

L'espace et les services

Le spectre des services spatiaux recouvre quatre grands types d'applications, à savoir : les télécommunications, la navigation, l'observation de la Terre et les missions scientifiques.

Ce sont les télécommunications qui ont connu le développement commercial le plus spectaculaire au travers d'applications civiles (comme la télévision) ou militaires.

Les défis à venir ne manquent pas. S'ils sont bien sûr techniques, ils sont également sociaux, politiques et financiers.

Fort de ses propriétés uniques (ubiquité, vision globale ou précise, disponibilité), le satellite est et restera le vecteur incontournable pour un nombre croissant d'applications : télédiffusion, communications sécurisées et robustes, navigation, surveillance, étude des phénomènes météorologiques, environnement...

Par Eric BÉRANGER*

LES SERVICES SPATIAUX ET LEURS APPLICATIONS

Les services spatiaux sont récents. Ils sont nés avec notre capacité à satelliser des objets autour de la Terre. On les distingue généralement en fonction de quatre types d'applications : les télécommunications, la navigation, l'observation de la Terre et les missions scientifiques.

Les télécommunications spatiales

Les télécommunications spatiales représentent l'application dont l'essor commercial est, de loin, le plus significatif. Depuis le lancement de Telstar 1, qui a permis (le 11 juillet 1962) la première transmission de télévision en direct entre les Etats-Unis et la France, l'essor de ces télécommunications a été extraordinaire (avec un taux annuel de croissance supérieur à 10 %).

Aujourd'hui, les satellites de télécommunications permettent de diffuser des milliers de chaînes de télévision et de communiquer entre tous les points du globe.

La navigation

Ces systèmes sont généralement constitués de constellations de quelques dizaines de satellites permettant une couverture de l'ensemble du globe. Tous les systèmes (américain : GPS, européen : Galiléo, russe : Glonass, ou chinois : Beidou) fonctionnent sur le même principe : la mesure simultanée des distances séparant un point d'au moins trois satellites permet de déterminer les coordonnées de ce point dans l'espace et donc de se situer sur Terre, avec une précision métrique (voire infra-métrique).

* Ingénieur des Mines, CEO d'Astrium Services.



L'observation de la Terre

L'impact visuel des images satellite de la Terre est toujours aussi grand, cinquante ans après l'obtention du premier cliché de ce type. L'observation de la Terre apporte une vision de sa surface qui peut être soit globale, soit très précise. Dans le premier cas, des applications aussi diverses que les prévisions météorologiques ou la détection de lancements de missiles sont rendues possibles grâce à des satellites qui prennent une image du globe terrestre à intervalles réguliers. Dans le second cas, l'observation satellitaire, grâce à sa précision, permet de cartographier un territoire, de mesurer l'impact d'une catastrophe naturelle ou de suivre l'évolution de l'urbanisation d'une région (par exemple, sur une décennie).

Les missions scientifiques

Elles recouvrent une grande variété d'applications. Citons (sans prétendre à l'exhaustivité) l'analyse des propriétés physiques de notre étoile (le Soleil), l'exploration du système solaire et, plus globalement, l'étude de l'univers et de son histoire : la vie et la mort des étoiles, la formation des galaxies et la naissance de l'univers !

Nous nous intéresserons dans la suite de cet article aux trois premières de ces applications.

Les télécommunications spatiales

La majorité des satellites de télécommunications sont placés sur une orbite circulaire, à 36 000 km d'altitude, dans le plan de l'Equateur (l'orbite géostationnaire).

Pourquoi choisit-on cette orbite ?

Un satellite placé sur cette orbite a la particularité d'effectuer un tour autour de la Terre en 24 heures. Comme la Terre effectue dans le même laps de temps un tour sur elle-même, le satellite apparaît donc à un observateur terrestre comme un point fixe dans le ciel. Les antennes que nous utilisons pour communiquer avec un tel satellite peuvent donc être orientées en permanence vers ce point fixe. Cette simplicité a fortement contribué au spectaculaire développement commercial des télécommunications spatiales.

Les applications civiles

Les satellites de télécommunications ont d'abord été destinés à assurer les liaisons intercontinentales, mais ils



© Paradigm

Colerne - Station de contrôle satellite.



ont rapidement été utilisés pour communiquer entre deux points d'un même continent. Plus les pays ont un territoire étendu (Russie, Canada) ou dispersé (l'Indonésie, avec ses milliers d'îles), et plus l'usage du satellite est attractif. Progressivement, les satellites ont été utilisés de plus en plus pour la diffusion télévisée. Un seul satellite peut diffuser simultanément plusieurs centaines de chaînes de télévision et ce, à l'échelle d'un continent. Cette application génère aujourd'hui la majorité du chiffre d'affaires des opérateurs de satellites de télécommunications et représente environ 60 % de la capacité civile mondiale.

Même si les orbites géostationnaires sont les orbites privilégiées pour les télécommunications spatiales, d'autres orbites sont également utilisées. Un des inconvénients de l'orbite géostationnaire tient au fait qu'étant située dans le plan de l'Equateur, la communication n'est plus possible dès que l'on se trouve à proximité du Pôle Nord ou du Pôle Sud. Pour assurer une couverture globale, il faut donc placer des satellites sur des orbites non équatoriales : c'est ce qu'ont entrepris des sociétés comme Iridium ou Globalstar. Ne se trouvant pas sur l'orbite géostationnaire, ces satellites ne constituent pas un point fixe par rapport à la surface du globe. Comme ces satellites sont beaucoup plus proches de celle-ci (de l'ordre de 1 000 km, et non plus 36 000 km) et comme les fréquences de communications utilisées sont plus basses, on peut utiliser des antennes omnidirectionnelles, qui permettent d'entrer en communication avec ces satellites au moyen de « gros » téléphones portables et ce, depuis n'importe quel point du globe.

Les applications militaires

Les satellites de télécommunications militaires évoluent généralement sur orbite géostationnaire, ils ressemblent beaucoup à leurs homologues civils. S'ils en diffèrent, c'est par les bandes de fréquence utilisées : celles-ci sont exclusivement réservées aux gouvernements, ce qui permet d'éviter tout risque d'interférence avec les applications civiles. Les satellites militaires sont également plus robustes : ils résistent au brouillage et sont capables (pour les plus sophistiqués) de survivre à l'impulsion électromagnétique générée par une explosion nucléaire. Enfin, les communications avec les satellites militaires sont sécurisées par cryptage ainsi que par le recours à certaines astuces, comme celle consistant à utiliser plusieurs fréquences à la fois pour transmettre un message. L'exposé des applications civiles permet facilement d'imaginer l'intérêt de ces satellites pour les militaires. Disposer, sur un théâtre d'opération, d'un moyen de communication sécurisé, difficile à perturber et quasiment impossible à mettre hors service est une capacité stratégique de premier plan. Les pays qui ont pu s'en doter l'ont tous fait : en Europe, la France a déployé les satellites Syracuse ; le Royaume-Uni, les satellites Skynet ; l'Allemagne, les satellites Satcom BW ; l'Italie,

les satellites Sicral et, enfin, l'Espagne, le satellite Spainsat. Les Etats-Unis opèrent plusieurs systèmes en parallèle, et la Russie et la Chine ont elles aussi chacune leurs propres infrastructures.

LA NAVIGATION

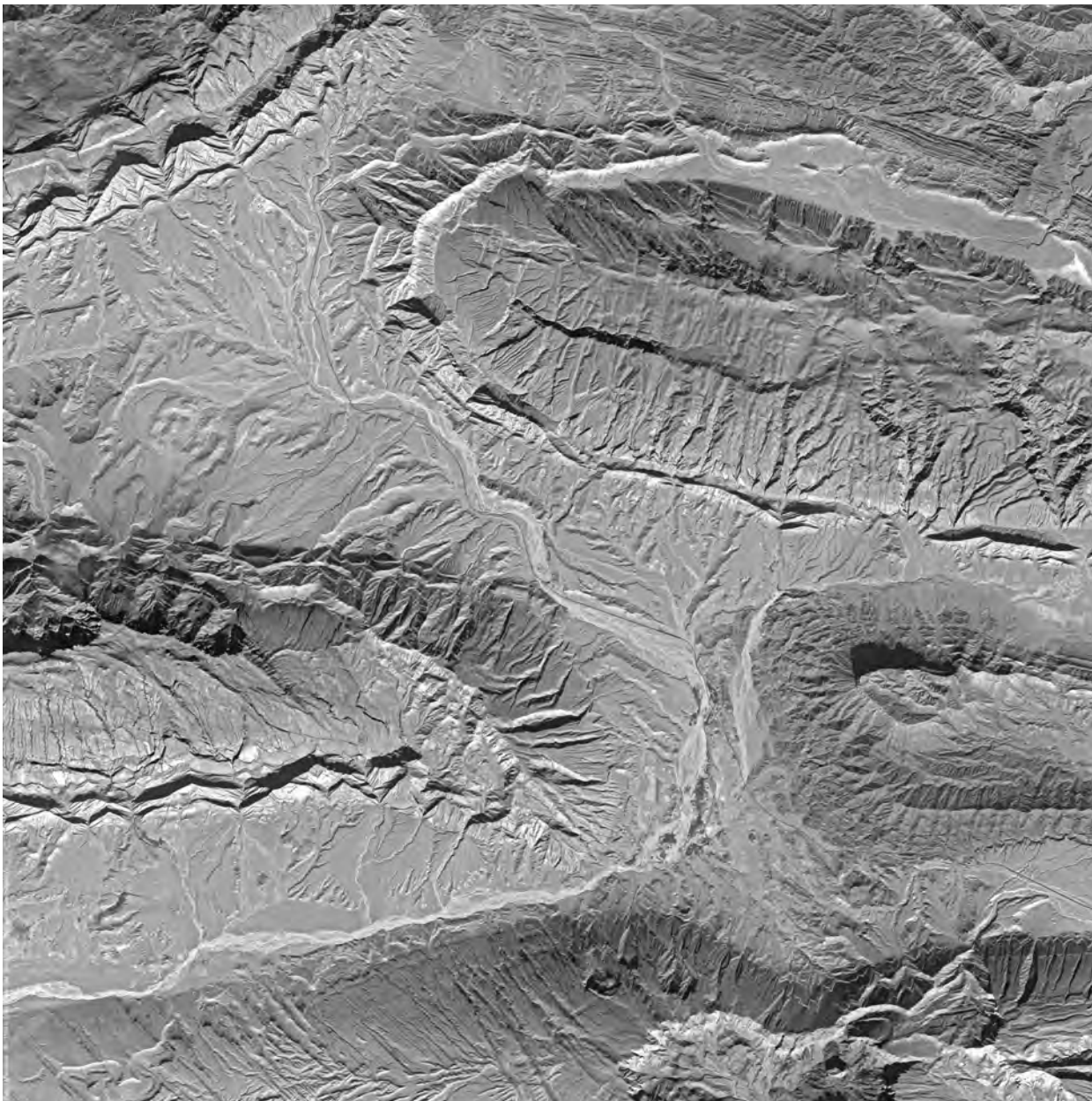
Les satellites de navigation, imaginés à l'origine par les militaires américains, sont aujourd'hui utilisés partout dans le monde pour des applications tant civiles que militaires. Evoluant sur des orbites situées entre l'orbite géostationnaire et des orbites basses (à une altitude d'environ 24 000 km pour Galileo, le système de navigation européen), ils émettent des signaux périodiques qui indiquent leur position à un instant donné. Un utilisateur sur la surface de la Terre recevant les signaux émis par quatre satellites différents peut ainsi calculer sa position par triangulation. Mathématiquement, seuls trois satellites seraient nécessaires pour déterminer une position par triangulation, mais cela nécessiterait une horloge parfaitement synchronisée : les signaux se propagent à la vitesse de la lumière, une erreur de 1 m/s correspond à une distance de 300 km ! Le quatrième satellite permet de s'affranchir de cette contrainte, et permet, en plus, de synchroniser une horloge terrestre avec une excellente précision. Cette propriété est d'ailleurs utilisée par les opérateurs de téléphonie mobile pour synchroniser leurs réseaux en tous les points du globe.

L'OBSERVATION DE LA TERRE

La majorité des satellites d'observation occupent des orbites basses se situant entre 600 et 1 000 km d'altitude. A ces altitudes, la loi de la gravitation fixe la période de rotation d'un satellite autour de la Terre à environ 100 minutes. Alors qu'un satellite de télécommunications en orbite géostationnaire effectuait un tour complet en 24 heures, un satellite d'observation en orbite basse décrira une quinzaine d'orbites dans ce même laps de temps.

Certains satellites météorologiques constituent une exception, car ils sont situés sur l'orbite géostationnaire. En effet, une image d'ensemble du globe avec une résolution de l'ordre du kilomètre (la taille d'un pixel de l'image) est parfaitement adaptée à l'étude des phénomènes climatiques.

Revenons aux satellites d'observation placés en orbite basse. Leur principale différence avec les satellites de télécommunications est le plan dans lequel s'inscrit leur orbite. Si dans le cas de ces derniers, le plan correspond à celui de l'Equateur, les orbites des satellites d'observation sont généralement situées dans un plan quasi polaire. Si les paramètres orbitaux sont réglés de manière astucieuse, ces deux propriétés permettent à un satellite d'observation de survoler n'importe quel point du



© CNES 2002 - Distribution Astrium Services / Spot Image

Spot 5 - Monts Zagros en Iran. Zone de jonction de la plaque tectonique arabe et de la plaque euro asiatique.

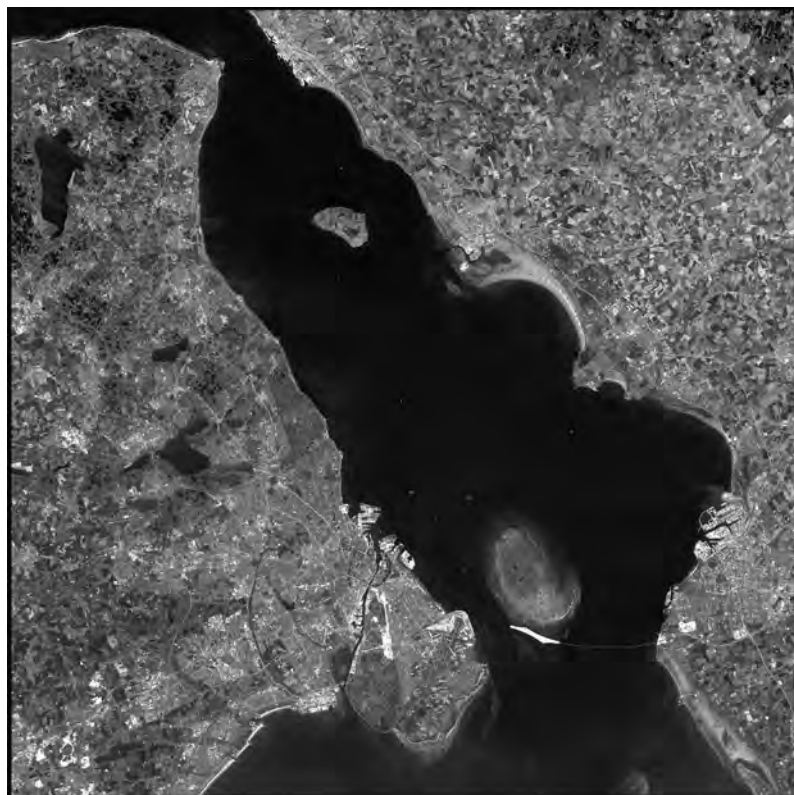
globe depuis une altitude fixe (de l'ordre de 600 km). A cette altitude, les instruments optiques les plus performants peuvent distinguer des détails de l'ordre du mètre pour les applications civiles, et jusqu'à quelques dizaines de centimètres pour les applications militaires. Si dans le domaine des télécommunications, les applications civiles ont précédé les applications militaires, c'est l'inverse dans celui de l'observation de la Terre.

Les applications militaires

Le satellite d'observation, souvent appelé satellite « espion », a joué pendant la Guerre froide un rôle central. Dès la fin de la Deuxième guerre mondiale,

Américains et Soviétiques ont travaillé en grand secret à mettre au point les premiers satellites espions. Les premières images ont été obtenues en 1960 par un satellite américain. A l'aide d'une caméra, ce satellite filmait le sol défilant à plus de 7 km/s à quelques centaines de kilomètres au-dessous de lui. Le film était désorbité, parachuté et récupéré en vol par un avion. Les données étaient ensuite examinées pour en déduire, en particulier, la position des sites de lancement de missiles. Les photos satellites américaines de Cuba ont sans doute contribué à éviter une issue dramatique lors de la crise de la Baie des Cochons en 1962. Depuis 1995, la France dispose du satellite d'observation militaire Hélios, qui a permis, en 2003, à ses responsables politiques de se faire une opinion en toute indépendance sur la présence supposée d'armes de destruction massive en Irak.





© CNES/Spot image/GAMMA

« La résolution spatiale, de 10 mètres avec Spot 1, en 1986, atteint aujourd'hui quelques dizaines de centimètres dans le domaine militaire, et cette performance sera très vraisemblablement atteinte par les satellites commerciaux dans les prochaines années. Nous atteignons des limites physiques et il sera difficile de faire beaucoup mieux dans le moyen terme ». *La baie de Malmö (au Danemark), vue par le satellite Spot 5 en 2002.*

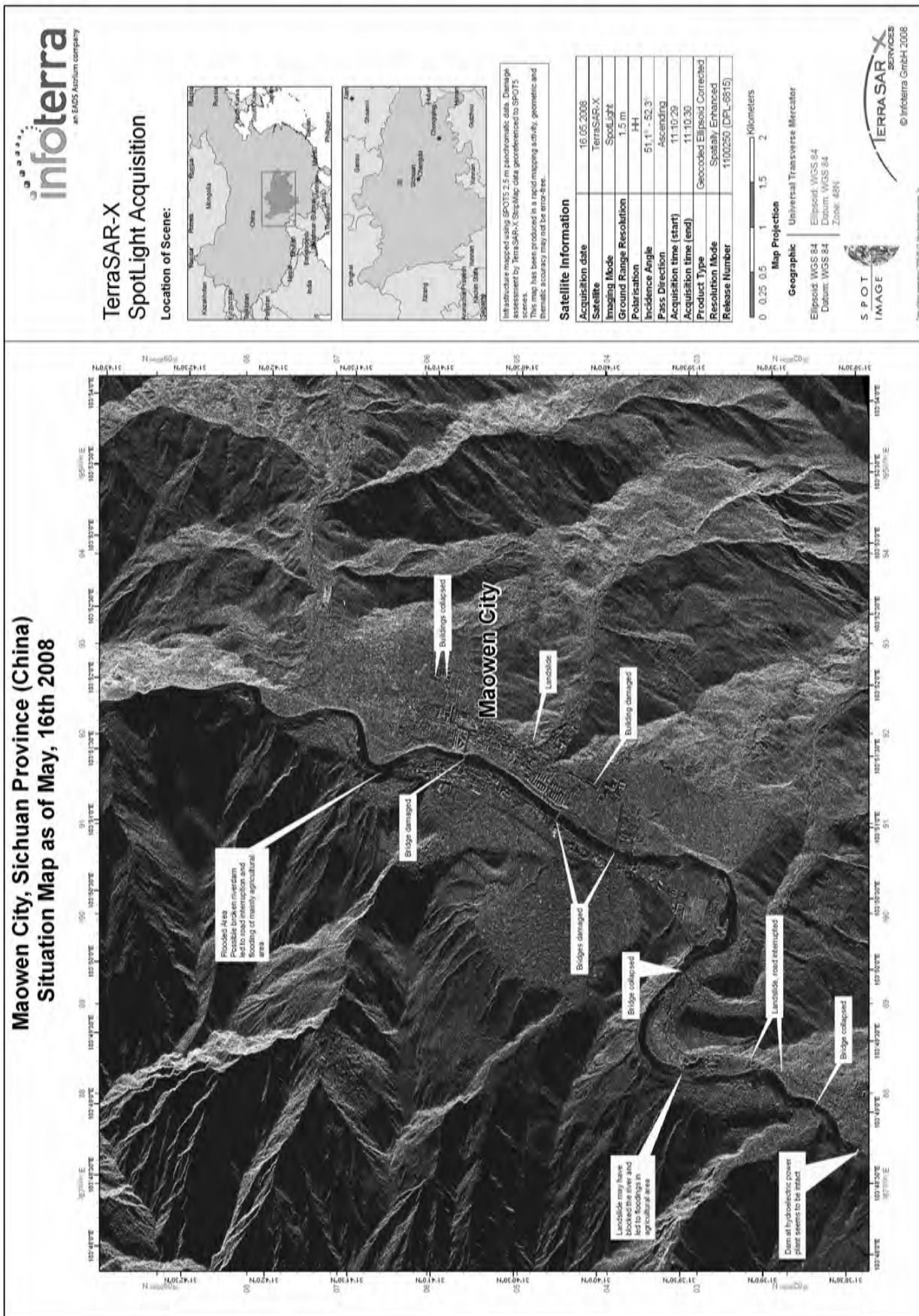
La majorité des satellites d'observation militaires travaillent dans le domaine optique. Ils fonctionnent sur le même principe qu'un appareil photo numérique, mais prennent des photos beaucoup plus détaillées allant jusqu'à 30 000 pixels de côté (soit l'équivalent d'un appareil photo de 900 megapixels !). Certains satellites fonctionnent sur un principe différent : ce sont les satellites radars, qui émettent des impulsions radar et enregistrent les échos réfléchis par la surface de la Terre. Les informations recueillies sur le contour des objets et les propriétés réfléchissantes des surfaces éclairées peuvent ensuite être présentées sous la forme d'une image comparable à une image optique, dont l'interprétation requiert cependant une expertise importante. Les satellites radars présentent deux avantages majeurs par rapport aux satellites optiques : ils sont opérationnels de jour comme de nuit et ne sont pas soumis aux caprices de la météo. Pour les zones équatoriales, où la couverture nuageuse est fréquente, il est extrêmement difficile d'obtenir une image en lumière visible, et les images radar restent souvent la seule option mobilisable dans un délai raisonnable. Cela explique le grand intérêt des militaires pour cette technologie, dont ils sont les principaux utilisateurs.

Mentionnons brièvement, pour conclure :

- les satellites d'alerte avancée : leur mission principale est de détecter le départ de missiles intercontinentaux. Ces satellites jouent un rôle de premier rang pour la crédibilité d'une force de dissuasion nucléaire en permettant d'identifier très rapidement un agresseur potentiel. Ils constituent également la première pierre d'un système de défense contre les missiles balistiques ;
- les satellites d'écoute électromagnétique : ils permettent, quant à eux, de relever les indices d'activité militaire par tous les temps.

Les applications civiles

A l'exception de la France, où le premier satellite civil (Spot 1, 1986) est lancé près d'une décennie avant Hélios 1 (1995), l'observation civile apparaît bien après la reconnaissance militaire. Malgré des contributions souvent primordiales et reconnues dans plusieurs domaines (cartographie, développement urbain, cadastre, agriculture, recherches minières, soutien logistique aux sauveteurs lors de catastrophes naturelles, comme récemment en Haïti), l'observa-



ERIC BÉRANGER

Photo prise par le radar TerraSAR-X. Les photos ainsi fournies ont été des informations précieuses dans l'organisation des secours lors des tremblements de terre qui ont frappé la Chine.

tion civile n'a pas connu un essor commercial aussi spectaculaire que celui des télécommunications.

Contrairement au marché des télécommunications, le marché de l'observation civile ne permet pas de rentabiliser à lui seul un investissement privé sur le long terme. Les gouvernements génèrent la majeure partie du chiffre d'affaires de l'observation civile, pour des applications qui restent très proches de la reconnaissance militaire évoquée précédemment.

LES DÉFIS FUTURS

Tournons maintenant notre regard vers l'avenir et examinons quelques-uns des enjeux sociaux, techniques et économiques qui orienteront l'évolution des services spatiaux.

Le désenclavement

L'Union européenne s'est fixé les objectifs d'une couverture européenne à haut débit à 100 % d'ici à 2013, et, à échéance 2020, d'une offre d'un accès pour chaque Européen à une bande passante de 30 Mégabits/seconde. Pour les zones urbaines densément peuplées, les réseaux terrestres en fibre optique seront les plus adaptés. Pour les zones rurales ou faiblement peuplées, c'est le satellite de télécommunication qui reste le plus attractif. Le satellite KA-SAT (lancé en décembre 2010) permet de généraliser la connexion à haut débit sur tout le territoire européen pour un coût comparable à celui des offres ADSL. En France, KA-SAT pourra desservir jusqu'à 300 000 foyers, auxquels il permettra d'accéder à Internet avec des débits descendants jusqu'à 10 Mbit/s et des débits montants supérieurs à 4 Mbit/s. Le défi à relever sera celui de disposer d'une constellation de satellites d'une capacité suffisante pour satisfaire un nombre croissant d'utilisateurs d'applications de plus en plus gourmandes en bande passante (comme la vidéo en temps réel ou le téléchargement de très gros fichiers).

L'environnement

La question de l'impact de l'activité humaine sur l'environnement est au centre de controverses dans lesquelles nous n'entrerons pas ici. Il y a cependant un point du débat qui fait l'unanimité : une meilleure connaissance des phénomènes en jeu (en particulier grâce à la réduction des marges d'incertitude des modèles) est indispensable pour parfaire celle des phénomènes à l'échelle de la Terre : le climat, le cycle de l'eau et celui du carbone. Le satellite est un outil irremplaçable pour recueillir des données fiables.

La surveillance

L'évolution des satellites d'observation peut être caractérisée par la progression de leurs performances sur deux dimensions : leur résolution spatiale et leur résolution temporelle. La résolution spatiale, de 10 mètres avec Spot 1, en 1986, atteint aujourd'hui quelques dizaines de centimètres dans le domaine militaire, et cette performance sera très vraisemblablement atteinte par les satellites commerciaux dans les prochaines années. Nous atteignons des limites physiques et il sera difficile de faire beaucoup mieux dans le moyen terme. Augmenter la résolution temporelle est moins problématique, plusieurs approches étant possibles. Un satellite d'observation en orbite basse peut typiquement imager une zone assez réduite à intervalles relativement longs : il faudra, par exemple, plus d'un mois à Spot 6 pour obtenir une couverture complète du globe terrestre avec une résolution de 1,5 mètre (sans prendre en compte la nécessité de refaire les photos occultées par des nuages !).

Pour réduire ce « temps de revisite », on peut :

- rendre les satellites agiles, c'est-à-dire susceptibles de s'orienter en oblique pour photographier une zone adjacente à leur trajectoire au sol ;
- multiplier le nombre des satellites : par exemple, les programmes Astroterra et Pléiades sont chacun composés de deux satellites ;
- fusionner les données provenant d'un grand nombre de satellites appartenant à des opérateurs différents ;
- placer le satellite d'observation en orbite géostationnaire : on peut alors réaliser des vidéos d'une zone au sol, si l'on accepte une résolution spatiale de quelques mètres au mieux (le satellite est 50 fois plus éloigné de la surface de la Terre qu'en orbite basse). Ce type de système est techniquement faisable et pourrait voir le jour dans les années qui viennent.

La gestion de l'information

L'amélioration des résolutions spatiale et temporelle des satellites conduit à une multiplication de la quantité de données transmises quelle que soit l'approche adoptée. La gestion de ces importantes quantités d'informations est un défi à la fois technique (standardisation, échange en temps réel d'importantes quantités d'informations, fusion d'informations en temps réel, algorithmes d'intelligence artificielle...) et politique (coopération internationale, certification des données...).

Le financement

Quelle que soit l'application, les services spatiaux ont vu le jour grâce à un investissement initial massif dans l'infrastructure, financé par un ou plusieurs gouvernements(s).

Dans le domaine des télécommunications civiles, les opérateurs étaient tous publics à l'origine avant d'être privatisés une fois l'écosystème économique créé.

Les télécommunications militaires ont été (et restent encore aujourd'hui) très majoritairement financées par les Etats, mais le passage au financement privé dans le cadre de partenariats public-privé a commencé. Le meilleur exemple en est le programme Skynet 5, le système de télécommunications militaires britannique qui est opéré par une société privée.

Pour les systèmes de navigation, le financement est étatique, même si des financements privés minoritaires peuvent être envisagés.

Enfin, le financement de l'observation de la Terre, historiquement exclusivement étatique, a vu récemment apparaître quelques initiatives de financement privé. Néanmoins, le marché des services spatiaux d'observation reste très dépendant du soutien étatique.

Ce soutien est particulièrement fort aux Etats-Unis. Les deux acteurs américains principaux ont bénéficié chacun en 2010 d'un contrat gouvernemental de 3,5 milliards de dollars sur dix ans, ce qui leur donne la possibilité d'investir dans des satellites très performants et de vendre leurs images à des clients tiers au coût marginal. Difficile dans ces conditions, pour un investisseur privé, de se lancer sur ce marché sur des bases exclusivement commerciales ! Confier la gestion d'un satellite d'observation à une société privée comme Astrium Services, permet à un gouvernement de disposer d'une capacité d'imagerie pour un budget minimal. Les images vendues à des tiers (gouvernements, acteurs privés) permettent de générer un revenu complémentaire significatif et croissant.

CONCLUSION

Nous l'avons vu, les défis ne manquent pas. Ils sont bien sûr techniques, mais ils sont également sociaux, politiques et financiers. L'évolution permanente est une constante dans le domaine des services spatiaux.

Le satellite a des propriétés uniques : ubiquité, disponibilité instantanée, indépendance vis-à-vis de l'infrastructure terrestre, vision globale ou précise, qui le rendent incontournable pour un nombre croissant d'applications : télédiffusion, communications sécurisées et robustes, navigation, surveillance, météorologie, environnement...

Les évolutions futures contribueront à l'augmentation continue de la quantité d'informations. La capacité à gérer et à traiter ces informations représente probablement le défi le plus intéressant à relever pour l'industrie des services spatiaux à l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Philippe COUILLARD, *Lanceurs et satellites*, Editions Cépaduès, ISBN 2.85428.662.6, janvier 2005.
- [2] Alban PRAQUIN, « Contrat de partenariat et dépense de la défense », *Bulletin de l'Observatoire économique de la Défense* n° 52, octobre 2009.
- [3] Simon KERSHAW, *Private Finance for Skynet 5*, RUSI Defence systems, été 2004.