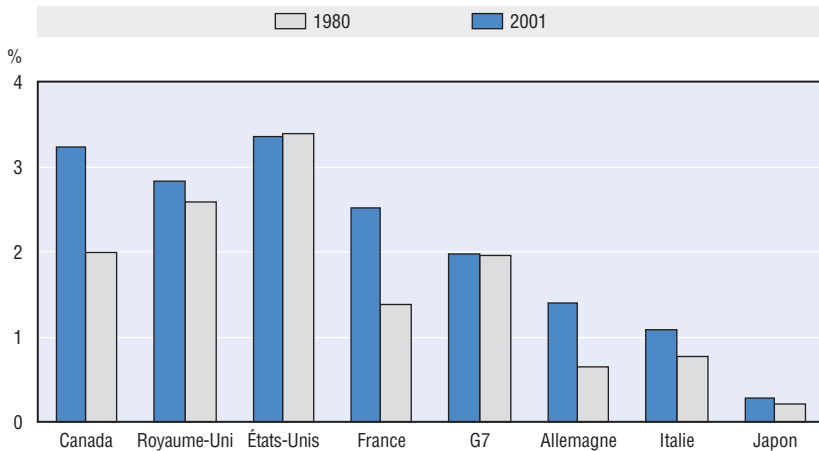
1. Taille et croissance du secteur aérospatial

Figure 1.1. **Production et part du secteur aérospatial**

Production, 2001 ou dernière année connue
Millions d'USD courants sur la base des PPA



Part dans la valeur ajoutée totale du secteur manufacturier, 1980 et 2001

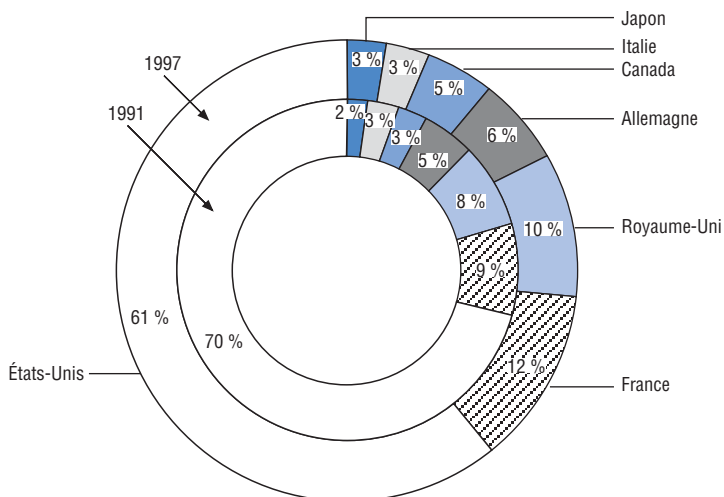


Source : Base de données STAN de l'OCDE, 2003.

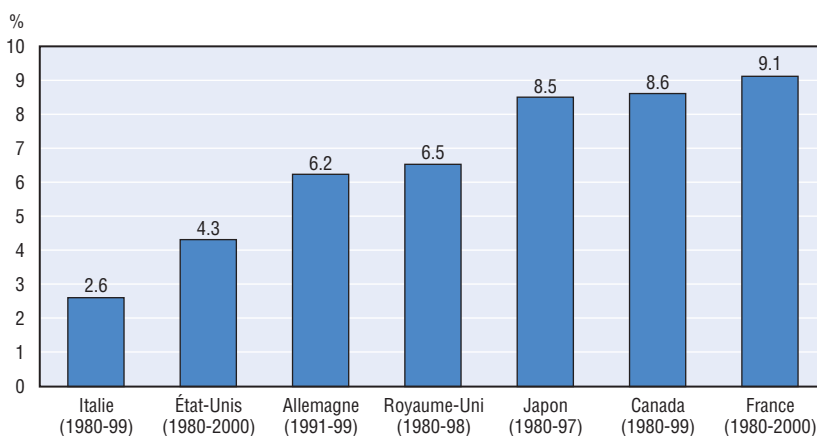
1. Taille et croissance du secteur aérospatial

Figure 1.1. **Production et part du secteur aérospatial**

Production aérospatiale, pays du G7, 1991 et 1997
Pourcentage de la production totale dans les pays du G7



Production aérospatiale, pays du G7, 1980-2000
Croissance annuelle moyenne (%)



Source : Base de données STAN de l'OCDE, 2003.

2. Statistiques officielles du secteur spatial américain

- Les données officielles sont un peu plus complètes en ce qui concerne le secteur spatial américain. Elles montrent un net ralentissement en 2000 et 2001. La part des équipements spatiaux (missiles guidés et véhicules spatiaux) dans le total des emplois et de la valeur ajoutée du secteur manufacturier est tombée, entre 1999 et 2000, de plus de 0.5 % de la valeur ajoutée totale de la période 1997-99 à légèrement plus de 0.3 % en 2000. L'emploi a, lui aussi, considérablement baissé durant cette période.
- La situation du secteur des télécommunications par satellite aux États-Unis est quelque peu différente. Ce secteur a connu une croissance rapide en 1999 et 2000, pour stagner en 2001. Le secteur reste néanmoins relativement petit par rapport au total de l'industrie des télécommunications, dont il représente environ 2.4 % du chiffre d'affaires total en 2001.
- Les données sur les livraisons d'équipements spatiaux montrent aussi une forte baisse en 2001. Les livraisons ont nettement diminué dans tous les domaines, avec l'exception remarquable des missiles guidés complets.

Le secteur spatial des États-Unis dans les statistiques officielles

Le système de classification NAICS donne quelques détails sur le secteur spatial en ce sens qu'il sépare la construction d'équipements spatiaux de l'ensemble de activités aérospatiales et des communications par satellite. Les principales catégories de la classification NAICS couvrant le secteur spatial en 2002 sont :

Class 336414 : Guided Missiles and Space Vehicles.

Class 517410 : Satellite Telecommunications.

On peut donc reconnaître ces aspects du secteur spatial dans les données officielles, à savoir les statistiques de l'office fédéral américain chargé des recensements. D'autres parties du secteur spatial des États-Unis sont plus difficiles à situer dans les statistiques officielles. Elles sont :

Class 334220 : Radio and Television Broadcasting and Wireless Communications Equipment Manufacturing. Couvre les domaines tels que les équipements de positionnement par satellite (GPS), les équipements des stations au sol, la fabrication des satellites, les équipements de communication des satellites, etc.

Class 334511 : Search, Navigation, etc., Equipment. Couvre les équipements de navigation.

Class 515111 : Radio Networks. Englobe les réseaux de diffusion par satellite.

Le secteur spatial des États-Unis dans les statistiques officielles

Class 515210 : Cable and Other Subscription Programming. Comprend les réseaux de télévision par satellite.

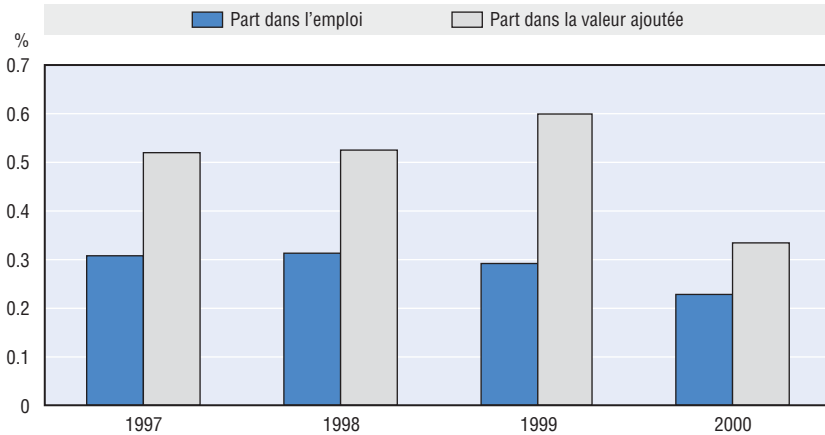
Class 517510 : Cable and Other Program Distribution. Notamment les satellites de radiodiffusion directe, les satellites de radiodiffusion avec réception directe chez le particulier, etc.

Class 517910 : Other Telecommunications. Inclus le suivi et contrôle de la trajectoire des satellites et la télémétrie.

Ces domaines du secteur spatial ne figurent donc pas séparément dans les statistiques officielles.

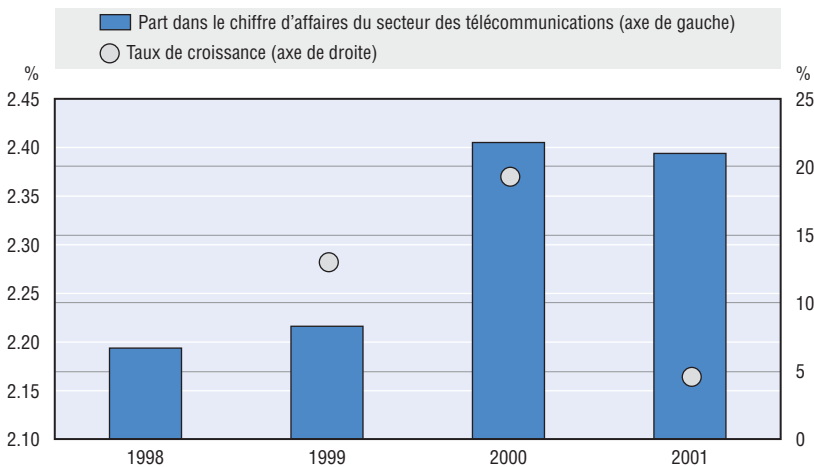
2. Statistiques officielles sur le secteur spatial américain

Figure 2.1. **Contribution du secteur spatial à l'économie des États-Unis**
Part des missiles guidés et des véhicules spatiaux dans le total des emplois
du secteur manufacturier et de la valeur ajoutée 1997-2000



Source : US Bureau of the Census, *Annual Survey of Manufactures*.

Part des communications par satellite dans le revenu des télécommunications
et taux de croissance, 1998-2001

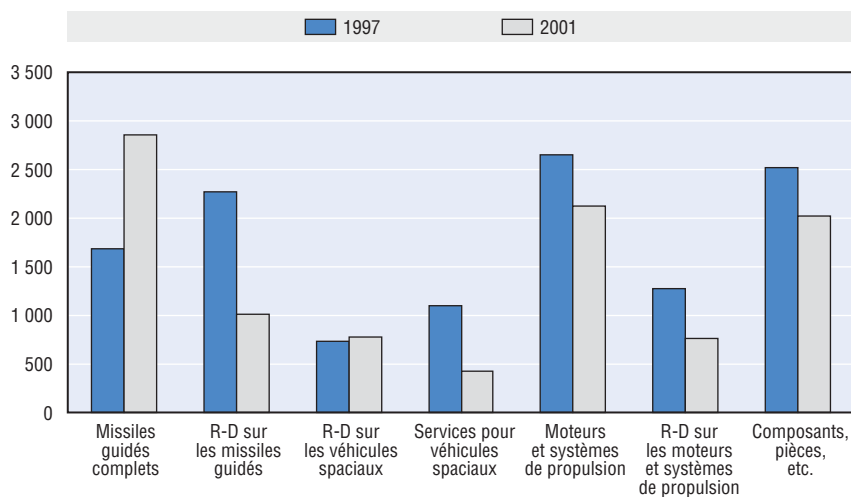


Source : US Bureau of the Census, *Service Annual Survey*.

2. Statistiques officielles sur le secteur spatial américain

Figure 2.2. **Expéditions du secteur des missiles guidés et des véhicules spatiaux, 1997-2001**

Millions d'USD



Source : Bureau of the Census, *Annual Survey of Manufacturers*, Value of Product Shipments.

3. Exportations de produits spatiaux

- Les exportations d'équipements spatiaux ne représentent qu'une petite partie du total. En 2001, elles atteignaient un peu plus de USD 3 milliards, soit moins de 0.1 % des exportations totales de produits manufacturés. La part a quelque peu diminué étant donné que les exportations d'équipements spatiaux ont baissé en valeur depuis 1998.
- Les États-Unis comptent pour plus de 40 % de l'ensemble des exportations. Le Royaume-Uni, la France et l'Allemagne sont les autres grands exportateurs de la zone OCDE.
- Environ deux tiers des exportations sont destinés aux pays de l'OCDE, mais une part substantielle va à d'autres pays, notamment en Amérique latine et en Asie. Un examen détaillé des flux commerciaux montre que beaucoup d'exportations sont destinées à la Guyane française, au Brésil, au Luxembourg, à l'Australie et à Singapour. Dans certaines de ces régions, des sites de lancement d'engins spatiaux peuvent être trouvés.

Mesure du commerce de produits spatiaux

Les classifications des produits et du commerce sont plus détaillées que les classifications par industrie et fournissent donc un peu plus de précisions sur le secteur spatial. Toutefois, comme les classifications du commerce ne couvrent que les biens physiques, elles ignorent les services, alors que ceux-ci constituent la majeure partie du secteur spatial. La classification commerciale de l'Organisation mondiale des douanes (ledit Système harmonisé) distingue certaines catégories de marchandises qui couvrent le secteur spatial. Les principales sont :

HS 8802.60 : Véhicules spatiaux (y compris les satellites) et leurs véhicules lanceurs et véhicules sous-orbitaux.

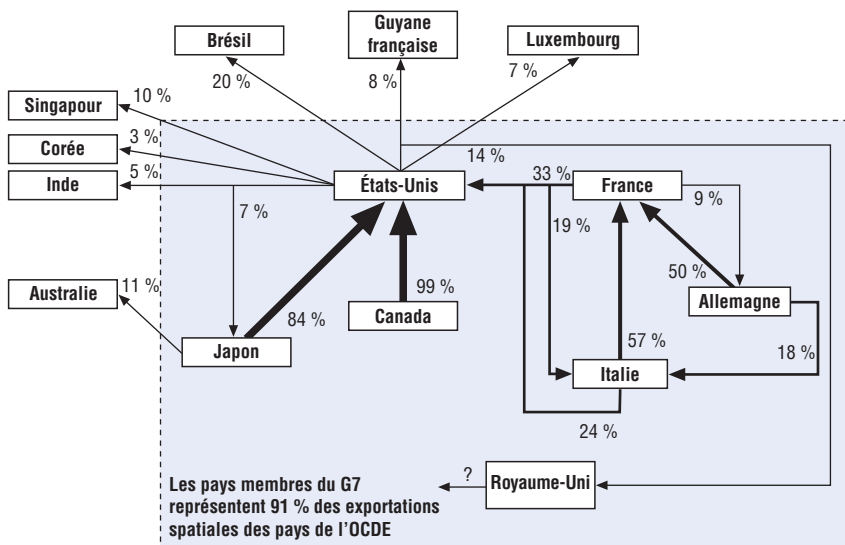
HS 8803.90 : Parties de véhicules aériens et spatiaux, n.d.a.

Pour cette raison, certaines statistiques peuvent être obtenues sur le commerce de produits du secteur spatial à partir des statistiques du commerce international. Cela ne s'applique toutefois pas à certains produits à vocation spatiale classés « secret ».

3. Exportations de produits spatiaux

Figure 3.1. **Exportations de produits spatiaux des pays du G7 par pays de destination, 2001**

En pourcentage des exportations nationales de tels produits

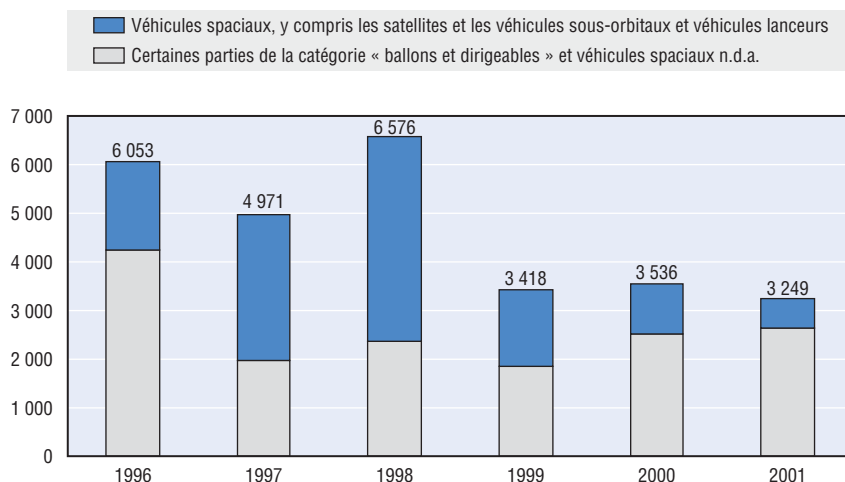


Note : Ne couvre que les pays attirant plus de 10 % des exportations nationales de produits spatiaux.

Source : OCDE, Statistiques annuelles sur les échanges internationaux, 2003.

Figure 3.2. **Exportations de produits spatiaux de la zone OCDE, 1996-2001**

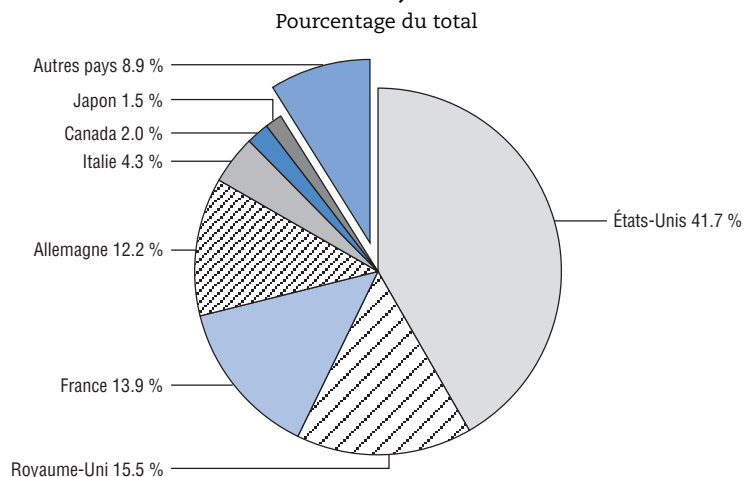
Millions d'USD



Source : OCDE, Statistiques annuelles sur les échanges internationaux, 2003.

3. Exportations de produits spatiaux

Figure 3.3. **Part des principaux exportateurs dans le total des exportations de l'OCDE, 2001**



En 2001, les pays du G7 représentaient 91 % des exportations de produits spatiaux de la zone OCDE dans le monde, évaluées à USD 3 249 millions

Source : OCDE, Statistiques annuelles sur les échanges internationaux, 2003.

Tableau 3.1. **Marchés des exportations de produits spatiaux des pays du G7, 2001**

	USD *(× 1'000)	%
Total	2 461 536	100
Pays de l'OCDE	1 667 329	67.7
Pays non- OCDE	794 207	32.3
Pays de l'OCDE	1 667 329	100
<i>dont :</i>		
Pays du G7	1 299 576	77.9
Autres pays de l'UE	270 712	16.2
Pays non OCDE	794 207	100
<i>dont :</i>		
Amérique	378 093	47.6
Amérique du Sud	261 578	32.9
Amérique centrale	3 421	0.4
Autres (Amérique)	113 093	14.2
Asie	271 978	34.2
Europe	132 633	16.7
Afrique	11 277	1.4
Océanie	226	0.0

Source : OCDE, Statistiques annuelles sur les échanges internationaux, 2003.

4. Aide publique à la R-D spatiale civile

- En 1999, les pays de l'OCDE ont consacré quelque USD 13 milliards à la R-D spatiale civile, dont 94 % par les pays du G7 et plus de la moitié par les États-Unis.
- Non seulement les États-Unis disposent du budget de R-D spatiale le plus important, mais la part du budget total consacrée à la R-D spatiale y est également la plus élevée. La France (ou l'Europe si elle est considérée dans son ensemble) vient en deuxième position. Le Japon contribue aussi pour une grande partie au budget public que l'ensemble des pays de la zone OCDE consacre à la R-D spatiale.
- La France, l'Allemagne et l'Italie assurent la plus grande partie de l'effort européen, même si la Belgique et l'Espagne consacrent aussi une part importante de leur budget public de R-D à l'espace.
- Les crédits relatifs à la R-D spatiale ont considérablement évolué au cours des années. La part qui y est actuellement consacrée dans les budgets publics est proche de celles du début des années 90, après avoir atteint des sommets vers le milieu des années 90.

Mesure de l'aide publique à la R-D spatiale privée

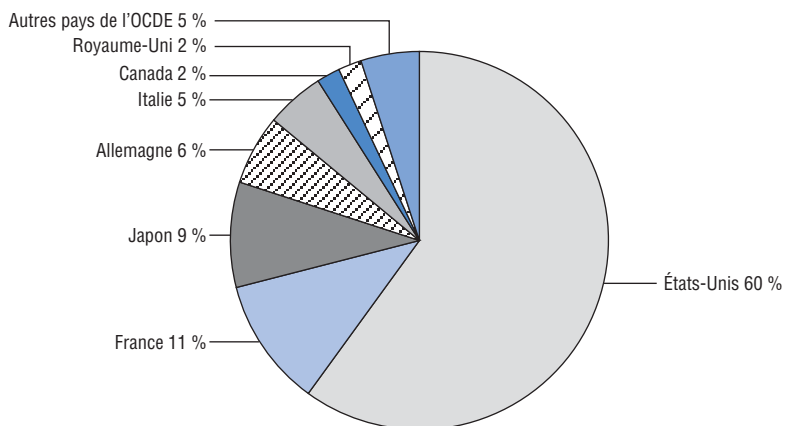
Il y a deux moyens de mesurer combien les États consacrent à la R-D. Le premier consiste à étudier les unités qui effectuent cette R-D, le deuxième à utiliser des données tirées des budgets. Celles-ci sont officiellement appelées les « crédits budgétaires publics de R-D » (CBPRD). Les crédits CBPRD représentent les fonds consacrés par les autorités fédérales ou centrales à la R-D dans un des quatre secteurs d'exécution – entreprises privées, pouvoirs publics, formation universitaire, secteur privé à but non lucratif – au plan national ou à l'extérieur (y compris par des organisations internationales). Les allocations publiques à la R-D sont également classées par objectif socio-économique principal. En conséquence, les CBPRD sont le reflet des priorités du moment des pouvoirs publics.

Il convient de ne pas considérer le CBPRD comme une référence directe à un exercice budgétaire public national. Même si certains programmes de R-D bénéficiant d'un appui officiel ont un but unique, d'autres programmes peuvent bénéficier de cette aide pour de nombreuses autres raisons. En conséquence, les données sur les CBPRD sont moins précises que les données sur l'exécution de la R-D, et leur niveau de comparabilité internationale est sans doute plus bas que celui d'autres séries d'apports à la R-D traitées dans le *Manuel de Frascati* de l'OCDE. Dans la catégorie espace, un problème additionnel est qu'une partie du budget attribué à l'espace peut se trouver sous la R-D liée à la défense, qui n'est pas prise en compte ici mais peut être assez substantielle selon les pays.

4. Aide publique à la R-D spatiale civile

Figure 4.1. **Budget OCDE pour la R-D spatiale, par pays, en 1999**

Pourcentage du total des crédits CBPRD de l'OCDE
accordés aux programmes spatiaux civils

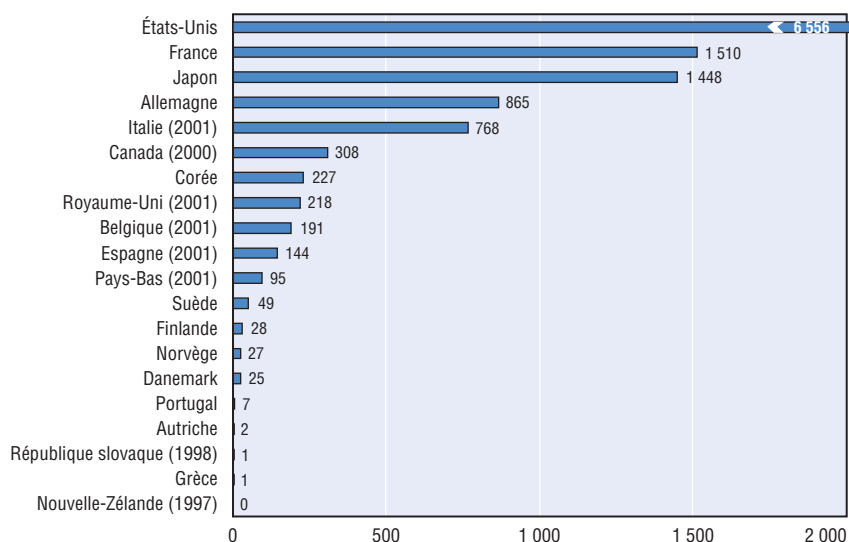


Source : Base de données de l'OCDE sur la R-D, février 2003.

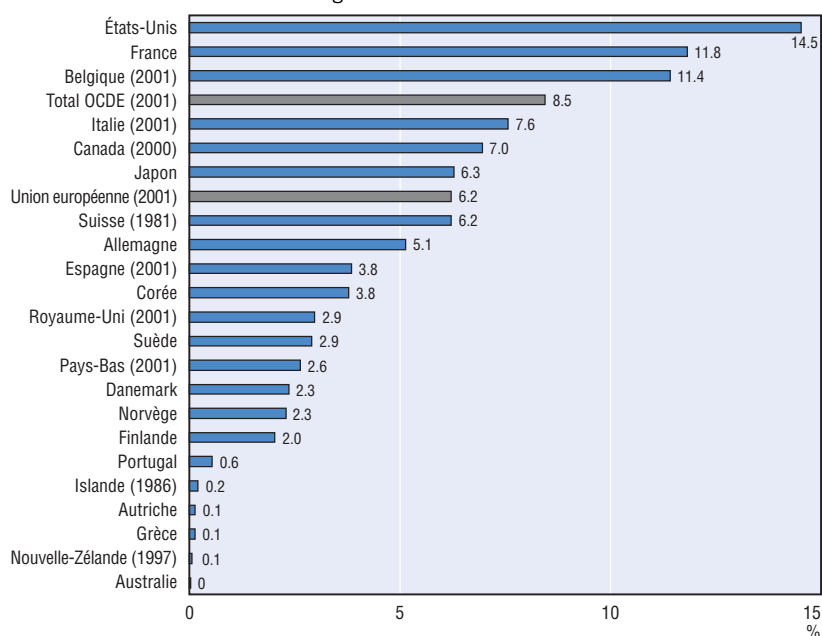
4. Aide publique à la R-D spatiale civile

Figure 4.2. **CBPRD civils pour les programmes spatiaux dans la zone OCDE, 2002**

Millions d'USD courants sur la base des PPA



Pourcentage du total des CBPRD civils

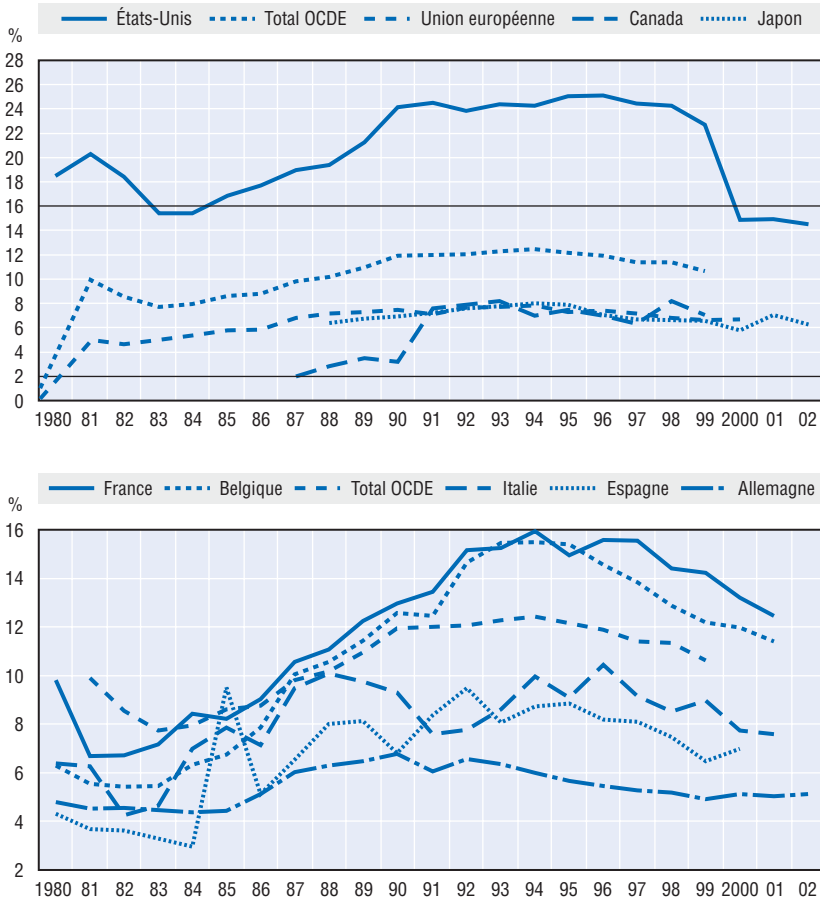


Source : OCDE, base de données sur les principaux indicateurs de la science et de la technologie, 2003.

4. Aide publique à la R-D spatiale civile

Figure 4.3. **Évolution des CBPRD accordés aux programmes spatiaux civils, 1980-2002**

Pourcentage du total des CBPRD



Source : OCDE, base de données sur les principaux indicateurs de la science et de la technologie, 2003.

5. Dépenses de R-D aérospatiale des entreprises

- La majeure partie des dépenses de R-D aérospatiale des entreprises est assurée par quelques pays seulement. En 1998, les pays du G7 et les États-Unis représentaient respectivement 97 % et 61 % des USD 23 milliards consacrés à la recherche aérospatiale dans la zone OCDE.
- Toutefois, alors que les dépenses de R-D du secteur aérospatial ont légèrement augmenté dans la plupart des pays de l'OCDE, les dépenses des États-Unis sont tombées à moins de la moitié de leur volume dix ans plus tôt.
- Étant donné la forte expansion générale des dépenses de R-D des entreprises au cours de la décennie précédente, la modeste augmentation de la R-D aérospatiale indique un ralentissement relatif dans ce domaine au profit d'autres. Entre 1987 et 2000, les États-Unis, la France et le Royaume-Uni ont tous enregistré de fortes baisses de la DIRDE aérospatiale (dépenses de R-D des entreprises) dans la DIRDE totale du secteur manufacturier.
- Ce déclin a aussi conduit à une intensité moindre de la R-D dans le secteur aérospatial. En comparant le rapport de la DIRDE aérospatiale à la DIRDE totale du secteur manufacturier avec le rapport de la valeur ajoutée du secteur aérospatial à la valeur ajoutée totale du secteur manufacturier, il est à constater que le secteur aérospatial a un coefficient de R-D plus élevé que d'autres secteurs de haute technologie. Toutefois, alors que l'importance de la R-D des secteurs de haute technologie est restée stable dans le temps, celle du secteur aérospatial a décru, notamment en Allemagne et en France.

5. Dépenses de R-D aérospatiale des entreprises

Dépenses de R-D des entreprises

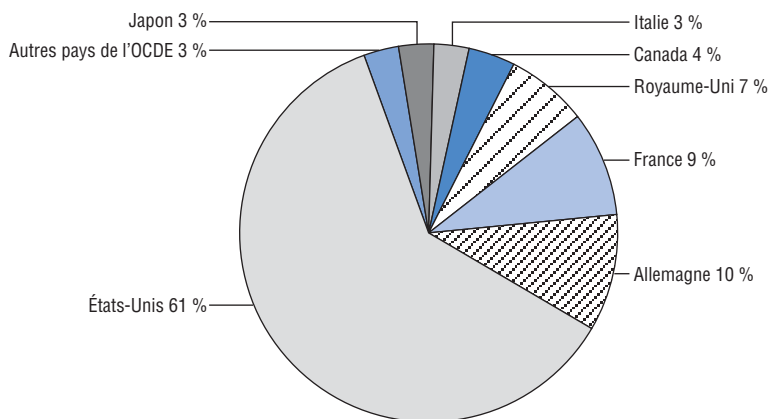
La R-D des entreprises (DIRDE) comprend les activités de R-D effectuées dans le secteur des entreprises par des établissements et organismes d'exécution, indépendamment de l'origine du financement. La R-D industrielle est étroitement liée à la création de nouveaux produits et de nouvelles techniques de production, mais aussi aux efforts d'innovation d'un pays. Le secteur des entreprises comprend d'une part les entreprises, organisations et institutions dont l'activité principale est la commercialisation de biens et de services en vue de leur vente au public à des prix économiquement significatifs, et d'autre part les organisations privées et à but non lucratif qui les desservent principalement.

Les estimations présentées ici sont tirées de la base de données ANBERD de l'OCDE. Celle-ci a été constituée pour disposer d'un ensemble de données cohérent permettant de surmonter les problèmes de comparabilité internationale et les interruptions temporaires associées aux DIRDE fournies à l'OCDE par ses pays membres. Les données ANBERD sont donc des estimations tirées des données officielles fournies par les autorités statistiques nationales. Elles sont fondées sur la CITI, Révision 3, 1987-2000. Cette classification industrielle donne uniquement des estimations pour le secteur aérospatial dans son ensemble; elle ne fait pas de distinction particulière pour la R-D privée consacrée aux équipements spatiaux.

5. Dépenses de R-D aérospatiale des entreprises

Figure 5.1. **Dépenses de R-D du secteur aérospatial des pays de l'OCDE, 1998-2001**

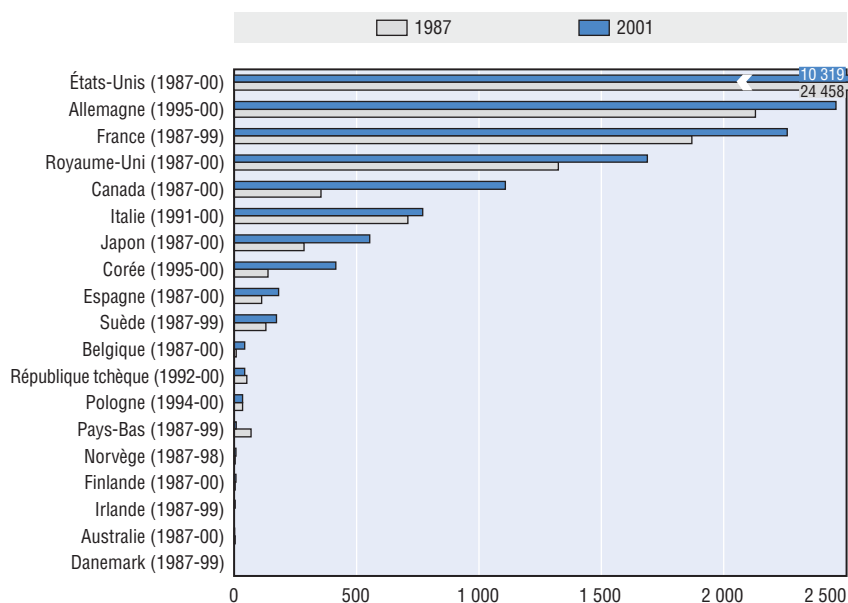
Pourcentage des dépenses totales de l'OCDE en matière de R-D pour le secteur aérospatial



Source : OCDE, Base de données ANBERD, février 2003.

Figure 5.2. **DIRDE du secteur aérospatial, 1987-2001**

Millions d'USD courants sur la baisse des PPA

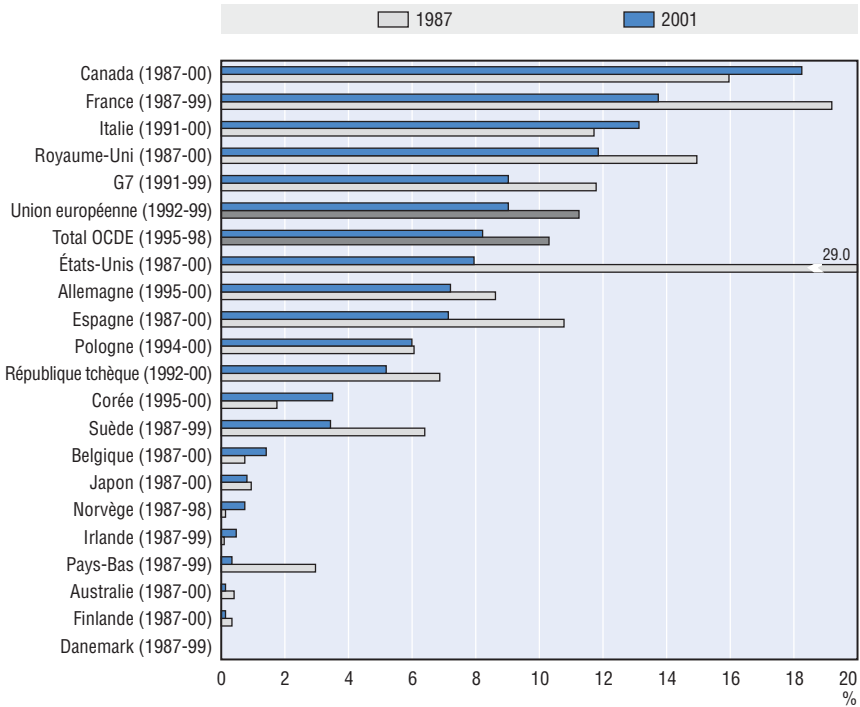


Source : Bases de données STAN et ANBERD de l'OCDE, février 2003.

5. Dépenses de R-D aérospatiale des entreprises

Figure 5.3. **Part du secteur aérospatial dans la R-D totale des entreprises, 1987-2001**

Pourcentage de la DIRDE totale du secteur manufacturier

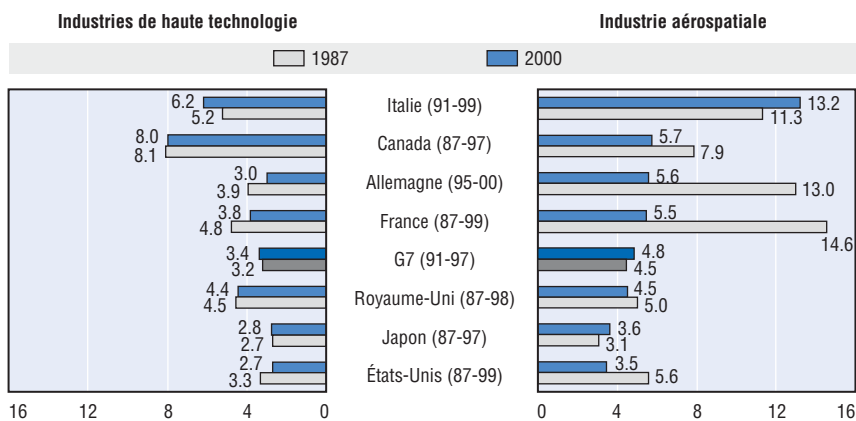


Source : Bases de données STAN et ANBERD de l'OCDE, février 2003.

5. Dépenses de R-D aérospatiale des entreprises

Figure 5.4. **Indice de l'intensité de R-D du secteur aérospatial et autres industries de haute technologie, 1987-2001**

Rapport entre la part du secteur dans la DIRDE totale et dans la valeur ajoutée de l'ensemble du secteur manufacturier



Source : Bases de données STAN et ANBERD de l'OCDE, février 2003.

6. Les brevets dans le domaine spatial

- La délivrance de brevets pour des inventions à vocation spatiale se fait essentiellement dans les pays de l'OCDE. Entre 1981 et 2001, ces derniers ont été à l'origine de 97 % des demandes adressées à l'Office européen des brevets (OEB) et de pratiquement tous les brevets du Patent & Trademark Office (USPTO) américain.
- Les États-Unis sont les premiers demandeurs de brevets « spatiaux » à l'OEB avec 48 % du total des demandes correspondantes. Ils contribuent aussi pour plus des trois quarts du total des brevets délivrés par l'USPTO.
- Parmi les pays européens, la France et l'Allemagne sont les deux principaux demandeurs de brevets spatiaux auprès des deux administrations en question.
- La France, la Hongrie, les États-Unis et, dans une moindre mesure, l'Espagne, font preuve d'une spécialisation relative élevée dans le domaine des brevets spatiaux. Toutefois, si les caractéristiques des spécialisations sont relativement constantes dans le temps à l'USPTO, elles ont notablement changé à l'OEB. Ces différences des indices de spécialisation sont révélatrices de l'apparition de nouveaux demandeurs de brevets dans le domaine des inventions à vocation spatiale.

6. Les brevets dans le domaine spatial

Les brevets, indicateurs de la performance technologique

Un certain nombre d'études ont montré la fiabilité des données relatives aux brevets en tant qu'indicateurs de l'innovation technologique. Elles ont fait apparaître qu'une grande partie des inventions des entreprises sont brevetées et qu'une part importante de ces brevets deviennent des innovations ayant un usage économique. Les brevets sont révélateurs des inventions et des innovations dans les petites entreprises et dans les services techniques des grands groupes, caractéristiques que les seuls indicateurs de R-D ne peuvent pas mesurer correctement.

Le type le plus simple d'indicateur donné par des brevets s'obtient en comptant le nombre de brevets qui répondent à un ou plusieurs critères. Les innovations ne sont cependant pas toutes couvertes par des brevets, nombre d'entre elles étant protégées par d'autres types de régime de propriété intellectuelle, voire par le secret.

Les descriptions des activités de dépôt de brevets des divers pays peuvent varier considérablement selon l'organisme de brevets considéré. Cela provient du fait que la part d'un pays dans le nombre total de brevets dépend de l'importance pour ce pays de l'organisme de brevets considéré. De plus, la nationalité d'un brevet peut être définie comme étant celle de l'inventeur ou celle du pays du premier enregistrement.

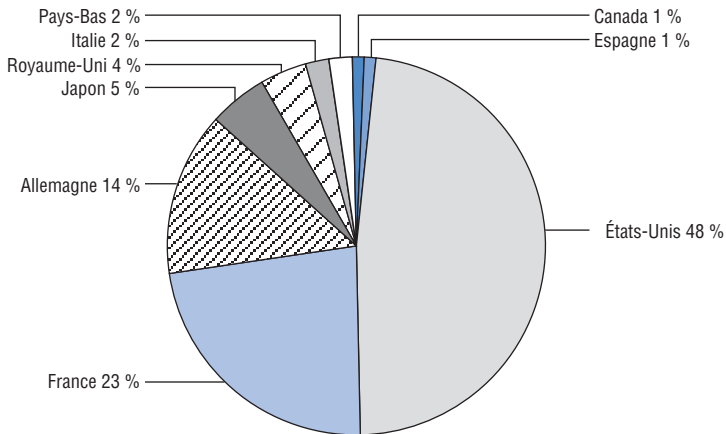
Les données nationales relatives aux activités de délivrance de brevets peuvent par ailleurs être réparties par région afin d'examiner la distribution géographique des activités technologiques. Le principal problème de méthodologie réside dans la façon d'attribuer les brevets aux régions d'une manière qui témoigne de l'inventivité, car les brevets sont généralement attribués en fonction de l'adresse de l'inventeur ou de l'entreprise qui détient le brevet.

6. Les brevets dans le domaine spatial

Figure 6.1. **Part des pays dans les brevets à vocation spatiale délivrés par l'OEB et l'USPTO, 1980-2001**

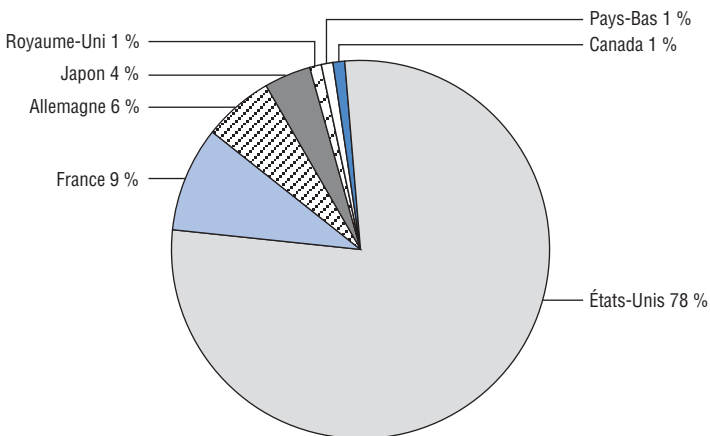
Pourcentage du total des demandes/délivrances de brevets pour des inventions à vocation spatiale au cours de la période

Pourcentage de demandes de brevets à l'OEB pour des inventions à vocation spatiale



Les pays de l'OCDE représentent 97 % de l'ensemble des demandes de brevets liés au domaine spatial déposées auprès de l'OEB entre 1980 et 2001

Pourcentage de demandes de brevets à l' USPTO pour des inventions à vocation spatiale



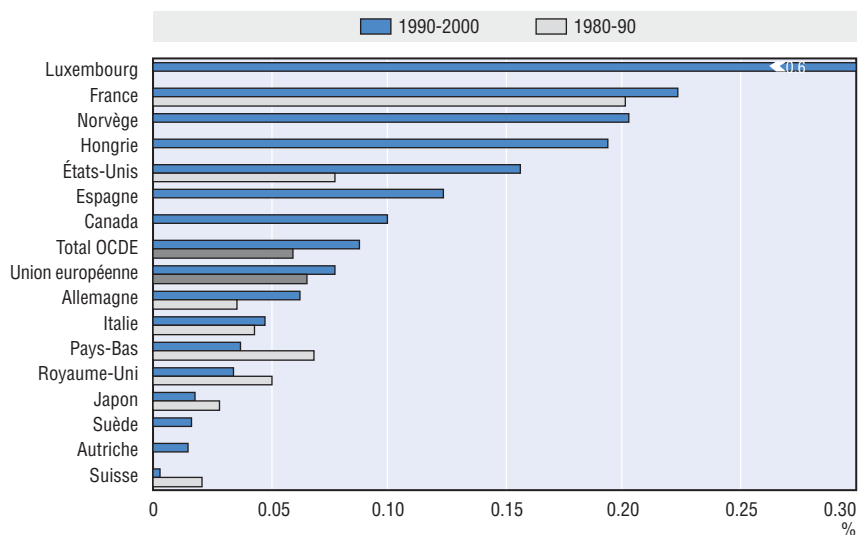
Les pays de l'OCDE représentent 99 % de l'ensemble des demandes de brevets liés au domaine spatial délivrés par l'USPTO entre 1980 et 2001

Source : Base de données de l'OCDE sur les brevets, février 2003.

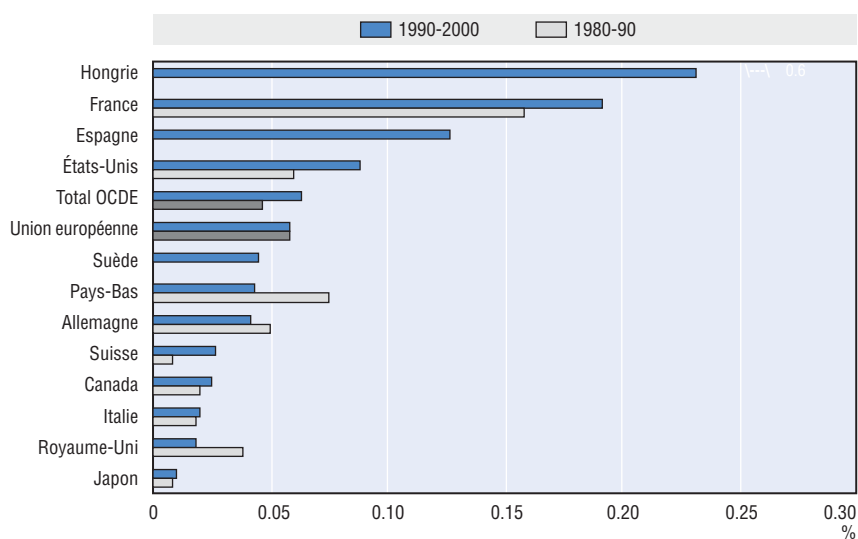
6. Les brevets dans le domaine spatial

Figure 6.2. **Part des inventions à vocation spatiale dans l'ensemble des brevets nationaux, 1980-2000**

Pourcentage de demandes de brevets nationaux à l'OEB



Pourcentage de brevets délivrés au pays par l'USPTO

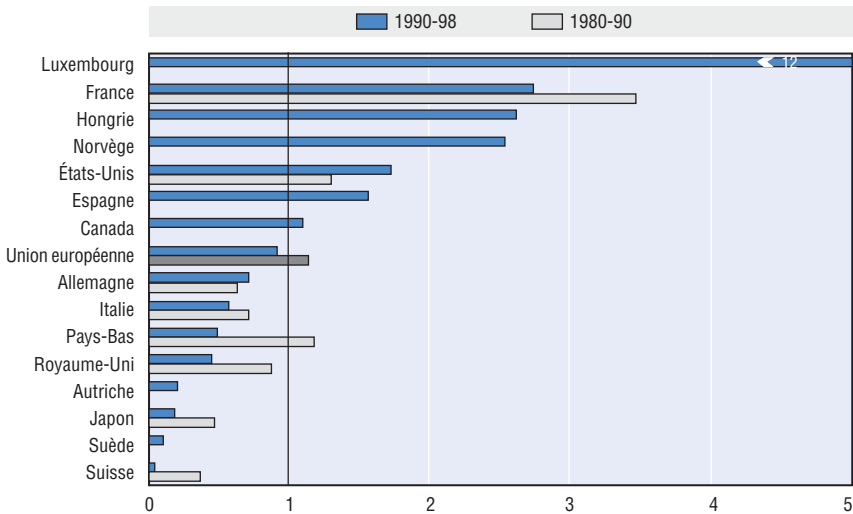


Source : Base de données de l'OCDE sur les brevets, février 2003.

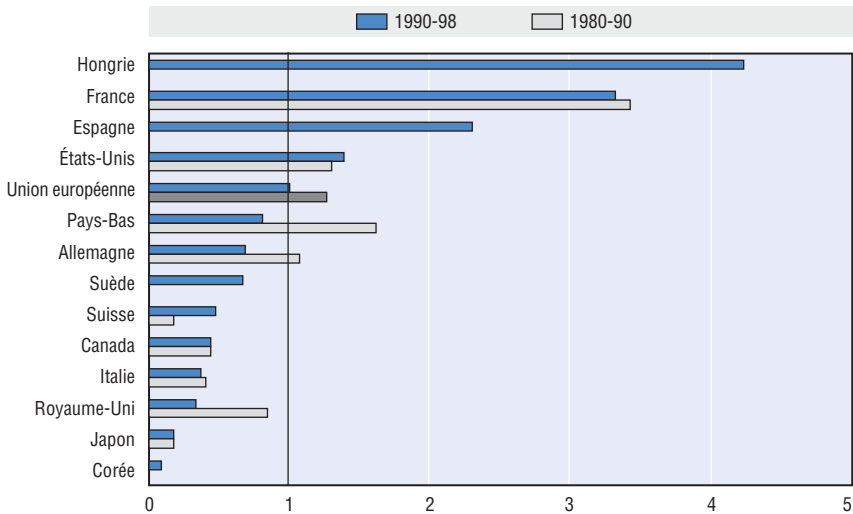
6. Les brevets dans le domaine spatial

Figure 6.3. **Spécialisation dans le dépôt de brevets d'inventions à vocation spatiale, 1980-98**

Indice basé sur les demandes de pays de l'OCDE à l'OEB



Indice basé sur les délivrances de brevets par l'USPTO aux pays de l'OCDE



Note : L'indice de spécialisation est le rapport entre la part du pays dans le stock de brevets spatiaux de l'OCDE (octroyés ou demandés) sur la période considérée et la part du pays dans le stock de brevets de l'OCDE dans l'ensemble des domaines. Un indice supérieur à 1 dénote une spécialisation spatiale relative élevée.

Source : OCDE, bases de données sur les brevets et les PSTI, février 2003.

Le secteur spatial dans les indicateurs statistiques privés

7. Revenu de l'ensemble du secteur spatial
8. L'emploi dans le secteur spatial
9. Structure du secteur spatial européen
10. Budgets publics pour le secteur spatial

Mesure du secteur spatial au moyen de statistiques privées

Les statistiques privées offrent considérablement plus de détails sur le secteur spatial. Généralement, les données sont obtenues directement auprès des entreprises actives dans le secteur et souvent *via* une association industrielle. Étant donné que le secteur est principalement formé de grandes entreprises bien organisées, la couverture de l'ensemble de l'industrie est relativement satisfaisante. Cependant, les sources privées n'utilisent pas toujours les définitions statistiques communément admises, ce qui impose plusieurs limites à leur utilité.

Les données privées ne respectent pas nécessairement les conventions statistiques. Les offices statistiques nationaux établissent souvent des statistiques sur la valeur ajoutée et les coûts intermédiaires d'un secteur, qui donnent une idée de la structure des coûts du secteur et établissent un lien entre le secteur et la valeur ajoutée totale de l'économie, autrement dit le produit intérieur brut (PIB). Les données privées sont généralement axées sur le chiffre d'affaires ou le revenu ; or les données sur la production et le revenu peuvent avoir été comptés deux fois, car une certaine partie de la production de l'entreprise peut déjà avoir été comptée en tant que production d'autres entreprises, celles-ci en alimentant d'autres. Les estimations de la valeur ajoutée peuvent corriger cela en ôtant les entrées intermédiaires provenant d'autres entreprises et en comptant uniquement la valeur qui est ajoutée par chaque entreprise.

Mesure du secteur spatial au moyen de statistiques privées (suite)

Les offices statistiques tentent de classer la production des entreprises dans les secteurs appropriés et d'utiliser une répartition qui offre un aperçu complet de l'économie. Bien que cette répartition soit généralement insuffisante dans le cas du secteur spatial, elle fournit néanmoins une structure qui est parfois absente des statistiques privées. Cela devient particulièrement problématique si plusieurs sources privées différentes n'utilisent pas la même classification, autrement dit si certaines d'entre elles attribuent la production d'une entreprise au secteur spatial alors que d'autres l'attribuent à une autre industrie.

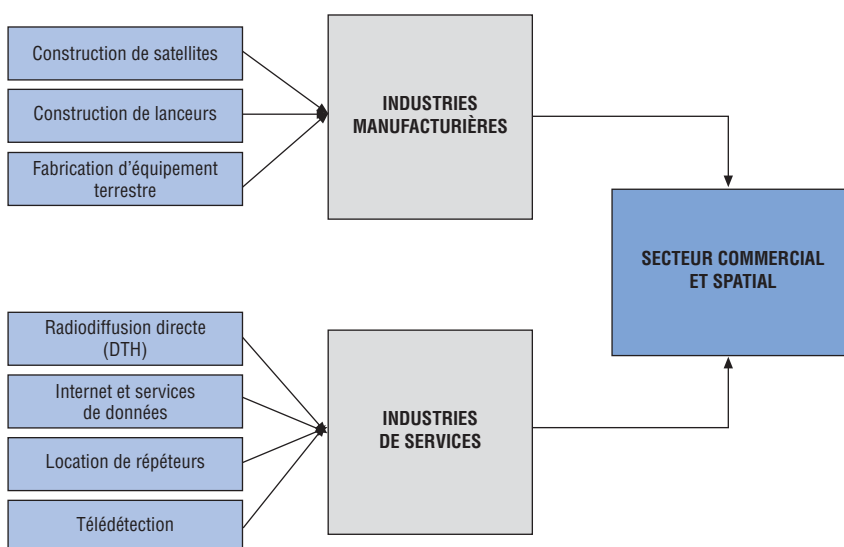
Les offices statistiques s'efforcent d'utiliser des méthodes qui sont cohérentes dans le temps. Cela n'est pas toujours le cas des sources privées, Eurospace étant toutefois une exception notable.

Généralement, les offices statistiques ne publient des résultats qu'à partir du moment où ils sont convaincus de la fiabilité des données. Les sources privées, quant à elles, rassemblent généralement les données dans le contexte d'études, et comme celles-ci ne couvrent pas toujours le secteur comme il convient, la fiabilité des données résultantes peut en souffrir.

7. Revenu de l'ensemble du secteur spatial

- Actuellement, ce sont les données privées qui donnent le plus de précisions sur les principaux éléments du secteur spatial. Elles sont généralement réparties en quatre grands segments composant le secteur : les communications par satellite, le transport spatial, les systèmes de positionnement mondial et la télédétection. Les communications par satellite, englobant les services par satellite, la location de répéteurs, la fabrication d'équipements au sol et la fabrication de satellites, représentent le gros du secteur.
- Les services par satellite au détail et les services par satellite avec abonnement, tels que la télévision directe et la téléphonie mobile par satellite sont, dans ce segment, la part la plus importante et celle dont la croissance est la plus rapide.
- Entre les États-Unis et le reste du monde, les points forts diffèrent, les premiers assurant la plus grande part du revenu provenant des équipements au sol et des satellites, les seconds occupant une meilleure position sur le marché des services par satellite.
- Les prévisions récentes ont été très positives, notamment en ce qui concerne la demande de services par satellite. Selon les projections disponibles, les services de réception directe chez le particulier devraient devenir le segment le plus important d'ici 2007, mais il n'est pas certain que ces prévisions soient encore valables après le récent ralentissement économique.

Le secteur spatial dans les statistiques privées



7. Revenu de l'ensemble du secteur spatial

Figure 7.1. Revenu total du secteur spatial, 1996-2002

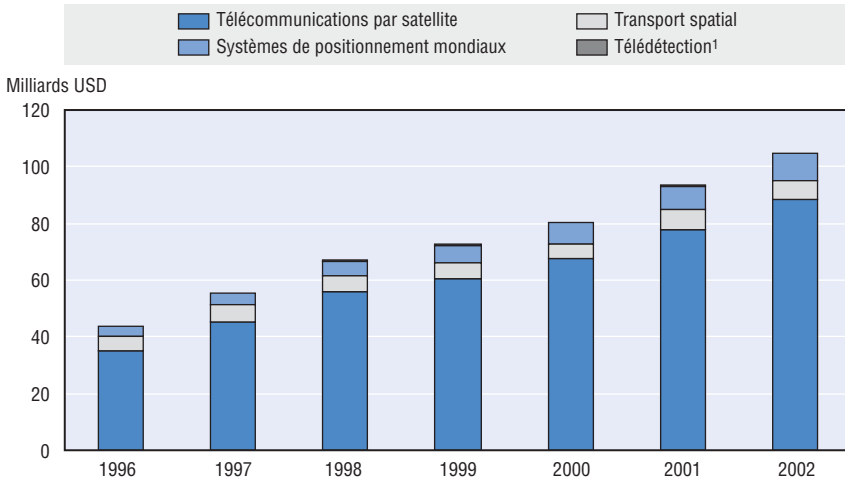
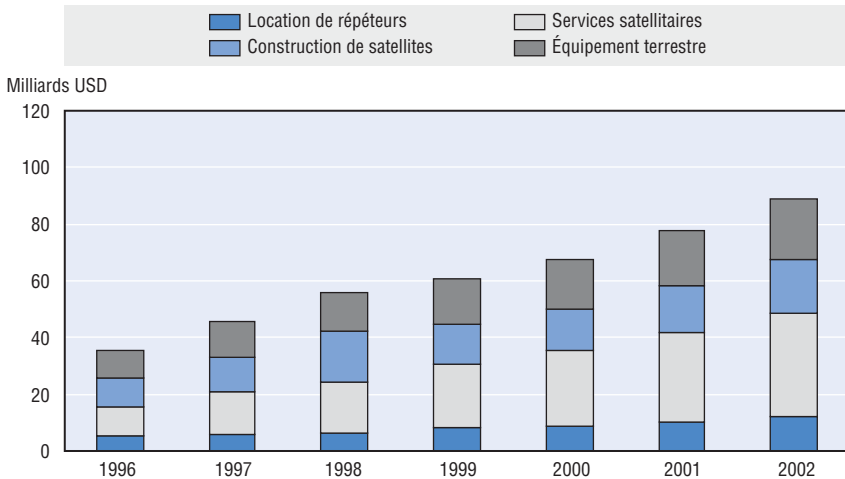


Figure 7.2. Revenu du secteur des communications par satellite



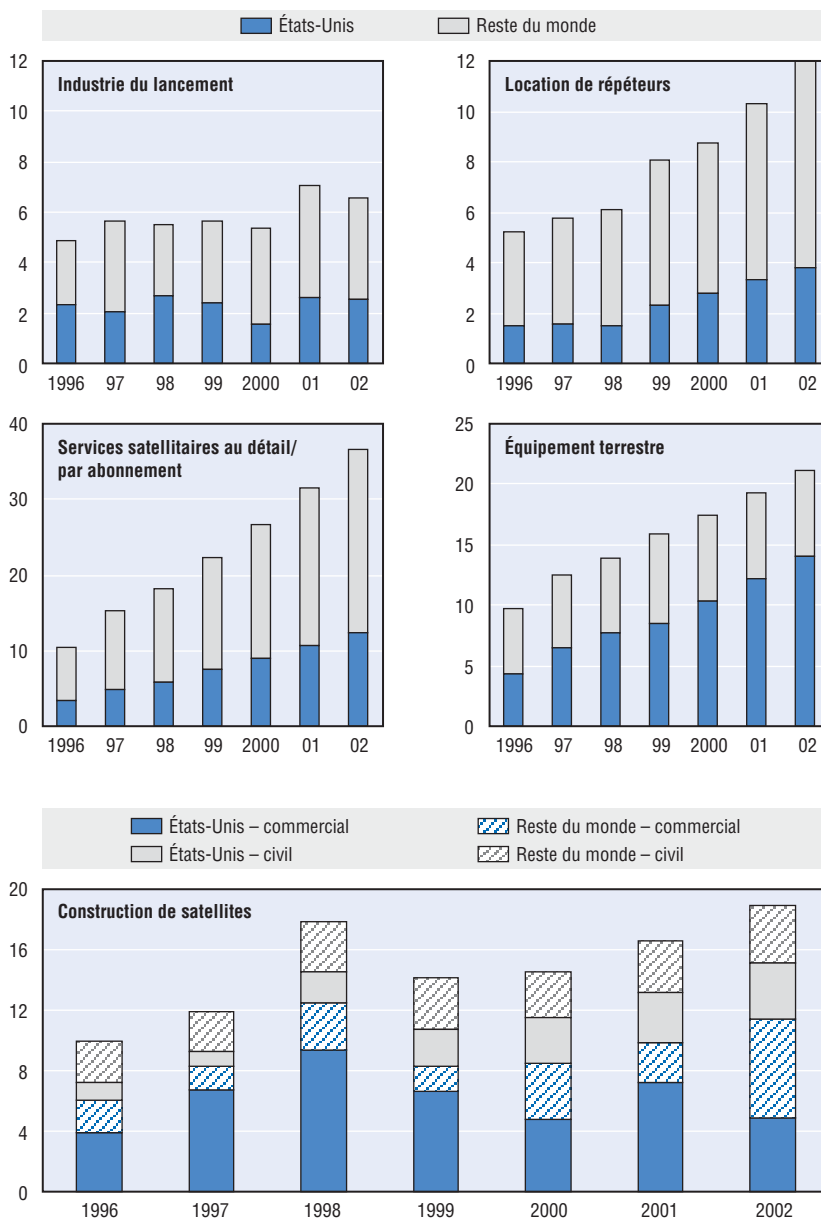
1. Atteignant à peine USD 100 millions en 1996 et USD 230 millions en 2002, la téledétection est insuffisante pour apparaître dans le graphique.

Source : US Department of Commerce, Office of Space Commercialization (2002), based on Futron Corporation.

7. Revenu de l'ensemble du secteur spatial

Figure 7.3. **Revenu détaillé du secteur spatial, 1996-2002**

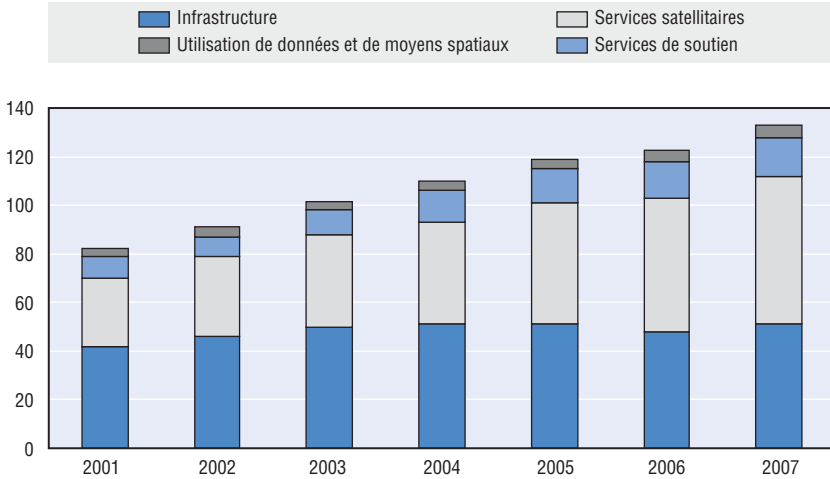
Milliards d'USD



Source : US Department of Commerce, Office of Space Commercialization, Trends in Space Commerce, prepared by Futron Corporation.

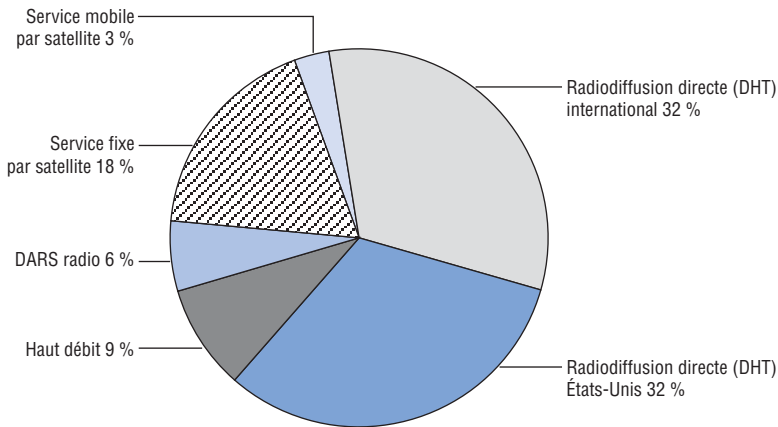
7. Revenu de l'ensemble du secteur spatial

Figure 7.4. **Prévision du revenu du secteur spatial, 2001-07**
Milliards d'USD



Source : International Space Business Council (2002), *State of the Space Industry*, quoted in British National Space Center, *The Draft UK Space Strategy*.

Figure 7.5. **Composition projetée du secteur des services par satellite, 2007**
Pourcentages



Recettes des services satellitaires en 2007 : USD 60 milliards

Source : International Space Business Council (2002), *State of the Space Industry*, quoted in British National Space Center, *The Draft UK Space Strategy*.

8. L'emploi dans le secteur spatial

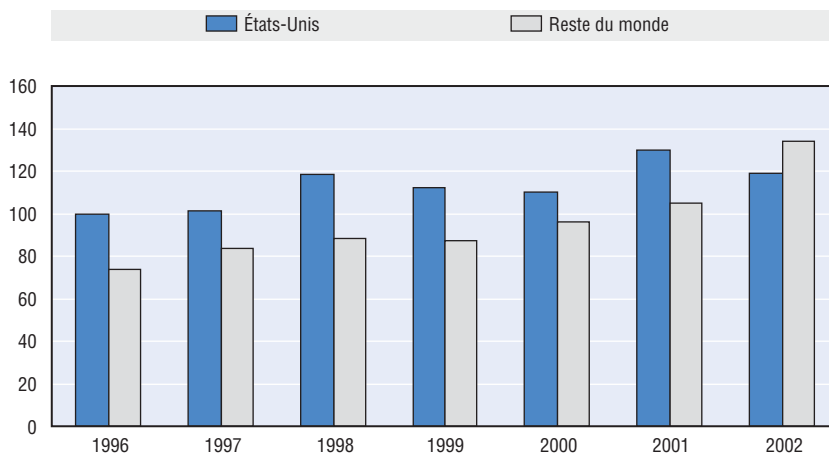
- Les statistiques privées sont aussi celles qui offrent le plus de précisions sur l'emploi en général dans le secteur spatial. Les statistiques officielles ne donnent guère de détails à ce sujet dans de nombreux segments du secteur, notamment ceux des télécommunications par satellite et des services associés dans le secteur spatial.
- Les données privées laissent entendre qu'un peu moins de 250 000 personnes étaient employées dans le secteur spatial en 2002, dont 0.1 % de l'emploi total; pour le reste du monde, le pourcentage est sans doute inférieur, même si le secteur spatial peut assurer une part légèrement plus élevée de l'emploi dans certains pays.
- Les estimations détaillées de l'emploi montrent que la fabrication de satellites compte pour près de la moitié de l'ensemble des emplois du secteur. La fabrication d'équipements au sol et le secteur du lancement sont également des segments relativement importants, représentant quelque 90 000 personnes dans le monde en 2002.
- Les autres parties du secteur contribuent à l'emploi pour une très faible part. Dans le secteur de la location des répéteurs et des services par satellite, l'emploi n'est pas important mais augmente rapidement. Enfin, dans le domaine de la télédétection, la part de l'emploi est également très faible, occupant moins de 6 000 personnes en 2002.

Mesure de l'emploi au moyen de statistiques privées

Les statistiques privées sur l'emploi sont rassemblées d'une manière analogue à celle des données sur le revenu, à savoir qu'elles sont souvent obtenues auprès d'entreprises actives dans le secteur ou par la voie d'associations industrielles. Étant donné que le secteur est essentiellement composé de grandes entreprises bien organisées, cette méthode permet de traiter de manière satisfaisante l'ensemble du secteur. La mesure de l'emploi est relativement simple et, contrairement au revenu, n'est pas exposée au double comptage.

8. Emploi dans le secteur spatial

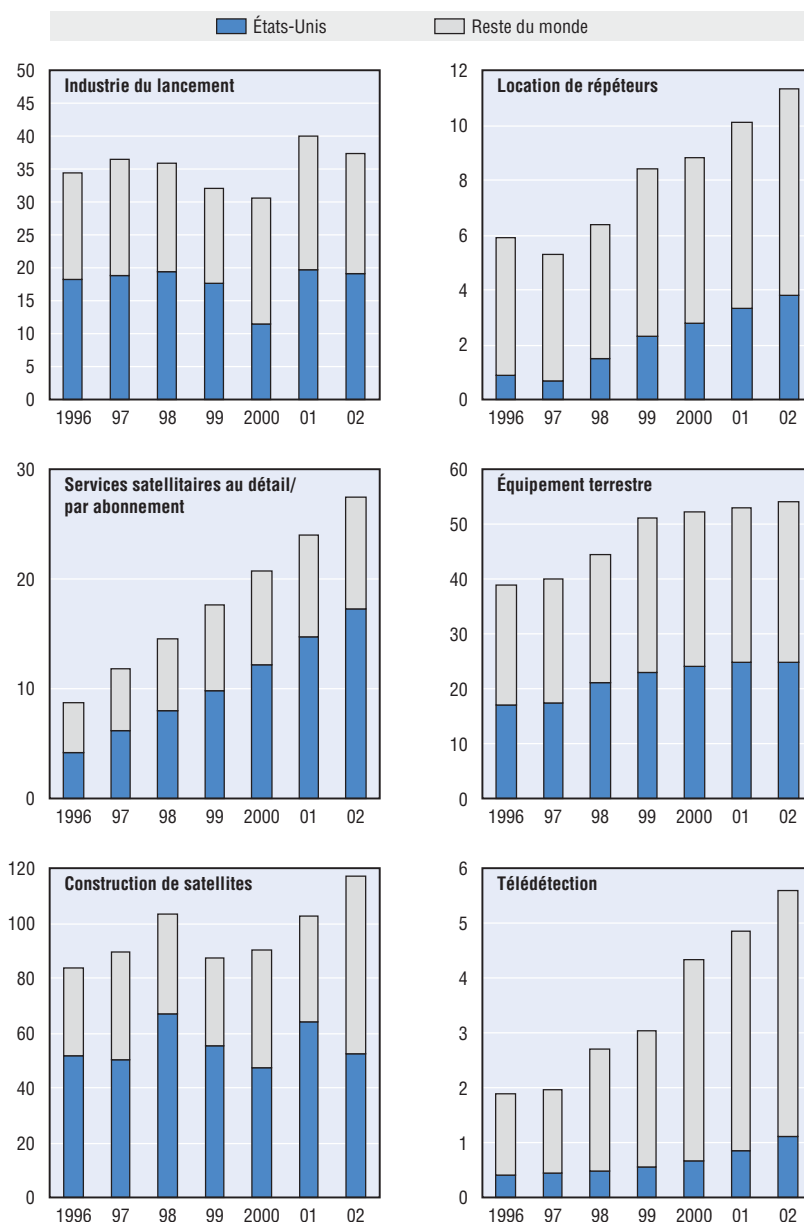
Figure 8.1. **Emploi total dans le secteur spatial, 1996-2002**
Milliers



Source : US Department of Commerce, Office of Space Commercialization, Trends in Space Commerce, prepared by Futron Corporation.

8. Emploi dans le secteur spatial

Figure 8.2. Détails de l'emploi dans le secteur spatial, 1996-2002



Source : US Department of Commerce, Office of Space Commercialization, Trends in Space Commerce, prepared by Futron Corporation.

9. Structure du secteur spatial européen

- Les informations disponibles sur le secteur spatial européen proviennent essentiellement de données privées, notamment celles d'Eurospace. Selon celles-ci, le secteur spatial européen représente moins de 0.1 % du chiffre d'affaires total dans pratiquement tous les pays européens, la France étant la grande exception. Le secteur spatial est le plus important en France, en Belgique et en Italie, et très réduit en Irlande et au Portugal.
- Les quatre plus grands pays européens représentent pratiquement 86 % du chiffre d'affaires total et plus de 84 % de l'emploi total du secteur spatial.
- Les télécommunications, l'observation de la Terre ainsi que la production et le développement de lanceurs sont actuellement les segments les plus importants du secteur spatial européen. Les contrats commerciaux autant que les contrats de l'Agence spatiale européenne (ESA) et d'Arianespace sont les principaux apports du secteur spatial européen.

La mesure du secteur spatial européen par Eurospace

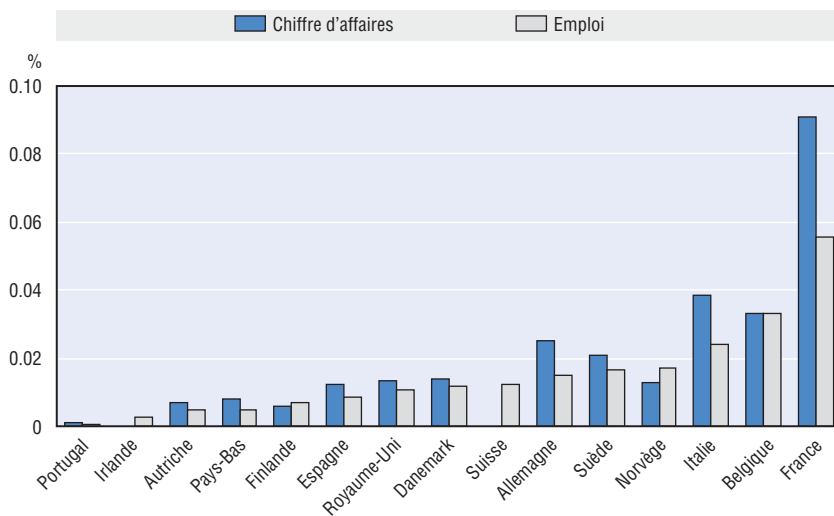
Les données d'Eurospace, l'organisation officielle des constructeurs de systèmes spatiaux et des opérateurs de systèmes de lancement en Europe, donnent des renseignements utiles sur le secteur spatial européen, mais les estimations ainsi recueillies sont nettement inférieures, pour ce qui a trait au chiffre d'affaires total du secteur spatial européen, à celles fournies par Futron, telles que présentées dans la section 7.

Les estimations d'Eurospace sont basées sur une étude portant sur les entreprises du secteur spatial, recoupées avec celles de bases de données publiques et de sources officielles. Contrairement à celles de nombreuses sources privées, les données d'Eurospace sont bien documentées. Eurospace définit le secteur spatial comme étant l'ensemble qui réunit toutes les entreprises touchées par la conception, la production, la maintenance, les essais et la vente de matériel et de logiciels validés pour l'espace et les éléments au sol directement concernés. Son étude n'englobe pas le revenu des opérateurs de satellites tels qu'Eutelsat et SES ou provenant de la vente de produits spatiaux sur le marché de consommation. Il s'agit d'une définition plus étroite du secteur que celle utilisée précédemment, ce qui explique la contribution moindre à l'activité économique totale.

Pour ses données sur le revenu, Eurospace s'efforce d'éviter le double comptage par l'emploi du seul chiffre d'affaires interne des entreprises, à savoir le montant du contrat spatial effectivement en cours de réalisation dans l'entreprise. Il s'ensuit que les données obtenues sont inférieures à celles présentées ci-dessus et probablement plus proches de la valeur ajoutée.

9. Structure du secteur spatial européen

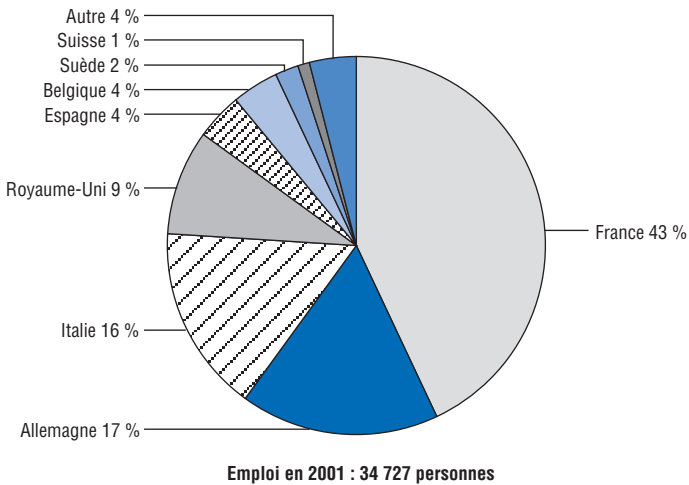
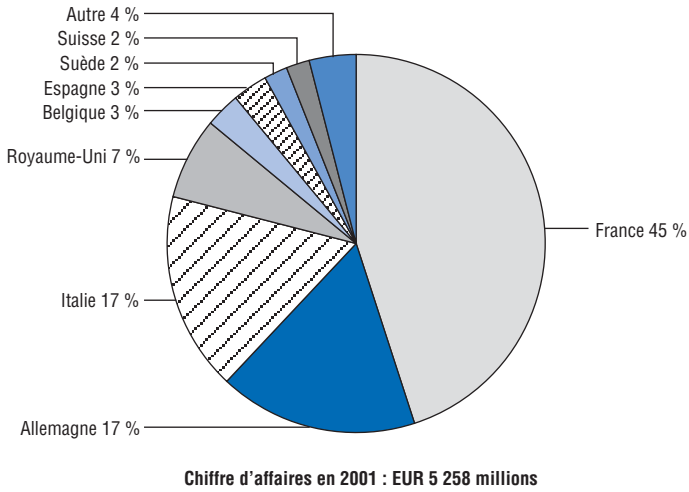
Figure 9.1. **Le secteur spatial européen**
Pourcentage du chiffre d'affaires et de l'emploi total



Source : Eurospace, *The European Space Industry, 1996-2001*, Paris, mars 2003.

9. Structure du secteur spatial européen

Figure 9.2. **Chiffre d'affaires et emploi dans le secteur spatial européen**

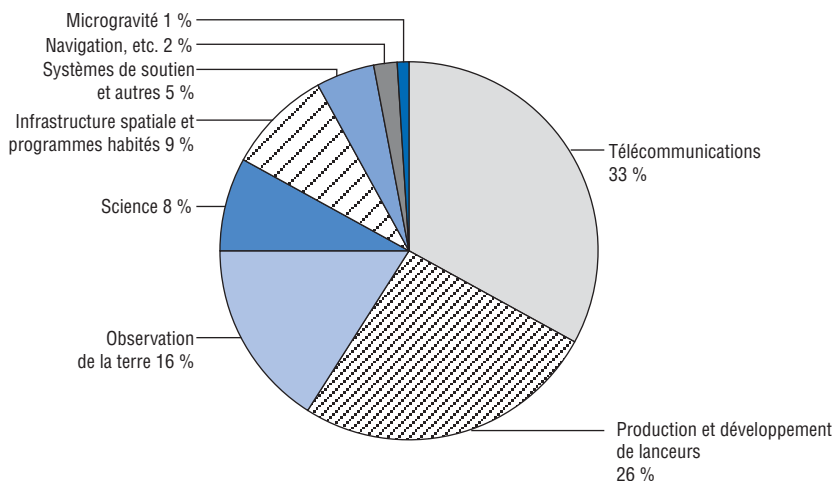


Source : Eurospace, *The European Space Industry*, 1996-2001, Paris, mars 2003.

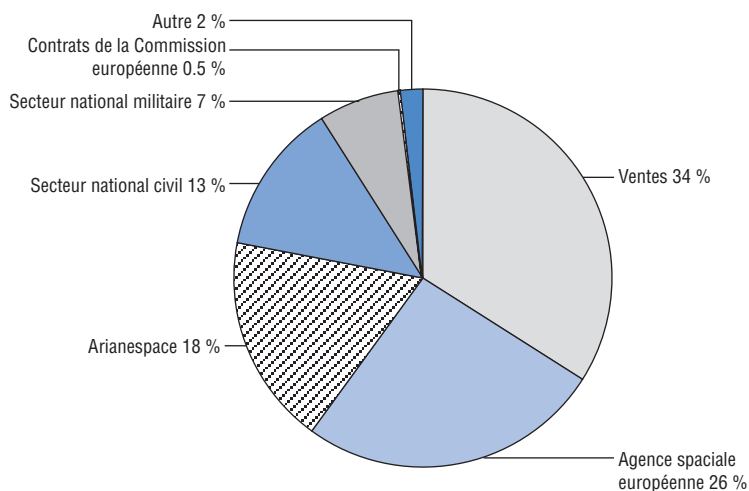
9. Structure du secteur spatial européen

Figure 9.3. **Activités et clients du secteur spatial européen**

Chiffre d'affaires par activité



Chiffre d'affaires par client



Source : Eurospace, *The European Space Industry*, 1996-2001, Paris, mars 2003.

10. Budgets publics pour le secteur spatial

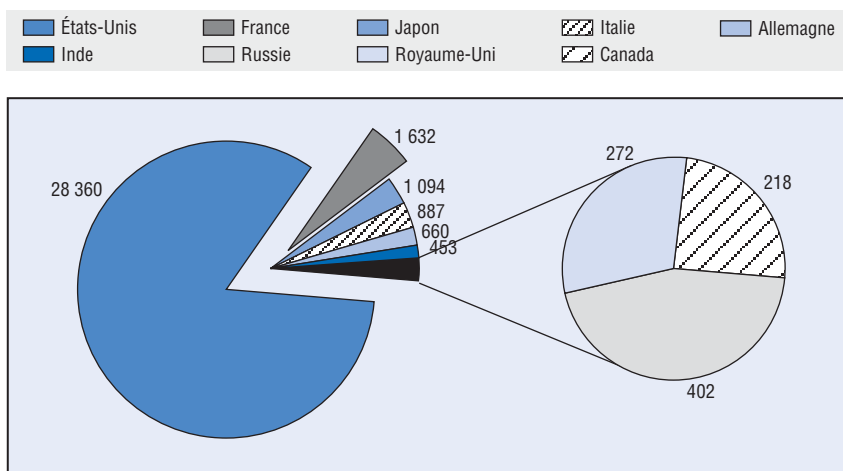
- Les États assument une part substantielle des dépenses du secteur spatial, étant donné que certaines parties des efforts du pays dans le domaine de l'espace (par exemple la R-D) sont de nature publique et ne seraient pas nécessairement assurées par le privé.
- La plupart des agences du secteur public publient certaines informations sur les budgets spatiaux, mais une partie des informations les plus complètes trouve sa source dans des institutions privées. On constate dans celles-ci que les États-Unis ont contribué pour plus de 80 % aux budgets publics des programmes spatiaux en 2001, même en ne tenant pas compte de l'ensemble des budgets militaires. La France et le Japon viennent ensuite en termes de budget pour les programmes spatiaux. Les États-Unis consacrent le budget spatial le plus important par rapport à la taille de leur économie, sur la base du PIB. La France aussi consacre plus de 0.1 % de son PIB à l'espace.
- Le budget spatial des États-Unis a fluctué selon les années, avec un pic à la fin des années 60, à l'époque du programme Apollo, et une augmentation vers la fin des années 80. Le gros du budget va à la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et au Département Américain de la Défense.
- Les États-Unis assurent aussi la plus grande partie du budget spatial civil, les postes de dépenses les plus importants étant le transport spatial, la science spatiale et l'observation de la Terre. Certains pays participent à différents degrés dans les diverses activités à vocation spatiale.

La mesure des budgets publics et des dépenses

La plupart des pays publient des informations sur les budgets attribués à l'espace. Le rassemblement de ces informations auprès de tous les grands acteurs du secteur spatial donne un premier aperçu de la participation de l'État et des différences selon les pays. Toutefois, ces données soulèvent certaines difficultés. Tout d'abord, les budgets ne correspondent pas nécessairement aux dépenses, les dépenses pouvant être plus fortes ou plus faibles que les montants attribués dans le budget. Ensuite, les budgets ne couvrent pas nécessairement toutes les dépenses consacrées à l'espace. Certaines d'entre elles, notamment les dépenses de nature militaire, peuvent être secrètes. De plus, certaines dépenses peuvent être répertoriées dans d'autres domaines des dépenses publiques, comme par exemple les télécommunications ou la R-D. Enfin, la comparaison des budgets selon les pays soulève des questions de comparaison des coûts. Les dépenses dans les pays à faible revenu tels que la Chine et l'Inde correspondent à un pouvoir d'achat plus grand que pour des dépenses comparables dans des pays à revenu élevé, le prix de la main-d'œuvre et des services étant plus bas dans les premiers. Le pouvoir d'achat réel, c'est-à-dire corrigé des parités de pouvoirs d'achat dans de tels pays, peut donc être plus élevé que celui indiqué par une comparaison fondée sur les taux de change.

10. Budgets publics pour le secteur spatial

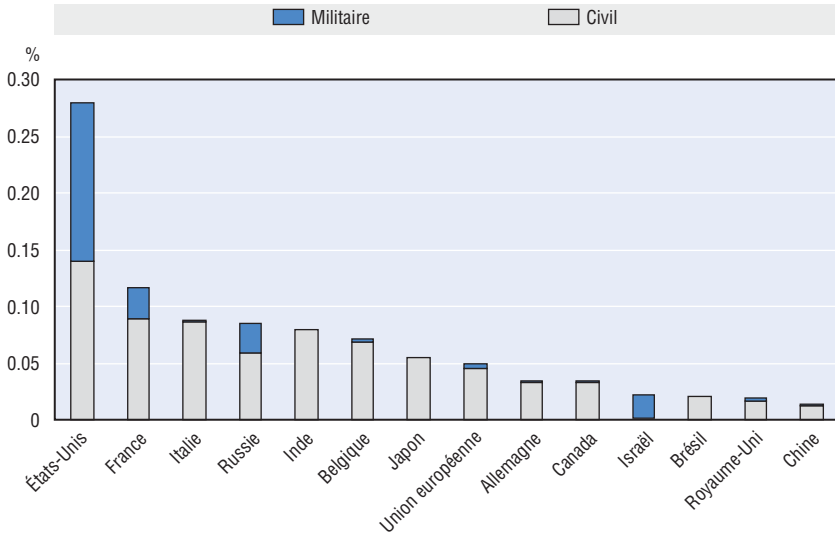
Figure 10.1. **Budgets publics pour les programmes spatiaux**
Millions d'USD



Source : Euroconsult, 2002.

10. Budgets civils pour le secteur spatial

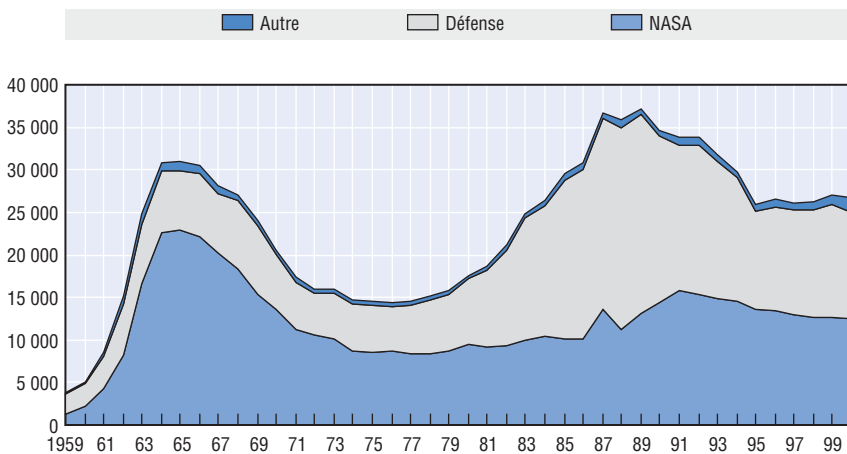
Figure 10.2. **Budgets publics pour les programmes spatiaux**
Pourcentage du PIB



Note : les données relatives aux budgets destinés à des fins militaires ont été estimées pour l'Allemagne, l'Italie, la Russie et le Royaume-Uni.

Source : Euroconsult (2002), *World Market Prospects for Public Space Programs*, édition 2002.

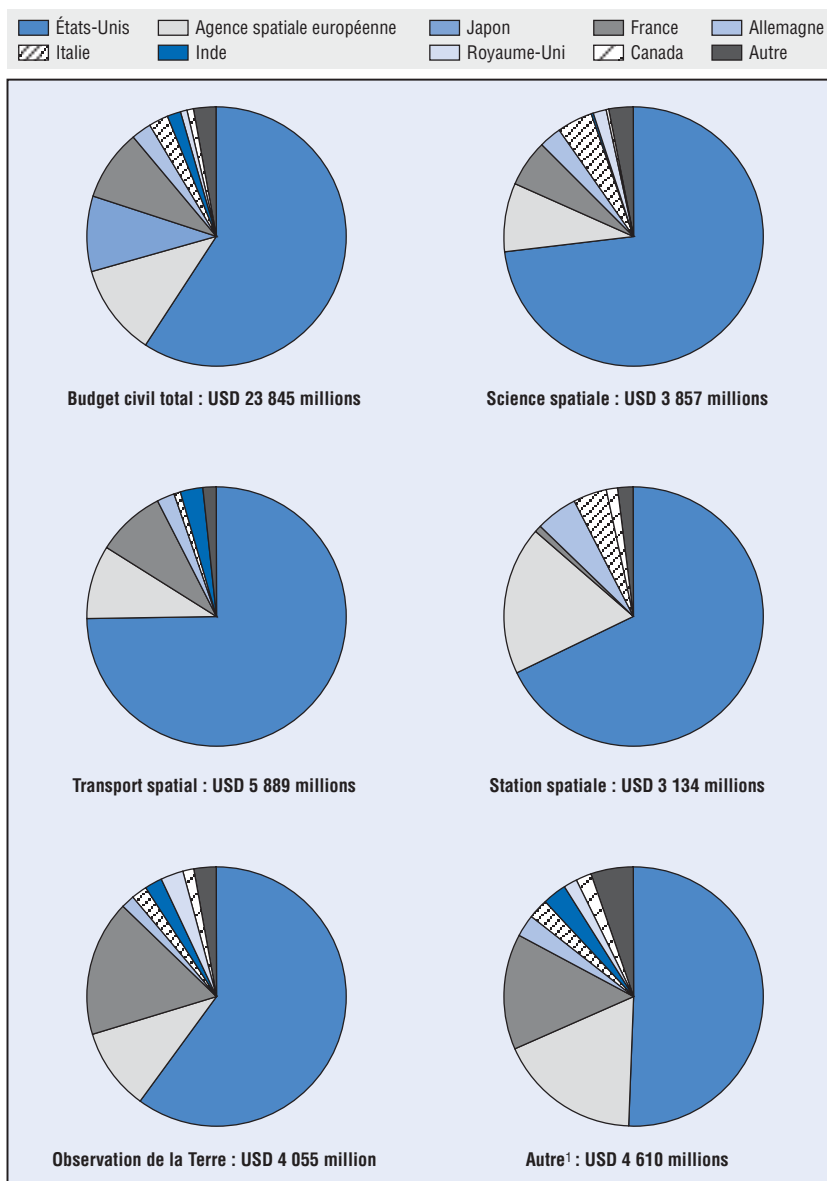
Figure 10.3. **Budgets publics américains pour le secteur spatial**
Millions d'USD (1999), 1959-2000



Source : US Office of Management and Budget.

10. Budgets civils pour le secteur spatial

Figure 10.4. **Budgets civils pour les programmes spatiaux, par activité, 2001**



1. La catégorie « Autres » comprend les budgets consacrés aux études en microgravité et à l'exploration commerciale de l'espace, aux télécommunications et aux autres domaines, notamment l'administration.

Source : Hertzfeld and Ojalehto, cités dans CT Brasil, 2002.

Bibliographie additionnelle

Space Economic Data (décembre 2002), établi par le US Department of Commerce, Office of Space Commercialization, par Henry R. Hertzfeld, The George Washington University, Space Policy Institute.

ANNEXE B

Principaux facteurs et tendances

La présente annexe examine les principaux facteurs et tendances susceptibles d'influer au cours des quelque 30 années à venir sur les moteurs du changement (évolutions géopolitiques, développements socioéconomiques, énergie et environnement, technologie) qui sont utilisés dans la construction des scénarios des chapitres 2 et 3. L'examen s'appuie sur de nombreuses sources, notamment les études commandées pour le présent rapport.

Étant donné la perspective à long terme adoptée dans ce rapport, les tendances et attentes exposées ci-après sont susceptibles d'évoluer et ne reflètent pas forcément les points de vue de l'OCDE. Elles sont essentiellement le reflet d'opinions exprimées par des experts dans des publications récentes. Comme elles sont établies par des spécialistes de divers domaines, elles ne sont pas nécessairement cohérentes entre elles et ne proposent qu'une vision préliminaire, pointilliste de l'avenir.

Dans une analyse par scénarios comme dans la plupart des autres formes d'analyse, il est nécessaire d'adopter une vision simplifiée de la réalité, c'est-à-dire de construire un modèle permettant de se concentrer sur la question examinée. L'examen des grandes tendances et facteurs présenté ici donne un premier aperçu de la manière dont certains aspects importants du contexte mondial peuvent changer au cours des trois décennies à venir. Il sert de base à l'identification des grandes incertitudes qui sous-tendent la formulation des scénarios des chapitres 2 et 3.

Facteurs et tendances géopolitiques

Au plan politique, la plupart des experts prévoient plutôt un déclin relatif de la position et du rôle de l'État-nation. Dans ces conditions, les mouvements de libération peuvent arracher plus facilement le pouvoir aux administrations centrales et un nombre croissant d'entités régionales peut être en mesure d'acquérir le statut d'État. L'affaiblissement de l'État-nation peut aussi se

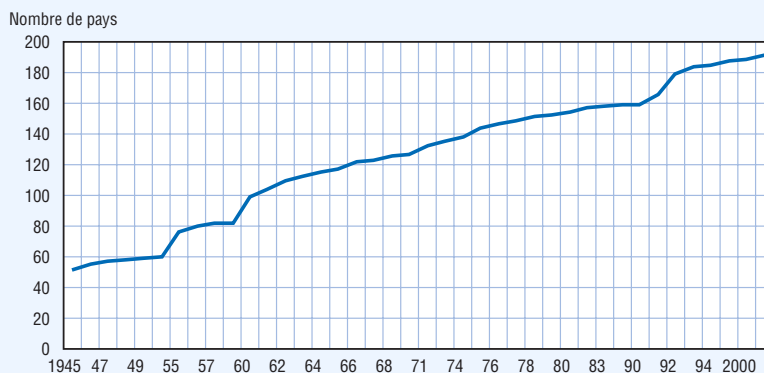
manifester par l'existence d'un nombre croissant d'États défaillants. Par contraste les organisations internationales ainsi que des acteurs non étatiques, notamment des entreprises multinationales et des organisations non gouvernementales (ONG), mais aussi le crime organisé et des groupes terroristes, sont susceptibles de devenir plus puissants. L'État-nation devrait toutefois rester au centre des relations internationales, même si l'on peut s'attendre à des changements dans la hiérarchie des nations. Les États-Unis devraient rester au sommet, mais d'autres acteurs gagneront en importance et pourront acquérir un statut de puissance régionale. La Chine pourrait même être en mesure de se poser en rival des États-Unis au niveau mondial d'ici à 2030, soit à la fin de la période considérée.

Du côté militaire, les futurs conflits devraient principalement être intra-étatiques, faisant intervenir de plus en plus d'autres acteurs, comme par exemple des groupes terroristes ou le crime organisé. La prolifération des armes de destruction massive (ADM) donnera aux questions de sécurité une place accrue dans la plupart des pays. En réponse, les États-Unis (qui resteront la puissance militaire dominante pendant la période considérée) devraient adopter, du moins initialement, une double stratégie de sécurité intérieure (par la mise en place notamment d'un bouclier antimissile national) et d'utilisation préventive de la force militaire à l'extérieur. Les Européens devraient aussi renforcer leur sécurité intérieure et consolider leur défense collective. La Chine, l'Inde et la Russie amélioreront probablement leur capacité militaire et chercheront à décourager par le biais de leurs armes de destruction massive des interventions américaines fondées sur l'utilisation de moyens conventionnels.

Aspects politiques

- *Déclin du rôle de l'État-nation. Ses domaines de compétence peuvent diminuer à mesure qu'il perd du terrain au profit d'entités plus grandes ou plus petites :*
 - ❖ Les fonctions politiques, de sécurité et de réglementation sont de plus en plus transférées aux organismes multinationaux et internationaux.
 - ❖ Les fonctions intérieures (éducation, protection sociale, soins de santé) peuvent être transférées à des entités infranationales. Les régions qui bénéficient d'une taille et d'un tissu industriel appropriés peuvent prospérer sur le marché mondial, alors que d'autres peuvent rester en retrait, ce qui engendre des inégalités régionales croissantes.
- *Déclin de la souveraineté nationale. Même dans les domaines où l'État maintient sa compétence, son pouvoir discrétionnaire en ce qui concerne la conduite du pays peut diminuer tant de facto que de jure :*
 - ❖ Au plan extérieur, l'action gouvernementale est susceptible d'être de plus en plus limitée par l'émergence de la gouvernance internationale et par

Encadré B.1. Augmentation du nombre de membres des Nations unies



Source : Nations unies, 2003.

La courbe peut ici servir d'indicateur de la croissance des États souverains dans la deuxième moitié du XX^e siècle. Le nombre de membres des Nations Unies est passé progressivement de 55 en 1945 à 191 en 2002, la courbe de progression étant étroitement liée à celle de la création des États-nations. Les trois périodes d'accession sont les suivantes :

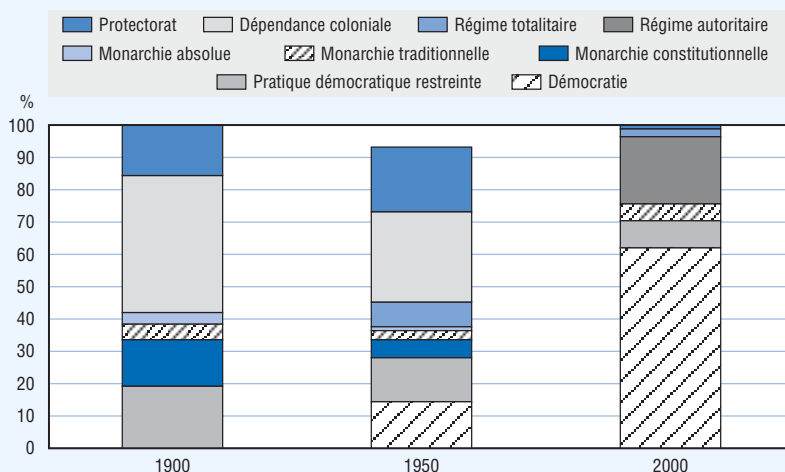
- Années 50 : consolidation de l'Organisation avec l'accès des États existants et de nouveaux États du Moyen-Orient.
- Années 60 et 70 : fin de la période de colonisation et accès d'États africains et asiatiques.
- Années 90 : fin du communisme et accès de pays d'Europe de l'Est et d'Asie centrale.

Si la première vague de nouvelles adhésions était formée de colonies libérées, les nouveaux membres sont de plus en plus la conséquence de la sécession de certaines régions par rapport à des États-nations existants. Cette tendance se poursuivra probablement au XXI^e siècle.

un droit international de plus en plus étoffé, de même que par les traités et les alliances auxquels l'État lui-même s'engage.

- ❖ Au plan intérieur, de nouvelles contraintes peuvent résulter d'une définition plus explicite et plus large du droit des citoyens.
- ❖ L'interdépendance croissante des États-nations signifiera qu'il faudra soigneusement examiner l'effet de toute action indépendante afin de limiter autant que possible les conséquences fâcheuses involontaires.
- *Augmentation du nombre d'États. En raison de l'affaiblissement du rôle de l'État-nation, des groupes sécessionnistes peuvent parvenir à créer de nouvelles nations. L'évolution du droit international et la mondialisation peuvent augmenter les chances de survie des petits pays et de la gouvernance locale.*
- *Nombre croissant d'États défaillants. Un nombre croissant de nations deviendront vulnérables aux conflits internes et aux pressions d'acteurs non étatiques puissants :*
 - ❖ Les acteurs non étatiques joueront un rôle grandissant.
 - ❖ Les multinationales augmenteront de taille et exerceront un pouvoir accru.
 - ❖ Les groupes criminels et terroristes internationaux auront la possibilité de tirer profit des lacunes du droit international et des mesures de sécurité, et trouveront des refuges sûrs dans les États défaillants.
 - ❖ Les ONG auront une influence de plus en plus grande sur l'ordre du jour international.
- *Nouveaux défis pour la sécurité mondiale : des nouvelles formes d'armes de destruction massive (biologiques et chimiques) de plus en plus faciles à produire et de moins en moins chères apparaîtront en plus des armes nucléaires. Cela peut entraîner :*
 - ❖ La prolifération des armes de destruction massive dans un nombre de plus en plus grand d'États-nations.
 - ❖ Le risque de plus en plus grand que ces armes tombent entre les mains d'acteurs non étatiques.
- *Changement de l'équilibre des forces dans le monde. Dans les 30 années à venir, les États-Unis resteront sans doute la puissance dominante, mais de grands pays en développement tels que la Chine et l'Inde peuvent devenir des puissances hégémoniques régionales et pourraient même contester aux États-Unis le rôle de leader mondial vers la fin de la période. Si le processus d'intégration de l'Europe aboutit, celle-ci peut aussi devenir un des grands acteurs mondiaux. Par ailleurs, la concentration géographique croissante des réserves de combustibles fossiles dans le golfe Persique et la mer Caspienne pourrait conférer aux pays de la région une influence géopolitique accrue.*

Encadré B.2. Évolution de l'organisation politique au XX^e siècle



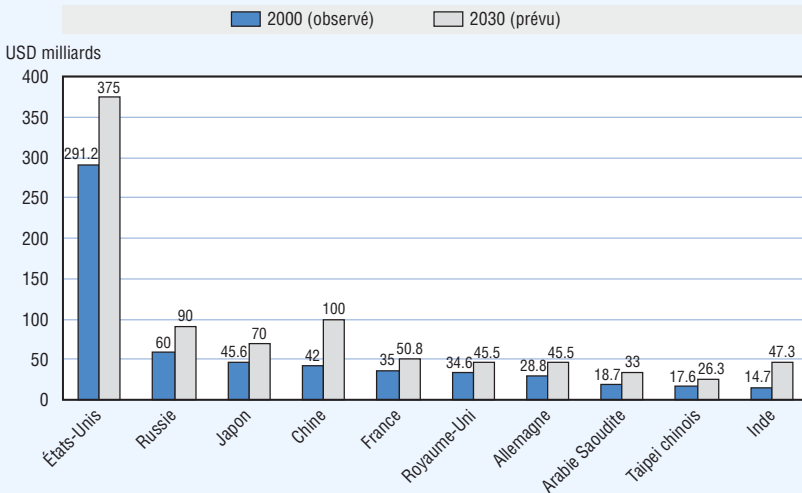
Source : Freedom House, 2003.

Les données rassemblées par Freedom House montrent l'évolution des régimes politiques au XX^e siècle. Les conclusions ont été examinées par une équipe d'experts formée du Professeur Orlando Patterson de Harvard University, des professeurs Seymour Martin Lipset et Francis Fukuyama, tous deux de George Mason University, le Dr Fareed Zakaria, rédacteur en Chef de la revue *Foreign Affairs*, et du Dr Marc Plattner, codirecteur de l'International Forum for Democratic Studies et rédacteur du *Journal of Democracy*. Adrian Karatnycky, président de Freedom House, et Arch Puddington, vice-président pour la recherche, ont également participé à l'examen des données.

Comme nous pouvons le constater, si nous prenons comme norme le suffrage universel pour des élections pluralistes, la démocratie n'existait pas en 1900. Cela était dû principalement aux restrictions imposées au vote des femmes (en Europe) et des minorités ethniques (les femmes et les Afro-Américains aux États-Unis). Vers le milieu du siècle, la défaite du totalitarisme nazi, la décolonisation et la reconstruction après la guerre de l'Europe et du Japon ont donné lieu à un accroissement du nombre d'États démocratiques. À la fin du siècle, ce sont les démocraties libérales et électorales qui prédominaient clairement. Il convient de préciser la différence entre démocratie électorale et démocratie libérale. Freedom House considère les démocraties libérales comme des pays respectant les droits de l'homme fondamentaux et la primauté du droit. C'est le cas de 70 % des démocraties existantes, soit 44 % des États.

Aspects militaires

Encadré B.3. Dépenses militaires



Source : JDCC, Strategic Trends 2015.

Le « Joint Doctrine and Concept Centre » du ministère britannique de la Défense a projeté les dépenses de défense de certains pays pour les 30 années à venir. Si, selon ces estimations, les États-Unis continueront d'être le leader mondial, deux changements majeurs interviendront toutefois : la Chine deviendra numéro deux en 2030 et l'Inde, en sixième position après avoir triplé son budget de la défense, aura dépassé le Royaume-Uni. Les dépenses mondiales moyennes augmenteront de manière significative. Si l'Union européenne est considérée dans son ensemble, c'est elle qui occupera la deuxième position, surtout si l'on tient compte de ses élargissements possibles jusqu'en 2030.

- **Conflits futurs :**
 - ❖ La fréquence des conflits ouverts entre États restera faible en raison des risques considérables et des graves conséquences possibles.
 - ❖ Les conflits par alliés interposés, qui étaient le propre de la guerre froide, sont moins probables.
 - ❖ Au cas où de tels conflits se produiraient, ils seraient très onéreux.

- ❖ Davantage de conflits au sein des États sont attendus suite à la mondialisation, qui tend à faciliter les conflits culturels, à pénaliser les administrations inefficaces et à faciliter les activités des mouvements sécessionnistes.
- ❖ La fréquence des conflits dans lesquels interviennent des acteurs non étatiques, surtout les terroristes et le crime organisé, pourrait augmenter.
- *Équilibre futur de la puissance militaire (basée sur la croissance projetée et une proportion constante des dépenses consacrées à la défense) :*
 - ❖ Les États-Unis resteront en première position du point de vue des dépenses (estimées à USD 375 milliards en 2030).
 - ❖ Ce sont la Chine et l'Inde qui connaîtront probablement la plus grande augmentation de leurs budgets militaires.
 - ❖ L'Union européenne sera vraisemblablement en deuxième position en 2030 (plus de USD 150 milliards) et la Chine en troisième (USD 100 milliards).
 - ❖ La Chine et la Russie pourraient développer un potentiel multirégional d'ici à 2015.
- *Prolifération des armes de destruction massive :*
 - ❖ Certains États continueront de chercher à acquérir des armes de destruction massive pour se protéger contre des menaces régionales, augmenter leur influence mondiale ou régionale et/ou décourager les interventions de l'Occident ou de puissances mondiales émergentes.
 - ❖ Le nombre d'États possédant des armes biologiques devrait augmenter.
 - ❖ Les armes de destruction massive proliféreront et leurs moyens d'acheminement seront accrus, surtout pour les armes biologiques et les techniques d'acheminement asymétriques (avions civils, navires, dispositifs dormants).
 - ❖ Des armes de destruction massive non létales peuvent aussi voir le jour (armes à impulsion électromagnétique, virus informatiques catastrophiques) et causer d'énormes dommages sans pertes en vies humaines.
 - ❖ La prolifération des armes de destruction massive parmi les acteurs non étatiques représentera un très grand danger pour la sécurité.
 - ❖ Face à ces dangers, les États-Unis développeront probablement un système de missiles antimissiles balistiques, unilatéralement ou en coopération avec leurs alliés.
 - ❖ Cela pourrait encourager des États tels que la Russie et la Chine à perfectionner leurs missiles et les mécanismes d'acheminement asymétrique.

- *Attitude stratégique militaire* :
 - ❖ Les États-unis pourraient se livrer à des actions militaires préventives vis-à-vis des principaux États où prolifèrent des armes. Cela pourrait encourager d'autres États à accélérer leurs programmes ou à les développer en secret.
 - ❖ Jusqu'en 2015 les États-Unis auront probablement une double stratégie de défense nationale et d'utilisation préventive déterminée de la force militaire à l'étranger. Plus tard, leur stratégie pourra être réévaluée compte tenu des résultats et de l'effet sur les acteurs étatiques et non étatiques.
 - ❖ Les Européens continueront à concentrer leur attention sur les opérations de défense collective et de stabilisation. Ils peuvent également augmenter l'importance accordée à la sécurité de l'Union.
 - ❖ La Chine, la Russie et l'Inde chercheront à décourager l'intervention américaine classique au moyen de leurs armes de destruction massive. La Chine et l'Inde augmenteront leurs capacités d'armes conventionnelles.
 - ❖ Les acteurs étatiques et non étatiques utiliseront plus souvent des stratégies asymétriques.

Tendances et facteurs socio-économiques

Au plan démographique, la population mondiale continuera de croître, mais plus lentement, et cette croissance se produira entièrement dans le monde en développement. Le vieillissement de la population deviendra un phénomène mondial, même s'il sera plus prononcé en Occident et dans certains pays non occidentaux, notamment la Chine et la Russie. Le passage de la campagne à la ville s'accélénera dans les pays en développement et nécessitera de très gros investissements d'infrastructure. Beaucoup de personnes quitteront le monde en développement pour se rendre en Occident; cela pourra stimuler l'innovation mais aussi être une source permanente de tensions dans les sociétés occidentales. La culture sera de plus en plus mondialisée, alimentant des poussées de fièvre fondamentalistes. Par contraste, les sociétés occidentales deviendront probablement plus séculaires, pragmatiques et individualistes, mais aussi plus difficiles à gouverner étant donné le déclin du respect de l'autorité établie.

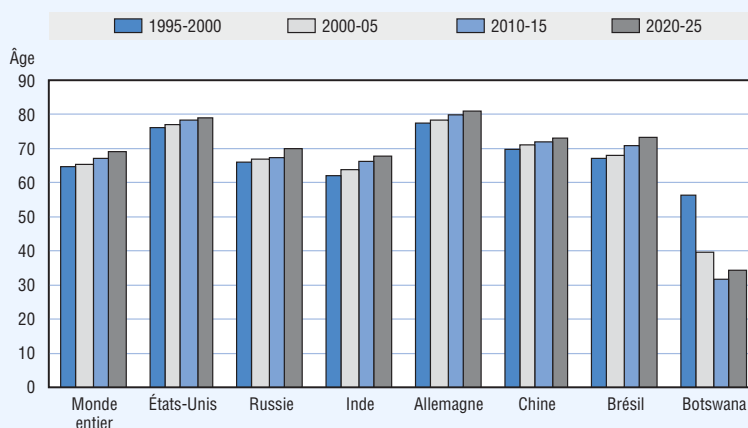
Économiquement, le monde peut devenir meilleur pour davantage d'hommes au cours des 30 prochaines années. Non seulement la croissance de la population ralentit, mais l'économie peut aussi s'améliorer si le processus de mondialisation se poursuit, car de nouvelles technologies apparaissent et stimulent la croissance. Toutefois, les risques économiques auront tendance à croître : une mauvaise administration, tant aux niveaux national qu'international, sera probablement plus gravement pénalisée par

les marchés, et les chocs économiques pourront avoir des répercussions très dévastatrices dans un monde de plus en plus interdépendant. Par ailleurs, les inégalités au niveau des revenus devraient augmenter, tant à l'intérieur des pays qu'entre eux, et le chômage pourrait être une source majeure d'incertitude dans les pays en transition démographique. La pauvreté devrait diminuer globalement, mais se concentrera de plus en plus dans certaines régions du monde, notamment en Afrique et en Asie méridionale.

Aspects sociaux

Démographie

Encadré B.4. **Espérance de vie à la naissance dans quelques pays et dans le monde**



Source : Nations unies, *Perspectives démographiques mondiales 2002*.

Les chiffres ci-dessus représentent les changements de l'espérance de vie à la naissance dans quelques pays et la moyenne mondiale depuis nos jours jusqu'à 2025 selon les projections du modèle de population des Nations unies. L'espérance de vie moyenne mondiale augmentera de près de 8 %, passant de 64.1 à 69.1 ans. Les pays industrialisés et la Chine connaîtront une augmentation plus modérée (moins de 3 %). Globalement, l'écart de l'espérance de vie entre les pays industrialisés et les pays en développement diminuera mais restera appréciable.

Dans certains pays tels que le Botswana, l'espérance de vie sera moins grande, principalement en raison de l'épidémie de HIV/SIDA.

- *Tendances démographiques mondiales :*
 - ❖ Même si la population mondiale devrait passer du chiffre actuel de 6.1 milliards à environ 7.2 milliards en 2015 et à 8.2 milliards en 2030, la croissance devrait ralentir (en passant de 1.3 % par an actuellement à 1 % en 2015).
 - ❖ L'augmentation démographique se produira principalement dans le monde en développement et dans les « pays d'immigration », soit pour l'essentiel en Chine, en Asie méridionale, en Indonésie, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord.
 - ❖ L'Occident pourrait rester démographiquement stable.
 - ❖ La population diminuera en termes absolus en Russie, en Afrique du Sud, au Japon, en Italie et en Allemagne.
- *Changements de la composition par âge :*
 - ❖ Le vieillissement rapide de la population se poursuivra en Occident et mettra de plus en plus de pression sur les systèmes sociaux.
 - ❖ La transition démographique dans le Sud pourra déboucher sur un fort taux de chômage et de l'instabilité dans les pays les moins développés.
 - ❖ La moyenne d'âge augmentera dans le monde entier et le vieillissement sera particulièrement rapide dans des pays tels que la Russie et la Chine.
- *Changements de la distribution géographique :*
 - ❖ La migration nationale (le processus d'urbanisation) nécessitera des investissements massifs en matière d'infrastructure.
 - ❖ La migration internationale, y compris la migration clandestine, sera une source de tensions, tant dans les pays occidentaux qu'entre des États voisins du Sud.

Changement social

- *Mondialisation culturelle :*
 - ❖ Les influences nouvelles exercées sur la plupart des sociétés proviendront dans une large mesure de sources extérieures plutôt que d'évolutions internes, tant en Occident qu'ailleurs. Les principaux facteurs reposent sur une société plus multiculturelle, les mass-médias et le transport de masse.
 - ❖ Les sociétés traditionnelles seront particulièrement touchées, exposées à de graves conflits internes et crises d'identité.
 - ❖ La résistance au changement et le repli risqueront de marquer fortement les sociétés conservatrices, ce qui pourrait conduire à des flambées fondamentalistes plus fréquentes.

Encadré B.5. Indicateurs démographiques pour 1900, 1950, 2000 et 2050

Variable	Unité	1900	1950	2000	2050
Ensemble de la population					
Population mondiale	Milliard	1.65	2.5	6.1	8.9
Augmentation annuelle	Million	10	47	78	33
Taux de croissance de la population	% annuel	0.61	1.88	1.28	0.37
Pourcentage de la population dans les régions développées					
Population urbaine	Milliard	0.21	0.75	2.87	5.43
Âge moyen	Année		24	26	38
Enfants (jusqu'à 15 ans)	% de population		34	30	20
Personnes âgées (60 ans et plus)	% de population		8	10	22

Ces données montrent que la démographie mondiale changera considérablement dans les 30-50 ans à venir. Premièrement, la croissance démographique devrait ralentir et passer de 1.28 % en 2000 à 0.37 % en 2050. Deuxièmement, en moyenne, la population vieillira. Ce vieillissement apparaîtra dans l'augmentation de l'âge moyen mondial, qui passera de 26 ans en 2000 à 38 ans en 2050. Enfin, la part des enfants dans la population totale diminuera, alors que celle des personnes âgées augmentera. En 2050 le nombre de personnes âgées de plus de soixante ans (22 %) devrait dépasser celui des enfants de moins de 15 ans (20 %).

La totalité de cette croissance démographique se produira dans les pays en développement, ce qui changera fondamentalement la répartition géographique de la population. En 2050, 13 % à peine de la population mondiale vivra dans les pays de l'OCDE, contre 20 % actuellement. Par ailleurs, à mesure que la migration des zones rurales vers les zones urbaines se poursuit, la population urbaine totale va pratiquement doubler d'ici à 2050, pour passer de 2.87 à 5.43 milliards. La croissance démographique sera par conséquent la plus notable dans les villes du monde en développement

- Religion :
 - ❖ L'importance de la religion institutionnelle peut évoluer.
 - ❖ L'érosion de la religion traditionnelle peut engendrer une réaction fondamentaliste.
 - ❖ Le dialogue interconfessionnel peut se développer.

- *Renforcement des tendances sociales actuelles de la société occidentale :*
 - ❖ La société deviendra plus séculaire et le matérialisme augmentera probablement en raison des développements scientifiques et de l'augmentation du niveau de vie.
 - ❖ Le fossé « religieux » entre les États-Unis et l'Europe peut se creuser.
 - ❖ Le relativisme et le pragmatisme gagneront probablement du terrain. Avec le déclin de la religion et des idéologies, la croyance que la vérité n'est pas absolue mais relative, c'est-à-dire dépendante du contexte, devrait probablement se répandre.
 - ❖ L'individualisme accru apparaîtra dans le déclin du rôle de la famille élargie, le moindre respect de l'autorité établie et l'élargissement des styles de vie « pick and mix » et du « désintérêt bienveillant » vis-à-vis du choix des autres.
 - ❖ De nombreuses identités sociales peuvent apparaître; elles feront en sorte que les individus affichent des différences identitaires (par exemple locale, nationale, européenne) selon le cas et la situation. L'identité nationale conservera toutefois tout son sens.

Aspects économiques

- *L'importance croissante de l'économie de marché se traduira par :*
 - ❖ De nouveaux progrès dans les ex-pays communistes.
 - ❖ Un rôle croissant du monde en développement à mesure de la mise en place progressive d'institutions, de lois et de règlements appropriés.
- *Le rôle du marché sera favorisé par la poursuite de la mondialisation :*
 - ❖ Une augmentation des mouvements des biens et services.
 - ❖ Une augmentation des mouvements de capital.
 - ❖ Une plus grande mobilité de la main-d'œuvre.
- *Des revers peuvent cependant se produire :*
 - ❖ Des mouvements de protestation peuvent ralentir le processus.
 - ❖ Le protectionnisme peut refaire surface après une récession majeure ou une détérioration des relations internationales.
 - ❖ Les grands pays de l'OCDE peuvent renoncer à leurs engagements en matière de liberté de commerce.
- *Si le processus de mondialisation se poursuit, la croissance peut être maintenue (augmentation du revenu par habitant de quelque 2 % par an en moyenne dans le monde) :*
 - ❖ La demande de produits de consommation peut augmenter, surtout dans les classes moyennes montantes en Asie.

- ❖ Des marchés plus ouverts peuvent favoriser l'utilisation efficace des ressources.
- ❖ De nouvelles technologies pourront stimuler la croissance de la productivité et créer de nouveaux marchés.
- Néanmoins, la croissance n'aura pas lieu en douceur et sera inégalement répartie :
 - ❖ La prévalence des cycles économiques subsistera.
 - ❖ Le monde en développement croîtra deux fois plus rapidement que le monde développé, mais les écarts de revenu par habitant entre le nord et le sud resteront importants tandis que la croissance sera inégalement répartie dans le sud.
- L'investissement direct étranger (IDE) jouera un rôle de plus en plus important dans le développement à mesure que l'aide publique diminuera :
 - ❖ Les modes de développement ne seront pas les mêmes partout, l'investissement direct étranger étant principalement axé sur un petit nombre d'économies dynamiques disposant d'un grand marché intérieur.
 - ❖ Les autres pays subiront des pressions plus grandes pour qu'ils ouvrent leurs marchés et se soumettent aux normes internationales.
- La pauvreté mondiale diminuera en termes relatifs, et peut-être en termes absolus, mais se concentrera de plus en plus dans certaines régions, en particulier le Proche-Orient et l'Afrique.
- Parmi les pays du G7, les États-Unis resteront probablement l'économie la plus dynamique. L'union européenne renforcera probablement sa position d'économie mondiale plus dynamique, notamment par une série d'élargissements qui augmenteront sa population et provoqueront une croissance rapide permettant de combler les retards régionaux. De grandes incertitudes subsistent en ce qui concerne l'avenir du Japon.
- Si la Chine maintient sa croissance exceptionnelle tout au long de la période en question, elle pourrait supplanter l'Union européenne en tant que seconde plus grande économie mondiale dès 2015 et atteindre le niveau des États-Unis en 2030.
- Les risques économiques futurs sont grands :
 - ❖ La mondialisation continuera de restreindre les politiques économiques officielles et de pénaliser fortement les erreurs de gestion gouvernementale. Les états les plus pauvres seront les plus vulnérables.
 - ❖ Les inégalités de revenus dans les pays en développement iront sans doute en grandissant étant donné qu'une partie marginale de la population seulement pourra bénéficier de la prospérité accrue, du moins dans les premiers stades du développement. Cela pourrait être une source de conflits graves entre l'élite et le reste de la société et entre régions riches et régions pauvres.

- ❖ Les bouleversements économiques pourraient avoir des effets dévastateurs sur certains pays ou régions, étant donné que les crises peuvent se propager rapidement dans un monde de plus en plus interdépendant et que moins de place sera laissée aux erreurs de politique nationale en raison d'une plus grande quantité de capital mobile et d'une plus grande transparence de l'information sur la politique et les performances nationales.
- ❖ Le mécontentement pourrait se généraliser dans les pays connaissant une faible croissance et une augmentation subite de la population en âge de travailler. Cela pourrait faire apparaître un militantisme accru et une augmentation de la migration vers l'Occident.
- ❖ La croissance économique nécessitera aussi une plus grande utilisation des ressources et davantage de pression sur l'environnement.

Les tendances et facteurs liés à l'énergie et à l'environnement

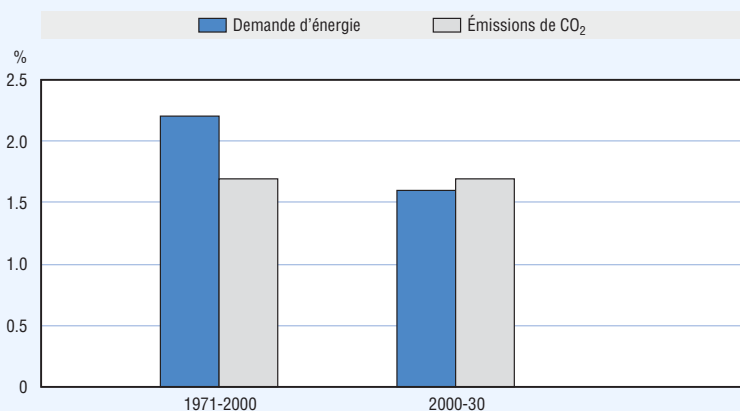
Les perspectives concernant l'environnement sont médiocres. Étant donné que les émissions de gaz à effet de serre vont plus que doubler dans les 30 prochaines années, une élévation de la température paraît inévitable; elle entraînera une montée notable du niveau des mers, des conditions climatiques plus instables et une évolution dans les maladies infectieuses et endémiques. La mise en œuvre de politiques de limitation des gaz à effet de serre au niveau international s'avérera difficile en raison de la grande dépendance des économies à l'égard des combustibles fossiles et des externalités en jeu. Des niveaux plus élevés de pollution locale dans d'importantes parties du monde en développement, accompagnés d'une augmentation de la déforestation, d'une érosion des sols et une perte de biodiversité sont attendus. En revanche, les pays de l'OCDE et certains pays à revenu moyen devraient accorder davantage d'attention aux questions d'environnement.

Au plan énergétique, la consommation des combustibles fossiles devrait continuer de dominer et le pétrole restera le premier combustible. Même si les réserves de pétrole devraient suffire pour répondre à la demande sur la période, de gros investissements devront être consentis pour l'exploration, l'extraction et le transport. Par ailleurs, le prix du pétrole peut devenir plus volatile à mesure que les réserves d'énergie baisseront et qu'elles se concentreront de plus en plus dans la région du golfe Persique. Le gaz sera sans doute le combustible fossile préféré en raison de sa teneur relativement faible en carbone; aussi la demande de gaz devrait-elle monter rapidement, alors que la demande de charbon, dont la teneur en carbone est élevée, ne devrait augmenter que lentement. L'énergie nucléaire restera controversée en dépit de ses avantages évidents du point de vue des émissions de gaz à effet

de serre. Un plus grand effort sera fait pour favoriser l'utilisation d'énergies renouvelables, mais leur part dans la consommation mondiale restera très faible car il sera très difficile d'orienter le système énergétique vers une voie autre que celle des combustibles fossiles.

Aspects écologiques

Encadré B.6. Demande mondiale d'énergie et émissions de CO₂, taux de croissance annuels moyens



Source : AIE, *World Energy Outlook 2002*.

La relation entre l'augmentation des émissions totales de gaz carbonique (CO₂) et celle de la demande d'énergie primaire devrait s'inverser dans les 30 années à venir par rapport à la période 1971-2000. Alors que le taux moyen d'augmentation annuelle des émissions de gaz carbonique devrait rester le même (1.8 %) qu'en 1971-2000, le taux d'augmentation moyen de la demande d'énergie primaire devrait baisser, pour passer de 2.2 % environ au début de la période à 1.8 % dans la période 2000-2030.

- **Réchauffement mondial :**

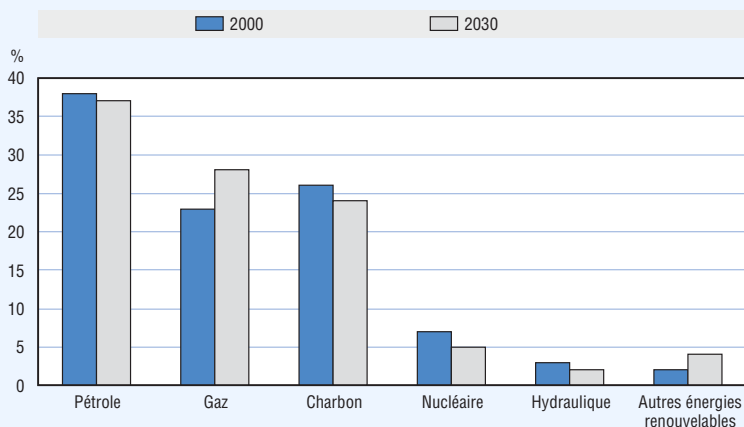
- ❖ L'opinion majoritaire (Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat – GIEC) relève que les températures mondiales pourraient s'élever de 0.4-0.8 degrés d'ici 2030.
- ❖ L'opinion minoritaire pense qu'un nouvel équilibre sera trouvé, les mers et les forêts absorbant l'excédent de CO₂, ou que d'autres phénomènes sont en jeu (variation de l'orbite terrestre, variation du rayonnement solaire).

- *Effets du réchauffement mondial (opinion majoritaire) :*
 - ❖ Une élévation de 10 cm du niveau des mers d'ici 2030 produira davantage d'inondations dans certains pays (comme au Bangladesh) ainsi que la salinisation de nappes phréatiques et de terres agricoles.
 - ❖ La zone de culture céréalière pourrait se déplacer vers le nord et les déserts pourraient gagner du terrain.
 - ❖ Les pays très dépendants de l'agriculture pourraient beaucoup souffrir.
 - ❖ Les climats pourraient devenir plus instables (davantage de sécheresse, d'incendies de forêt et d'inondations) imposant un plus grand recours à l'aide humanitaire et à l'aide en cas de catastrophe assurées par d'autres pays.
 - ❖ L'exposition à certaines épidémies et à certaines maladies infectieuses pourrait se modifier.
- *Il sera difficile de trouver des solutions appropriées :*
 - ❖ Parce que la dépendance à l'égard des combustibles fossiles devrait perdurer.
 - ❖ Parce qu'un véritable accord international mondial est nécessaire pour traiter ce problème efficacement.
 - ❖ Par ce qu'il est difficile de faire admettre la nécessité de faire des ajustements contraignants aujourd'hui pour obtenir d'hypothétiques avantages demain.
- La déperdition d'ozone peut augmenter la fréquence des cancers de la peau et avoir des effets négatifs sur la flore et la faune.
- *La détérioration locale de l'environnement augmentera dans le monde en développement :*
 - ❖ La pollution augmentera à mesure que les industries polluantes se déplaceront vers le sud et que le processus d'urbanisation se poursuivra.
 - ❖ La déforestation et l'érosion du sol diminueront la biodiversité et la fertilité des terres agricoles.

Aspects énergétiques

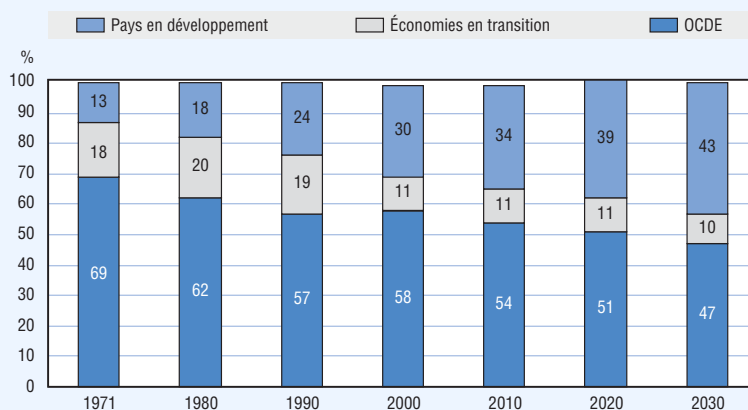
- *La demande d'énergie va probablement doubler au cours des 30 ans à venir :*
 - ❖ Cette augmentation viendra en grande partie du monde en développement, en particulier de la Chine et de l'Inde.
- *Aucune avancée décisive n'est attendue dans la technologie des énergies primaires :*
 - ❖ La demande croissante d'énergie primaire sera satisfaite à partir des ressources existantes.
 - ❖ Le pétrole restera en tête, répondant à près de 40 % de la demande.

Encadré B.7. Demande mondiale d'énergie primaire



Source : AIE, World Energy Outlook 2002.

Parts régionales



Source : AIE, World Energy Outlook 2002.

Selon les estimations de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), le pétrole restera la principale source d'énergie pendant les 30 années à venir, avec une part pratiquement inchangée de la demande mondiale se situant à 37-38 %. Le gaz dépassera le charbon en tant que deuxième source d'énergie, globale, mais ne satisfera en fait que 4 % de la demande mondiale d'énergie primaire en 2030.

Encadré B.7. **Demande mondiale d'énergie primaire** (suite)

Les caractéristiques de la demande régionale d'énergie primaire vont probablement changer. Bien que la demande augmentera dans les pays développés, leur part dans la demande mondiale tombera de 58 % en 2000 à 47 % en 2030 en raison d'une explosion de la demande des économies émergentes, principalement en Asie, dont la part dans la demande mondiale augmentera de près de 50 %, passant de 30 % en 2000 à 43 % en 2030. La part des économies de transition devrait rester globalement inchangée.

L'augmentation de la demande d'énergie exercera de nouvelles pressions sur l'offre d'énergie et sur l'environnement.

- ❖ L'extraction du pétrole deviendra plus difficile et de gros investissements seront nécessaires pour l'exploration, l'exploitation et le transport.
- ❖ Les prix du pétrole deviendront plus volatiles après 2015.
- ❖ La dépendance croissante vis-à-vis des régions du Moyen-Orient et de la mer Caspienne confèrera à celles-ci une influence géostratégique accrue. Toutefois, selon l'Agence internationale de l'énergie (IEA), la région du golfe Persique ne portera sa part dans la production mondiale de pétrole qu'à 36 % seulement en 2030 contre 33 % in 2003.
- *La part du gaz naturel augmentera :*
 - ❖ Les réserves sont suffisantes mais pas toujours faciles à exploiter.
 - ❖ Le prix du gaz sera vraisemblablement moins volatile que celui du pétrole, vue les plus importantes réserves relatives et les contrôles moins sévères du volume des approvisionnements par les pays producteurs.
- *Les oléoducs et gazoducs et les navires pétroliers et gaziers resteront les principaux modes de transport.*
- *La consommation de charbon ne devrait pas augmenter autant que par le passé mais peut à nouveau augmenter plus tard au cours du siècle, lorsque les autres combustibles fossiles s'épuiseront.*
- *L'énergie nucléaire restera sujette à controverse. Elle pourrait s'étendre à un petit nombre de nouveaux États, surtout si la sûreté augmente, mais elle sera en recul dans d'autres.*
- *L'utilisation des énergies renouvelables va se développer mais restera globalement marginale.*

Tendances et facteurs technologiques

À l'avenir, à mesure que la R-D privée augmentera, l'innovation devrait être davantage soumise aux forces du marché. L'accent pourrait donc être mis davantage sur la recherche appliquée, mais le taux d'obsolescence pourrait s'accélérer. La R-D s'internationalisera davantage. Dans ce contexte, les questions relatives à la propriété intellectuelle et au contrôle des exportations prendront davantage de place à l'ordre du jour de la politique internationale.

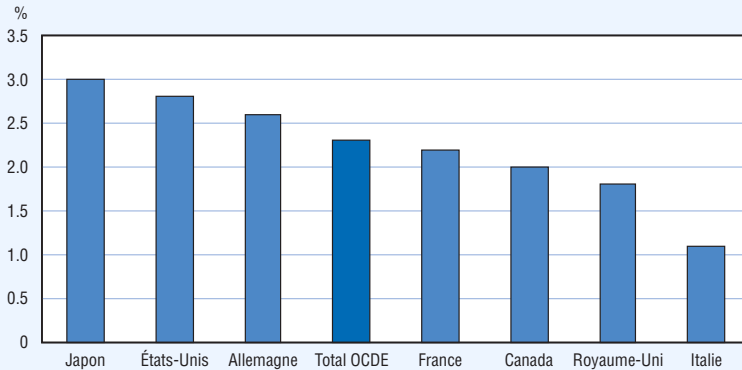
Dans un contexte institutionnel et politique favorable, de grandes innovations dans un large éventail de technologies, notamment les technologies de l'information et des communications (TIC), la biotechnologie et la nanotechnologie, peuvent alimenter une croissance soutenue pendant les décennies à venir. Les TIC devraient rester l'une des grandes sources de gains de productivité, alors que la biotechnologie pourrait offrir un contrôle sans précédent sur les processus de vieillissement et de reproduction, de même que des progrès majeurs dans la prévention et le traitement des maladies. Ces technologies auront aussi des applications importantes dans l'agriculture et la réduction de la pollution. Les progrès de la nanotechnologie pourraient ouvrir la voie, entre autres, au développement de nouveaux matériaux, d'ordinateurs plus puissants, de réseaux plus élaborés, de nouveaux capteurs pour la détection au niveau moléculaire, de matériaux indétectables et de micro-véhicules. Des progrès sont également attendus dans le développement de matériaux « intelligents » et dans la production d'énergie, en particulier dans les piles à combustible, qui pourraient avoir de nombreuses applications dans le transport et la production d'énergie. Les technologies de séquestration du carbone ne devraient toutefois pas être exploitables avant la fin de la période.

En matière de technologie, il y a néanmoins des ombres au tableau. Premièrement, certains domaines de la recherche (tels que le clonage) soulèvent d'importantes questions éthiques. De plus, les progrès de la biotechnologie peuvent conduire au développement d'armements qui pourraient facilement tomber entre de mauvaises mains. Même si des contre-mesures étaient mises en place, le risque de pertes de vies à grande échelle serait élevé. Les progrès des TIC et de la nanotechnologie peuvent également déboucher sur le développement d'armes de destruction massive, tandis que l'application généralisée de certaines de ces technologies pourrait entraîner la disparition totale de toute vie privée. Il est possible que les problèmes soulevés par les effets secondaires négatifs de la technologie déclencheront des attitudes « anti-science » parmi des pans entiers de la population, ainsi que des demandes de contrôles beaucoup plus rigoureux des activités de R-D dans le monde entier.

Tendances générales

Encadré B.8. Dépenses intérieures brutes de R-D

Pourcentage du PIB



Source : OCDE, *Principaux indicateurs de la science et de la technologie*, novembre 2002.

La plupart des activités mondiales de R-D sont effectuées dans des pays de l'OCDE. Parmi les pays du G7, le Japon, les États-Unis et l'Allemagne sont ceux présentant la plus forte orientation technologique.

- *La future géographie de la R-D :*
 - ❖ Jusqu'en 2030, les pays de l'OCDE continueront de dominer l'innovation dans la science et la technologie.
 - ❖ Les États-Unis devraient rester le principal acteur en matière de R-D jusqu'en 2020 au moins.
 - ❖ L'Europe, la Chine et l'Inde peuvent se poser en rivaux des États-Unis dans certains créneaux.
- *Propriété intellectuelle.* La protection de la propriété intellectuelle aura une importance grandissante. Étant donné le volume accru de la recherche, la facilité du partage de l'information et le relâchement des contrôles sur la façon dont la recherche est conduite, la difficulté consistera à assurer une protection efficace.
- *Mesures réglementaires.* Des tentatives seront faites pour réglementer le transfert de technologies ayant un potentiel d'utilisation militaire, mais il

est peu probable que cela empêchera les fuites technologiques au profit d'acteurs étatiques et non étatiques.

- *Internationalisation.* La recherche s'effectuera de plus en plus à l'échelle internationale. Hormis les États-Unis, aucun pays ne sera en position de rester à la pointe de toutes les technologies qu'il juge importantes. Cela compliquera encore plus la protection de la propriété intellectuelle et l'efficacité des contrôles réglementaires du transfert de technologie.
- *Croissance du financement privé.* La tendance à l'augmentation du financement privé se poursuivra dans les pays de l'OCDE.
- *Innovation dictée par les marchés.* La plupart des innovations se produiront vraisemblablement dans le secteur privé plutôt que dans le secteur public. En conséquence, l'accent sera mis davantage sur la recherche appliquée plutôt que sur recherche fondamentale, surtout dans les domaines liés à la biotechnologie.
- *Bonds technologiques.* Les pays en développement pourraient bénéficier de bonds technologiques par l'importation de technologies arrivées à maturité.
- *Intégration des systèmes.* L'intégration de plusieurs technologies produira probablement les bénéfices les plus élevés. Pour cette raison, les techniques nécessaires pour appliquer la technologie aux finalités recherchées seront aussi importantes que la technologie elle-même.
- *Fossé technologique.* Sans l'infrastructure et la formation appropriées, le fossé entre les pays technologiquement compétents et ceux qui ne le sont pas peut se creuser.

Tendances relatives à certaines technologies

TIC

- *Les TIC resteront le principal moteur de croissance de l'économie mondiale :*
 - ❖ Les limitations physiques des semi-conducteurs CMOS de la génération actuelle seront surmontées à mesure que de nouvelles technologies apparaîtront.
 - ❖ La demande de circuits intégrés toujours plus puissants pourra diminuer vu qu'il sera possible d'y répondre en grande partie au moyen de « transistors économiques » (Value Transistors), moins onéreux. Cela pourrait influencer le rythme de la suite du développement technologique.
 - ❖ Les logiciels ont leur importance, mais les développements de nouveaux logiciels sont très difficiles à prévoir.

Encadré B.9. Objectifs de la feuille de route pour le progrès technologique « International Technology Roadmap for Semiconductors »

	2002	2005	2010	2016
Espacement half-pitch ¹ de DRAM (nanomètres)	11 515	8 080	4 545	2 222
Capacité mémoire des DRAM (méga ou gigabits)	512M	2G	8G	64G
Coût par bit des DRAM (micro cents de \$)	5.4.4	1.9.9	0.3434	0.04242
Longueur ² de porte physique des microprocesseurs (nanomètres)	5 353	3 232	1 818	99
Vitesses de microprocesseurs (MHz)	2 317	5 173	11 511	28 751

DRAM = mémoire vive dynamique.

1. « Half pitch » correspond à l'espacement entre deux lignes de métal – plus il est réduit, plus le nombre de cellules est élevé pour une surface donnée.
2. La longueur de porte fait référence à la longueur des « commutateurs » d'un microcircuit – plus elle est faible, plus la microplaquette est rapide.

Source : Bouchard, R. (2003), « Technology Development and the Future of the Space Sector », OECD Working Paper.

La « feuille de route » de l'ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors) a fixé un certain nombre d'objectifs relativement ambitieux pour l'industrie des semi-conducteurs, notamment la division par plus de cent du coût des DRAM sur la période 2002-2016.

- Dans le domaine des technologies de l'information, un certain nombre de technologies de rupture, comme l'électronique évolutive (EHW), les systèmes micro-électro-mécaniques (MEMS) et l'informatique quantique apparaîtront et progresseront rapidement.
- De nouvelles technologies de réseau peuvent apparaître (antennes intelligentes, réseaux maillés (Mesh Network), architectures ad hoc, transmission à très haut débit) et conduire éventuellement à un « réseau sans infrastructure » qui pourrait concurrencer les opérateurs historiques.
- L'ordinateur personnel (PC) et la téléphonie mobile vont progressivement converger :
 - ❖ Les téléphones mobiles peuvent prendre la relève des PC comme principal sujet d'intérêt de l'industrie des TI. D'ici à 2007, près de 300 millions d'Européens pourront avoir des téléphones évolués, ou « téléphones intelligents » (écran couleur, lecteurs de musique ou bien encore prise en charge de jeux téléchargeables).

Biotechnologie

- *De grands progrès sont attendus dans le contrôle des processus de vieillissement et de reproduction et dans la prévention des maladies, jusqu'aux niveaux des cellules et de l'ADN :*
 - ❖ Les progrès de la génomique permettront de manipuler des gènes humains d'ici 2015.
 - ❖ La recherche sur les cellules souches et l'ingénierie des lignées germinales commenceront à offrir la possibilité de choisir certaines caractéristiques de la descendance.
 - ❖ La médecine régénérative permettra de reprogrammer des cellules de manière à former de nouveaux tissus (comme pour se fabriquer un nouveau cœur ou un nouveau rein).
- *L'espérance de vie devrait continuer à augmenter dans les 30 prochaines années, accentuant éventuellement la tendance au vieillissement des populations.*
- *La biotechnologie peut améliorer la qualité du bétail et permettre le développement de végétaux génétiquement modifiés à haut rendement :*
 - ❖ Elle peut contribuer à diminuer les pénuries alimentaires et à atténuer la pauvreté et la faim.
 - ❖ Cependant, cela dépendra dans une large mesure de l'attitude générale des populations vis-à-vis des produits génétiquement modifiés.
- *La biotechnologie aura également des applications militaires :*
 - ❖ Les progrès en matière de biotechnologie augmenteront la capacité des acteurs étatiques et non étatiques de développer des armes biologiques.
 - ❖ Les armes biologiques vont proliférer et devenir plus perfectionnées après 2015; elles deviendront adaptables en termes de durée, de capacité de survie, de transmission, de létalité, de résistance potentielle aux traitements et de spécificité des cibles.
 - ❖ Des contre-mesures plus efficaces seront également disponibles.

Nanotechnologie

- *Une percée décisive de la nanotechnologie peut se produire d'ici 2015 :*
 - ❖ Le marché des produits de la nanotechnologie pourrait atteindre au total USD 1 000 milliards d'ici 2015, mais sa pleine exploitation demandera certainement davantage de temps.
- *Le potentiel complet de la nanotechnologie n'est pas encore clairement établi, mais elle offre des opportunités dans de nombreux domaines :*
 - ❖ Les applications militaires possibles concernent notamment la mise au point de détecteurs perfectionnés, de matériaux indétectables et de micro-

véhicules autonomes. Toutefois, si la nanotechnologie continue d'être guidée par des considérations commerciales, il sera difficile de contrôler sa diffusion et d'en éviter l'acquisition par des ennemis potentiels.

- ❖ L'élargissement de la microtechnologie à la nanotechnologie conduira à la détection par capteur au niveau moléculaire, au moyen de traitements informatiques toujours plus poussés et de mémoires d'une capacité considérablement plus vaste.
- ❖ Les applications médicales seront lentes à voir le jour en raison du coût élevé et des questions de sécurité. La rapidité du progrès technique dépendra du niveau de croissance économique.

Autres technologies

- *Des développements marqués sont attendus dans les domaines tels que la technologie des matériaux et les sources d'énergie.*
- *Les matériaux « intelligents » auront de très nombreuses applications :*
 - ❖ D'ici 2015, le développement de matériaux « intelligents » permettra la production commercialement viable de vêtements répondant aux variations météorologiques, capables d'être reliés à des systèmes d'information, de surveiller les signes vitaux, de délivrer des médicaments et de protéger automatiquement des blessures.
 - ❖ D'autres applications possibles sont les systèmes d'identification de personnes et de sécurité ainsi que des habitations et des véhicules qui s'adaptent automatiquement aux conditions météorologiques.
 - ❖ L'augmentation des performances des matériaux pour la production d'énergie, la détection et l'actionnement pourra aussi permettre de réaliser de nouvelles catégories plus élaborées de robots et de véhicules téléguidés, éventuellement basés sur des modèles biologiques.
 - ❖ L'intégration de ces technologies dans la vie quotidienne dépendra davantage de l'attitude des consommateurs que du développement technologique.
- *Les progrès en matière de technologies énergétiques pourraient avoir un effet majeur tant au plan de l'énergie que de l'environnement. Les progrès devaient être graduels plutôt que révolutionnaires :*
 - ❖ *Hydrogène* : les piles à combustible (hydrogène) ont déjà démontré leurs capacités en tant que sources d'électricité (dans le programme Apollo, par exemple) et de chaleur pour les habitations, et comme sources d'énergie pour les véhicules électriques. L'élargissement de leur utilisation permettrait peut-être d'entrer dans « l'économie de l'hydrogène ». Toutefois, l'hydrogène devra être produit au moyen de sources d'énergie primaires, renouvelables ou non.

- ❖ *Cellules d'énergie solaire* : elles deviendront de plus en plus efficaces et leur coût de production diminuera. L'intégration dans les nouvelles constructions se répandra. Elles ne seront probablement pas compétitives pendant quelque temps en termes de coût par rapport aux sources d'énergie classiques.
- ❖ *Bioénergie* : les progrès des technologies issues de la bioénergie peuvent améliorer leur compétitivité, mais le développement de tels projets pour la production d'électricité restera relativement onéreuse.
- ❖ *Biocarburants* : les progrès concernant la production de biocarburants peuvent faire diminuer leur coût et augmenter leur part de marché, mais ils seront probablement lents.
- ❖ *Énergie géothermique* : la réduction des coûts d'exploration, du forage et des systèmes de conversion géothermique devrait augmenter sa compétitivité.
- ❖ *Énergie éolienne* : cette technologie peut devenir plus intéressante ces dix prochaines années sur les sites les plus favorables. L'irrégularité de l'énergie éolienne et les grandes surfaces de terrain nécessaires resteront des facteurs contraignants.
- ❖ *Séquestration du carbone* : ces technologies sont prometteuses mais elles restent onéreuses (au moins USD 0.2/kWh). D'importants investissements seront nécessaires pour réaliser des percées technologiques dans ce domaine.
- ❖ *Fusion* : depuis les années 50, les progrès réalisés dans la maîtrise de l'énergie de fusion nucléaire à des fins pacifiques ont été lents. Le projet ITER, initiative internationale majeure dans ce domaine, pourrait ouvrir la voie aux applications pratiques de l'énergie de fusion. L'ITER devrait atteindre le niveau de production d'énergie d'une petite centrale à fusion et étudier les principales difficultés techniques à résoudre pour faire de la fusion une source d'énergie utilisable.

ANNEXE C

Experts contributeurs

Raymond Bouchard
Drachma Denarius
Applied Futures Research & Strategic
Planning
Ottawa
Canada

Alain Dupas
International Consultant
Aerospace and High Technology
Sectors
Paris
France

Michel Fouquin
Deputy Director, CEPII
Associate Professor,
University of Paris I
France

Henry R. Hertzfeld
Senior Research Staff Scientist
Space Policy Institute
Center for International Science
and Technology Policy
George Washington University
Washington, DC
États-Unis d'Amérique

Thomas Kane
Department of Politics and
International Studies
University of Hull
Royaume-Uni

Molly Macauley
Senior Fellow
Energy and Natural Resources Division
Director, Academic Programs,
Resources for the Future
Washington, DC
États-Unis d'Amérique

Matthew Mowthorpe
Department of Politics and
International Studies
University of Hull
Royaume-Uni

Walter Peeters
Professor, Space Business &
Management
International Space University
Strasbourg
France

ANNEXE D

Membres du groupe directeur

David Abelson
Deputy Vice President
International
Lockheed Martin Missiles and
Space Operations
États-Unis d'Amérique

Giuseppe Aridon
SVP Corporate Development
Alenia Spazio s.p.a.
Italie

Josef Aschbacher
Programme Co-ordinator
Directorate of Earth Observation
Programmes
Agence spatiale européenne

Ulrich Beck
Head of Business Development
Astrium Space Infrastructure
Allemagne

Seta Boroyan
Programme Co-ordinator,
Space Technologies
Commission for Technology
and Innovation (CTI)
Federal Office for Professional
Education and Technology (OPET)
Suisse

Jean-Marc Chouinard
Chef,
Bureau de la commercialisation,
Technologies spatiales
Agence spatiale canadienne
Canada

Bill Cowley
Director
Institute for Telecommunications
Research (ITR)
University of South Australia
Australie

Pierre Decker
Conseiller de gouvernement
1^{re} classe
ministère de la Culture,
de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche
Luxembourg

Patrick Eymar
Vice-président, Futures Projects,
Launchers Directorate
EADS Space Transportation
France

Paula Freedman
Director of Space Applications
and Transportation
British National Space Centre
Royaume-Uni

Agnès Grandjean
Chargée de mission auprès
du service des recherches
et applications spatiales
Services fédéraux des affaires
scientifiques, techniques
et culturelles
Belgique

Timothy Howell
Principal Administrator
DG Research
Commisson européenne
Roel R. R. Huijsman-Rubingh
Project Director
Ministry of Health, Welfare
and Sport
Pays-Bas

Chin-Young Hwang
Head, Department of Policy Studies
and International Relations
Korea Aerospace Research Institute
Corée du Sud

Andrea Kleinsasser
Manager
Space Research and International
Technology Affairs
Federal Ministry for Transport,
Innovation and Technology
Autriche

Karl-Heinz Kreuzberg
Head of Strategy Department
Directorate of Strategy and External
Relations
Agence spatiale européenne

Christine Leurquin
Manager, European Programmes
SES Global
Belgique

Leon Noorlander
Policy Advisor
Market and Innovation Department
Directorate-General for Innovation
The Netherlands Ministry
of Economic Affairs
Pays-Bas

Ian Press
Director, Data Acquisition Division
Canada Centre for Remote Sensing
Ministry of Natural Resources
Canada
Marcello Ricotilli
Director, Space Program
Telespazio
Italie

Jostein Ronneberg
Director of Application
Development
Norwegian Space Center
Norvège

Timothy Stryker
Chief, Satellite Activities Branch,
International and Interagency
Affairs
NOAA Satellite and Information
Services
US Department of Commerce
États-Unis d'Amérique

Per Tegnér
Chairman and Director General
Swedish National Space Board
Suède

Luca Tonini
Strategy and Scenarios
Alenia Spazio SpA
Italie

Didier Vassaux
Directeur adjoint, Stratégie
et Prospective
Centre national d'études spatiales
(CNES)
France

Frederik Von Dewall
General Manager and Chief
Economist
ING Bank
Pays-Bas

Monique Wagner
Chief of Space Department
Federal Office of Scientific
and Cultural Affairs
Belgique

Jon Wakeling
Office of the BT Group Technology
Officer
British Telecom
Royaume-Uni

Bibliographie

- Agence internationale de l'énergie (2002), *Longer-term Energy and Environment Scenarios: Three Exploratory Scenarios to 2050*, OCDE, Paris.
- Agence internationale de l'énergie (2002), *World Energy Outlook*, OCDE, Paris.
- Antón, P.S., R. Silbergliitt et J. Schneider (2001), « The Global Technology Revolution: Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015 », Rand Corporation, Santa Monica, Californie.
- Baer, W., S. Hassel et B. Vollaard (2002), « Electricity Requirements for a Digital Society », Rand Corporation, www.rand.org/publications/MR/MR1617/.
- Baker, J., K. O'Connell et R. Williamson (eds.) (2001), *Commercial Observation Satellites: At the Leading Edge of Global Transparency*, RAND Corporation and ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), Santa Monica, Californie.
- Banque mondiale (2002), *Perspectives de l'économie mondiale et pays en développement – 2003*, Banque mondiale, Washington, DC.
- Battelle (2003), « Top Ten Strategic Technologies by 2020 », consultable sur : www.battelle.org.
- Bildt, C., J. Peyrelevede et L. Späth (2000), « Towards a Space Agency for the European Union », Rapport remis au Directeur général de l'ESA, http://ravel.esrin.esa.it/docs/annex2_wisemen.pdf.
- Bongaarts, J. et R. Bulatao (dir. publ.) (2000), *Beyond Six Billion: Forecasting the World's Population*, National Academy Press, Washington, DC.
- Bouchard, R. (2003), « Technology Development and the Future of the Space Sector », Document de travail de l'OCDE.
- Boxer, B. (2002), « Global Water Management Dilemmas », *Resources*, n° 146, hiver.
- British National Space Centre (2003), *The Draft UK Space Strategy: 2003-2006 and Beyond*, ministère du Commerce et de l'Industrie, Londres.
- Brown, F. (2002), « Space and ESDP – A Growing Partnership », *Space Policy*, 18, pp. 307-308.
- Bruggeman, D. (2002), « NASA: A Path Dependent Organization », *Technology in Society*, 24, pp. 415-431.
- CNES : Centre national d'études spatiales (2002), *Contrat pluriannuel État-CNES 2002-2005*, Paris.
- Chenard, S. (dir. publ.) (2002), « Satellite Communications and Broadcasting Markets Survey: Worldwide Prospects to 2010 (résumé) », Euroconsult, Paris.
- Cliff, R. (2001), *The Military Potential of China's Commercial Technology*, Rand Corporation, Santa Monica, Californie.

- Commission européenne (2003), *Politique spatiale européenne*, Commission européenne, Luxembourg.
- Commission mondiale sur l'eau pour le XXI^e siècle (2000), www.worldwatercouncil.org/Vision/documents.
- Commission on the Future of the United States Aerospace Industry (2002), *Final Report of the Commission on the Future of the United States Aerospace Industry*, novembre, National Science and Technology Council, Arlington, Virginie.
- Conférence internationale sur l'eau et l'environnement (1992), « Le développement dans la perspective du XXI^e siècle », Dublin.
- Contant, C. (2003), « The Space Policy Summit », *Space Policy*, 19, pp. 63-65.
- Dasgupta, S., B. Laplante, H. Wang et D. Wheeler (2002), « Confronting the Environmental Kuznets Curve », *Journal of Economic Perspectives*, volume 16, n° 1, hiver 2002, pp. 147-168.
- Deutsche Bank Research (2003), « Demografie Spezial », *Aktuelle Themen* Nr. 277.
- Dewar, J.A. (2002), *Assumption-based Planning: A Tool for Reducing Avoidable Surprises*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Diederiks-Verschuur, I.H.Ph. (1999), *An Introduction to Space Law*, Kluwer Law International, Cambridge, Massachusetts.
- Eberstadt, N. (2002), « The Future of AIDS », *Foreign Affairs*, novembre.
- Eurospace (2000), *Industry Recommendations for a European Space Strategy*, Eurospace, Paris.
- Eurospace (2004), *Facts and Figures: The European Space Industry in 2002*, Eurospace, Paris.
- Fabre, H. (2002), « Insurance Strategies for Covering Risk in Outer Space: A French Perspective », *Space Policy*, 18, pp. 281-286.
- FAA : Federal Aviation Administration, Commercial Space Transportation Advisory Committee (2002), *2002 Commercial Space Transportation Forecasts*, www.ast.faa.gov/files/pdf/ForecastMay2k2GSO_NGSO.pdf.
- FCC : Federal Communications Commission (2002), *Spectrum Policy Task Force Report*, Washington, DC.
- Fischer, S. (2003), « Globalization and its Challenges », *American Economic Review*, vol. 93, n° 3, pp. 1-30.
- Frederick, K. (2002), « Handling the Serious and Growing Threats to Our Most Renewable Resource – Water », *Resources for the Future Issue Brief* 11, Washington, DC.
- Futron Corporation (2002), « Space Transportation Costs: Trends in Price per Pound to Orbit 1990-2000 », Futron Corporation, Bethesda, Maryland.
- Gallula, K. et P. Révillion (2002), « Satellite TV and Video Services World Survey and Prospects to 2010: A New Media Is Born (résumé) », Euroconsult, Paris.
- Gaubert, A. (2002), « Public Funding of Space Activities: A Case of Semantics and Misdirection », *Space Policy*, 18, pp. 287-292.
- Giget, M. (dir. publ.) (2002), *Key Trends in Satcoms Economics*, Sommet mondial sur le financement des satellites de télécommunications, Euroconsult, Paris.
- Giget, M. (dir. publ.) (2002), *Long-term Trends in Demand for Launch Services*, World Summit on the Space Transportation Business, Euroconsult, Paris.

- Giget, M. (dir. publ.) (2002), « World Market Prospects for Public Space Programs (résumé) », Euroconsult, Paris.
- Gordon, B.K. (2003), « A High-risk Trade Policy », *Foreign Affairs*, juillet-août.
- Gordon, R.J. (2002), « Two Centuries of Economic Growth: Europe Chasing the American Frontier », communication préparée pour l'atelier d'histoire économique, Northwestern University, Illinois, 17 octobre, Northwestern University et NBER.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2000), *Rapport spécial du GIEC : scénarios d'émissions*, GIEC, Genève.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2001), *Changement climatique 2001*, GIEC, Genève.
- Haskell, E. (dir. publ.) (2003), *The Bridge*, vol. 2, n° 3, www.skyreport.com.
- Hertzfeld, H. et M. Fouquin (2003), « Economic Conditions and the Space Sector », Document de travail de l'OCDE.
- Hertzfeld, H. (2002), *Space Economic Data*, George Washington University, Washington, DC.
- Holtberg, P. et R. Hirsch (2003), « Can We Identify Limits to Worldwide Energy Resources? », *Oil & Gas Journal*, 30 juin.
- Howes, S. (2001), « Identification and Quantification of the Benefits to Europe of Having an Independent Civilian Satellite Navigation System », ESYS plc, Guildford, Royaume-Uni.
- IFRI : Institut français des relations internationales (2003), *Les grandes caractéristiques du commerce international au XXI^e siècle*, Paris.
- Japan National Institute for Defense Studies (1999), *1999-2000 Report on Defense and Strategic Studies*, Tokyo.
- Joint Doctrine & Concepts Centre (2003), *Strategic Trends 2015*, ministère de la Défense, Royaume-Uni.
- Kane, T. et M. Mowthorpe (2003), « The Space Sector and Geopolitical Developments », Document de travail de l'OCDE.
- Kaya, Y. (1990), « Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios », document inédit présenté au Groupe de travail III (Formulation de stratégies) du Sous-groupe sur l'énergie et l'industrie du GIEC, Paris.
- Kelley, J. (1994), *Spacecast 2020*, Air University, United States Air Force, Maxwell Air Force Base, Alabama.
- Kolovos, A. (2002), « Why Europe Needs Space as Part of Its Security and Defence Policy », *Space Policy*, 18, pp. 257-261.
- Kupchan, C. (2002), « The End of the West », *The Atlantic Monthly*, novembre, n° 4, pp. 42-44.
- Lewis, J. (2002), *Preserving America's Strength in Satellite Technology*, A Report of the CSIS Satellite Commission, The CSIS Press, Washington, DC.
- Lutz, W. (dir. publ.) (1996), *The Future Population of the World: What Can We Assume Today?*, Earthscan Publications, Londres.
- Lutz, W., W. Sanderson et S. Scherbov (2001), « The End of World Population Growth », *Nature*, vol. 112.

- Macauley, M. et D. Chen (2003), « Space Resources and the Challenge of Energy and the Environment », Document de travail de l'OCDE.
- Martell, W.C. et T. Yoshihara (2003), « Averting a Sino-U.S. Space Race », *The Washington Quarterly*, automne, pp. 19-35.
- Martino, J.P. (1978), *Technological Forecasting for Decision-Making*, Elsevier, New York.
- Metz, S. (2003), « Asymmetric Warfare and the Future of the West », *Politique Etrangère* 1.
- Murray, W. S. et R. Antonelli (2003), « China's Space Program: The Dragon Eyes the Moon (and US) », *Orbis*, automne, pp. 645-652.
- National Audit Office (2000), *The Private Finance Initiative: The Contract for the Defence Fixed Telecommunications System*, ministère de la Défense, Londres.
- National Intelligence Council (2000), *Global Trends 2015: A Dialogue About the Future with Nongovernment Experts*, National Intelligence Council, Washington, DC.
- National Research Council (1996), *Meeting the Challenges of Megacities in the Developing World: A Collection of Working Papers*, National Academy Press, Washington, DC.
- Nations Unies (2002), *World Population Prospects: The 2002 Revision. Highlights*, New York.
- OCDE : Organisation pour la Coopération et le Développement Économiques (1998), *Les technologies du XXI^e siècle : promesses et périls d'un futur dynamique*, OCDE, Paris.
- OCDE (2002), « La commercialisation de l'espace et le développement de l'infrastructure spatiale : rôle des acteurs publics et privés – proposition de projet pour le Programme sur l'avenir de l'OCDE », OCDE, Paris.
- Office of Fair Trading (2002), « BskyB: The Outcome of the OFT's Competition Act Investigation », Office of Fair Trading, Londres, www.oft.gov.uk/.../oft623.pdf.
- Olcott, M.B. (2003), « Taking Stock of Central Asia », *Journal of International Affairs*, 56:2.
- Oliker, O. et T. Charlick-Paley (2002), *Assessing Russia's Decline: Trends and Implications for the United States and the US Air Force*, Rand Corporation, Santa Monica, Californie.
- Peeters, W. et C. Jolly (2003), « Evaluation of Future Space Markets », Document de travail de l'OCDE.
- Peeters, W. (2000), *Space Marketing: A European Perspective*, Kluwer, Dordrecht.
- Peeters, W. (2002), « Effects of Commercialisation in the European Space Sector », *Space Policy*, 18, pp. 199-204.
- Peeters, W. (2002), « Space Commercialisation Trends and Consequences for the Workforce », Congrès de la Fédération internationale d'aéronautique, Paris.
- Pelton, J. (2000), « An International Approach to Reallocating Spectrum and Seeking New Efficiencies for Future Satellite Communications Frequency Use », *Acta Astronautica*, 47: 2-9, pp. 183-191.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (2002), *Global Environmental Outlook 2002-2032*, produit par l'équipe Geo du PNUE, Division de l'alerte rapide et de l'évaluation (DEWA), Programme des Nations unies pour l'environnement, Nairobi, Kenya.
- Roco, M.C. et W.S. Bainbridge (dir.publ.) (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, World Technology Evaluation Center (WTEC) et National Science Foundation (NSF), Arlington, Virginie.

- Salin, P. (2001), « Privatization and Militarization in the Space Business Environment », *Space Policy*, 17, pp. 19-26.
- Salin, P. (2002), « An Overview of US Commercial Space Legislation and Policies – Present and Future », *Air & Space Law*, 27:3, pp. 209-236.
- Shihab-Eldin, A., R. Lounnas et G. Brennand (2001), « Oil Outlook to 2020 », *OPEC Review*, 25:4, décembre.
- Smith, M. et N. Khoo (2001), « China and US Foreign Policy in the Asia-Pacific: Living with American Dominance », The Royal Institute of International Affairs, *Briefing Paper* n° 22.
- Smith, M. (2001), « Space Launch Vehicles: Government Activities, Commercial Competition, and Satellite Exports », Congressional Research Service, Washington, DC.
- US Department of Transportation/Federal Aviation Administration (2002), « Commercial Space and Launch Insurance: Current Market and Future Outlook », *Quarterly Launch Report*, 4^e trimestre, pp. 8-15.
- Umbach, F. (2002), *Einzelaspekte der Kriege der Zukunft – Kriegsakteure im Zeitalter der Globalisierung*, German Council on Foreign Relations, Berlin.
- UNESCO (2003), *Water for People, Water for Life: The United Nations World Water Development Report*, Paris.
- Van der Heijden, K. (1996), *Scenarios: The Art of Strategic Conversation*, Wiley, New York.
- Wack, P. (1985a), « Scenarios: Shooting the Rapids », *Harvard Business Review*, novembre/décembre, pp. 139-150.
- Wack, P. (1985b), « Scenarios: Uncharted Waters Ahead », *Harvard Business Review*, septembre/octobre, pp. 73-89.
- Watson R.T., M.C. Zinyowera et R.H. Moss (1996), *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Wood, J. et G. Long (2000), « Long-term World Oil Supply », US Energy Information Administration, Washington, DC, www.eia.doe.gov/emeu/plugs/plworld.html.
- Yueh, L.Y. (2003), « China's Economic Growth with WTO Accession: Is it Sustainable? », *Asia Programme Working Paper*, n° 1, The Royal Institute of International Affairs, Londres.
- Zhi Dong, Li (2003), « An Econometric Study on China's Economy, Energy and Environment to the Year 2030 », *Energy Policy* 31, 1137-1150.

Acronymes

ABM	Missile antimissile balistique
ABT	Accord sur les télécommunications de base
ADSL	Réseau de raccordement numérique asymétrique
AIE	Agence internationale de l'énergie
ALENA	Accord de libre-échange nord-américain
ANASE	Association des Nations de l'Asie du Sud-Est
ASAT	Système anti-satellite
C3R	Commandement, communications, conduite et renseignement
CBPRD	Crédits budgétaires publics de R-D
CEI	Communauté des États indépendants
CEV	Véhicule d'exploration habité
CITI	Classification internationale type par industrie
CO₂	Dioxyde de carbone
CSOC	<i>Consolidated Space Operations Contract</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i> (agence du ministère de la Défense américain)
DDD	Diffusion directe à domicile
DHS	<i>Department of Homeland Security</i> (département américain de la sécurité Intérieure)
DIRDE	Dépense intérieure de R-D des entreprises
DoC	<i>Department of Commerce</i> (États-Unis)
DoD	<i>Department of Defense</i> (États-Unis)
DoS	<i>Department of State</i> (États-Unis)
DTM	Modèle de terrain numérique
EADS	<i>European Aeronautic Defence and Space Company</i>
EELV	<i>Evolved Expendable Launch Vehicle</i> (programme de lanceurs américains)
EGAS	Programme européen d'accès garanti à l'espace
EHW	<i>Evolvable Hardware</i> (Équipements évolutifs)
ELV	Lanceur consommable
EO	Observation de la Terre
ERS	Satellite européen d'observation de la Terre
ESA	Agence spatiale européenne
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCC	<i>Federal Communications Commission</i> (États-Unis)

GaAs	Arséniure de gallium
FEO	Orbite géostationnaire terrestre
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GMEC	<i>Global Monitoring for Environment and Security</i>
GNSS	Système mondial de navigation par satellites
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Système de positionnement global)
GTO	Orbite de transfert géostationnaire
GW	Gigawatt
HALE	<i>High Altitude Long Endurance</i> (Haute altitude longue endurance)
HCV	<i>Véhicule de croisière hypersonique</i>
IA	Intelligence artificielle
IDE	Investissement direct étranger
IFP	Initiative de financement privé
IGS	<i>Information Gathering Satellite</i> (Japon)
IHS	Systèmes de routage intelligent
ILS	<i>International Launch Services</i>
ISRO	<i>Indian Space Research Organisation</i>
ISA	<i>International Space Agency</i>
ITER	Projet international de recherche sur l'énergie de fusion nucléaire
ITRS	<i>International Technology Roadmap for Semiconductors</i>
JAXA	<i>Japan Aerospace and Exploratory Agency</i>
JEITA	<i>Japan Electronics & Information Technology Industry Association</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i> (États-Unis)
KSIA	<i>Korean Semiconductor Industry Association</i>
kW	Kilowatt
LBS	Services basés sur la localisation LBS
LEO	Orbite terrestre basse
MEMS	Micro systèmes électromécaniques
MEO	Orbite terrestre moyenne
MHD	Magnéto hydrodynamique
MIPS	Million d'instructions par seconde
NACE	Nomenclature générale des activités économiques dans les Communautés européennes
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (États-Unis)
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i> (États-Unis)
NRO	<i>National Reconnaissance Office</i> (États-Unis)
OBP	Traitement embarqué
OEB	Office européen des brevets
OIG	Organisations intergouvernementales
OIT	Organisation internationale du travail
OMC	Organisation mondiale du commerce

OMS	Organisation mondiale de la santé
ONG	Organisation non gouvernementale
OSP	Avion spatial orbital (<i>orbital space plane</i>)
OTAN	Organisation du Traité de l'Atlantique Nord
PC	Ordinateur personnel
PESD	Politique européenne de sécurité et de défense
PIB	Produit intérieur brut
PPP	Partenariat public-privé
RASA/RKA	Agence spatiale russe
R-D	Recherche et Développement
RDS	Radiodiffusion par satellite
RF	Radiofréquence
RFID	Identification par radiofréquence
RLV	Lanceur réutilisable
SAC	<i>Space Activities Commission</i> (Japon)
SBL	Laser positionné dans l'espace
SCIAN	Système de classification des industries de l'Amérique du Nord
SH	Système harmonisé (Organisation mondiale des douanes)
SIG	Système d'information géographique
SLI	<i>Space Launch Initiative</i>
SLV	<i>Small Launch Vehicle</i>
SPS	Satellite de production d'énergie solaire
SSI	Station spatiale Internationale
SS/L	<i>Space Systems/Loral</i>
STAS	<i>Space Transportation Architecture Study</i>
TDF	TéléDiffusion de France
TIC	Technologies de l'information et des communications
TSTO	Lanceur à deux étages
TV	Télévision
UIT	Union internationale des télécommunications
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
USPTO	<i>United States Patent & Trademark Office</i>
UV	Véhicule automatisé
WME	Arme de destruction massive
WPT	Transport hertzien d'énergie
WTTC	Conseil mondial du tourisme et des voyages

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(03 2004 02 2 P) ISBN 92-64-02033-0 – n° 53384 2004
ISBN 2-86883-808-1
EAN 9782868838087

L'espace à l'horizon 2030

QUEL AVENIR POUR LES APPLICATIONS SPATIALES ?

Depuis le lancement du Spoutnik en 1957, l'attention des médias a été pratiquement monopolisée par des missions spatiales spectaculaires comme l'alunissage d'Apollo en 1969 ou, plus récemment, les étonnantes images de Mars transmises par Mars Pathfinder en 1997 puis par Spirit en 2004. Pourtant, les acteurs de la conquête spatiale ont aussi connu des revers, avec des événements dramatiques comme la tragédie de Columbia, des dépassements budgétaires vertigineux, des espoirs largement déçus et des réductions drastiques des financements publics destinés aux programmes spatiaux.

Mais l'espace est davantage qu'une vitrine qui permet aux nations de faire parade de leur avancée technologique. Au fil des années, les progrès des technologies spatiales ont conduit au développement d'équipements militaires et civils de plus en plus sophistiqués, permettant un nombre croissant d'applications : télécommunications, télédétection et observation de la terre, applications de navigation et de localisation. Les équipements spatiaux d'origine militaire ont acquis une place cardinale dans les arsenaux des nations spatiales. Et les applications permises par les équipements du secteur spatial civil ont, elles aussi, un impact croissant sur nos vies quotidiennes — même si nous n'en sommes pas toujours conscients.

Quelles sont maintenant les perspectives du secteur spatial ? Quels sont les obstacles à la poursuite de son développement ? Quel est son avenir à plus long terme ? Quelles sont ses applications les plus prometteuses ?

Pour répondre à ces questions, ce rapport examine un certain nombre de scénarios afin d'explorer les possibilités d'évolution des principales composantes du secteur spatial (le volet militaire, le volet civil et le volet commercial) sur les trois décennies à venir, compte tenu des évolutions d'ordre géopolitique, socio-économique, énergétique et environnemental, et technologique. Cette analyse offre ainsi une base pour évaluer les perspectives d'un certain nombre d'applications spatiales, en tenant compte des progrès attendus dans des technologies complémentaires (telles que la microélectronique, les nanotechnologies et la robotique) ainsi que dans les technologies spatiales.

Les livres, périodiques et données statistiques de l'OCDE sont maintenant disponibles sur www.SourceOCDE.org, notre bibliothèque en ligne.

Cet ouvrage est disponible sur SourceOCDE dans le cadre de l'abonnement aux thèmes suivants :

Économie générale et études prospectives

Science et technologies de l'information

Demandez à votre bibliothécaire des détails concernant l'accès aux publications en ligne ou écrivez-nous à

SourceOECD@oecd.org

www.oecd.org



ISBN 92-64-02033-0

03 2004 02 2 P

