



Commission européenne

numéro spécial – septembre 2007

research^{eu}

magazine de l'espace européen de la recherche

ISSN 1830-799X

Satellite **La Terre,**
une œuvre d'art

© ESA

Magazine de l'Espace européen de la recherche, soucieux d'élargir le débat démocratique entre science et société, research*eu est rédigé par des journalistes professionnels indépendants. Il présente et analyse des projets, des résultats et des initiatives dont les acteurs, hommes et femmes, contribuent à renforcer et à fédérer l'excellence scientifique et technologique de l'Europe. Publié en anglais, français, allemand et espagnol, à raison de dix numéros par an, research*eu est édité par l'Unité Communication de la DG Recherche de la Commission européenne.

Vues de Terre

La Terre, une œuvre d'art? Les photographies de ce numéro nous incitent, en effet, à (re)découvrir une planète toute en beauté, riche et fragile à la fois. Mais, dans les pages qui suivent, c'est aussi la science qui fait œuvre d'art. Car l'iconographie de ce numéro n'a pas été composée pour le plaisir des sens: elle est un pur produit de recherche pointue et de haute technologie. Les images présentées, sublimes en effet, nous rappellent que l'observation de la Terre, développée au départ dans un but militaire, a donné à la société de nombreuses applications civiles. Celles-ci ont révolutionné la météorologie et bouleversé tous ses modèles. En traquant cyclones, ouragans et autres tsunamis, les satellites alertent les populations menacées. À partir des données venues d'en-haut, les scientifiques anticipent l'apparition et l'évolution des épidémies, sauvant ainsi des vies humaines. Ils suivent l'évolution du climat et surveillent l'état de la couche d'ozone. Et ce n'est pas tout: les radars embarqués sur les satellites cartographient les fonds marins et les courants, permettant d'optimiser le routage maritime, la pêche ainsi que l'aménagement des côtes et des plates-formes off-shore.

Vue de la Terre, l'activité qui se développe dans le ciel donne la mesure du marché que représentent les applications spatiales. Aujourd'hui, quelques 3 100 satellites gravitent autour du globe, sans compter les satellites militaires secrets et les débris ignorés en tout genre!

Mais alors que, sur terre, l'Europe se construit lentement, celle-ci est déjà une réalité dans notre ciel! Et, les yeux dans l'espace, je vous invite à découvrir, dans ce numéro, les coopérations et les visages de cette Union «rénchantée», ainsi que les multiples facettes d'une planète qui exhibe les stigmates de l'occupation humaine.



Michel Claessens
Rédacteur en chef

Les opinions présentées dans cet éditorial, de même que dans les articles de ce numéro, n'engagent pas la Commission européenne.

Demande d'abonnement à la version imprimée de research*eu

Vous pouvez vous abonner gratuitement au magazine via le site web
<http://ec.europa.eu/research/research-eu>

Vous pouvez aussi remplir ce coupon en caractères d'imprimerie et le renvoyer à l'adresse suivante:

research*eu
ML DG1201
Boîte postale 2201
L-1022 Luxembourg

Nom :

Organisation :

Adresse :

Code postal : Ville :

Pays :

Version(s) linguistique(s) souhaitée(s) :

française anglaise
 allemande espagnole

Si vous souhaitez recevoir plusieurs exemplaires d'une même version linguistique, veuillez adresser votre demande, avec votre adresse complète et une courte justification

- par courriel
research-eu@ec.europa.eu
- par fax (+32-2-295 82 20).

Pour obtenir un ou des exemplaires de numéros antérieurs, veuillez envoyer un message par courriel ou par fax.

research*eu

Rédacteur en chef
Michel Claessens

Relecteurs versions linguistiques
Julia Acevedo (ES), Stephen Gosden (EN),
Régine Prunzel (DE)

Coordination générale
Jean-Pierre Geets, Philippe Gosseries

Coordination rédactionnelle
Jean-Pierre Geets, Philippe Gosseries

Journalistes
Delphine d'Hoop, Christian Dubreuil,
Carlotta Franzoni

Traductions
Andrea Broom (EN), Martin Clissold (EN),
Silvia Ebert (DE), Consuelo Manzano (ES)

Graphisme
Gérald Alary (chef de projet),
Gregorie Desmons (création),
François Xavier Pihen (mise en page),
Gaëlle Ryelandt Yaël Rouach
(coordination et suivi de production),
Daniel Wautier (correction des épreuves)

Version Web
Pierre-Vincent Ledoux, Katherine O'Loghen

En couverture
L'embouchure du fleuve Betsiboka,
Madagascar
© Association Helmholtz

Production générale
PubliResearch

Impression
Enschedé/Van Muysewinkel, Bruxelles

Ce numéro a été tiré à 118 000 exemplaires. Toutes les éditions de research*eu sont consultables en ligne sur <http://ec.europa.eu/research/research-eu>

Éditeur responsable
Michel Claessens
Tél.: +32 2 295 99 71
Fax: +32 2 295 82 20
Courriel: research-eu@ec.europa.eu

© Communautés européennes, 2007
Reproduction autorisée,
moyennant mention de la source

Ni la Commission européenne ni aucune personne agissant au nom de la Commission ne sont responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication ou des erreurs éventuelles qui, malgré le soin apporté à la préparation des textes, pourraient y subsister.

Exposition

4 La Terre, une œuvre d'art!

Retour sur les tenants et les aboutissants de l'exposition *La Terre, une œuvre d'art* avec Susan Kentner qui a coordonné l'événement pour l'association allemande Helmholtz.

Science et Art

6 Subjectivité de l'objectif

Réflexion sur l'esthétique abstraite qui relie l'imagerie satellite et l'art moderne. Conversation avec Ralph Dekoninck, historien de l'art au FNRS.

Téledétection

8 Les yeux rivés sur l'orange bleu

Initiation à la téledétection, ou comment procède-t-on à l'observation de la Terre au moyen d'engins à résolution dite spatiale ou spectrale.

10 Surveillance militaire

La téledétection spatiale s'avère un outil indispensable à la surveillance militaire. Présentation des satellites « espions », des engins à la mission strictement confidentielle.

Excellence

12 L'Europe à la pointe

Histoire de l'excellence européenne en matière de téledétection civile, un talent qui n'est pas prêt de s'essouffler.

Charte internationale

14 Urgences planétaires

Pour mieux réagir aux catastrophes naturelles qui secouent la planète, les grandes agences spatiales se mobilisent autour de la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures ».

CAHIER SPÉCIAL Photos satellites



Portrait

15 Profession : chercheur en téledétection

Gros plan sur le chercheur belge Alexandre Carleer, spécialiste en images satellitaires de haute définition.

Florilège

16 Des applications aussi variées qu'insoupçonnées

Tour d'horizon des applications pratiques de l'observation de la Terre qui ne servent pas uniquement à prévoir la pluie et le beau temps.

Earth Explorers

18 Six explorateurs au service de la planète

L'Agence spatiale européenne vient de lancer le programme Earth Explorers : six satellites qui se penchent chacun sur un aspect particulier de la biosphère.

Collaborations internationales

20 Une multitude d'engins en orbite

Comment l'observation de la Terre se passe-t-elle au niveau international ? Présentation (non exhaustive) des satellites et engins de téledétection les plus remarquables à l'heure actuelle.

Économie

22 Un marché florissant et décentralisé

Coup de projecteur sur la vocation économique de l'imagerie satellitaire. La commercialisation de ce type de données profite de plus en plus aux petites et moyennes entreprises.

Météorologie

24 Eumetsat, L'AUTRE agence spatiale européenne

Puisque les conditions météorologiques ont un impact direct sur notre vie, il s'avère nécessaire de fournir des données, images et produits satellitaires 24 heures sur 24, 365 jours par an. Tel est le rôle d'Eumetsat, agence spatiale européenne opérationnelle.

Débris spatiaux

26 Les traces de l'homme dans l'espace

Arrêt sur une problématique peu connue : la menace des débris spatiaux. État des lieux avec Heiner Klinkrad, Président du Bureau des débris spatiaux à l'ESOC.

GMES

27 Un environnement sous haute surveillance

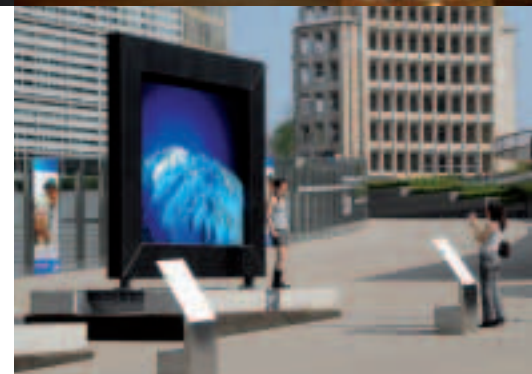
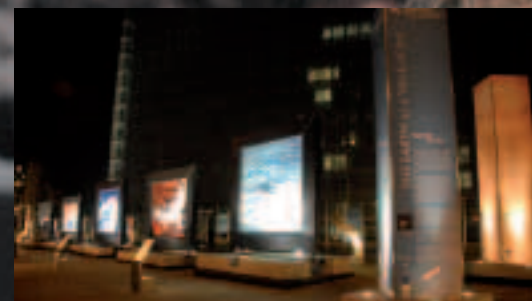
Le programme GMES est le fruit d'une collaboration entre l'ESA et l'Union européenne. Objectif : garder un œil sur l'environnement mondial au sens large du terme pour le bien-être socio-économique des Européens et leur sécurité.

Image de science

28 Mosaïque du Nord-Est de la Chine

La Terre, une œuvre d'art !

La Terre vue de l'espace fascine sous tous ses angles, toutes ses coutures. Les photographies prises depuis les satellites forcent l'admiration. Notre monde et ses richesses surprennent, car les données scientifiques qui les décrivent en révèlent aussi toute la beauté.



© Philippe Gosseries

L'exposition *La Terre, une œuvre d'art* présentait, du 7 mars au 24 avril 2007, les sciences de la télédétection spatiale sous l'angle esthétique. 26 images satellites de 12 m² coloraient l'esplanade du *Berlaymont* à Bruxelles, siège de la Commission européenne. Susan Kentner a coordonné l'événement pour l'association allemande *Helmholtz*, qui représente 15 instituts allemands impliqués dans six domaines de recherche, dont l'aéronautique et l'espace.

D'un regard à la curiosité

En plus de faire connaître ses membres, l'association se donne pour mission de mettre en évidence les problématiques scientifiques actuelles comme celles liées au climat et à l'énergie. «L'idée de l'exposition est apparue après le succès inattendu d'un livre d'images satellites réalisé par *GEO* et le Centre aérospatial allemand (*DLR*), membre de l'association *Helmholtz*. Dans le contexte de la présidence allemande, l'association *Helmholtz* a pris le relais pour mettre en valeur, à Bruxelles, nos activités de recherche», explique Susan Kentner. «Nous voulons rendre la science accessible et

proche des individus. Les photographies et données obtenues grâce aux satellites ont ce pouvoir de séduire le regard et d'éveiller la curiosité du public.»

Les images présentées ont toutes été produites dans un but scientifique et proviennent des satellites d'Europe et de pays partenaires. Le *DLR*, qui rassemble et traite quotidiennement ce type de données, a sélectionné pour l'exposition les photographies sous un angle esthétique tout en balayant différentes applications. «Chacun peut découvrir les nombreuses fonctions que remplissent les satellites. Les outils de télédétection, par exemple, révèlent les caractéristiques de la surface et de l'atmosphère terrestre et modifient radicalement notre perception du monde. Depuis les premières prises de vue de la Terre réalisées en 1946, les techniques ont évolué vers plus de précision et une meilleure compréhension de nos milieux de vie.»

De nombreux desseins

Les outils de télédétection sont presque tous issus de l'activité militaire. Les techniques de surveillance nocturne des missiles, par exemple, permettent aujourd'hui d'étudier la réparti-

tion de l'électricité consommée. La surveillance, dont les militaires améliorent sans cesse la précision, trouve aussi des applications civiles. Celles-ci ont d'abord révolutionné la météorologie et bouleversé tous ses modèles. Les satellites traquent les cyclones, les ouragans, les tsunamis, ainsi que l'apparition et l'évolution des épidémies, fortement liées aux conditions météo, et sauvent ainsi des vies humaines. Ils permettent aussi d'étudier le climat dans son approche globale et à long terme. Les scientifiques surveillent la couche d'ozone et mesurent les conséquences du réchauffe-



© Helmholtz

ment climatique en observant les concentrations des différents gaz présents dans l'atmosphère, chacun d'eux reflétant une partie déterminée du spectre magnétique.

Les radars embarqués sur les satellites cartographient également les fonds marins pour décrire les mouvements des masses d'eau et les phénomènes dans les profondeurs océaniques. Ces observations recueillies sur les courants ou la topographie marine permettent également d'optimiser le routage maritime, la pêche, l'aménagement des côtes et des plates-formes off-shore.

Enfin, la cartographie s'est élargie dans plusieurs directions grâce à la couverture instantanée de vastes superficies. Les ONG s'en servent pour organiser l'aide et la coopération lors de catastrophes naturelles. Dans les pays industrialisés, les relevés satellites facilitent la gestion des espaces et l'installation d'infrastructures. Les applications de la cartographie sont toujours plus variées et plus utiles, repérant les minéraux, le sol propice à l'agriculture, le stade des productions agricoles, la déforestation, les eaux souterraines... «C'est fascinant, car les images issues de toutes ces activités suscitent vraiment

l'intérêt du public pour la recherche scientifique!», relève Susan Kentner.

Une question de regard

Les images exposées montrent aussi une Terre aux couleurs surprenantes, vue avec d'autres yeux que les nôtres. Les systèmes de télédétection peuvent, en effet, enregistrer des parties du spectre électromagnétique qui ne sont pas décelables à l'œil nu, comme l'infrarouge. Ces bandes spectrales sont associées à des couleurs d'affichage qui révèlent des informations, invisibles pour l'œil humain. Les images présentées sont composées de fausses couleurs ou superposées pour que les chercheurs puissent les interpréter.

Grâce à ces analyses, des technologies aident à organiser les actions humaines, à comprendre leurs conséquences – parfois irréversibles – et à préserver la Terre. Vitaux pour la survie des populations ou simplement utiles au développement économique d'une région, les outils de la télédétection répondent à des niveaux d'urgence différents. Les perspectives d'aménagement du territoire, par exemple, bénéficient aux pays industrialisés – répartition des

espaces verts au cœur de Madrid en Espagne – comme aux pays en voie de développement – réhabilitation des terres de la frontière irakiraniennne, dévastées par la guerre, en zones agricoles.

Le recul optique des images satellites permet-il aussi un recul réflexif sur notre planète? «Il est vrai que nous devrions toujours considérer la dimension holistique de la recherche en intégrant les autres visions culturelles et les diverses facettes de la science, sans rester enfermés dans nos laboratoires», conclut Susan Kentner. ●

i Voir cahier spécial

Carte interactive: les stations de La Terre, une œuvre d'art

www.cdworks.de/entry/kwe/

Helmholtz:

www.helmholtz.de/en/index.html

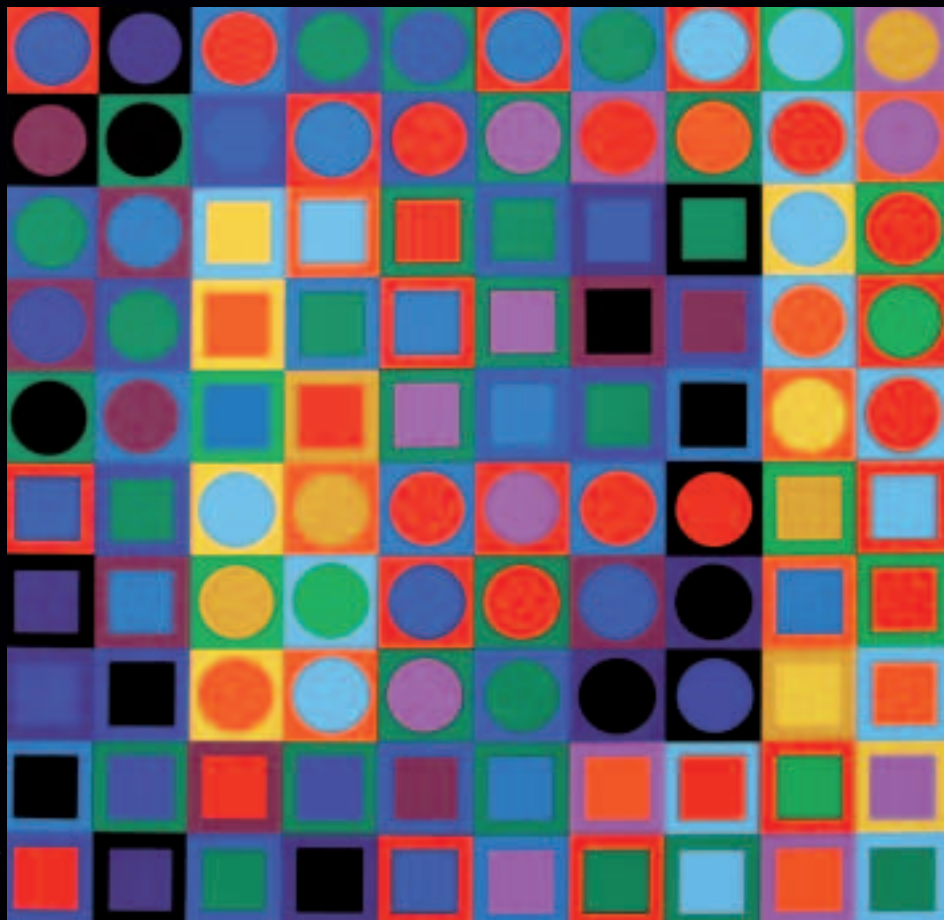
Subjectivité de l'objectif

Ce ne sont que de « banales » images satellites en HD, produites pour les besoins de la science, sans aucune intention artistique. Pourtant le titre de l'exposition « La Terre, une œuvre d'art » n'étonne en rien. Quel regard porterions-nous sur ces « œuvres » si elles étaient signées par un plasticien ? Ralph Dekoninck, historien de l'art au Fonds national de la recherche scientifique (BE), livre une brève réflexion sur l'interpellation esthétique des nouvelles images du réel offertes par la science.

**Victor Vasarely,
Folk Toy Object (1969)**

Victor Vasarely est le père incontesté du « Op art », art cinétique ou art optique, un mouvement artistique qui explore la faillibilité de l'oeil à travers des illusions optiques. Ici, c'est un nouveau rapport qui s'installe entre le spectateur et l'oeuvre, en provoquant la participation active de celui qui regarde. Stimuler l'acuité visuelle pour mieux comprendre, il n'y a peut-être qu'un pas entre l'art et la science...

Image satellite de l'agriculture dans le Kansas, États-Unis, agrandissement dans le cahier spécial (image complète page 18).



© SABAM Belgium 2007

En tant qu'historien de l'art, quelle est votre première réaction face à ces photos satellites ?

En tant que simple spectateur, on ne peut qu'être fasciné par la beauté de ces images, ou plus précisément par leur côté fantastique, qui nous fait oublier qu'il s'agit bien de photos. Le premier réflexe est de penser à des toiles abstraites. Le spectateur averti peut toutefois s'interroger sur les effets d'un tel déplacement d'images provenant d'un contexte scientifique vers un contexte artistique. En effet, ces images n'ont pas été composées avec une intention esthétique. Pourtant, ne peut-on pas les approcher en oubliant leur référent pour ne porter son attention qu'au jeu des formes et des couleurs? Quoi qu'il en soit, le fait qu'elles changent de contexte d'exposition modifie inmanquablement le regard qu'on leur porte. Un même objet placé dans un cadre qui n'est pas le sien transforme la perception

que l'on en a. Les surréalistes l'avaient particulièrement bien compris.

Dans quelle mesure peut-on parler ici de «Terre comme œuvre d'art»?

Une telle appréhension esthétique provient directement de notre culture visuelle occidentale, désormais accoutumée à l'abstraction. Des images comme celles-ci n'auraient certainement pas retenu l'attention de spectateurs du XVIII^e siècle. La manière d'approcher ainsi la réalité qui nous entoure n'est pas aussi ancienne qu'on le croit habituellement. Certes, il était d'usage depuis le début de notre ère de reconnaître dans la nature la trace du Créateur divin, d'ailleurs souvent assimilé à un peintre dont l'œuvre serait le monde visible.

En revanche, le regard porté sur la nature pour en contempler de manière désintéressée toute la beauté est le fruit de la peinture de paysage telle qu'elle s'épanouit au XIX^e siècle.

À cette époque, les peintres commencent à planter leur chevalet en plein air, cessant ainsi de réinventer la nature en atelier. Depuis les impressionnistes, qui s'intéressèrent aux seuls effets lumineux, notre rapport au monde perçu s'est considérablement modifié. Nous percevons et apprécions souvent la nature comme on le ferait avec une peinture.

Les sciences exactes peuvent-elles être «abstraites»?

Le XX^e siècle nous a ouvert des mondes qui étaient jusque-là restés hors de portée de notre regard. L'infiniment grand et l'infiniment petit, imperceptibles à l'œil nu, nous ont été dévoilés par des techniques d'observation scientifique. Faute de repère, ce monde nous apparaît abstrait, car non ressemblant à la réalité habituellement perçue. En nous faisant de la sorte accéder à l'«invisible», les sciences ont gagné en pouvoir de fascination, pouvoir quasi magique qui a pour résultat de réenchâter le monde qui nous entoure et qu'on croyait si bien connaître.

Comment l'art et la science peuvent-ils s'inspirer mutuellement?

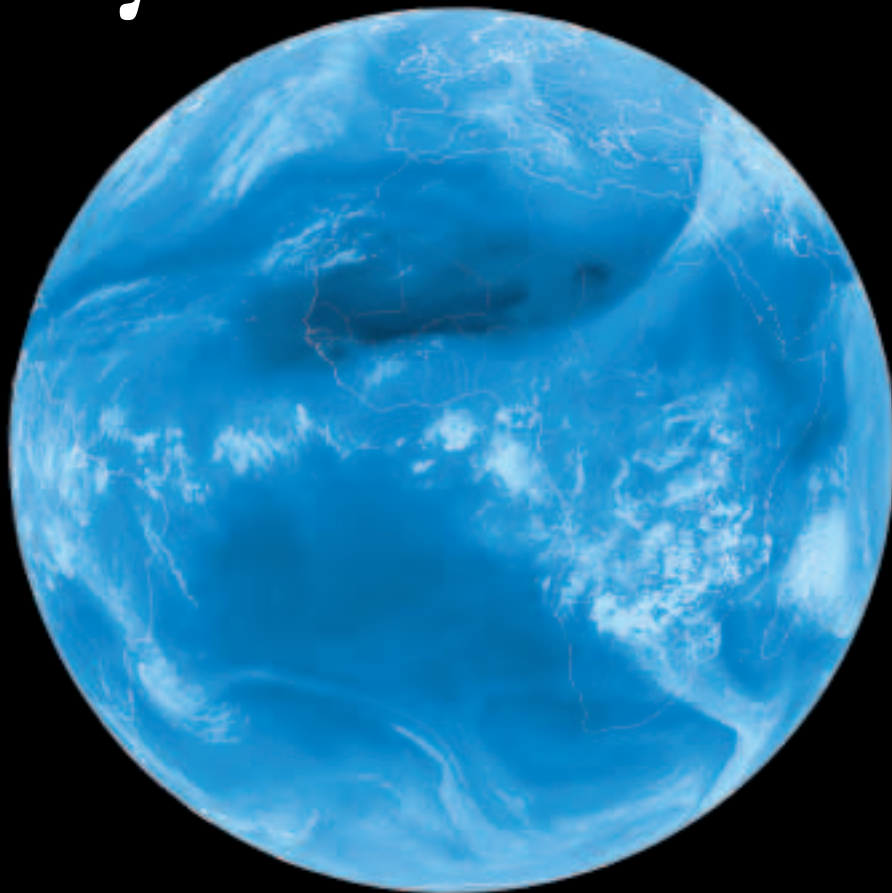
Science et art modernes sont presque nés main dans la main, puisque leur avènement date de la Renaissance et que la plupart des artistes d'alors se définissaient à la fois comme savants et créateurs. L'exemple emblématique est celui de Léonard de Vinci. La science, comme l'art, relevait, à ce moment, de l'invention, au sens premier du terme, c'est-à-dire la découverte d'une vérité préexistante. Étant donné cet enracinement commun, il est normal que ces deux domaines n'aient cessé de communiquer. Pourtant, dans l'imaginaire collectif, science et art sont aussi séparés puisque l'un incarne l'objectivité, tandis que l'autre se présente comme le royaume de la subjectivité. Les découvertes scientifiques les plus récentes, notamment en matière d'astrophysique, nous font accéder à des univers inconnus tout en contribuant à créer un nouvel imaginaire, assimilé par certains artistes contemporains. En revanche, les hommes de science peuvent s'inspirer de l'imaginaire artistique pour penser l'impensable. On pourrait à ce titre parler d'une inspiration mutuelle... ●



Les vapeurs d'eau

captées par Météosat-8, satellite géostationnaire « voyant » l'ensemble du disque terrestre. 6 mars 2004.

Les yeux rivés sur



Où évoluent les satellites d'observation de la Terre?

Que voient-ils réellement? De quoi parle-t-on quand on évoque la résolution spatiale ou spectrale d'un instrument? Télédétection, mode d'emploi.

La télédétection, comme on pourrait l'imaginer, ne fait pas uniquement référence aux engins spatiaux. Elle porte sur l'ensemble des techniques permettant d'obtenir des informations sur un objet via des instruments qui ne sont pas en contact direct avec lui. Ceux qui équipent divers avions et observent notre planète relèvent donc de la télédétection. Quant aux satellites d'observation de la Terre, ils regroupent une série d'engins aux caractéristiques très différentes, qui évoluent à des distances variables de leur objectif.

Les premiers satellites d'observation étaient constitués d'appareils photos munis d'un film « à l'ancienne ». Une fois en orbite, les appareils

prénaient une série de clichés avant d'être rappelés au sol, où les images étaient récupérées. Par la suite, des caméras de télévision ont été expédiées dans l'espace et ont ainsi permis la transmission des images depuis l'orbite. Enfin, les capteurs se sont affinés et spécialisés. Désormais, place aux capteurs numériques couvrant le domaine du visible mais aussi de l'invisible, comme le rayonnement infrarouge, ainsi qu'aux scanners ou encore aux radars en orbite.

Les orbites

Les orbites sur lesquelles sont placés tous ces engins dépendent de leur finalité. Un satellite météorologique géostationnaire tel *Météosat-5*,

par exemple, « flotte » au-dessus de la Terre à quelque 36 000 km d'altitude. Sa résolution au sol est loin d'être excellente. Il ne distingue pas les détails – mais ce n'est pas ce qu'on attend de lui. À cette altitude, il reste fixé au-dessus d'un même point de la planète sur l'équateur et il voit donc en permanence l'ensemble du disque terrestre. Cette stabilité présente un grand intérêt pour le suivi de l'atmosphère et de ses diverses évolutions.

Les satellites de télédétection travaillent généralement sur des orbites plus basses, comprises entre 450 et 1000 km. À ces altitudes, ils se déplacent et évoluent sur des tracés qu'ils bouclent en quelques dizaines de minutes. Ainsi le satellite *Spot-4* effectue sa ronde toutes

l'orange bleue

les 101,5 minutes à une altitude moyenne de 830 km.

Le plan des orbites choisies forme un angle avec le plan de l'équateur. Les satellites peuvent se déplacer sur une orbite polaire (passant par les pôles), des orbites directes (le plan est incliné entre 0 et 90° par rapport à l'équateur et le déplacement se fait vers l'Est) ou rétrogrades, quand l'inclinaison est comprise entre 90 et 180° (déplacement vers l'Ouest).

L'inclinaison du plan de l'orbite d'un satellite définit aussi la partie de la Terre qu'il peut observer. Placé sur une orbite inclinée de 50°, celui-ci ne circulera qu'entre 50° de latitude Nord et 50° de latitude Sud. Il ne survolera donc jamais Oslo (NO), située à près de 60° Nord.

L'orbite dite héliosynchrone constitue un cas particulièrement intéressant car elle est constante par rapport à la position du Soleil. Tout au long de l'année, le satellite qui la parcourt voit donc chaque point du globe à la même heure. Ceci permet la comparaison d'images prises dans les mêmes conditions d'illumination. Ce type d'orbite est, notamment, utilisé pour les satellites de la filière *Spot*.

Résolution spectrale, résolution spatiale

Les capteurs des satellites enregistrent les rayonnements (la lumière dans ses diverses longueurs d'ondes, visibles et invisibles) réfléchis ou émis par le sol et les divers objets qui les composent. La résolution spectrale est la capacité du capteur à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences différentes. Plus le capteur est sensible à des différences spectrales fines (intervalles de longueurs d'ondes étroits), plus la résolution spectrale du capteur est élevée.

Deux types d'imagerie en découlent. Tout d'abord l'imagerie panchromatique, obtenue au départ d'un rayonnement unique comprenant toutes les longueurs d'onde du visible. Les nuances de l'intensité du rayonnement donnent en quelque sorte une image en noir et

blanc de ce qui est observé. Ce type d'image livre le plus de détails. La résolution spatiale des objets perçus y est importante mais la résolution spectrale y est pauvre. La résolution spatiale, en télédétection, fait état de la taille de la zone observée couverte par un seul pixel qui équipe les capteurs. Chaque pixel de l'image correspond à une partie de la surface de la Terre. Les satellites actuels les plus précis ont une résolution spatiale (en panchromatique) de l'ordre de 60 centimètres.

D'autre part, les images multispectrales sont des images en couleur. Elles sont produites par plusieurs capteurs, chacun étant sensible à une partie du rayonnement électromagnétique (rouge, vert, bleu pour le visible, mais aussi l'infrarouge). C'est en combinant les informations de ces diverses bandes spectrales qu'on reconstruit une image colorée.

Rouge, la végétation ?

Sur la plupart des images satellitaires à vocation scientifique, la végétation apparaît généralement en rouge. Étonnant pour des forêts, des prairies ou des jardins qui nous semblent plutôt verts... Pourquoi ?

La plupart des satellites qui livrent des images multispectrales disposent de capteurs sensibles à diverses bandes du spectre électromagnétique. Ainsi, dans le domaine du rayonnement visible (qui va du bleu au rouge en passant par le vert), les satellites disposent de capteurs sensibles à trois bandes spectrales: le bleu, le vert et le rouge. À partir de ces trois bandes, en faisant varier leur intensité chromatique, il est possible de reconstituer l'ensemble des couleurs « vraies » d'une image.

En télédétection, le bleu est cependant peu intéressant. Cette bande spectrale est très sensible aux perturbations atmosphériques. On préfère donc priver les satellites de capteurs dans ce domaine, et en ajouter d'autres sensibles à l'infrarouge proche (qui suit le rouge dans le spectre électromagnétique), une « couleur » que

nous ne percevons pas à l'œil nu. Or, le proche infrarouge est un rayonnement techniquement très intéressant, typique de la végétation.

Sur les satellites de télédétection, l'attribution des couleurs des différents capteurs, bande par bande, est ainsi décalée. Aux capteurs sensibles au vert, les scientifiques attribuent une couleur de restitution bleue sur leurs images. À ceux qui sont sensibles au rouge, il s'agira de la couleur verte et ils traduiront en rouge les éléments fournis par les capteurs sensibles à l'infrarouge. Ceux-ci sont donc responsables de la couleur, qui nous semble aberrante, de la végétation. D'autres incongruités apparaissent également, telles les tuiles rouges des toits qui deviennent jaunes et les zones aquatiques noires.

L'imagerie hyperspectrale

Les images hyperspectrales sont obtenues par des capteurs capables d'enregistrer l'information dans une multitude de bandes spectrales (souvent plus de 200) beaucoup plus étroites dans les portions visibles, proche infrarouge et infrarouge moyen du spectre électromagnétique.

Tous les objets reflètent, absorbent ou émettent un rayonnement électromagnétique qui correspond à leur composition et à leur structure. Les données hyperspectrales fournissent donc une information plus détaillée des propriétés spectrales (signature spectrale) d'une scène et permettent une identification et une discrimination plus précises des objets que les capteurs multispectraux à larges bandes.

Les applications de l'imagerie hyperspectrale sont multiples. Parmi les plus importantes, on peut citer la géologie (identification des minéraux...), l'agriculture de précision, la foresterie (état sanitaire, identification d'espèces...) ou la gestion des milieux aquatiques (qualité des eaux, composition en phytoplancton...). ●

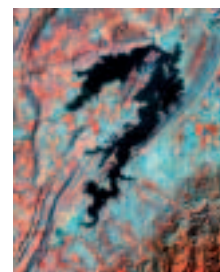


Image du barrage de Betania et de ses environs (Colombie) prise dans le visible et l'infrarouge. La végétation y apparaît en rouge et l'eau en noir.

© Landsat

Surveillance militaire

C'est une évidence: l'Espace est un lieu privilégié pour obtenir des informations à finalité militaire. De nombreux satellites d'observation de la Terre ont, depuis les débuts de l'astronautique, des objectifs bien plus confidentiels que d'autres. Ils se distinguent aussi par leurs caractéristiques techniques et opérationnelles.

En matière de renseignement, les militaires sont très discrets. Mais il est clair que la télédétection spatiale leur est un outil indispensable. Quasiment dès le début de l'aventure de l'espace, il y a 50 ans à peine, les grandes puissances (États-Unis et Union soviétique) ont mis au point et lancé des satellites espions. Ceux-ci ont été développés pour observer à de hautes résolutions spatiales et spectrales les activités de pays tiers. Certains de ces engins ont également été mis au point pour détecter d'éventuelles explosions nucléaires, ou encore pour déceler de manière précoce le lancement de missiles balistiques ennemis. L'armée américaine a été la première à placer en orbite, dès 1959, des engins expérimentaux d'observation de la Terre (*Discoverer* et *Samos*). Ces pionniers ont laissé la place à des dizaines de satellites espions de type *Key-Hole* (KH). L'Union soviétique a suivi, avec son prototype *Kosmos-4* (1962) et de très nombreux successeurs.

Une mission, un film

Ces premiers engins de télédétection militaires se différencient des autres satellites d'observation par leur orbite très basse, leur courte durée de vie dans l'espace (quelques jours à quelques semaines) et par leur système de prise de vue. Sur le plan technique, ils étaient simplement dotés d'appareils photographiques sophistiqués. Expédiés sur une orbite choisie en fonction de l'objectif à étudier, ils

déroulaient leur film et leur mission s'achevait une fois la bobine terminée. À leur retour sur Terre, le film était développé et les clichés interprétés.

Les progrès techniques enregistrés au cours des quatre dernières décennies ont ensuite permis aux militaires de disposer d'engins plus sophistiqués, dotés de capacités numériques optiques, infrarouges, mais aussi radar (afin de pouvoir observer de jour comme de nuit et quelle que soit la couverture nuageuse) et, surtout, capables de transmettre leurs données depuis l'espace. Plus besoin dès lors d'attendre leur retour sur Terre pour découvrir les informations recueillies.

Quelle résolution ?

La résolution des capteurs utilisés par les satellites militaires reste, bien entendu, confidentielle. Tout au plus peut-on aujourd'hui l'estimer au regard des capacités affichées par les satellites civils les plus performants. «En termes de résolution spatiale, certains satellites civils offrent des données très précises, de l'ordre de 80 cm au sol», explique Volker Liebig, directeur des programmes d'observation de la Terre à l'ESA (Agence spatiale européenne). «Il est également clair que, de plus en plus, le transfert de données et les télécommandes envoyées aux satellites civils sont cryptées, tout comme pour les satellites militaires. Il s'agit, d'une certaine manière, de se prémunir des *hackers*! Néanmoins, les différences entre civils et militaires se marquent encore dans certains domaines, tels

le blindage des satellites contre les radiations ou leur capacité (pour les militaires) à changer rapidement d'orbite suivant les situations de crise. Cela suppose donc que les satellites militaires consomment et disposent de beaucoup plus de carburant, mais aussi qu'ils soient capables de repasser très fréquemment au-dessus d'un même point du globe afin de suivre l'évolution d'une situation.»

Face à l'hégémonie historique américano-russe dans le domaine de la télédétection, d'autres nations se sont aussi dotées d'engins d'observation de la Terre.

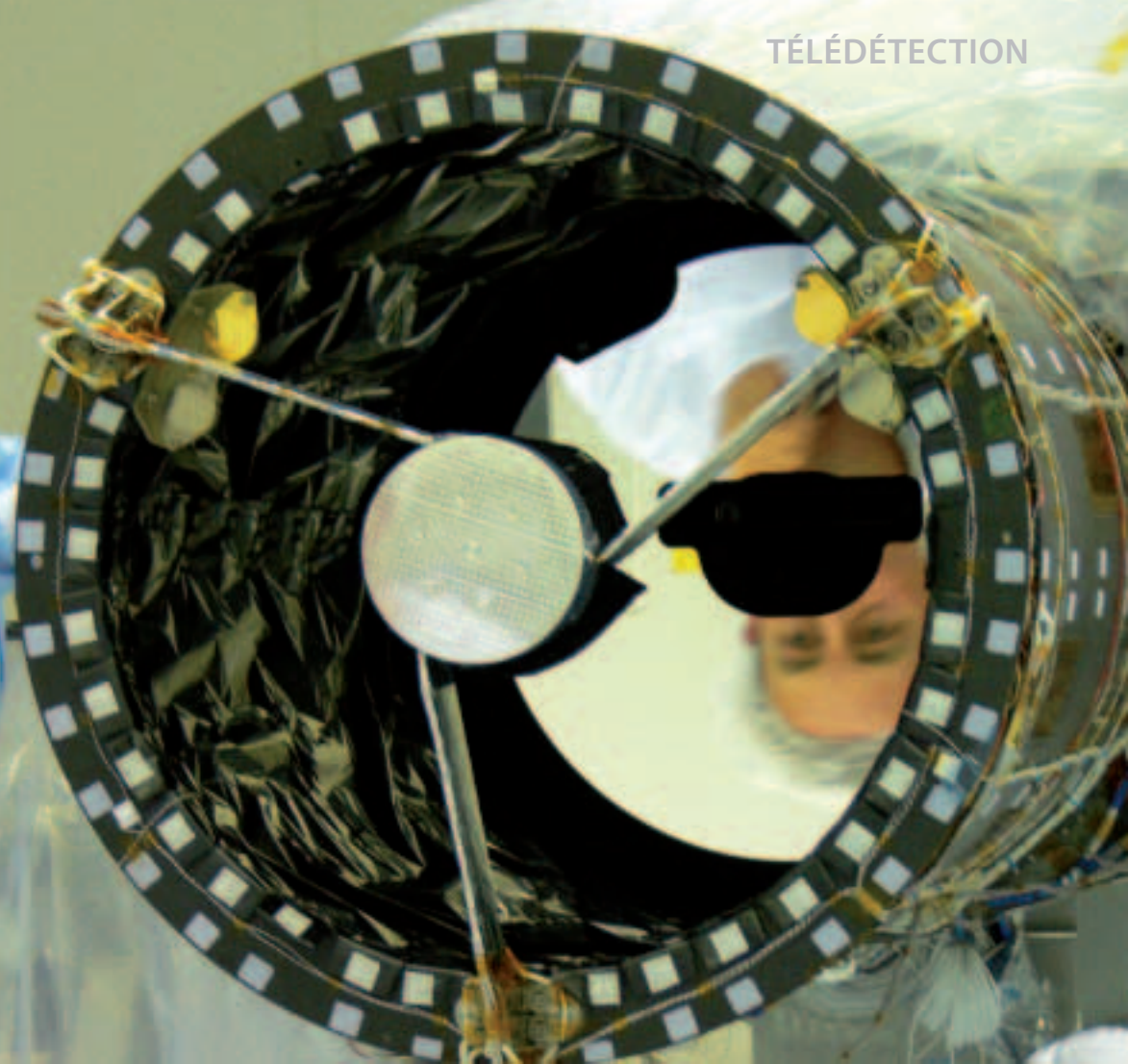
En 1988, Israël a ainsi lancé son premier satellite *Offeq*. Plus récemment, la Chine s'est également dotée de satellites d'observation de la Terre, des capsules récupérables *FSW*, et un système à finalité duale (civile et militaire), le *Zi Yuan*, avec capacité de transmission des données au sol.

L'Europe comble son retard

En Europe, la France, en collaboration avec l'Italie et l'Espagne, a conçu les satellites optiques *Hélios* dès 1995. Le programme militaire français *Hélios-2*, toujours dans le domaine optique (un satellite dérivé de la plate-forme civile *Spot*) est aujourd'hui en orbite. Le satellite *Hélios-2A* a été lancé en décembre 2004. Ses images sont exploitées par les forces armées françaises mais des partenariats ont également été noués avec l'Espagne et la Belgique. Le second satellite de cette génération, *Hélios-2B*, devrait être lancé en 2009, afin de prendre le relais jusqu'en 2014. L'Allemagne, de son côté, mise sur une constellation de satellites militaires radar: le programme *Sar-Lupe*. Il s'agit d'une constellation de cinq engins dont le premier a été placé en orbite en décembre 2006.

La France développe pour l'instant deux satellites jumeaux d'observation optique: la constellation *Pléiades*, comprenant deux petits satellites (une tonne chacun), dotés d'une résolution spatiale de 0,7 m et d'un champ de vision de 20 km. *Pléiades* offrira des capacités d'acquisition stéréoscopique pour répondre aux besoins de la cartographie fine, notam-

Préparation de la partie optique des deux futurs satellites Pléiades dans les salles blanches de Thales Alenia Space à Cannes (FR).



© Thales-Alenia Space

ment en zone urbaine, et pouvant intervenir en complément de la photographie aérienne. L'Allemagne, la Belgique, l'Italie, l'Espagne, la Suède et l'Autriche se sont associées à ce programme « dual » (civil et militaire).

De son côté, l'Italie met au point un ensemble de quatre satellites radar également à finalité militaro-civile les *Cosmo SkyMed*, appelés à voler de concert. Cet ensemble (*Pléiades* et *Cosmo SkyMed*) forme le cœur du projet de coopération *Musis (Multinational Space based Imaging System for surveillance, reconnaissance and observation)* initié par la France en 2005. Il compte déjà comme partenaires l'Allemagne, la Belgique, l'Italie, l'Espagne et la Grèce. Ce projet vise à préparer l'après-*Hélios*. Ce futur système d'observation de la Terre devrait disposer de moyens optiques et radar. Sa mise en service opérationnelle devrait intervenir avant la date prévisible de fin de vie d'*Hélios-2B*, en 2014. L'avenir du renseignement spatial militaire européen se dessine. ●

 www.eusc.europa.eu

Le CSUE de Torrejon

Afin d'exploiter les données issues des satellites d'observation de la Terre, l'Europe s'est dotée de son propre centre d'expertise. Installé à Torrejon de Ardoz, non loin de Madrid (ES), le Centre satellitaire de l'Union européenne (CSUE) s'est ouvert en 2002. Il constitue une agence chargée de l'exploitation et de la production des informations résultant de l'analyse des images satellitaires de la Terre.

Il vise notamment à soutenir le processus de prise de décision de l'Union européenne dans le cadre de la politique étrangère et de sécurité commune (PESC) et de la Politique européenne de sécurité et de défense (PESD). Son apport concerne notamment les opérations de gestion de crise menées par l'Union, en fournissant des produits résultant de l'analyse de l'imagerie satellitaire et des données collatérales, y compris de l'imagerie aérienne et des services connexes.

Les produits et services du CSUE peuvent également être mis à la disposition des États membres, de la Commission, d'éventuels pays tiers, et de diverses organisations internationales (Nations unies, Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe, Organisation du traité de l'Atlantique Nord, etc.).

Le CSUE est financé par des contributions des États membres et des paiements effectués en rémunération de services rendus. Ses services sont mis à contribution dans le cadre d'initiatives bien précises, telles des missions de sauvetage ou humanitaires, des opérations de maintien de la paix, la vérification de l'application de traités internationaux, la gestion de situations de crise, le contrôle de non prolifération d'armes stratégiques de destruction massive, ou encore certaines enquêtes judiciaires.

L'Europe à la pointe

En matière de télédétection civile, l'Europe est aujourd'hui le leader mondial incontesté. Un succès qui plonge ses racines dans les années 1970! Et qui n'est pas prêt de s'essouffler.

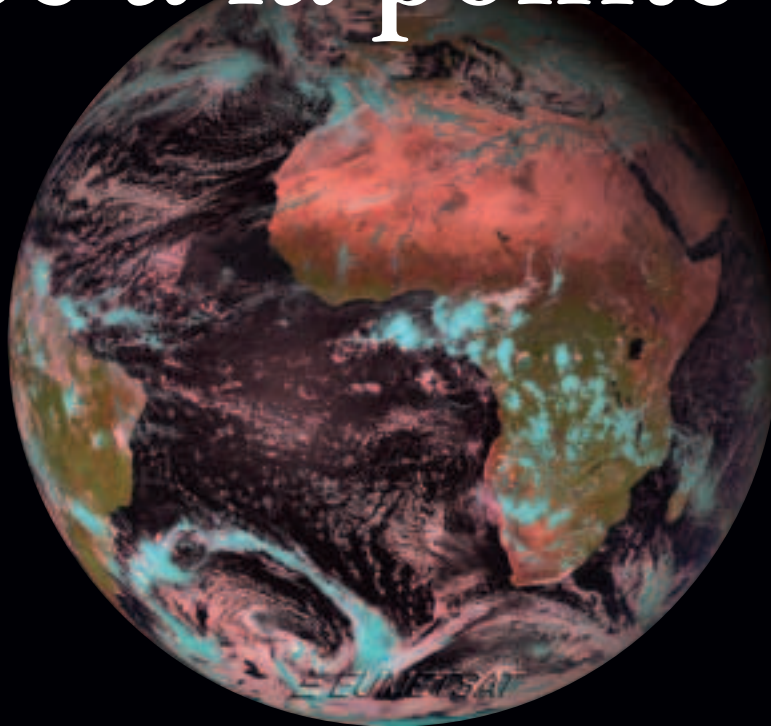


Image en couleurs de la Terre, prise par le satellite MGS-2 en janvier 2006.

L'observation de la Terre, d'un point de vue civil, est une discipline spatiale qui a très tôt passionné les Européens. Dès 1977, l'ESA lançait *Météosat-1*, un premier satellite optique chargé de regarder notre planète depuis une orbite géostationnaire. Consacré à la météorologie, celui-ci a eu beaucoup de petits frères aux regards toujours plus acérés (nous en sommes à *Météosat-7*), et ce dans toutes les longueurs d'ondes possibles: visible et infrarouge. Cette famille de satellites est en orbite géostationnaire, à 36 000 kilomètres d'altitude. Le satellite paraît fixe par rapport à la région de la Terre qu'il observe en permanence.

Spot, Envisat et les autres

Dès 1978, un second ensemble de satellites a vu le jour: la famille *Spot* (Satellite Pour l'Observation de la Terre), fruit d'une coopération entre la France, la Belgique et la Suède. Cinq exemplaires ont, à ce jour, été lancés. Ceux-ci évoluent sur des orbites plus basses,

circulaires et héliosynchrones, à une altitude de 830 kilomètres. Le dernier né, *Spot-5*, livre des images affichant des détails de l'ordre de 2,5 mètres au sol en noir et blanc (panchromatique) et de 10 mètres en couleurs (multi-spectral).

L'ESA a, par ailleurs, élaboré et mis sur orbite plusieurs engins scientifiques, dont les satellites radars du programme *ERS* (*European Remote Sensing satellite*). Deux satellites de cette famille ont été construits dans le cadre de ce programme adopté en 1982. *ERS-2* est toujours opérationnel en orbite. Il a, depuis, été rejoint par le géant *Envisat*.

Mais les ressources de l'ESA en matière d'observation de la Terre ne se limitent pas à ces seuls grands programmes.

Les « missions tierces »

L'Agence spatiale européenne met également à la disposition de pays tiers ses installations au sol pour la réception, le traitement et l'archivage d'autres engins d'observation de la Terre. C'est

aussi dans ce cadre des «missions tierces» (*Third party missions*) qu'un satellite expérimental de l'ESA, le petit outil belge *Proba* (*Project for on board autonomy*), a été lancé. À l'origine, cet engin, placé en orbite en 2001, ne devait pas y subsister plus d'une année. Une fois l'efficacité de ce démonstrateur technologique prouvée, l'engin est devenu à ce point opérationnel que cette petite plateforme orbitale (100 kilos à peine) ne cesse de livrer des images toujours plus étonnantes de notre planète grâce à sa caméra à haute résolution et à son imageur multispectral compact de facture britannique.

Cap sur l'avenir

Aujourd'hui, l'attrait pour l'observation de la Terre ne se dément pas. À Paris, siège de l'Agence spatiale européenne, comme à Frascati, dans les environs de Rome où se situe l'ESRIN, le centre de l'ESA en charge des programmes d'observation de la Terre, les projets fourmillent.



© ESA/Envisat

Envisat, un succès « planétaire »

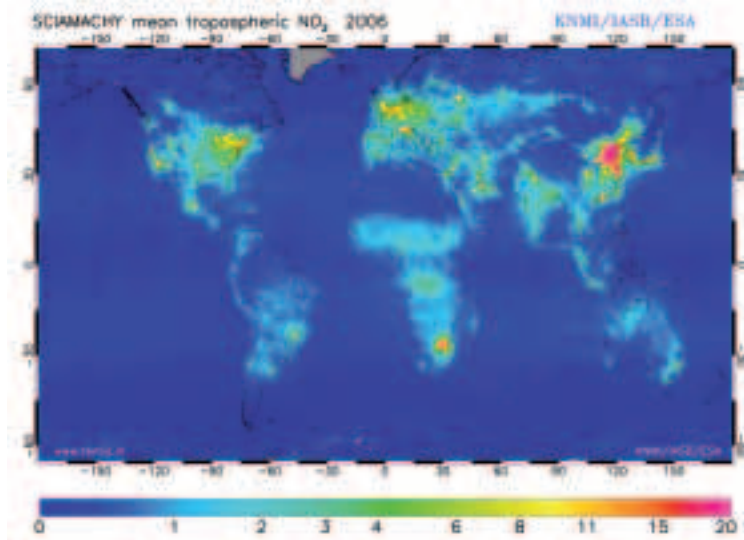
Le plus ambitieux satellite d'observation de la Terre jamais construit est un « enfant » de l'ESA. Depuis cinq ans, *Envisat* (ENVironment SATellite) est une mine d'informations sur notre planète. Lancé en mars 2002, ce mastodonte (huit tonnes et dix instruments scientifiques) produit chaque jour quelque 280 gigabytes de données.

« En avril 2007, lors du symposium scientifique organisé à Montreux (Suisse) à l'occasion du cinquième anniversaire d'*Envisat*, plus d'un millier de chercheurs issus de 50 pays différents sont venus présenter leurs résultats scientifiques obtenus grâce aux données d'*Envisat* », explique Henri Laur, directeur de la mission *Envisat* à l'ESA. Quelque 1 200 projets scientifiques ont ainsi été détaillés. Et ce n'est pas fini ! » La durée de vie opérationnelle d'*Envisat* devrait s'étendre jusqu'en 2010. Mais, même bien après la fin des observations en orbite, les données produites tout au long de sa vie active, resteront une source d'informations de première qualité. Elles continueront à alimenter de nouveaux algorithmes et livreront de nouvelles informations sur notre biosphère. « La grande force de ce satellite repose sur la multitude de données acquises simultanément en orbite par ses divers capteurs d'une même région du globe », poursuit Henri Laur. « Des données qui concernent autant les terres émergées que les océans, la cryosphère ou encore notre atmosphère et, bien entendu, les multiples interactions entre ces diverses composantes. C'est ce qui explique que de plus en plus de résultats scientifiques obtenus grâce à lui concernent le climat et son évolution. » Parmi les instruments les plus remarquables du satellite, on peut notamment pointer le radar imageur *Asar*, le « thermomètre » *Aatsr*, ou encore *Meris*, un capteur optique qui s'intéresse autant aux couleurs de l'océan qu'au couvert végétal terrestre avec une précision au sol de l'ordre de 300 mètres.

Profusion d'algues dans la mer Baltique,
captée par l'instrument *Meris* placé sur le satellite
Envisat (13 juillet 2005).

Cet engouement européen et ses perspectives d'avenir ne manquent pas de séduire les scientifiques de tous les continents, États-Unis compris. « Tout simplement parce que l'Europe en a fait une de ses priorités alors que pour l'instant, aux États-Unis, les budgets consacrés à l'observation de la Terre sont sans cesse rabotés », précise Simonetta Cheli, responsable des relations publiques et institutionnelles à l'ESA-ESRIN, Italie. « Les scientifiques américains, dans ce domaine, sont d'ailleurs de plus en plus nombreux à chercher des collaborations avec les chercheurs européens pour pouvoir bénéficier de nouvelles données provenant de nos instruments en orbite. » ●

Carte de la pollution par le dioxyde d'azote (NO₂) établie à partir des données envoyées par *Envisat*. L'exposition prolongée à ce gaz peut causer des dommages aux poumons et au système respiratoire. Le NO₂ joue également un rôle important dans l'atmosphère puisqu'il entraîne la production d'ozone dans la troposphère.
Densité de colonne du NO₂ exprimée en 10¹⁵ molécules/cm².



envisat.esa.int
www.miravi.eo.esa.int

Urgences planétaires



Stephen Briggs,
coordinateur du
programme «Charte»
à l'ESA.

Tremblements de terre, glissements de terrain, éruptions volcaniques mais aussi inondations, marées noires, incendies de forêts. Quand une catastrophe majeure secoue la planète, il faut pouvoir réagir très vite. Des vies sont en danger. Pour faciliter le travail des équipes de secours, les grandes agences spatiales mobilisent leurs satellites d'observation de la Terre. Un service qui porte un nom: la Charte internationale «Espace et catastrophes majeures».

La Charte internationale offre un système unifié d'acquisition et de livraison des données satellites dans les cas de catastrophes d'origine naturelle ou humaine par l'entremise d'utilisateurs autorisés. Chaque membre s'est engagé à fournir ses propres ressources à la Charte et contribue ainsi à atténuer les répercussions de telles catastrophes sur la vie des gens et la propriété. La Charte internationale est officiellement entrée en vigueur le 1^{er} novembre 2000. Chaque utilisateur enregistré auprès d'elle peut faire appel aux partenaires du programme et demander la mobilisation des ressources spatiales et des ressources terrestres connexes (*Radarsat, ERS, Envisat, Spot, IRS, SAC-C, satellites NOAA, Landsat, ALOS, satellites DMC*, et autres) des membres de la Charte.

«Parmi les utilisateurs autorisés, on retrouve les organismes de protection civile, de sauvetage, de défense ou de sécurité du pays de l'un des membres de la Charte mais aussi les agences spatiales ainsi que les exploitants de systèmes spatiaux», indique Stephen Briggs, qui coordonne à l'ESRIN (ESA - Italie), le programme de la Charte. «A titre exceptionnel, la direction de la Charte peut autoriser la livraison de données spatiales à certains organismes tiers.»

En pratique, un opérateur est de garde 24 heures sur 24. Il réceptionne les appels des utilisateurs autorisés de la Charte via un numéro de téléphone mondial unique. Après analyse de la situation d'urgence et des demandes formulées, un plan d'acquisition d'images satellitaires et

d'archive est établi. Les données réclamées sont livrées dans les meilleurs délais, en général en moins de 24 heures, afin d'informer au plus vite les équipes d'intervention sur le terrain. Les comparaisons avec les images d'archive permettent une meilleure évaluation des dégâts.

SOS sur tous les continents

Depuis sa création, la Charte a été activée plus de 130 fois. Rien qu'en 2006, ses moyens ont été sollicités à 25 reprises. Cette année, au cours du premier trimestre 2007, huit catastrophes ont déjà nécessité son activation. Dès le 19 janvier, la Charte a été activée pour des inondations en Bolivie, au Paraguay et en Argentine. Trois jours plus tard, c'était pour un déversement accidentel d'hydrocarbures en

Angleterre. Le 9 février, les satellites de la Charte étaient mobilisés pour suivre un nouvel épisode d'inondations au Mozambique.

Fin février, ce sont des problèmes de volcanisme en Colombie puis d'inondations en Bolivie qui l'ont occupée. En mars 2007, les satellites d'observation de la Terre ont été sollicités à trois reprises suite à un tremblement de terre en Indonésie, un cyclone à Madagascar et des inondations suivies de glissements de terrain en Argentine.

L'an dernier, ce sont des catastrophes naturelles, notamment au Soudan, au Pakistan, en France, aux Philippines, en Allemagne ou en République tchèque, pour n'en citer que quelques-unes, qui ont été à l'origine de son activation. ●

Un peu d'histoire

En 2000, suite à la conférence des Nations unies Unispace III qui s'était tenue l'année précédente, les agences spatiales européenne (ESA) et française (CNES) ont fondé la Charte internationale «Espace et catastrophes majeures». Très vite, l'Agence spatiale canadienne (ASC) a rejoint cette structure. En septembre 2001, la National Oceanic and Atmospheric Administration américaine (NOAA) en faisait de même, suivie à son tour par l'Organisation indienne de recherche spatiale (ISRO).

Aujourd'hui, la Charte compte encore parmi ses signataires l'Agence spatiale argentine (CONAE), l'Agence japonaise d'exploration spatiale (JAXA), l'USGS (United States Geological Survey) et les partenaires britannique et multinationaux BNSC/DMC (British National Space Centre et Disaster Management Centre) qui regroupent trois pays tiers dotés de moyens satellitaires: l'Algérie, le Nigeria et la Turquie sont devenus membres en novembre 2005. Tout récemment, en mai 2007, la Chine via son agence spatiale CNSA (China National Space Administration), a également rejoint la Charte.



Alexander Carleer, chercheur à l'Institut de gestion de l'environnement et d'aménagement du territoire (IGEAT) de l'Université Libre de Bruxelles.

Profession : chercheur en télédétection

Les métiers de la télédétection sont multiples. De l'ingénieur au technicien en passant par le gestionnaire de satellites ou le commercial qui distribue les données spatiales. Rencontre avec un chercheur belge qui teste une méthode d'identification automatique d'objets au départ d'images satellitaires à très haute définition, Alexandre Carleer.

Sur les murs de son bureau, à l'Université Libre de Bruxelles, les images satellitaires sont partout. On passe de la ville à la montagne, de la campagne aux zones désertiques. «De belles images», commente-t-il. «Mais qu'il faut savoir décoder, lire, interpréter.»

Quand les régions observées sont vastes et que la définition des images (la résolution spatiale dans le jargon) est faible, on reconnaît aisément les grandes structures : une chaîne de montagne, un lac, des champs, des forêts. Lorsqu'il s'agit d'aller dans le détail, cela devient une mission quasi impossible.

«Sauf depuis 1999», explique cet ingénieur agronome qui a ensuite bifurqué vers un doctorat en sciences et la télédétection. «Depuis cette fameuse année, nous disposons d'images satellitaires civiles à très haute résolution. Avant cela, nous nous satisfaisions de données issues par exemple des satellites *Landsat*, dont les premières générations ne distinguaient au sol que des détails de l'ordre de 80 mètres. Par la suite, leur résolution spatiale est passée à 30 mètres. Avec la famille *Spot*, on a commencé avec des pixels représentant 20 mètres au sol. Puis, avec *Spot-5*, on est arrivé à 2,5 mètres.» La révolution de 1999 porte un double nom : *Ikonos* et *Quickbird*, deux satellites américains

à très haute résolution. «Avec eux, la précision des images s'approche de celle des photographies aériennes, précise le chercheur, de quelques dizaines de centimètres à un mètre. Ce qui a débouché sur une explosion des nouvelles données.»

Un fouillis qu'il faut identifier, classer, interpréter. Pour les photos aériennes, cette interprétation se faisait manuellement. Mais sur des territoires plus vastes et revisités très régulièrement par les satellites, cela devient très long et très coûteux. Il a donc fallu trouver des méthodes automatiques.

Ce type de méthodes avait, bien sûr, déjà été développé pour les satellites de moindre résolution. Elle se faisait selon une classification par pixel.

Segmentation d'images

«Mais pour les images à très haute définition, cette méthode n'est plus satisfaisante», continue Alexandre Carleer. «Il a fallu passer à autre chose : à la méthode de la classification par région. Celle-ci segmente l'image en fonction de la couleur de chaque pixel, mais peut aussi être couplée à des critères de forme de l'objet, et même de texture. Les programmes que nous testons tendent finalement à recréer de manière homogène et cohérente les objets

vus au sol. Ainsi, on peut observer/identifier automatiquement une multitude d'éléments : des maisons, des immeubles industriels, des arbres, des voitures, des routes. Bref, ce qui ne se voyait pas avant sur des images ayant une résolution spatiale moins fine. Le procédé permet aussi de différencier des objets de même couleur (de même signature spectrale) en fonction de leurs formes. Un exemple : là où la signature spectrale seule du bitume ne permettrait pas de dire s'il s'agissait d'un tronçon de route ou d'un toit, la méthode permet aujourd'hui une discrimination.»

Ce traitement numérique des données trouve, bien entendu, de nombreuses applications. «Par exemple, pour la vérification des déclarations de surfaces cultivées par les agriculteurs européens bénéficiant de subsides, la méthode permet de contrôler et de calculer les surfaces réellement travaillées tout en identifiant d'éventuelles inclusions dans les parcelles (un étang, un bosquet) et en vérifiant les types de cultures. Autre exemple où cette méthode s'avère également efficace : la mise à jour régulière des occupations des sols dans une province, une région, un département», conclut le chercheur. ●

Des applications aussi variées qu'insoupçonnées

L'observation de la Terre depuis l'espace débouche sur une foule d'applications pratiques. Celles-ci sont parfois très connues, comme les prévisions météorologiques. D'autres sont nettement moins médiatisées. Petit tour d'horizon.

Cyclone Gamede
passant au-dessus
des îles Maurice
et de la Réunion
le 23 février 2007.
Image Envisat,
spectromètre Meris.

Traquer les vagues géantes

Tout le monde se souvient du tsunami meurtrier qui déferla dans l'océan Indien le 26 décembre 2004 et qui résultait d'un mouvement tectonique sous-marin.

Mais on oublie trop souvent que, chaque année, presque chaque semaine, des vagues géantes naissent et meurent dans les divers océans de la planète à la faveur de conditions atmosphériques particulières – principalement des tempêtes.

La plupart du temps, ces vagues monstrueuses – parfois appelées « scélérates »⁽¹⁾ – et qui peuvent causer la perte d'imposants navires marchands, passent sans laisser de traces. En mai dernier, un tel « monstre » de près de 11 mètres de haut a frappé l'île française de la Réunion, dans l'océan Indien. Malgré sa surveillance depuis l'espace, les vagues, qui ont submergé le port de Saint-Pierre au sud de l'île, ont causé la disparition de deux pêcheurs, entraîné l'effondrement de plusieurs quais et inondé maisons et locaux commerciaux. Son intensité avait été sous-estimée.

Ces vagues monstrueuses avaient pris naissance au sud du Cap, en Afrique du Sud, et ont voyagé vers le Nord-Est sur près de 4 000 km en trois jours avant d'atteindre l'île. Elles avaient été détectées et suivies par le satellite *Envisat* de l'ESA et son instrument *Asar* (radar imageur à ouverture de synthèse), qui permet de recueillir de petites images (10 par 5 km) de la surface de la mer, tous les 100 km, le long de l'orbite du satellite.

Ces « imagettes », fournissent des informations sur la hauteur des vagues individuelles. Elles sont ensuite transformées mathématiquement et décomposées en moyennes d'énergie et de direction, que l'on nomme spectres de vagues océaniques et que l'ESA met à disposition des scientifiques et des centres météorologiques. Sans cette surveillance de routine, il y a fort à parier que le bilan humain de l'événement de la Réunion eut été bien plus lourd.

 www.esa.int/esaEO/index.html

Surveiller la cohabitation homme-éléphant

Au Botswana (Afrique méridionale), les mesures de protection et de conservation de la nature portent leurs fruits. L'interdiction totale de la chasse aux éléphants décrétée en 1991

(*Loxodonta Africana*) a eu pour résultat une hausse constante (5% par an) de la population totale de ces pachydermes. À tel point que cette région d'Afrique abrite aujourd'hui la plus importante concentration de cette espèce (environ 120 000 bêtes). Cette abondance, couplée au morcellement de leurs territoires naturels par les habitants du pays qui ont étendu leurs zones de culture, est une nouvelle source de conflits entre l'homme et l'animal. Les responsables du Centre de protection de la nature local (*Center for Conservation of African resources: animals communities and land use ou Caracal*, de Kasane), en collaboration avec le King's College de Londres, ont lancé une vaste étude sur la question, basée notamment sur l'imagerie satellitaire. Les données servent notamment à déterminer, sur de grandes régions, l'abondance et la distribution des pachydermes. Après un unique passage du satellite au-dessus du pays, les spécialistes disposent d'une vue globale des populations d'éléphants, suffisante pour prendre d'éventuelles mesures de protection des intérêts... de l'une ou l'autre des deux populations.

 www.dmcii.com

Prévoir l'émergence d'épidémies

Grippe aviaire, choléra, paludisme, méningite... La prévision de l'évolution d'épidémies par satellites, ou télé-épidémiologie, est aujourd'hui un secteur en progression constante. L'observation spatiale combinée à des données récoltées sur le terrain permet, en effet, de prédire le développement d'épidémies dont les vecteurs sont, par exemple, des moustiques ou des oiseaux. Ces vecteurs sont sensibles aux modifications de l'environnement. En analysant certaines données satellitaires (surface du sol, végétation, vents, nuages, température de l'océan, événements météorologiques, etc.) et en les combinant à diverses mesures de terrain (humaines et animales), les spécialistes peuvent prédire le risque d'extension d'une épidémie et donc envisager des moyens de lutte adéquats. Divers réseaux de télé-épidémiologie sont actuellement opérationnels en Argentine, au Sénégal, au Niger, en Chine et sur le bassin méditerranéen.

Pour Antonio Güell, du CNES (Agence spatiale française), les possibilités offertes par ces techniques sont immenses mais leur application


reste encore trop ponctuelle, alors qu'elles pourraient améliorer radicalement la situation sanitaire de beaucoup de régions du monde.

 www.cnes.fr
www.cermes.net

Alerter les asthmatiques

Dans plusieurs quartiers de Londres, tel celui de Croydon, un système d'alerte à la pollution atmosphérique en temps réel destiné aux personnes souffrant de problèmes respiratoires a été testé pendant près de deux ans. Fin mars 2007, le système développé par l'ESA et une entreprise de consultance en recherches environnementales de Cambridge (*Cambridge Environmental Research Consultants*) a été généralisé dans la capitale britannique. Nicky Gordon, député-maire de Londres, a inauguré ce nouveau service à la population, baptisé Airtext.

Airtext est un service d'alerte qui fonctionne via SMS, messages vocaux ou courrier électronique. Sur base d'observations atmosphériques réalisées depuis l'espace par le satellite *Envisat* de l'ESA et complétées par des mesures au sol ainsi que des pronostics sur la densité du trafic routier, le système envoie des alertes à ses abonnés le matin même des pics de pollution prévus, voire déjà la veille au soir. Les abonnés (asthmatiques, bronchiteux, personnes souffrant d'emphysème, de faiblesse cardiaque ou d'angine de poitrine) peuvent ainsi réorganiser leur journée en conséquence. De quoi sauver des vies. Selon Nicky Gordon, un millier de personnes chaque année décèderaient prématurément à Londres à la suite de problèmes de santé exacerbés par les pics de pollution.

 www.airtext.info

Anticiper le « verdissement » du Groenland

Si l'ensemble de la calotte glaciaire qui recouvre le Groenland venait à fondre, le niveau moyen de toutes les mers du monde augmenterait de 7 mètres environ. C'est dire si la surveillance de cette calotte fragile, plus sensible au réchauffement global de notre planète que l'Antarctique, est importante.

Le consortium DMC (*Disaster Monitoring Constellation*), qui regroupe quatre satellites

d'observation de la Terre relevant de l'Algérie (*Alsat-1*), du Nigeria (*Nigeriasat*), de la Turquie (*Bilsat-1*) et du Royaume-Uni (UK-DMC), collabore à l'étude de la fonte de cette calotte. Les capacités de ces satellites permettent aux chercheurs de l'Université de Swansea de mesurer l'amincissement de la couche de glace, les écoulements qu'elle génère en périphérie et plus globalement la dynamique de tous les flux que cette fonte engendre.

 www.dmcii.com

Saumon d'élevage de qualité

Le principal pays producteur de saumon d'élevage se trouve... dans l'hémisphère Sud! C'est le Chili et ses nombreuses fermes aquacoles qui produisent à l'heure actuelle la plus importante part du saumon d'aquaculture consommé dans le monde. Mais cette industrie est fragile, à la merci d'une dégradation soudaine de la qualité des eaux de mer – ce qui arrive régulièrement et naturellement, par exemple lors de l'apparition massive de phytoplancton. Les spécialistes parlent d'efflorescence d'algues microscopiques. Quand ce genre de marée verte se produit, elle capte une bonne partie de l'oxygène disponible dans l'eau, ce qui risque de faire périr les saumons. Sans parler de l'émission de composés chimiques qui peuvent empoisonner d'autres espèces marines à valeur économique, comme les coquillages et les moules.

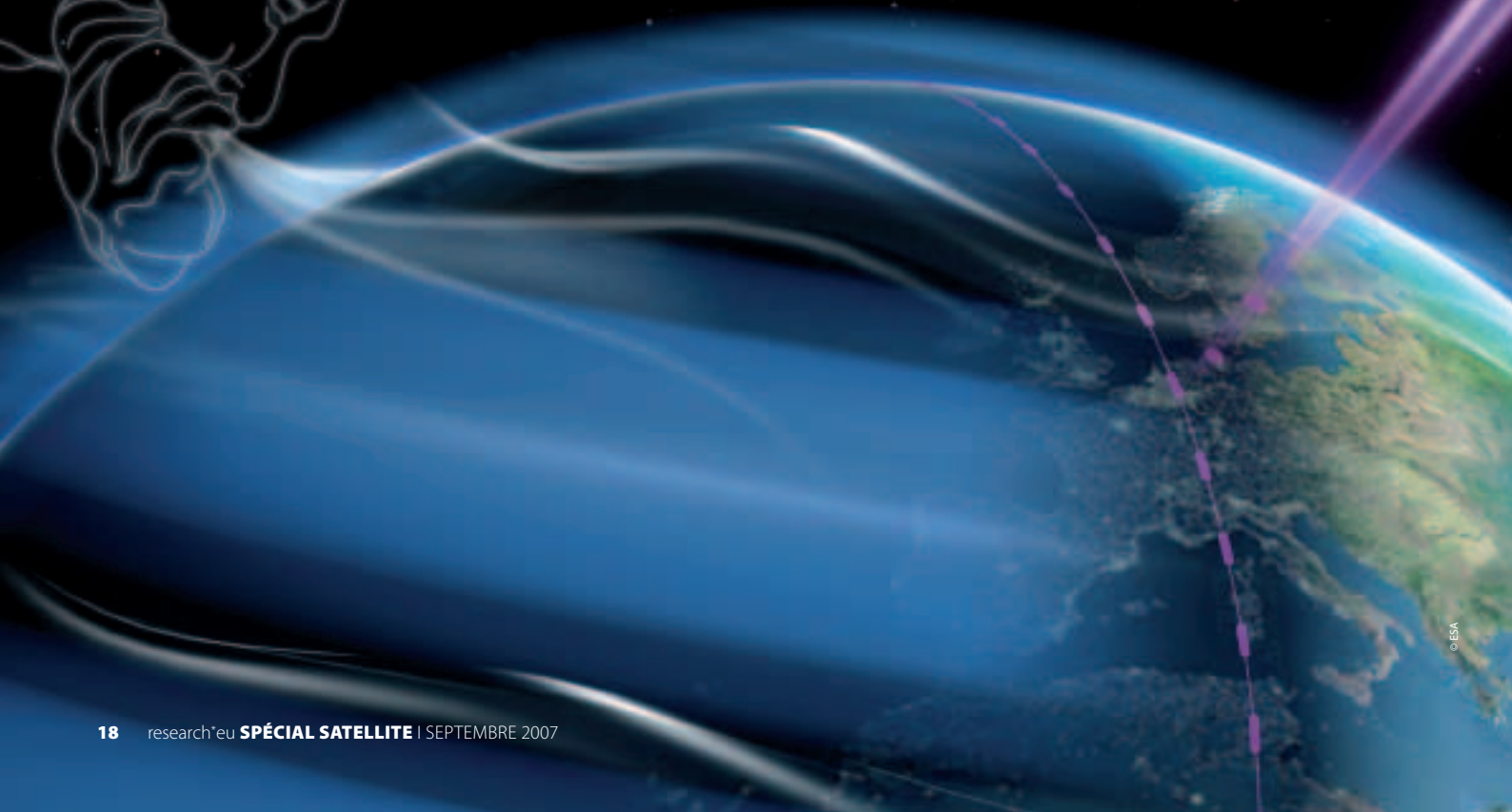
Pour prévoir ce type d'événement et le suivre quasi en temps réel, le projet *Cap (Chilean Aquaculture Project)*, soutenu par l'ESA a été mis en place. La surveillance de la qualité des eaux et de l'apparition du phytoplancton est réalisée depuis l'espace. Ce sont les satellites *Envisat* (et son radiomètre *Meris*) et l'instrument *Modis* qui équipe le satellite américain *Aqua*, qui en sont chargés. Ils étudient principalement le changement de couleur de l'eau (à cause de la chlorophylle), sa turbidité, les matières en suspension et la température de surface. Ces données, couplées à des modèles hydrodynamiques (les courants marins) constituent un nouvel outil de gestion aquacole pour les entreprises chiliennes du secteur.

 www.eomd.esa.int

(1) Voir RDT info n°42.

Six explorateurs au service de la planète

Le programme Earth Explorers constitue la nouvelle initiative de l'ESA en matière de satellites scientifiques d'observation de la Terre. Six satellites qui s'intéressent chacun à un aspect bien précis de notre biosphère.



L'Agence spatiale européenne (ESA) a changé de stratégie en ce qui concerne l'observation de la Terre. Plutôt que concentrer tous ses moyens dans la réalisation d'un satellite imposant et très complet, comme ce fût le cas avec *Envisat*, elle mise désormais sur des missions plus restreintes.

«Des missions plus modestes, plus spécialisées mais aussi plus rapides à mettre en œuvre», commente Jérôme Benveniste, du département des applications de l'observation de la Terre à l'ESRIN (ESA -Italie). Les Earth Explorers se concentrent sur l'atmosphère de notre planète, sa biosphère mais aussi l'hydrosphère, la cryosphère (glaces) et bien entendu sa «face cachée», l'intérieur même de notre Terre. Le but est d'en apprendre davantage sur les interactions entre ces diverses «sphères» et l'impact de nos activités humaines.»

Deux catégories de satellites cohabitent au sein de ce programme. D'une part, les satel-

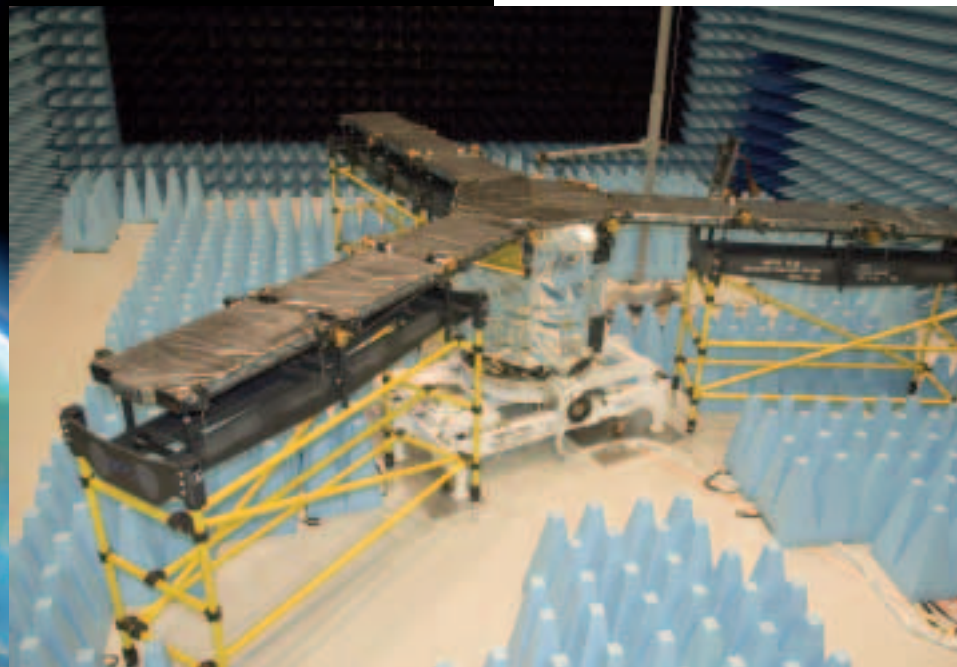
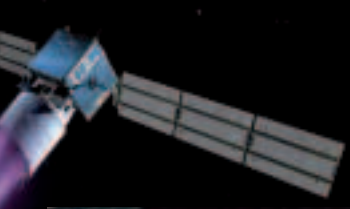
lites relevant des missions «de base», qui s'intéressent à un domaine de recherche bien précis, sont d'un grand intérêt scientifique et poursuivent les objectifs à long terme de l'Agence. D'autre part, ceux qui sont centrés sur des missions dites «d'opportunité», de moindre envergure, qui ne sont pas nécessairement dirigées totalement par l'ESA, et qui répondent, par exemple, à de nouvelles questions sensibles concernant notre environnement pour lesquelles la communauté scientifique aimerait disposer rapidement de nouvelles données.

Sur la ligne de départ

Sur les six satellites actuellement en préparation, trois sont destinés à accomplir une mission de base (*GOCE*, *ADM-Aeolus* et *Earthcare*) et trois autres répondent à des missions d'opportunité (*SMOS*, *CryoSat-2* et *Swarm*).

La mission *GOCE* (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*) prévue pour 2008, va s'intéresser au champ gravitationnel de la Terre. Ses données serviront à affiner les modèles dans ce domaine, à améliorer nos connaissances de «l'intérieur» de notre planète mais aussi à préciser la forme du géoïde terrestre.

Le satellite *SMOS* (*Soil Moisture and Ocean Salinity*) plonge au cœur du cycle de l'eau sur Terre. Prévu pour l'année 2008, *SMOS* mesurera l'humidité du sol à grande échelle (de quoi, par exemple, prévenir par une amplification des arrosages, des pertes de rendements agricoles dues à la sécheresse, etc.). Il s'intéressera aussi à l'évolution de la salinité des mers et des océans. *CryoSat-2* sera l'outil de de la cryosphère. Les glaces de mer mais aussi les vastes glaciers terrestres, comme ceux de l'Antarctique et du Groenland, seront les cibles privilégiées de ce satellite dont le lancement est prévu en 2009. *ADM-Aeolus* (*Atmospheric Dynamics Mission*) analysera les profils de vents dans toute l'épaisseur de l'atmosphère. Départ prévu: 2009. *Swarm* étudiera le champ magnétique et son évolution dans le temps. Cette mission est dotée de trois satellites et devrait démarrer en 2010. Enfin, la mission *Earthcare* (*Earth Clouds Aerosols and Radiation Explorer*), menée en partenariat avec le Japon, visera à améliorer nos connaissances sur l'équilibre radiatif de la Terre (effet de serre, importance des aérosols, des poussières dans l'atmosphère, etc.). De quoi améliorer les modèles de prévisions numériques du temps (lancement en 2013). ●



Prochaines missions

Le programme des *Earth Explorers* ne s'arrête pas aux missions décrites ici. Un appel à nouveaux projets a été lancé par l'ESA à la communauté scientifique. Il a suscité 24 propositions. Six projets sélectionnés font aujourd'hui l'objet d'études de faisabilité. Il s'agit de *Biomass* (biomasse forestière), *Traq* (transport aérien sur longues distances des polluants), *Premier* (relations entre les gaz à l'état de trace dans l'atmosphère, le rayonnement et la chimie de l'atmosphère), *Flex* (étude de la photosynthèse par des mesures de fluorescence), *A-Scope* (cycle global du carbone) et enfin *CoReH2O* (cycles de l'eau en phases neigeuse et glacée). Les premiers satellites de cette seconde sélection pourraient décoller d'ici 2010.

Une multitude d'engins

Plus que jamais, l'étude de notre planète est une préoccupation globale. Chacun des pays disposant de moyens d'observation depuis l'espace met ses données à la disposition des chercheurs étrangers. Ce qui n'empêche pas des collaborations privilégiées de s'organiser. Outre les vedettes historiques (1999) de la très haute résolution civile, Quickbird et Ikonos, en voici une sélection (très) partielle.

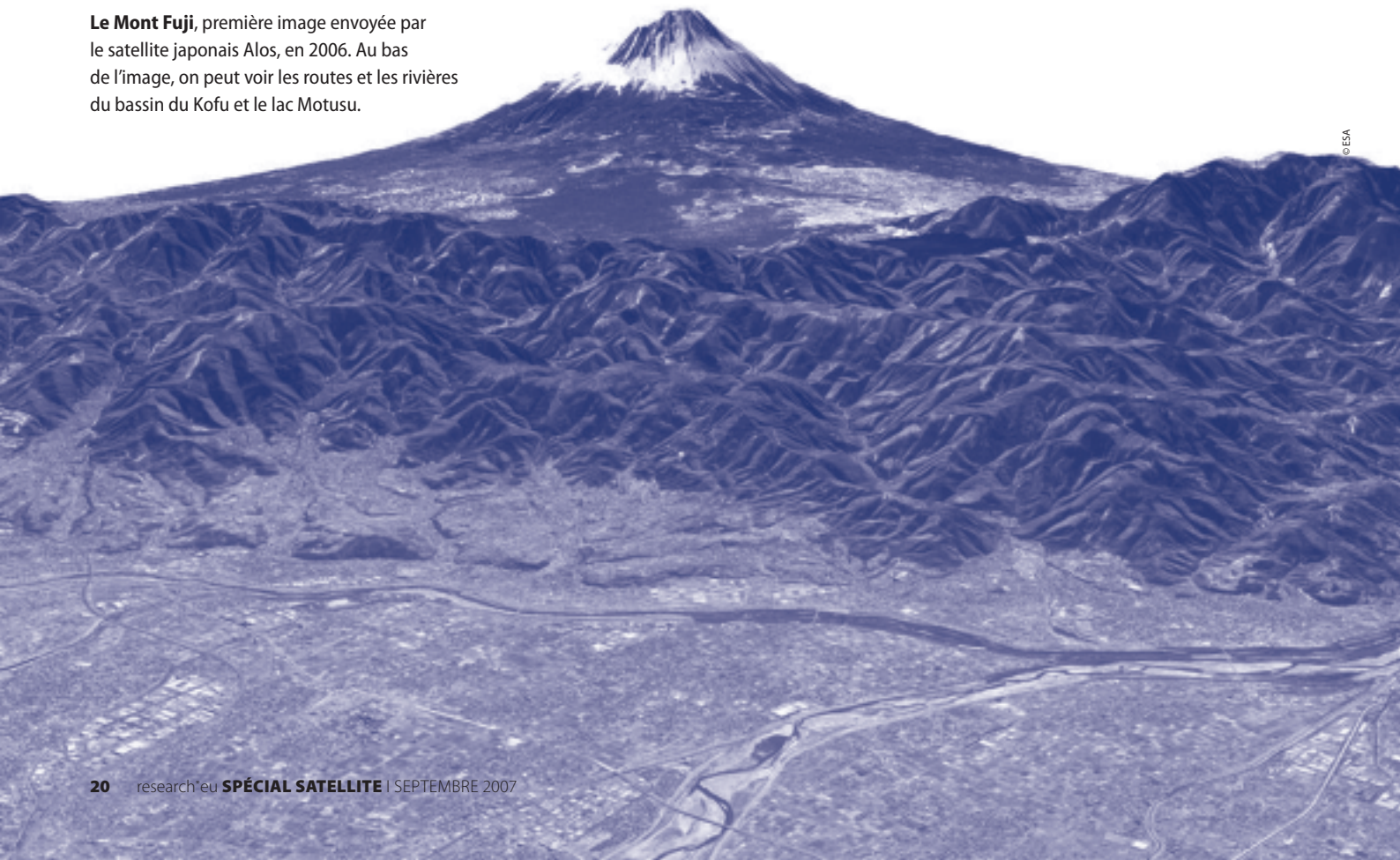
De tout un peu

Alos – Ce satellite japonais d'observation de la Terre a été placé en orbite en janvier 2006. Il scrute la planète jour et nuit quelles que soient les conditions atmosphériques, grâce à son radar à synthèse d'ouverture *Palsar* et à son détecteur panchromatique stéréographique *Prism*.

Quikscat – Lancé en 1999 par la Nasa, son instrument principal, un diffusomètre (*Scatterometer*) fournit des informations sur les vents de surface de la planète, sur le sol et au-dessus des océans. De quoi étudier diverses interactions entre l'atmosphère et la Terre.

IRS-P6 – Également désigné sous l'appellation *Resourcesat-1*, cet engin de télédétection a été lancé par l'ISRO (Indian Space Research Organization). L'agence spatiale indienne a également placé en orbite, dès 1996, *IRS-P3*. Ce satellite d'observation de la Terre est doté

Le Mont Fuji, première image envoyée par le satellite japonais Alos, en 2006. Au bas de l'image, on peut voir les routes et les rivières du bassin du Kofu et le lac Motusu.



en orbite

de l'instrument *MOS (Modular Optoelectronic Scanner)*.

Terra Sar X – Ce satellite radar de l'entreprise Infoterra (DE) doit être opérationnel en 2007.

Kompsat-1 – Premier d'une filière d'observation optique à haute résolution, ce satellite de la Corée du Sud a été mis sur orbite en 1999. *Kompsat-2 (Korean MultiPurpose SATellite)*, un engin à très haute résolution du Kari (Korean Aerospace Research Institute) a été lancé avec succès le 28 juillet 2006. Il fournit des images d'une précision d'un mètre.

Formosat-2 – Ce satellite taiwanais du National Space Organization (NSPO) est de conception européenne. Il a été fabriqué par Eads-Astrium et permet des observations à haute résolution (2 mètres) avec une capacité de revisite quotidienne!

Scisat – Cet outil aide une équipe de chercheurs canadiens et internationaux à mieux

comprendre le problème de la réduction de la couche d'ozone en s'attardant particulièrement aux changements qui se produisent au-dessus du Canada et dans l'Arctique. Il est en orbite depuis 2003.

Terra – Lancé en 1999, cet engin américain comporte cinq instruments scientifiques dont un spectroradiomètre co-réalisé avec le Canada. Il est le pendant «du matin» du satellite américain *Aqua*, qui fait partie du *A-Train* (voir ci-dessous).

Un « train spatial »

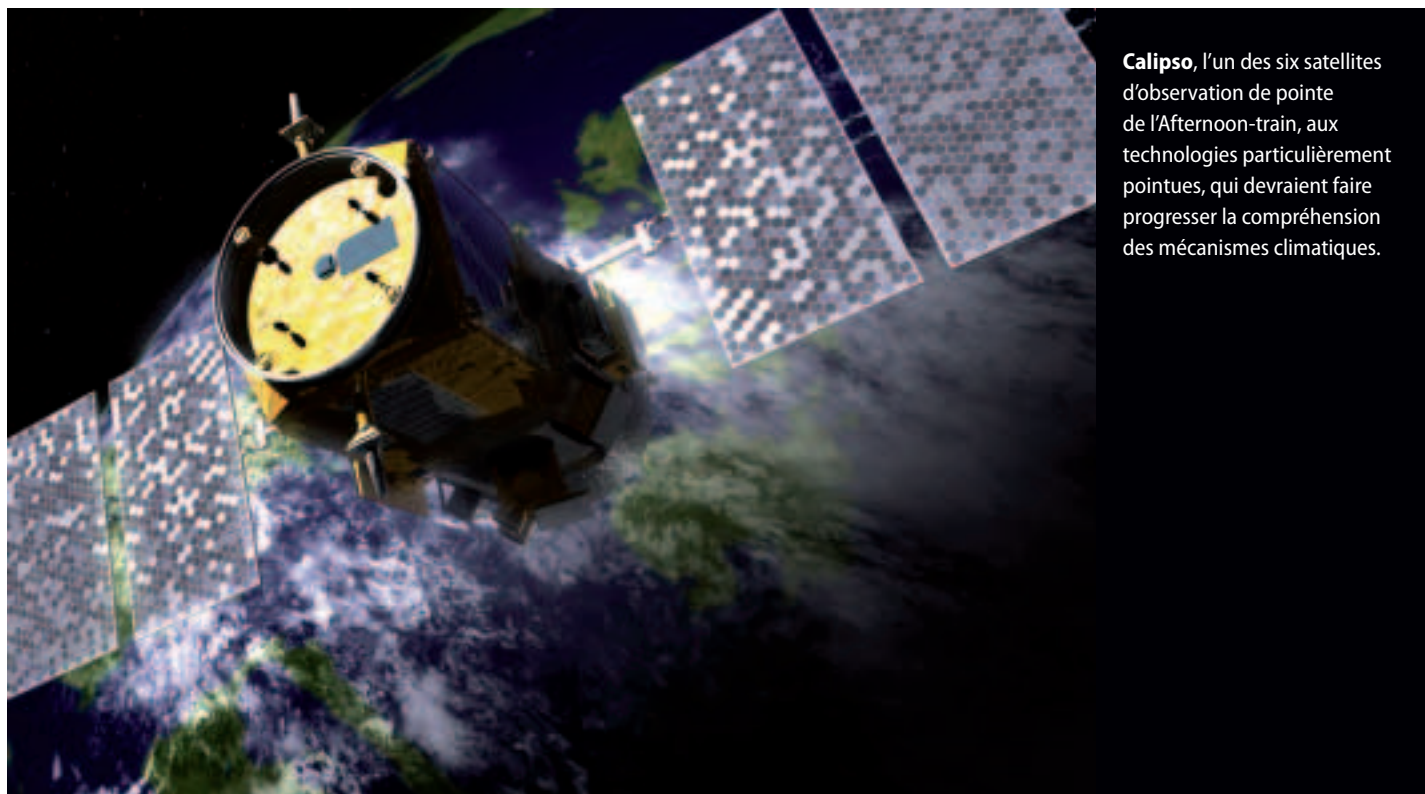
Six satellites scientifiques d'observation de la Terre issus de la collaboration de trois pays (États-Unis, France et Canada) défilent l'un après l'autre sur une même orbite héliosynchrone. Ce train spatial a été baptisé *A-Train* (Afternoon-train) parce que ses six satellites franchissent l'équateur avec quelques minutes

d'écart (aux environs de 13h30, heure locale). Il constitue un observatoire spatial exceptionnel associant toutes les techniques de mesure actives et passives afin de mieux comprendre les différents rouages de la machine climatique. Ses composants: *Aqua* (Nasa, 2002), *Aura* (Nasa, 2004), *Parasol* (CNES, 2004), *Calipso* (Nasa/CNES) et *Cloudsat* (Nasa/ASC), lancés en 2006 et *Oco* (Nasa), prévu pour 2008.

Cap sur les nouvelles générations

La télédétection du futur devra répondre à trois impératifs: plus de résolution (spatiale et spectrale); plus d'agilité des satellites capables de pointer rapidement vers un objectif; un taux de revisite plus élevé afin de permettre un suivi quotidien de l'évolution d'une situation au sol.

D'ici fin 2008, *Digitalglobe* devrait disposer d'un nouvel engin rassemblant toutes ces qualités. *Worldview-1* sera d'une agilité en orbite encore jamais atteinte. Il sera apte à revoir un même site au sol chaque 1,7 jour tout en fournissant des images d'une précision de 50 centimètres. Une première pour un satellite civil...



Calipso, l'un des six satellites d'observation de pointe de l'Afternoon-train, aux technologies particulièrement pointues, qui devraient faire progresser la compréhension des mécanismes climatiques.

Un marché florissant et

La qualité sans cesse croissante des images satellitaires, leur disponibilité toujours plus grande et la multiplication des applications qui en découlent font de ce secteur une « aubaine » pour les petites et moyennes entreprises.

L'observation de la Terre est, bien entendu, une vaste aventure scientifique et technologique. C'est aussi devenu, au fil des années, un important secteur à vocation économique.

Tout d'abord via l'exploitation des satellites, leur contrôle en orbite, leur gestion, la réception et l'acheminement des données. Autant de domaines qui génèrent de l'emploi hautement qualifié.

En aval, la commercialisation des informations par les grands opérateurs et leurs relais commerciaux, mais aussi via une multitude d'entreprises de services, apporte à ces connaissances une importante valeur ajoutée complémentaire. Sans compter l'impact direct de certaines applications, par exemple, les prévisions météorologiques, sur toutes les autres activités humaines sur terre, en mer et dans les airs.

La commercialisation des données

Acquérir une image satellitaire a un prix. Il a fallu concevoir et construire le satellite, le lancer et ensuite l'exploiter pendant de longues années. Au final, c'est le client qui règle généralement la note. Quiconque veut acquérir des données issues des satellites d'observation de la Terre doit généralement passer à la caisse!

Les opérateurs commerciaux sont bien présents sur le marché. Spot Image commercialise, par exemple, les données issues de ses propres satellites, mais également des images de la Terre provenant de satellites tiers dont la gestion commerciale lui a été confiée (tels *Envisat*, *ERS*, *Radarsat*, etc.).

Parmi les autres grands opérateurs dans le monde, notons plus particulièrement les entreprises DigitalGlobe et Geo Eye. Elles proposent des images, les plus précises sur le marché, à très haute résolution, issues respectivement de leurs satellites *Quickbird* (résolution de 60 centimètres) et *Ikonos* (résolution d'1 mètre).

Côté facture

Chez DMC International Imaging, l'addition est fixée en fonction de la zone d'intérêt de l'image demandée. Le prix minimum d'une image de 160 km² avec une résolution de 32 mètres, qui a nécessité trois passages de satellites, est de 2 240 €. Une somme forfaitaire de 614 € est, en outre, destinée à couvrir les frais de paramétrage du satellite. Spot Image propose, pour sa part, ses clichés couleurs *Spot-5* standards de minimum 60 km² avec une résolution de 2,5 mètres, au prix de 8 900 €, auquel s'ajoutent 3 100 € de frais de programmation prioritaire.

Quant aux images en très haute définition, par exemple celles issues du satellite *Quickbird*,

elles sont proposées par le revendeur européen Eurimage au prix de 25 dollars le kilomètre carré. Le coût minimum porte, en effet, sur une scène complète prise par le satellite, soit une surface de 272 km² – soit environ 6 800 € l'image et quasiment le double pour des commandes « en urgence »).

Le « sur mesures » de l'ESA

Les gigabytes de données produits chaque semaine par les dix instruments scientifiques du satellite scientifique de l'ESA *Envisat* sont commercialisés suivant des règles précises, arrêtées avant même le lancement du satellite. « Cette règle a été décidée par les États membres qui ont financé cette mission », explique Simonetta Cheli, responsable des relations publiques et institutionnelles à l'ESA-ESRIN, Italie. « Trois catégories d'utilisateurs sont définies. Dans la première, on retrouve les scientifiques. Ceux-ci ont accès gratuitement aux données *d'Envisat* une fois leur projet de recherche avalisé par leurs pairs dans le cadre de divers comités. Dans la deuxième catégorie, cet accès aux informations est frappé d'un droit d'usage réduit. Les utilisateurs types de cette catégorie sont, notamment, les institutions publiques. Enfin, dans la troisième catégorie, nous retrouvons tous les autres utilisateurs. Pour avoir accès à nos données, ils doivent passer par les opérateurs commerciaux et payer les prix du marché. »

Ceux-ci fluctuent en fonction de la « fraîcheur » de l'image. Exemple: 400 € pour une image radar *ERS* ou *ASAR* (*Envisat*) d'archive couvrant une zone de 100 km² avec une précision de 25 m. Pour la même image commandée (faisant

Le poids du spatial européen

En 2005, l'industrie spatiale européenne a dégagé un chiffre d'affaires de 4,4 milliards €. Elle emploie 28 000 personnes. Selon une estimation de la Commission européenne, cette industrie génère en aval une activité économique cinq fois plus importante. En dépit d'un investissement public relativement réduit dans ce secteur, l'industrie spatiale européenne est extrêmement compétitive. Elle détient 40% des marchés mondiaux en ce qui concerne la construction, le lancement et l'exploitation des satellites.



décentralisé

l'objet d'une programmation du satellite), le prix passe à 600 euros. Mais le prix peut chuter à 150 € si on ne désire qu'une précision au sol de 150 m.

«En ce qui concerne nos futures missions, comme les Sentinelles du programme GMES, la politique commerciale reste à définir», conclut Simonetta Cheli. ●

i **Communication de la Commission, DG Entreprise, IP/07/575**
www.eurimage.com
www.spotimage.com
www.dmcii.com
ec.europa.eu/enterprise/

Un satellite « clé en main » ?

Pourquoi les importants consommateurs d'images satellitaires n'opteraient-ils pas pour l'achat de leur propre microsattellite d'observation, avec système de réception des données à domicile ? En Europe, la filière des microsattellites Proba, à l'origine conçus comme un démonstrateur technologique de l'ESA, s'est muée en un véritable produit commercial. Le consortium industriel le propose désormais sous forme d'un système complet : satellite, lancement et système au sol associé. Une success story de l'industrie européenne qui intéresse des pays tiers non encore dotés de tels moyens d'observation de la Terre.

i www.verhaertspace.com

Une industrie « locale » centrée sur des PME

La commercialisation des données satellitaires brutes n'offre cependant guère d'intérêt si celles-ci restent « brutes ». Nombreuses sont donc les entreprises qui proposent des services à valeur ajoutée au départ de ces images.

Une radiographie du secteur des industries spécialisées dans ce domaine en Europe et au Canada a été co-réalisée en 2004 par l'ESA et deux consultants, Vega group et Booz Allen Hamilton. L'étude pointe l'existence de quelque 160 entreprises spécialisées dans ce domaine. Parmi celles-ci, on retrouve une importante fraction de PME : 33 % des entreprises du secteur comptaient moins de 10 employés, 27 % totalisaient de 11 à 30 collaborateurs et 15 % de 31 à 60 employés. Seules 9 % d'entre elles employaient plus de 500 personnes.

Autre enseignement de ce tour d'horizon : le chiffre d'affaire global du secteur était estimé (en 2002) à 285 millions € – une somme qui n'inclut pas la vente des données primaires (les images brutes).

Le rapport montre aussi que le marché est essentiellement « domestique ». Les entreprises du secteur réalisant pour l'essentiel leur chiffre d'affaires auprès de clients de leur région/pays. « Seule une très faible partie des revenus du secteur est réalisée en dehors d'Europe (15 %) par les entreprises basées dans l'UE », indique le rapport. L'essentiel des revenus de cette activité est réalisé dans des services concernant l'identification des ressources naturelles de la planète, la cartographie et les applications de sécurité.

Source : The state and health of the European and Canadian EO service industry, ESA/ Vega group & Booz Allen Hamilton.

La Monument Valley, terre des Indiens Navajos aux frontières de l'Arizona et de l'Utah, vue par le petit satellite belge Proba.

En pointe dans l'industrie spatiale, les Européens détiennent 40 % des marchés mondiaux dans la construction, le lancement et l'exploitation des satellites. Ici le décollage d'Ariane V et certains des travaux qui l'ont préparé.

Eumetsat, L'AUTRE agence spatiale européenne

© Eumetsat

Vingt plus dix

Eumetsat fédère 20 nations : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Croatie, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, le Luxembourg, l'Irlande, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la Slovaquie, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Elle compte également 10 États coopérants : la Bulgarie, l'Estonie, la Hongrie, l'Islande, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne, la République tchèque, la Roumanie et la Slovénie. Ceux-ci disposent des mêmes droits et sont soumis aux mêmes obligations que les autres membres en ce qui concerne l'accès et l'usage des données et services de l'Agence. Leur contribution individuelle s'élève cependant à la moitié de celle des États du premier groupe, ce qui les prive du droit de participer au processus de décisions, de répondre aux appels d'offres et à leurs ressortissants de poser leur candidature à un poste à *Eumetsat*. Le siège de l'agence se situe à Darmstadt (DE).

La pluie et le beau temps. D'inépuisables sujets de conversations... mais aussi de préoccupations. Surtout que les conditions météorologiques ont un impact direct sur les activités économiques des Terriens. Il n'est donc pas étonnant qu'une grande partie des satellites qui étudient notre planète se concentrent sur son atmosphère, sa composition et son évolution, mais aussi sur ses océans, véritables moteurs du temps qu'il fait – et de celui qu'il fera.

Un peu de pluie et le trafic routier est perturbé. Un épisode de sécheresse, l'agriculture en pâtit et les forêts sont exposées à des risques accrus d'incendies. Des vents violents, et ce sont les navires marchands et de pêche qui voient leurs activités perturbées. La météorologie est devenue une science opérationnelle dont on ne peut plus se passer. Les Européens l'ont bien compris. Après l'ESA (1975), *Eumetsat*, une seconde agence spatiale européenne, opérationnelle avant tout, est établie en 1986. Ses missions consistent à fournir des données, images et produits satellitaires 24 heures sur 24, 365 jours par an aux services météorologiques nationaux de ses États membres, des pays coopérants (voir encadré), ainsi qu'à de nombreux utilisateurs publics (UNESCO, FAO, PNUE, OMM, NOAA, ECMWF) et privés à travers le monde.

Pour ce faire, l'agence exploite, depuis son siège opérationnel en Allemagne, les données de ses propres satellites (*Météosat* et *Metop*), mais aussi celles qui proviennent d'une série de centres spécialisés, les *Saf* (*Satellite application facility*). Parmi ces centres d'applications satellitaires, certains sont dédiés à la prévision numérique du temps (coordonnée par le *Met Office* britannique), l'hydrologie opérationnelle (gérée par le Service météorologique italien), les océans et les glaces de mers (sous la responsabilité de Météo-France) ou encore le suivi de l'ozone (Service météorologique finlandais), la surveillance du climat (Service météorologique allemand) ou le *nowcasting*, à savoir la prévision du temps immédiate ou à très court terme (coordonnée par l'Institut météorologique espagnol).

Des outils variés en orbite

Outre les traditionnels satellites météorologiques placés en orbite géostationnaire, à 36 000 km

au-dessus du sol (la filière *Météosat* de première et de seconde génération) qui permettent d'observer la moitié du disque terrestre, *Eumetsat* dispose depuis l'an dernier d'un premier satellite à orbite polaire, *Metop-A*. Celui-ci évolue plus près de la Terre (850 km) et fournit, grâce à ses huit instruments scientifiques, des données beaucoup plus précises sur les nuages, l'humidité et les températures de l'atmosphère, la résolution verticale de la température de la haute troposphère, la vitesse du vent près de la surface des océans, ou encore l'évolution de l'ozone et d'autres constituants de la troposphère et de la stratosphère. Dans un avenir proche (2008), le satellite d'altimétrie océanique *Jason-2*, fruit d'une collaboration entre la France et la NASA (USA), sera disponible en orbite. Il alimentera les ordinateurs d'*Eumetsat* de données sur les fluctuations de l'élévation des mers et des océans, avec une précision de l'ordre du centimètre. ●

Les satellites météorologiques en service dans le monde (1)

Europe

Météosat-5	sur orbite « cimetière (2) » depuis le 16 avril 2007.
Météosat-6	satellite géostationnaire de réserve à 67,5°E depuis le 26 avril 2007 pour l'acquisition des données DCP en périodes d'éclipse de Météosat-7.
Météosat-7	assure le service de couverture de l'océan Indien IODC à 57,5°E (au moins jusqu'à fin 2008).
Météosat-8	satellite de réserve de Météosat-9 à 3,4°O (orbite géostationnaire).
Météosat-9	satellite géostationnaire principal à 0°.
MSG-3 et MSG-4	lancements prévus respectivement en 2011 et 2013.
Metop-A	premier satellite à défilement d'Eumetsat, lancé le 19 octobre 2006. Déclaré officiellement opérationnel le 15 mai 2007. Metop-A est le satellite principal en orbite du milieu de matinée du Système polaire commun initial (IJPS) depuis le 21 mai. Metop-B et Metop-C sont entreposés dans l'attente de leur lancement en 2011 et 2015.
Jason-2	succédera à Jason-1 pour assurer la mission de topographie de la surface des océans. Lancement prévu mi-2008 sur une orbite non-héliosynchrone circulaire inclinée à 66°.

États-Unis

GOES-9	stationné actuellement à 160°E.
GOES-10	positionné à 60°O pour compléter la couverture de l'Amérique du Sud.
GOES-11	satellite géostationnaire opérationnel à 135°O.
GOES-12	satellite géostationnaire opérationnel à 75°O.
GOES-13	lancé en mai 2006; satellite de réserve à 105°O.
GOES-O, -P, -R, -S	lancements prévus respectivement en 2008, 2009, 2014 et 2016 pour assurer le service à 135° ou 75°O.
NOAA-12	satellite en orbite polaire du matin assurant uniquement la transmission de données en temps réel.
NOAA-14	satellite en orbite polaire du matin assurant uniquement la transmission de données en temps réel.
NOAA-15	satellite de réserve de NOAA-17 (orbite du début de matinée).
NOAA-16	satellite de réserve de NOAA-18 (orbite de l'après-midi).
NOAA-17	satellite en orbite polaire du matin.
NOAA-18	premier satellite du système IJPS, a remplacé NOAA-16 en tant que satellite principal en orbite de l'après-midi.
NOAA-N'	lancement prévu en 2009 pour reprendre le service en orbite de l'après-midi.
NPP-NPOESS	lancement prévu en 2009 pour reprendre le service en orbite de l'après-midi.
NPOESS-C1 et -C3	lancements prévus en 2013 et 2020 (orbite de l'après-midi).
NPOESS-C2 et -C4	lancements prévus en 2016 et 2022 (orbite du début de matinée).

Russie

Meteor-3M N1	exploité sur une orbite héliosynchrone du matin.
GOMS-N1	lancé en novembre 1994, est en mode d'attente à 76° E.
Meteor-M N1	lancement prévu en 2008 et 2009 (orbite du matin).
Electro-L N1	lancement prévu courant 2007 à 76°E.
Electro-L N2	lancement prévu en 2009 à 76°E ou 14,5°E.

Chine

Fengyun-1D (FY-1D)	satellite météorologique principal lancé en mai 2002, est exploité sur une orbite (polaire) héliosynchrone de début de matinée.
FY-2C	satellite géostationnaire principal à 105° E.
FY-2D	lancé en décembre 2006 pour servir de réserve à FY-2C à 86,5° E.
FY-2E, -2F et -2G	lancements respectifs en 2008, 2010 et 2012.
FY-3A	premier modèle de la deuxième génération de satellites météo à défilement de la Chine. Il sera lancé courant 2007 et les deux suivants (FY-3B et FY-3C) en 2009 et 2011.

Inde

KALPANA-1	(ex Metsat), posté à 74° E; premier satellite indien à vocation exclusivement météorologique.
INSAT-3A	exploité à 93,5° E.
INSAT-3D	lancement prévu fin 2007 ou début 2008.

Corée du Sud

COMS-1 et -2	lesancements de ces deux satellites polyvalents dédiés à des applications de météorologie, d'observation océanique et de télécommunications sont prévus en 2008 et en 2014. Ils seront exploités à 116,2 ou 128,2° E.
---------------------	---

Japon

MTSAT-1R	opérationnel à 140° E depuis le 28 juin 2005.
MTSAT-2	lancé le 18 février 2006, est posté à 145° E en mode d'attente. Les suivants seront lancés en 2013 et 2015.

(1) mai 2007, source Eumetsat

(2) Orbite « cimetière » : quand un satellite arrive en fin de vie sur une orbite utile, telle par exemple la très demandée orbite géostationnaire, il est rejeté sur une orbite « cimetière » située à quelques dizaines voire centaines de kilomètres plus haut. Les gestionnaires du satellite épuisent ainsi les dernières gouttes de carburant pour cet ultime voyage. Ce qui présente l'avantage de libérer la place pour un nouveau satellite mais aussi d'éviter que le reliquat de carburant du satellite en fin de vie ne soit à l'origine d'une explosion intempestive en orbite, source de multiples nouveaux « débris ».

Les traces de l'homme dans l'espace

Problématique peu connue, les débris spatiaux risquent de rendre les orbites utiles impraticables si les comportements d'exploitation du cosmos n'évoluent pas. Heiner Klinkrad, Président du Bureau des débris spatiaux à l'ESOC⁽¹⁾, fait état de la situation alors que, ce 11 janvier, un missile balistique chinois détruisait le satellite météo hors-service Fenyung 1C, générant au moins 1600 nouveaux débris.

«**C**'est l'événement le plus important que l'on ait connu quant au nombre de débris engendrés», commente Heiner Klinkrad. «Les morceaux repérés à ce jour augmentent de 15% le catalogue élaboré en 15 ans». Il souligne qu'«aujourd'hui, les missions peuvent encore être effectuées en sécurité. Mais des études américaines montrent que, même si nous cessions les activités spatiales, la population de déchets va croître à certaines altitudes et le risque de collision augmentera.»

Collisions et explosions

Les débris de l'espace ont, en effet, plusieurs origines. Les collisions peuvent être accidentelles. La plus célèbre est sans doute celle du satellite français *Cerise*. «Dix ans après l'explosion de l'étage supérieur de la fusée *Ariane*, un de ses fragments percuta le satellite français en 1996», explique Heiner Klinkrad. Selon lui, deux autres collisions ont déjà pu être observées depuis lors.

Les collisions peuvent aussi être délibérées comme celle provoquée par les Chinois.

Ce sont toutefois les explosions qui représentent la cause la plus fréquente de production de débris. «On en dénombre environ 200 depuis le début de la conquête spatiale. Mais le phéno-

mène s'accélère ces dernières années. La moyenne annuelle de 4 à 5 explosions a désormais doublé. Ces accidents sont dus à des lanceurs largués après la mise en orbite des satellites ou à d'anciens vaisseaux spatiaux dont le carburant résiduel s'est enflammé.»

Esquiver les projectiles

Observable depuis le sol, le nombre de grands fragments – plus de 10 cm – est estimé à 18 000, dont 11 500 sont répertoriés. L'ESOC, basé en Allemagne, gère quotidiennement des manœuvres d'évitement de ces gros débris. Mais aucune manœuvre n'est possible pour les quelque 550 000 morceaux de 1 à 10 cm qui ne peuvent être repérés. Aux vitesses qui sont les leurs (jusqu'à 70 000 km/h), les dégâts sont considérables.

Les recherches de l'ESA progressent aussi en matière de modélisation de trajectoire de débris et de conception des systèmes de protection avancée, notamment par l'étude des impacts menée sur les objets retombés sur Terre.

Changer les pratiques

Même si ces mesures d'évitement et de protection réduisent les risques générés par l'activité humaine, les pratiques actuelles doivent évoluer

pour freiner la propagation des débris par réaction en chaîne. «Nous devons d'abord éviter de larguer des objets si ce n'est pas nécessaire au déroulement de la mission, comme c'est le cas des lentilles optiques éjectées après leur utilisation. Ensuite, il faudrait éviter les explosions en délestant le carburant du satellite, dès la mission achevée. Enfin, le plus efficace reste d'éloigner les masses des orbites utiles, comme l'orbite géostationnaire dont les places sont comptées et prisées. À 36 000 km d'altitude, les satellites sur cette orbite ne peuvent être ramenés vers l'atmosphère pour provoquer leur destruction par échauffement. Ils sont donc déviés en fin de vie vers une orbite «cimetière», 300 km plus haut. En revanche, la désintégration atmosphérique est possible pour les satellites situés sur les orbites basses», explique Heiner Klinkrad.

À l'heure actuelle, les efforts internationaux ont abouti à l'adoption par 67 pays de principes édictés au sein du *Copuos (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)* des Nations unies. Mais il n'existe toujours pas d'accord contraignant qui permettrait de lier efficacement les signataires. Et selon Heiner Klinkrad, «Si nous ne changeons pas rapidement nos manières d'agir, dans 50 ans la fréquence des collisions accidentelles pourrait dépasser celle des explosions. Une législation internationale dans ce domaine nous aiderait à éviter un tel scénario.»

(1) Centre des Opérations Spatiales Européen de l'Agence spatiale européenne (ESA)

Un environnement sous haute surveillance

Le rapprochement entre l'Union européenne et l'ESA (Agence spatiale européenne) passe notamment par le programme GMES⁽¹⁾.

Un programme qui porte sur la surveillance de l'environnement mondial au sens large du terme pour le bien-être socio-économique des Européens et leur sécurité. Rencontre avec Volker Liebig, directeur des programmes d'observation de la Terre de l'ESRIN (ESA).

L'Union a décidé, en 2001, de lancer un programme de surveillance de la Terre appelé GMES (Surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité). Ce puzzle spatial compte une première série de satellites: les missions Sentinelles de l'ESA, qui impliqueront chacune un ensemble de satellites opérationnels, dédiés chacun à un type précis d'observations.

De nouveaux satellites d'observation de la Terre entrent dans le cadre du programme GMES, notamment les «Sentinelles» de l'ESA. On parle souvent de dualité d'utilisation (militaire et civile) à leur sujet. Par ailleurs, dans le sigle GMES, on retrouve le «S» de sécurité. À quoi fait-on exactement allusion?

La technologie duale permet une utilisation tant civile que militaire des nouvelles générations de satellites d'observation de la Terre. On sait, par exemple, que les satellites radar italiens de la filière *Cosmo Sky Med*, également outils militaires, pourraient être utilisés à hauteur

de 40% dans le cadre de GMES. Mais dans ce cas, il s'agit bien entendu de sécurité civile – surveillance des frontières de l'Union, ou encore du contrôle de l'immigration clandestine par la mer.

À l'ESA, nous avons élaboré un premier prototype de produit dans cette perspective: le projet *MARISS (MARitime Security Services)*. Il vise entre autres à endiguer l'immigration clandestine en Europe via la surveillance et l'identification par satellite des navires, notamment en Méditerranée. Ou encore à tenter de déterminer la prise en charge en mer de cargaisons illégales, des trafics d'armes, etc.

Les services que le programme GMES rendra un jour ne sont-ils pas déjà offerts par la «Charte internationale»?

La sécurité porte, bien entendu, aussi sur la surveillance des catastrophes naturelles et la mise en place rapide de secours. En cas de tsunami, par exemple, les images satellitaires, diffusées dans le cadre de la Charte internationale permettent d'apprécier l'étendue des dégâts juste après les cataclysmes grâce à des

comparaisons avec des images d'archive. Avec GMES, ce type de service ne sera pas limité dans le temps – c'est-à-dire aux quelques jours qui suivent la catastrophe. Il s'agit d'un service de surveillance constant, préventif quand cela sera possible, et à haute valeur ajoutée. Toujours dans le cas de l'exemple du tsunami, GMES permettrait, en plus, d'apporter de précieuses informations sur l'état des routes, l'existence ou non de pont après le passage de la vague, l'analyse du site pour la définition d'un espace optimal d'implantation d'un camp de réfugiés ou encore la localisation de sources d'eau potable.

Cet apport de données satellitaires est donc doublé d'une large palette de services en aval alors que la Charte, ne fournit que ponctuellement des données, sans services complémentaires.

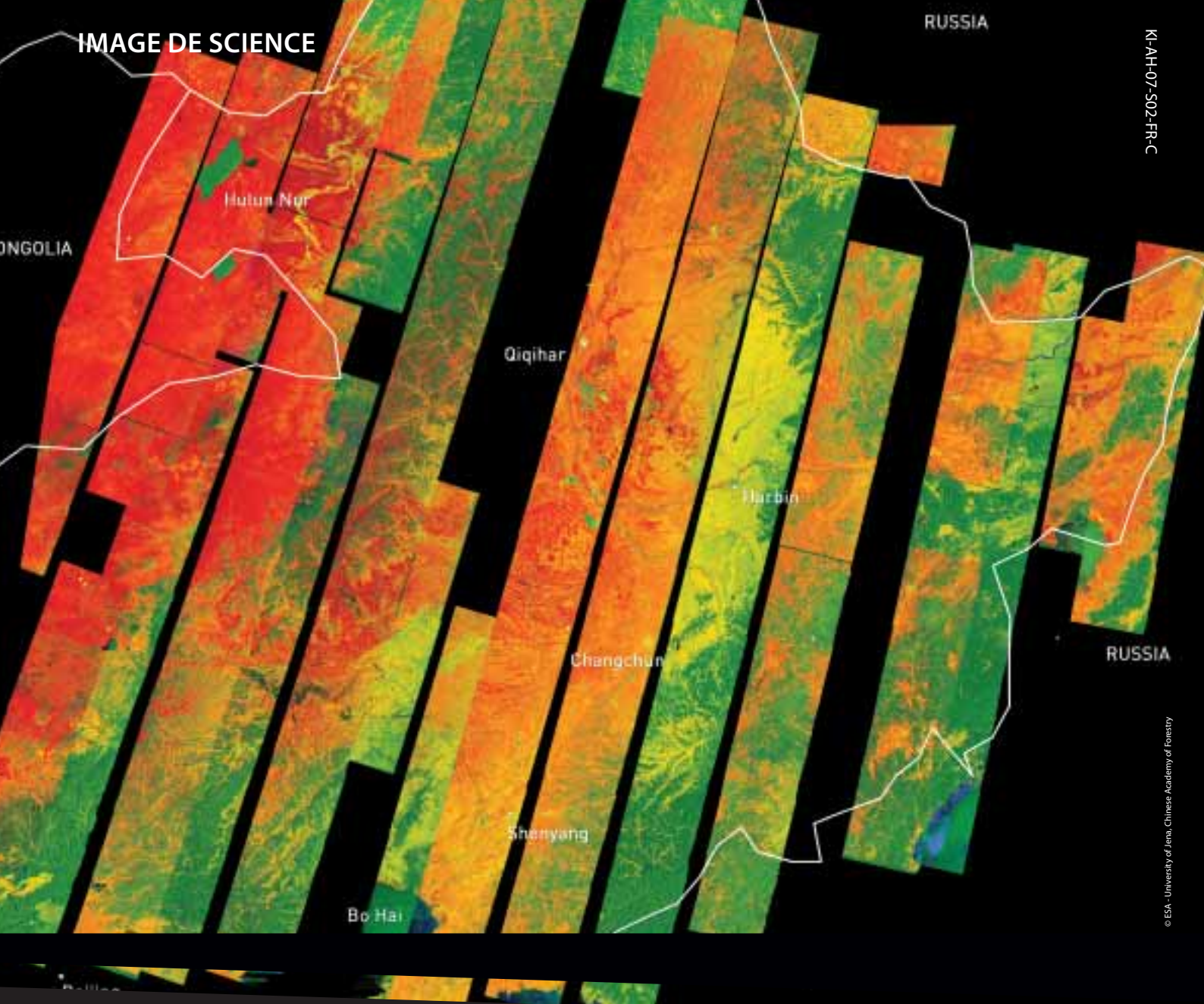
Peut-on dire que le programme GMES a une finalité politique?

Tout à fait. GMES poursuit, en réalité, une double finalité: opérationnelle et politique. L'Europe veut se doter de ces deux outils. D'une part, en mettant en service un véritable système opérationnel fédérateur qui bénéficie à tous les Européens tout en s'affranchissant d'une dépendance vis-à-vis de pays tiers pour l'obtention de données spatiales. Mais aussi en fédérant les nations européennes pour leur plus grand bénéfice social et économique.

Quel est le coût de la mise en œuvre de GMES?

Si on ne parle que des trois premiers satellites «Sentinelles» et des phases de pré-études pour les Sentinelles 4 et 5, nous avons besoin d'un budget de 1,17 milliard €. Ce budget est apporté par des investissements de l'ESA et de la Commission européenne. ●

(1) Global monitoring for environment and security



KI-AH-07-S02-FR-C

© ESA - University of Jena, Chinese Academy of Forestry

Mosaïque du Nord-Est de la Chine

Cette image fractionnée est construite à partir de la combinaison de données captées par ERS-1 et ERS-2. Les forêts apparaissent en vert, les zones agricoles en orange et jaune, les taches vertes au centre correspondent aux surfaces gelées des lacs Hulun Nur et Buir Nur.