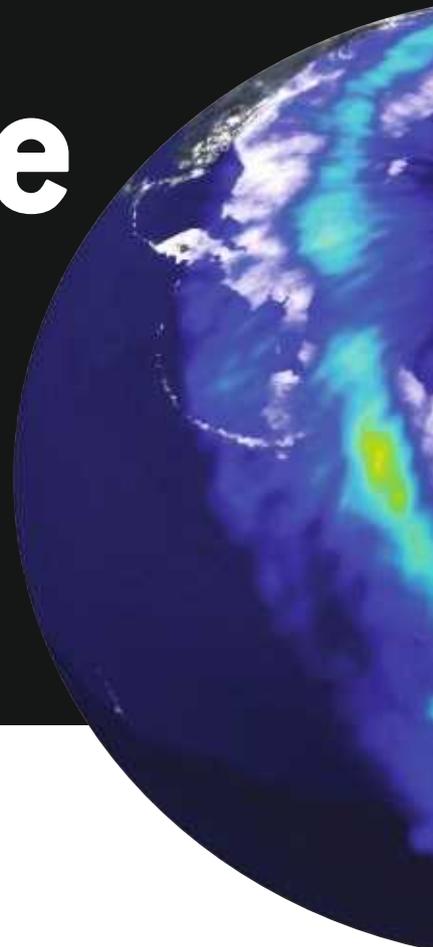


# Un demi-siècle d'imagerie spatiale



Andrew Tatem, Scott Goetz et Simon Hay

**En un peu plus de 50 ans, l'imagerie spatiale a bouleversé nos représentations de la planète. Ses instruments fournissent une multitude d'informations utiles pour relever les grands défis scientifiques et socio-économiques de notre temps.**

## L'ESSENTIEL

✓ Depuis *Sputnik 1*, lancé en octobre 1957, les possibilités de la télédétection spatiale se sont considérablement accrues.

✓ Dans les années 1980, de nouveaux détecteurs et l'imagerie radar ont beaucoup fait progresser l'observation par satellites.

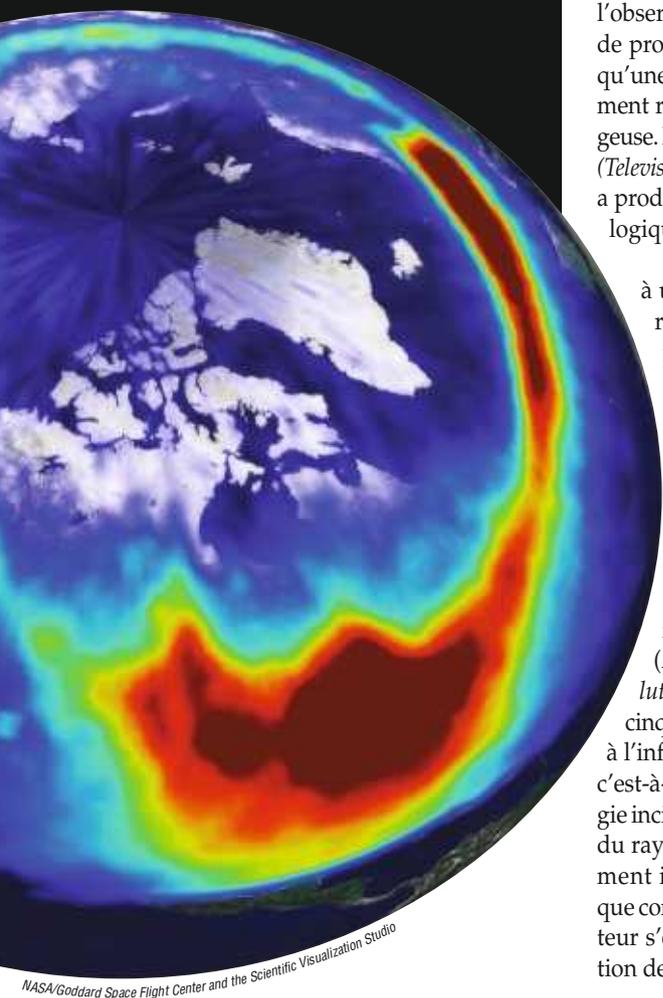
✓ Les plates-formes dotées de plusieurs détecteurs et l'imagerie numérique diversifient désormais les applications des observations spatiales.

Le 4 octobre 1957, le lancement par l'Union soviétique du premier satellite artificiel, *Sputnik 1*, annonçait l'ère de la télédétection spatiale. Depuis, cette technologie a progressé de la production artisanale d'images à basse résolution, généralement liées à des objectifs militaires, à l'acquisition quotidienne, pour des besoins essentiellement scientifiques, de plus de 10 000 gigaoctets d'informations accessibles au grand public.

Plus de 150 satellites d'observation de la Terre sont actuellement en orbite, équipés de capteurs mesurant différents domaines du spectre électromagnétique. La majorité portent des capteurs « passifs », qui détectent le rayonnement solaire réfléchi (longueurs d'onde de l'ordre du micromètre) ou l'énergie thermique émise par la surface de la Terre ou par les nuages (longueurs d'onde de 8 à 14 micromètres environ). Des satellites plus modernes emploient également des capteurs

« actifs » : ils émettent de l'énergie sous forme de micro-ondes (longueurs d'onde de trois millimètres à 30 centimètres) et enregistrent la réponse réfléchie – rétrodiffusée – par le sol.

Les instruments embarqués dans les satellites sont définis par quatre caractéristiques variables selon les objectifs recherchés : la résolution spatiale (la taille minimale des objets observables) ; la sensibilité spectrale (la gamme de longueurs d'onde détectables) ; la résolution radiométrique (précision numérique utilisée pour quantifier les données recueillies) ; et la résolution temporelle (laps de temps entre deux images). En outre, le nombre de régions du spectre pour lesquelles des données sont collectées, la période de temps nécessaire pour que le satellite observe la même région de la Terre à partir d'un point donné de l'espace sont d'autres propriétés qui varient d'un satellite à l'autre, ou d'un



l'observation de la Terre. Mais en raison de problèmes techniques, il n'a recueilli qu'une petite partie des données initialement recherchées sur la couverture nuageuse. Il a été remplacé en 1960 par TIROS-1 (*Television infra-red observation satellite*), qui a produit les premières images météorologiques spatiales.

Le succès de TIROS-1 a ouvert la voie à une multitude de satellites météorologiques, tout en servant de tremplin au développement de dispositifs destinés spécifiquement à l'observation du sol terrestre. La série de satellites de l'Agence américaine des océans et de l'atmosphère (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) a succédé aux satellites TIROS. Ils embarquaient un radiomètre perfectionné à très haute résolution (AVHRR, *Advanced Very High Resolution Radiometer*), qui mesurait, dans cinq bandes spectrales allant du visible à l'infrarouge, la réflectance de la Terre, c'est-à-dire sa capacité à réfléchir l'énergie incidente (soit le rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi et du rayonnement incident sur cette surface). Bien que conçu pour la météorologie, ce détecteur s'est révélé efficace pour l'observation des océans et des continents.

## Une révolution pour la cartographie

détecteur à l'autre. S'y ajoute le fait que l'orbite du satellite suit la zone de la Terre éclairée par le Soleil (satellite héliosynchrone) ou reste au-dessus d'un point fixe de la Terre (satellite géostationnaire).

Les premières images de la Terre vue de l'espace ont été prises en 1946 au-dessus du désert du Nouveau-Mexique, grâce à une caméra portée par une fusée V2. Cependant, l'ère de la télédétection spatiale a commencé avec *Sputnik 1*, en 1957. Ce satellite accomplissait un tour de la Terre toutes les 96 minutes et transmettait des signaux radio. *Sputnik 2* lui a emboîté le pas un mois plus tard, en novembre 1957, suivi des premiers satellites américains *Explorer 1*, en janvier 1958, et *Vanguard 1*, en mars 1958. *Vanguard 1* reste le plus vieux satellite encore en orbite autour de la Terre. Il a produit les premières mesures de densité de la haute atmosphère.

Son successeur, *Vanguard 2*, était le premier satellite conçu explicitement pour

L'un des développements clefs des années 1960 et 1970 a été l'utilisation de détecteurs dits multispectraux, facilitée par la déclassification de satellites militaires qui observaient la surface de la Terre dans les domaines de l'infrarouge et des micro-ondes, c'est-à-dire la mise à disposition de ces données. À la suite des recherches pionnières de la NASA (l'Agence spatiale américaine) et de l'Académie des sciences des États-Unis, qui évaluaient l'utilité de surveiller la Terre pour les sylviculteurs et les agriculteurs, la NASA a lancé *Landsat 1* en 1972 pour effectuer un suivi des terres émergées. Ses images balayaient la Terre dans quatre bandes du spectre (0,5 à 1,1 micromètre) et à des résolutions spatiales suffisantes pour de nombreuses applications, telle l'évaluation de l'occupation des sols et de l'utilisation des terres.

*Landsat 1* a donné naissance à une série de missions *Landsat* « renforcées », qui ont débouché sur la mise en orbite, en 1999,

de l'appareil de cartographie thématique amélioré ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) de *Landsat 7*. Le dispositif ETM+, toujours actif, peut recueillir des données dans huit bandes spectrales, dans le visible et le proche infrarouge, avec une résolution spatiale d'une trentaine de mètres.

Les missions *Landsat* ont servi de modèles aux satellites d'observation de la Terre des décennies suivantes, tels *SPOT* en France, le satellite pour l'observation de la Terre du CNES (Centre national d'études spatiales), et de nouveaux détecteurs, tel le radiomètre ASTER de la NASA. La série des satellites *Nimbus*, à partir de 1964, a également été un jalon important, grâce à des capteurs capables de suivre les processus biologiques océaniques, la composition atmosphérique et la topographie des glaces polaires.

Les techniques satellitaires ont notablement progressé au cours des années 1980, surtout grâce aux détecteurs dits hyperspectraux opérant sur de nombreuses bandes spectrales, aux spectromètres multiangulaires qui combinent plusieurs angles de prises de vue, et aux radars.

On utilise des systèmes micro-ondes actifs pour suivre le mouvement des objets depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Mais c'est seulement depuis deux décennies que les détecteurs des satellites produisent des images micro-ondes actives, en envoyant des impulsions radar et en mesurant leur réflectance.

Le radar à ouverture ou antenne synthétique (SAR, *synthetic aperture radar*, ou radar à synthèse d'ouverture) est une variante de cette technique. Émettant des impulsions selon un faisceau très étroit, il mesure le temps écoulé entre l'émission et la réception de l'écho réfléchi par une cible, et est capable d'observer la surface de la Terre à travers la couverture nuageuse et sans lumière. Son antenne, relativement petite, émet et capte des signaux dans de multiples positions ; en les combinant, on obtient la même information que celle qu'aurait fournie une antenne radar beaucoup plus grande.

**1. LA PLUPART DES SATELLITES** actuels sont dédiés à l'observation de la Terre et fournissent d'innombrables informations sur notre planète. Cette image [ci-dessus] d'une aurore boréale a été compilée à partir de données collectées en juillet 2000 par le satellite *Polar* de la NASA, qui a cessé de fonctionner début 2008. Les données ont été enregistrées en lumière ultraviolette, car l'événement s'est produit en pleine journée. Les fausses couleurs du bleu au rouge correspondent à l'augmentation de l'activité magnétique.

## LES AUTEURS



Andrew TATEM est chercheur à l'Institut des pathogènes émergents de l'Université de Floride. Il a travaillé sur le paludisme à l'Université d'Oxford (Grande-Bretagne), où Simon HAY coordonne le *Malaria Atlas Project*.  
Scott GOETZ est directeur de recherche au Centre de recherche de Woods Hole.

Les applications des radars satellitaires se sont considérablement diversifiées. Les détecteurs incluent désormais des altimètres suffisamment sensibles pour mesurer la hauteur de la mer avec une précision de quelques millimètres, et des diffusomètres – qui détectent la portion rétrodiffusée des ondes émises – pour mesurer la rugosité de la surface et donner une image de la microtopographie. Les systèmes d'imagerie polarimétrique, qui mesurent l'intensité relative des composantes polarisées du rayonnement réfléchi, et les imageurs interférométriques, qui exploitent la superposition de différentes longueurs d'onde, sont utilisés pour traquer de minuscules mouvements de terrain. En outre, le perfectionnement des méthodes et la déclassification progressive des satellites militaires offrent des clichés de la Terre avec une très haute résolution spatiale : on peut désormais distinguer des objets de 60 centimètres.

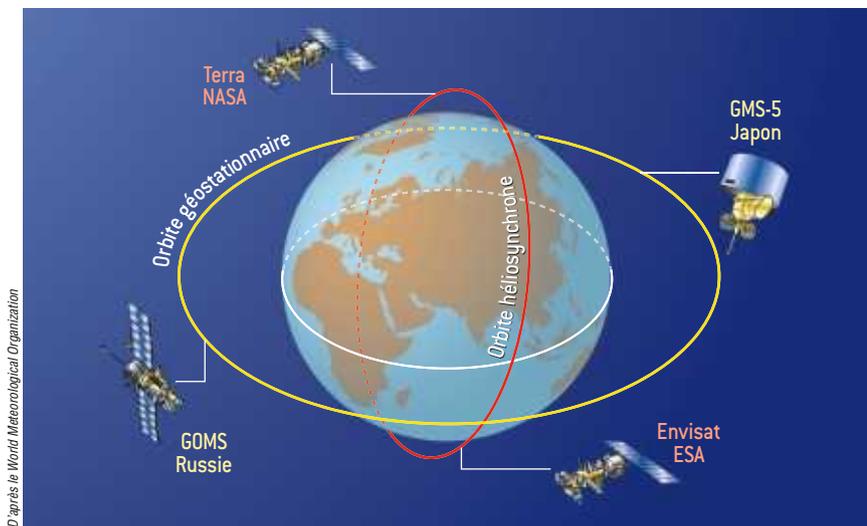
## Des plates-formes multidétecteurs

L'instrument de télédétection spatiale le plus récemment introduit est le laser. Il est surtout utilisé pour la cartographie topographique et glaciaire, mais il sert aussi à mesurer les propriétés atmosphériques et à observer la surface terrestre par fluorescence. Des substances telles que la chlorophylle des végétaux sont naturellement

fluorescentes à certaines longueurs d'onde, ce qui permet de calculer la masse végétale d'une région donnée, par exemple celle d'une efflorescence d'algues dans l'océan. La fluorescence est aussi utile pour étudier l'atmosphère. Le satellite *Calipso*, issu de la coopération de la NASA et du CNES, utilise pour cela un lidar, instrument de télédétection qui émet des impulsions laser et analyse la lumière réfléchie. Cette technique renseigne sur l'altitude des nuages et sur les propriétés des aérosols qu'ils contiennent. Par exemple, en 2006, *Calipso* a détecté un important panache de dioxyde de soufre issu du volcan de la Soufrière, aux Antilles, que la plupart des autres détecteurs ne distinguaient pas.

Depuis le début des années 1990, deux tendances divergentes se sont développées en matière de conception et de fonctionnement des satellites. D'un côté, les grands organismes spatiaux, notamment la NASA et l'Agence spatiale européenne (ESA), ont concentré leurs ressources d'observation de la Terre sur la conception et le lancement de grandes plates-formes multidétecteurs ; chaque détecteur est conçu pour surveiller un aspect particulier du « système Terre ». Ainsi, *Terra* et *Aqua*, lancés en décembre 1999 et mai 2002 par la NASA, sont les premiers d'une série de satellites multi-instruments formant le Système d'observation de la Terre (EOS) de l'agence américaine. Le futur Système américain de satellites environnementaux en orbite polaire (NPOESS, *National Polar Orbiting Environmental Satellite System*), en cours de préparation, représente la génération suivante de satellites, dont le lancement est prévu pour 2013. Et *Envisat*, le satellite environnemental de l'ESA, lancé en mars 2002, comporte dix détecteurs différents ; de la taille d'un bus à impériale, il s'agit du plus gros satellite d'observation de la Terre jamais construit.

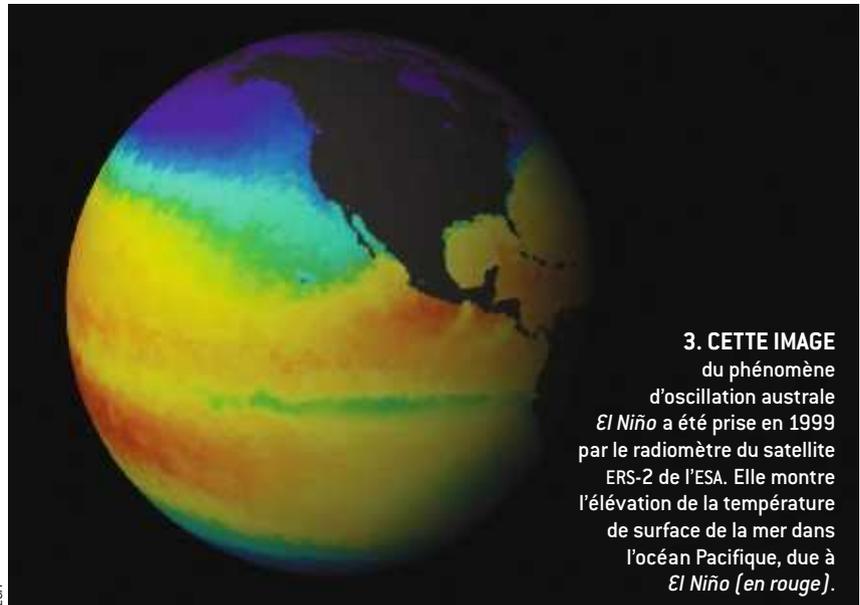
L'autre tendance récente dans le domaine satellitaire consiste à concevoir des satellites nationaux plus petits. Plus de 20 pays développent ou exploitent des satellites de télédétection, en général conçus sur le modèle des *Landsat*. Les coûts des instruments et du lancement ayant beaucoup baissé, des pays tels que l'Inde, le Brésil et le Nigeria ont lancé leurs propres satellites d'observation. Beaucoup de ces nouveaux satellites sont développés et lancés par des opérateurs commerciaux, qui fournissent des images à la demande, facturées à l'unité.



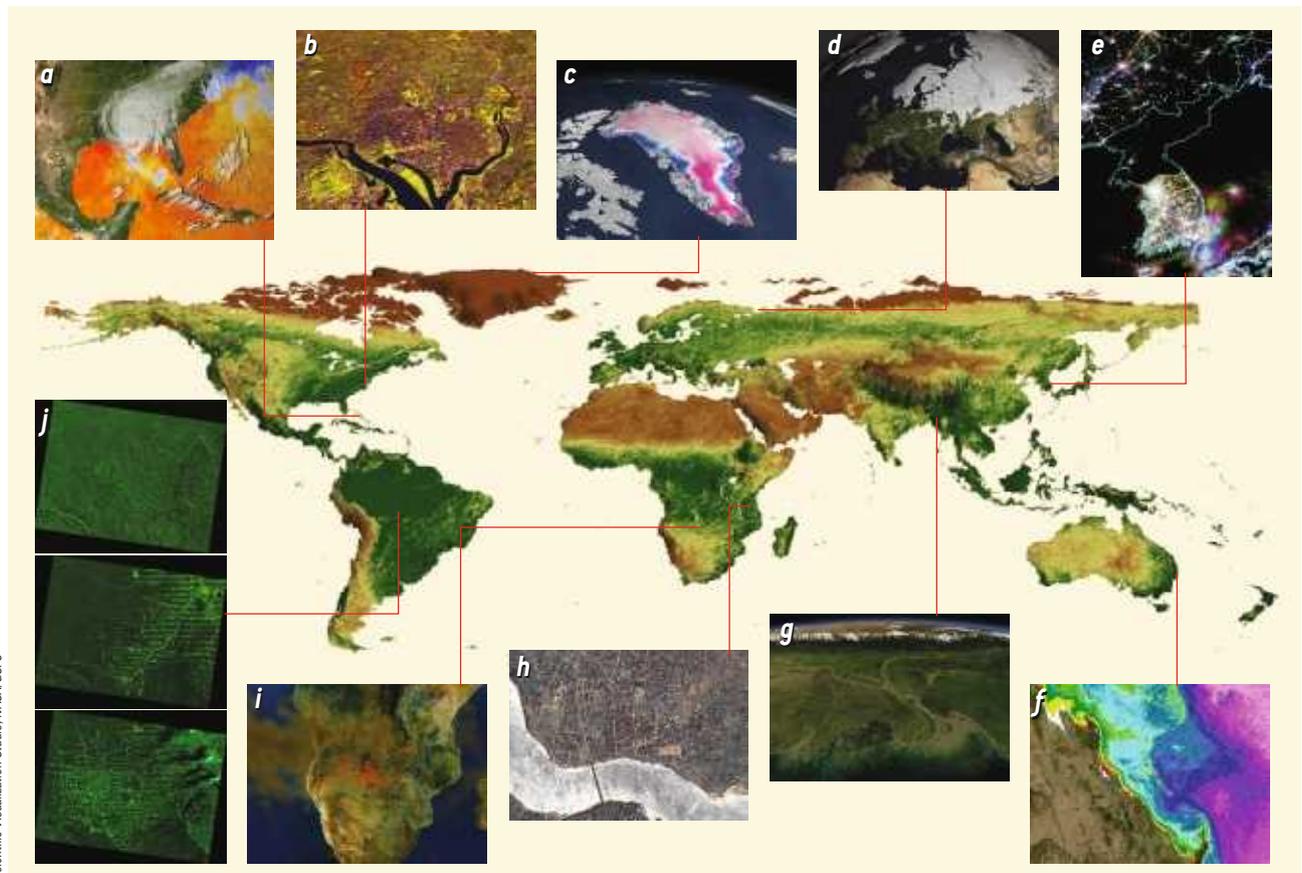
**2. LES SATELLITES À ORBITE GÉOSTATIONNAIRE** tournent de conserve avec la planète, ce qui les maintient à la verticale d'un point donné. Le satellite russe GOMS et le GMS5 japonais en sont deux exemples, tous deux utilisés pour la météorologie. Les satellites à orbite héliosynchrone passent au-dessus d'un même point de la Terre à la même heure chaque jour. Beaucoup de ces orbites passent au-dessus des pôles. Par exemple, le satellite *Terra* de la NASA et le satellite *Envisat* de l'Agence spatiale européenne (ESA) occupent une telle orbite polaire.

Depuis les premières cartes terrestres rudimentaires, obtenues par les satellites des années 1960, jusqu'aux incroyables vues tridimensionnelles de la Terre que l'on trouve aujourd'hui en ligne, l'imagerie par satellite a bouleversé la cartographie. Elle ne se cantonne plus aux frontières politiques et à la topographie. En utilisant les ondes électromagnétiques hors du spectre visible, les satellites nous ont donné les premières cartes à grande échelle des formations météorologiques, de l'état de la végétation, des polluants atmosphériques, de l'humidité des sols et des roches, de la distribution des espèces (des mouches tsé-tsé aux éléphants) ou encore des risques liés aux maladies infectieuses (de la fièvre Ébola au paludisme).

L'introduction du traitement numérique des données a permis de visualiser

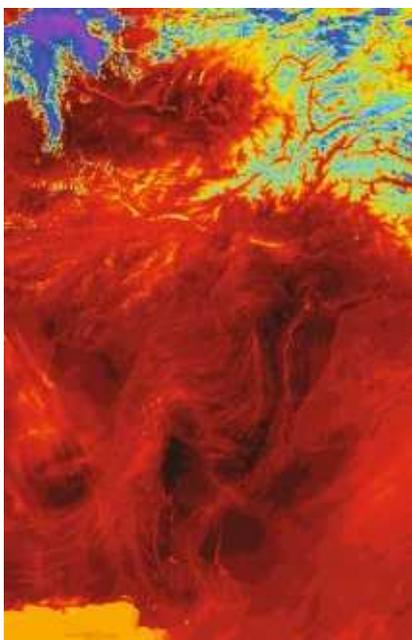


**3. CETTE IMAGE**  
du phénomène  
d'oscillation australe  
*El Niño* a été prise en 1999  
par le radiomètre du satellite  
ERS-2 de l'ESA. Elle montre  
l'élévation de la température  
de surface de la mer dans  
l'océan Pacifique, due à  
*El Niño* [en rouge].



**4. DES IMAGES SPATIALES** prises dans diverses bandes spectrales illustrent l'occupation des sols sur la planète. L'image centrale indique la couverture végétale [l'indice normalisé de végétation, NVDI]. En allant dans le sens des aiguilles d'une montre, les autres images montrent : l'ouragan Katrina et les températures de surface de la mer [spectromètre MODIS du satellite *Terra*] [a] ; une vue de Washington, en fausses couleurs, par *Landsat* [b] ; les changements récents de hauteur de la glace au Groenland, le rouge montrant une augmentation et le bleu une diminution, d'après les données de *SeaSat* [c] ; la couverture neigeuse en Europe par l'imagerie de MODIS [d] ; le contraste

frappant entre l'éclairage nocturne en Corée du Nord et celui de Corée du Sud, d'après les données du *Defense Meteorological Satellite Programme Operational Linescan System* [e] ; les concentrations de chlorophylle au large du Nord-Est de l'Australie, à partir de données de MODIS [f] ; un cliché du Bangladesh et de l'Himalaya par *Landsat-ETM*, avec amplification des altitudes [g] ; la ville côtière de Kilifi au Kenya, par IKONOS, un satellite commercial [h] ; les feux de brousse et la fumée en Afrique du Sud, mesurés par les satellites TIROS et *Nimbus* [i] ; le recul de la forêt tropicale brésilienne par des images de *Landsat* datant de 1975, 1992 et 2001 [j, de haut en bas].



**5. LE SATELLITE AQUA DE LA NASA** a enregistré cette image à proximité du fleuve Indus au cours d'une vague de chaleur, en mai 2004. Les températures au sol culminaient à 67 °C. Le bleu en haut de l'image correspond aux pics enneigés de l'Himalaya, et contraste avec le rouge sombre des vallées brûlantes en contrebas.

des zones plus étendues sur une seule vue, et de combiner des images en lumière visible avec d'autres types d'imagerie, tel le radar. En outre, l'imagerie spatiale est beaucoup plus facile à actualiser et à affiner, même si elle n'atteint pas encore la précision millimétrique des photographies aériennes.

## Une écologie à l'échelle globale

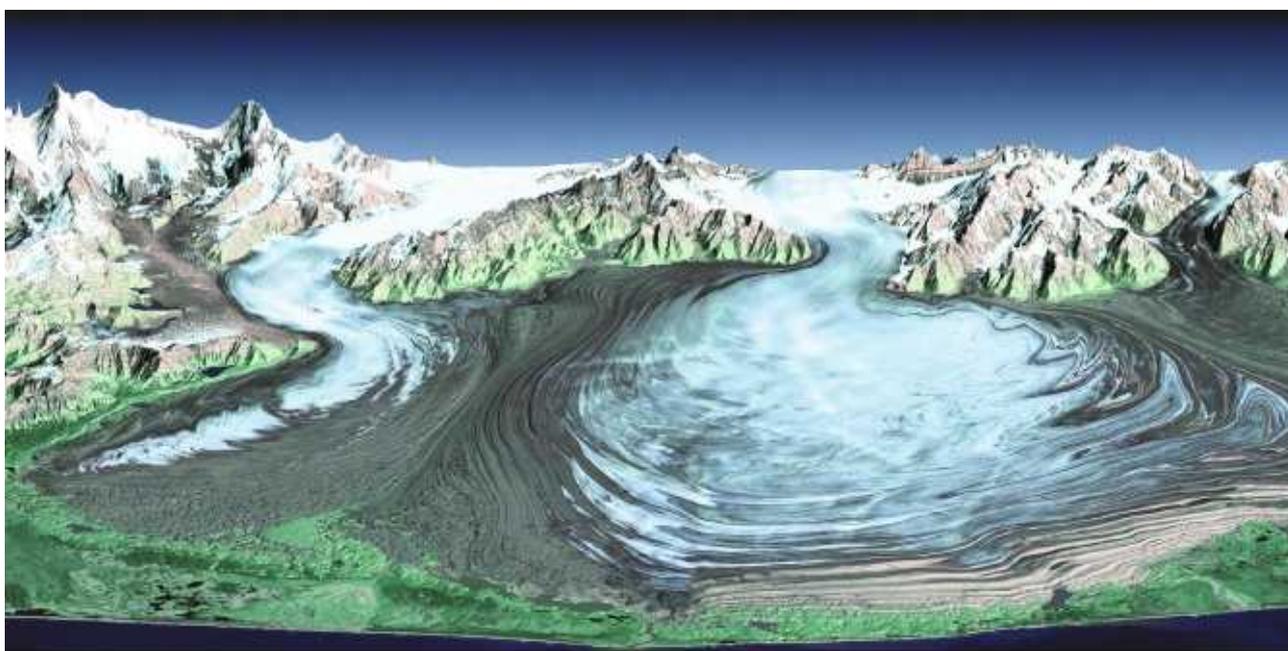
Il n'est donc guère surprenant que certaines des premières avancées scientifiques dues aux observations satellitaires aient été réalisées dans les domaines de la géologie et de l'environnement. La recherche de gisements de minéraux ou d'énergie fossile, le traitement des déchets et la modélisation des processus tectoniques ont bénéficié de ces nouvelles données. Par exemple, on peut repérer des terrains contaminés ou des lieux d'enfouissement illégal de déchets, ou des failles par lesquelles des résidus risqueraient de s'infiltrer jusqu'aux nappes phréatiques.

Par ailleurs, les mesures multispectrales ont considérablement amélioré l'évaluation de l'occupation des sols. En effet, les réflectances dans différentes régions du spectre peuvent être combinées pour construire des indices, tel l'indice normalisé de végétation (NDVI). La végétation saine absorbe la lumière dans la partie rouge du spectre,

mais réfléchit le rayonnement dans l'infrarouge proche. Les différents types de surface ont ainsi des signatures caractéristiques de réflectance, exploitables pour une cartographie précise et automatisée.

Les radiomètres AVHRR embarqués sur les satellites de la NOAA, et plus récemment sur les satellites *Metop* de l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT), ont apporté un éclairage original sur la dynamique de notre planète. Leur imagerie multispectrale à acquisition hebdomadaire a fourni les premières vues de la dynamique de l'occupation des sols, de la biomasse et de la production primaire à travers des continents entiers. L'analyse à long terme, associée à une meilleure compréhension des relations entre la réflectance de l'énergie électromagnétique et les caractéristiques écologiques, a rendu possibles des études écologiques à l'échelle globale.

Ces résultats, parmi d'autres, ont permis de quantifier pour la première fois l'impact du phénomène d'oscillation australe *El Niño* sur les récoltes et le bétail en Afrique. De plus, le phénomène dit de verdissement du Nord est apparu sous un jour nouveau : on pensait que la productivité végétale aux latitudes septentrionales élevées était en augmentation du fait de l'allongement de la saison de croissance. En réalité, le verdissement se poursuit bien



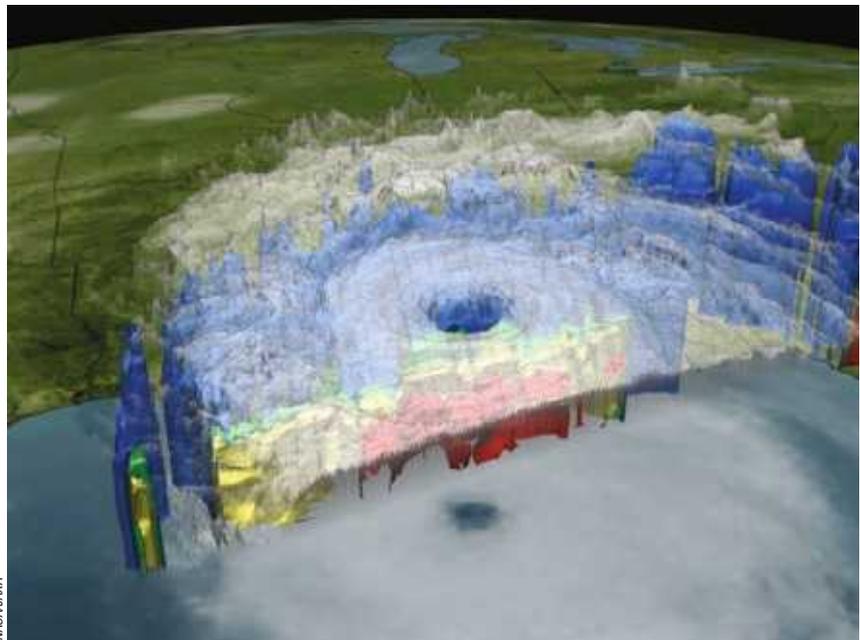
**6. LE GLACIER MALASPINA**, dans le Sud-Est de l'Alaska, est un exemple de glacier de piémont : les glaciers de vallée sortent d'une chaîne montagneuse et s'étalent dans la plaine. Cette perspective a été créée en

combinant une image de *Landsat*, réalisée à la fois en lumière visible et dans l'infrarouge, à un modèle de relief de la mission *Shuttle Radar Topography* de la navette spatiale *Endeavor*, en 2000.



Liam Gumley, MODIS Atmosphere Science Team

**7. LES TEMPÊTES DU DÉSERT DU SAHARA** transportent souvent de grosses quantités de sable et de poussière sur la mer. Les îles du cap Vert, à environ 500 kilomètres de la côte Ouest de l'Afrique, peuvent subir de violentes tempêtes d'un sable provenant de cette source lointaine, comme l'a photographié le satellite *Terra* en 2000.



NASA/JAXA

**8. CETTE VUE DE L'OURAGAN KATRINA** (28 août 2005) a été obtenue en combinant des données collectées par deux satellites. Le satellite *Tropical Rainfall Measuring Mission*, un programme conjoint de la NASA et de l'Agence d'exploration aérospatiale du Japon, révèle les pluies sous les nuages de la tempête. Le bleu indique au moins cinq millimètres de pluie par heure, tandis que le vert correspond à 12 millimètres, le jaune à 25 millimètres, et le rouge à cinq centimètres. Le satellite GOES [Satellite géostationnaire d'exploitation pour l'étude de l'environnement], exploité par la NASA et la NOAA, a fourni les données météorologiques dans le domaine visible.

dans les régions de toundra, mais il est en déclin dans la forêt boréale, car les continents sont surmontés de masses d'air chaud et sec, défavorables aux forêts.

## Des applications pour l'océanographie

Une autre application renouvelée par les satellites est la recherche océanographique. Les chercheurs peuvent maintenant acquérir et analyser des ensembles de données globales sur la température de surface des océans, la vitesse et la direction des vents en surface, la hauteur de la houle, les concentrations de phytoplancton et de sédiments en suspension, la répartition des vagues ou encore les variations de hauteur de la surface marine associées aux marées et aux courants.

Certaines des premières avancées proviennent du satellite *Nimbus-7*, lancé en 1978, et de son capteur CZCS (*Coastal zone color scanner*), capable de déterminer la couleur et la température de l'océan dans les zones côtières. Il a été le premier à recueillir des données à grande échelle concernant les processus biologiques océaniques. Par la suite, le capteur *SeaWiFS* (*Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor*, détecteur à grand

champ pour l'observation de la mer) du satellite *SeaStar* a apporté des mesures inédites des processus associés à *El Niño* et de la pollution d'origine agricole.

Le phytoplancton océanique, responsable d'à peu près la moitié de la production primaire de biomasse, représente une composante cruciale du cycle global du carbone. Des mesures satellitaires de la répartition de la chlorophylle ont conduit aux premières estimations à grande échelle de la production océanique primaire et à la découverte de ses liens étroits avec le climat.

Parce qu'ils détectent les variations d'origine gravitationnelle de la hauteur des océans, les altimètres satellitaires ont également permis d'obtenir une cartographie globale et de mieux comprendre divers phénomènes. La topographie des fonds océaniques, l'étude de la dissipation de l'énergie des marées et de l'élévation du niveau des mers, ainsi que la caractérisation détaillée du tsunami de décembre 2004 en ont bénéficié.

Plus d'une centaine de satellites ont été lancés à seule fin de surveiller l'atmosphère terrestre. La moitié sont conçus pour alimenter les prévisions météorologiques, tandis que les autres sont consacrés à la

## ✓ BIBLIOGRAPHIE

S.J. Goetz *et al.*, Mapping & monitoring carbon stocks with satellite observations : a comparison of methods, *Carbon Balance and Management*, vol. 4, n° 2, 2009.  
<http://www.cbmjournals.com/content/4/1/2>

M. Diament et P. Ultré-Guéraud, *La Terre vue des satellites*, *Pour la Science*, n° 361, pp. 130-136, 2007.

National Research Council, *Earth science and applications from space : National imperatives for the next decade and beyond*, 2007.  
[http://books.nap.edu/catalog.php?record\\_id=11820#toc](http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=11820#toc)

A. Cazenave et D. Massonnet, *La Terre vue de l'espace*, Belin-Pour la Science, Coll. Bibliothèque scientifique, 2004.

Nous remercions la revue *American Scientist* de nous avoir autorisés à reproduire cet article.



NASA/JPL

**9. LES IMAGES DE LA NOUVELLE-ORLÉANS** obtenues par le satellite *Terra* avant (à gauche) et après l'ouragan Katrina font clairement appa-



raître l'amplitude de l'inondation 17 jours après la tempête (à droite). La zone photographiée fait dix kilomètres sur sept.

recherche. La science des prévisions météorologiques à court terme a progressé grâce aux détecteurs à micro-ondes et infrarouges, qui fonctionnent même à travers une couverture nuageuse et sans lumière du jour. On peut actuellement les utiliser pour cartographier les profils de la température atmosphérique, la répartition de la vapeur d'eau, la pression à la surface des océans et les précipitations. Ainsi, le satellite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) a été lancé en 1997 par la NASA et l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale pour suivre les précipitations tropicales. Ses différents détecteurs micro-ondes ont contribué à mieux comprendre les régimes de précipitations dans les zones tropicales, par exemple en quantifiant les effets inhibiteurs de la pollution de l'air sur les précipitations. Comme pour beaucoup de satellites initialement lancés pour les besoins de la recherche, le succès de TRMM lui a valu de voir sa mission reconduite bien au-delà de la durée de vie prévue.

L'étude des processus de diffusion, d'émission, de réfraction et d'absorption des ondes électromagnétiques en interaction avec l'atmosphère est une science complexe, mais les satellites d'observation de la Terre ont conduit à des progrès. Par exemple, les premières mesures et cartes globales des « trous » de la couche d'ozone dans l'Arctique et l'Antarctique ont été réalisées avec un spectromètre du satellite *Nimbus 7*, qui mesurait le rayonnement solaire ultraviolet rétrodiffusé. Ce même détecteur a servi à quantifier les niveaux globaux d'ozone troposphérique en lien avec la pollution de l'air, tandis que d'autres détecteurs ont fourni des cartes des concentrations de fumée, de poussière et d'oxyde d'azote.

Plus important encore, les modèles qui décrivent l'évolution du climat dépendent beaucoup des observations par satellites. Les données alimentent les modèles, confirment ou contredisent leurs prédictions, ou mettent en évidence leurs points faibles.

## Suivre l'évolution des glaces polaires

L'étendue des glaces marines et leurs mouvements sont des indicateurs clés du changement climatique, et représentent des données importantes pour déterminer les itinéraires maritimes et pour les prévisions météorologiques. La télédétection n'a pas d'équivalent pour l'étude de l'Arctique et de l'Antarctique, et elle ne perturbe pas ces environnements fragiles. Toutefois, en raison de l'inclinaison orbitale de beaucoup de satellites, leurs détecteurs ne couvrent pas les régions de latitude supérieure à 80 degrés. De plus, à tout moment, au moins 50 pour cent des régions polaires sont couvertes de nuages. Durant l'hiver, elles sont soumises à des périodes d'obscurité prolongées, ce qui limite l'utilisation de détecteurs dans le visible et dans l'infrarouge. Ces difficultés ont conduit à utiliser plutôt les détecteurs micro-ondes.

Plusieurs radiomètres micro-ondes passifs ont fourni des enregistrements continus des milieux polaires depuis 1972, avec une résolution spatiale constamment améliorée. Dans le même temps, les données des radars à synthèse d'ouverture ont permis de distinguer les glaces saisonnières et persistantes, et de suivre la dégradation des glaces de la péninsule antarctique et des côtes du Groenland.

### ✓ SUR LE WEB

Educnet  
<http://www.educnet.education.fr/obter/>

Liste des satellites d'observation  
<http://www.itc.nl/research/products/sensordb/AllSatellites.aspx>

ESA  
<http://www.esa.int/>

Remote sensing Tutorial  
<http://rst.gsfc.nasa.gov/>

NASA, satellites  
[http://www.nasa.gov/worldbook/artificial\\_satellites\\_worldbook.html](http://www.nasa.gov/worldbook/artificial_satellites_worldbook.html)

NOAA  
<http://www.nesdis.noaa.gov/>

Océanographie spatiale, Ifremer  
[http://www.ifremer.fr/droos/cours\\_teledection/](http://www.ifremer.fr/droos/cours_teledection/)

L'épaisseur des glaces représente un autre indicateur important du changement climatique. Bien que sa mesure soit difficile, les données des altimètres radar et des radiomètres infrarouges peuvent être intégrées utilement aux modèles, en particulier lorsque des mesures complémentaires de terrain sont disponibles pour les calibrer.

Ces dernières années, des champs de recherche touchant à l'urbanisme et aux questions sociales ont bénéficié à leur tour de l'imagerie spatiale : modélisation des risques d'inondation, détection des affaissements, gestion de la circulation, relevés archéologiques, détection des mines anti-personnel, etc. Les 35 années d'archives de Landsat fournissent des données utiles pour l'aménagement du territoire et la modélisation de l'expansion des villes ; l'imagerie nocturne des zones urbanisées facilite la construction de bases de données démographiques exploitables pour évaluer par exemple l'incidence d'une maladie.

Des données climatiques (température, précipitations, végétation) commencent à

être exploitées pour la gestion de la sécurité alimentaire dans les régions pauvres, afin d'améliorer l'accès aux ressources et de mettre en place des systèmes d'alerte permettant d'anticiper les effets de mauvaises récoltes et des épidémies.

## Une gratuité d'accès trop marginale

Par ailleurs, depuis les habitats disponibles pour les pandas géants jusqu'à la répartition des moustiques vecteurs du paludisme et la modélisation des épidémies, l'imagerie satellitaire est devenue un atout important pour les écologues comme pour les épidémiologistes.

À l'avenir, les satellites devraient nous livrer des images d'une résolution inférieure à 50 centimètres, ainsi que des données nocturnes détaillées. L'amélioration du traitement des données devrait contribuer à éliminer les pertes de données par temps couvert et de nuit, et fournir des bases de données multi-images utiles pour modéliser divers processus envi-

ronnementaux et sociaux. Enfin, la déclassification de la technologie spatiale militaire est susceptible d'apporter de nouvelles informations.

On peut cependant regretter que la gratuité des données satellitaires reste marginale : celles de nombreux satellites restent secrètes, et la plupart des opérateurs font encore payer très cher les images. Malgré quelques logiciels de traitement des données satellitaires bon marché ou même gratuits, les programmes les plus perfectionnés sont soumis à l'achat de coûteuses licences. Et les coûts de formation restent prohibitifs pour les pays à faible revenu.

Autre sujet de préoccupation, l'observation par satellite reste un domaine à l'avenir incertain, malgré la démonstration de son potentiel, en raison des coupes sombres dans le financement des programmes. À un moment où des changements sans précédent se produisent dans l'atmosphère terrestre, dans les océans et sur les terres émergées, la coopération multinationale en la matière est pourtant plus que jamais nécessaire. ■

# NOUVEAUTÉS



## La chimie et la mer Ensemble au service de l'homme

M.-T. Dinb-Audouin, coord.

Ce livre, grâce à l'enthousiasme et la grande compétence des ingénieurs et scientifiques auteurs des différents chapitres avertit le lecteur sur l'immense champ d'études — peut-être ultérieurement de conquêtes — que constitue le monde marin. Sans chercher à être exhaustifs mais en voulant d'abord sensibiliser le lecteur, les thèmes sont abordés sous l'angle des sciences chimiques qui permet de faire saisir la complexité des océans, et l'impérieuse nécessité que les hommes maîtrisent leurs interventions, sous peine de détruire ce milieu qui peut tant les aider. Un ouvrage grand public.

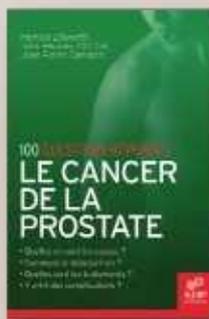
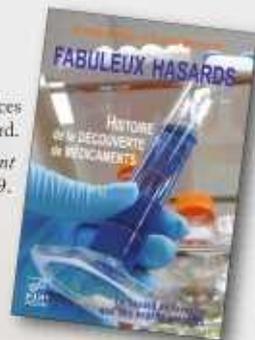
• Septembre 2009 • 978-2-7598-0426-9  
• 208 pages couleur • 24 €

## Fabuleux hasards - Histoire de la découverte de médicaments

Claude Babouin et Claude Monneret

Ce livre relate l'histoire de la découverte fortuite de nombreux médicaments et à travers ces aventures, tente de cerner le concept de sérendipité, la science des découvertes dues au hasard. "deux pharmaciens [...] ont eu la bonne idée de recenser la trentaine de coïncidences heureuses qui ont donné naissance à des médicaments, dont le célèbre Viagra." Le Figaro Magazine, 18 juillet 2009. "un livre étonnant" France Soir, 20 juillet 2009. "un livre grand public, idéal pour les vacances", Destination Santé, 10 juillet 2009.

• Juin 2009 • 978-2-7598-0378-1 • 140 pages • 14 €



## Le cancer de la prostate 100 questions-réponses

Pamela Ellsworth, Cliff Gill et John Heaney - Traduit et adapté par Jean-Pierre Camilleri

Ce livre rassemble de façon inédite les points de vue du médecin et du patient en apportant des réponses pratiques, rédigées dans un langage compréhensible, aux questions que vous vous posez.

L'ouvrage se penche résolument sur les questions brûlantes qui touchent la personne : dépistage, diagnostic, options de traitement (avec, pour chacune d'entre elles, des avantages et les possibles inconvénients), qualité de vie que l'on peut attendre après l'épreuve du traitement, conséquences sur l'intimité et la vie sociale, sources utiles à une information équilibrée, et plus encore.

• Juin 2009 • 978-2-7598-0081-0 • 220 pages • 16 €

[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)

**BON DE COMMANDE à renvoyer à :**  
EDP Sciences - BP 112 - 91944 Les Ulis Cedex A

Date : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ Signature :

Nom / Prénom : \_\_\_\_\_ Tél : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Code Postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_ Pays : \_\_\_\_\_

Titre (s)	Prix unitaire	Quantité	Total
La chimie et la mer	24 €	x .....	= ..... €
Fabuleux hasards	14 €	x .....	= ..... €
Le cancer de la prostate	16 €	x .....	= ..... €
Frais de port			
France métropolitaine	1 livre : + 4 € 2 livres : + 6 € 3 livres : + 8 € 4 livres : + 10 € 5 livres ou plus : + 12 €		+ ..... €
DOM et Europe	+ 7 €		+ ..... €
TDM et reste du monde	+ 9 €		+ ..... €
<b>TOTAL GÉNÉRAL</b>			<b>= ..... €</b>

\* Aucune commande ne pourra être expédiée sans ajout des frais de port.

Paiement au choix :  par chèque à l'ordre d'EDP Sciences (à joindre à la commande)

par carte bancaire :  Visa  Eurocard  American Express

N° de carte : \_\_\_\_\_

Date d'expiration : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ Code Crypto (3 derniers chiffres au dos de la carte) : \_\_\_\_\_