

La surveillance du climat

MICHAEL KING • DAVID HERRING

Un satellite qui embarque cinq groupes de capteurs collecte les données nécessaires à la prévision des évolutions climatiques.

Le satellite *Terra* survole notre planète à 705 kilomètres d'altitude. Chaque jour, il surveille les phénomènes qui déterminent le climat : les nuages, la croissance des végétaux, les variations du rayonnement solaire, la formation des glaces... Dans son orbite autour de la Terre, en passant par les pôles, il observe toutes les régions qui traversent son champ de vision et il dresse un état de santé du Globe.

Aujourd'hui, l'atmosphère et la biosphère se transforment avec une rapidité sans précédent dans l'histoire de la Terre. Chaque année, on allume des centaines de feux de forêts pour défricher : cette pratique a quadruplé au cours du XX^e siècle. On brûle en moyenne 142 000 kilomètres carrés de forêt tropicale par an, soit l'équivalent du quart de la surface de la France. Certains capteurs de *Terra* détectent les flammes, d'autres mesurent l'étendue des terres brûlées ou observent les déplacements des fumées et des gaz émis dans l'atmosphère. Grâce à la haute résolution de l'un de ses capteurs (15 mètres), *Terra* localise même les braises qui risquent de repartir en flammes. Il fait partie du Système d'observation de la Terre (SOT) de la NASA, un ensemble de satellites qui surveillent le climat global, afin de comprendre l'influence des facteurs naturels et humains et de prédire les changements futurs.

Depuis la formation de la Terre, il y a 4,5 milliards d'années, les bouleversements géologiques, telles les éruptions volcaniques, les variations des courants marins et les cycles de glaciations ont modifié la surface des terres émergées, ce qui a transformé le cli-

mat. Aujourd'hui, l'activité humaine est le principal facteur de changement (voir *Modifions-nous le climat ?*, par Thomas Karl et Kevin Trenberth, *Pour la Science*, janvier 2000).

Pour prévoir ces variations, un grand nombre de mesures, dans le monde entier, sur une période prolongée, doivent être collectées et prises en compte dans les simulations. Nous avons identifié 24 facteurs principaux qui influent sur le climat, notamment les flux d'énergie entre la surface de la Terre et l'atmosphère (les rayonnements visible et infrarouge), les concentrations en gaz à effet de serre, la couverture de neige et de glace, les nuages, les aérosols, les changements de végétation, etc. Le satellite *Terra* mesure 16 de ces facteurs (voir la liste page 78).

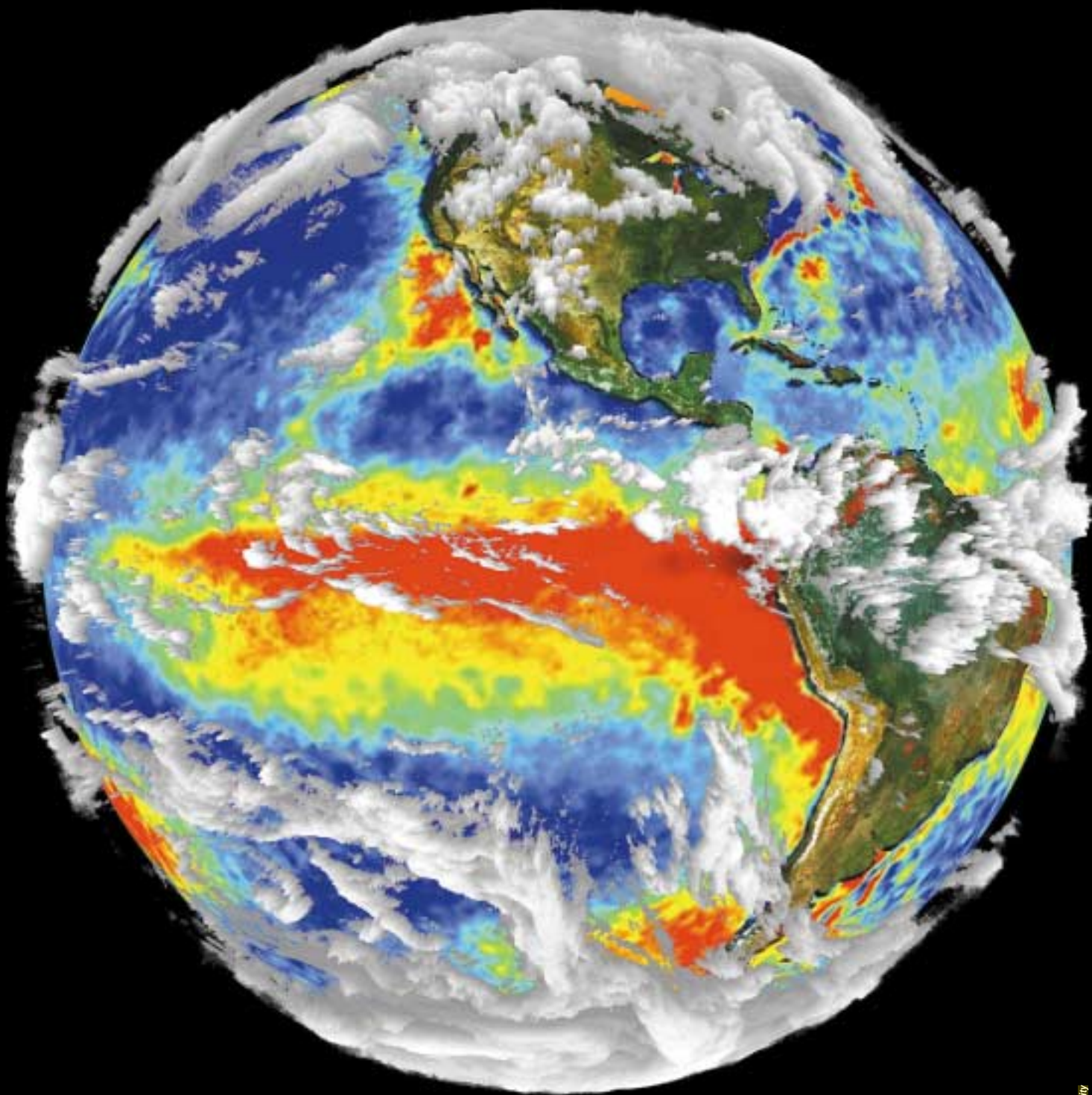
En 1988, la NASA avait proposé le lancement d'un satellite de surveillance du climat global, qui collecterait des données fiables en nombre suffisant (voir *La Terre vue du ciel*, par Diane Evans, Ellen Stofan, Thomas Jones et Linda Godwin, *Pour la Science*, février 1995). En 1991, le programme SOT fut décidé ; un budget de 44 milliards de francs fut alloué pour une durée de dix ans. La construction et le lancement de *Terra*, le satellite du SOT le plus récent, a coûté 55 milliards de francs.

Une nouvelle génération de systèmes de mesure

Depuis son lancement, le 18 décembre 1999, *Terra* est commandé depuis le Centre de Greenbelt, dans le Maryland. Contrairement aux instruments qui émettent des rayons laser ou des

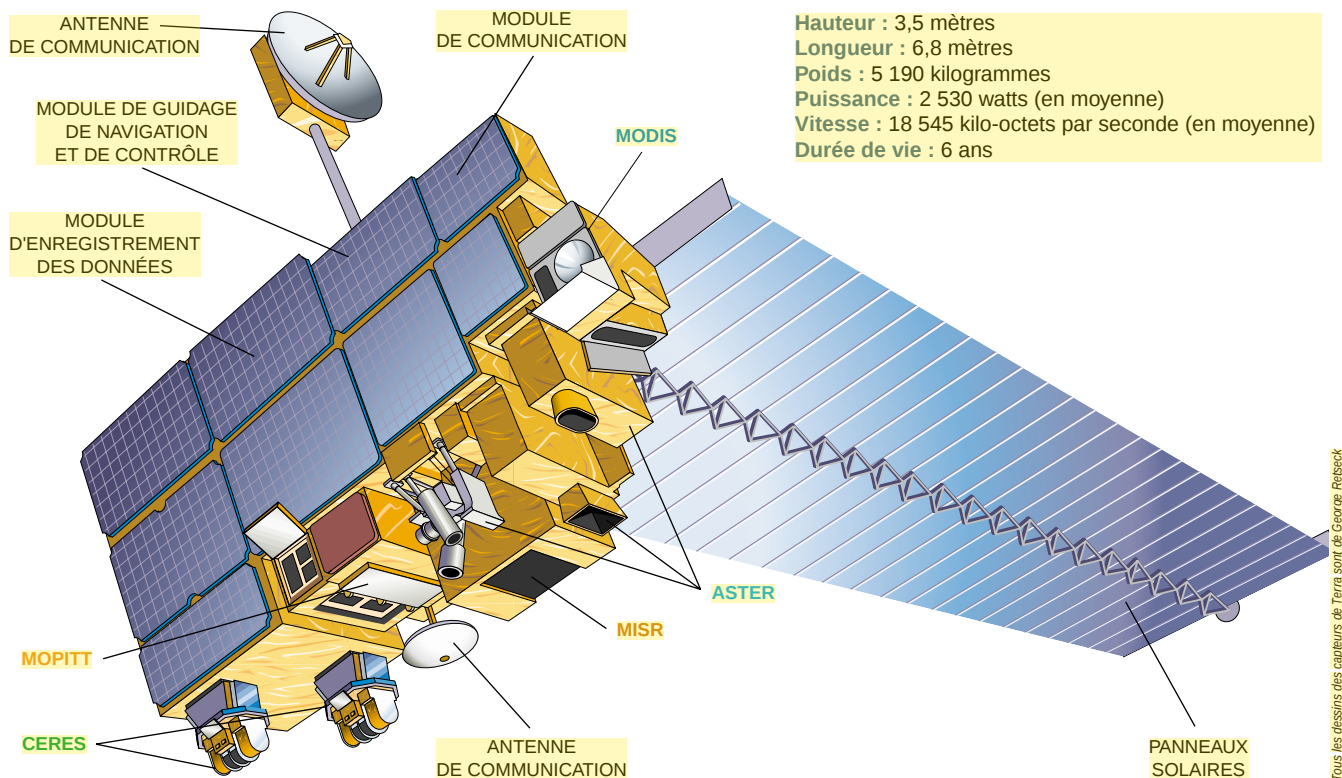
faisceaux radar, puis qui analysent leur réflexion sur la surface de la planète, les systèmes de mesure de *Terra* sont passifs. À la manière de caméras numériques, ils mesurent l'intensité de la lumière qui sort de l'atmosphère. Des détecteurs sont sensibles aux différentes plages de longueurs d'onde. À partir de la lumière visible, on forme alors des images qui sont de véritables photographies. À partir des rayonnements infrarouges et ultraviolets, on forme des images en « fausses couleurs ».

Chaque jour, les satellites du SOT envoient sur Terre des dizaines de millions de méga-octets de données. Celles-ci sont traitées par ordinateur, mémorisées, puis interprétées par une équipe de 850 scientifiques du monde entier. Naguère, les données collectées par satellite n'étaient accessibles qu'aux organismes qui disposaient d'un budget suffisant pour les acheter. Les satellites *Landsat*, dont le premier date de 1972, produisent des images qui coûtent chacune des milliers, voire des dizaines de milliers de francs. En revanche, certaines données de *Terra* seront accessibles à toute personne en possession d'une station de réception adéquate et d'équipements capables de traiter et de mémoriser les informations. Les données sont exploitables commercialement : les cartes des zones océaniques de haute productivité intéressent les entreprises de pêche, car ces zones sont les plus poissonneuses ; grâce aux images des cultures, les agriculteurs identifient les terres les plus riches, les zones de ruissellement des eaux, etc., et ils peuvent améliorer l'irrigation et l'amendement des champs.



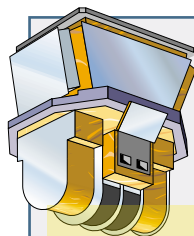
L'ÉTAT CLIMATOLOGIQUE DU GLOBE est analysé par le satellite *Terra*, lancé en décembre 1999. Des satellites plus anciens ont enregistré les données correspondant à cette image de synthèse, qui montre la végétation (en vert sur les continents), les feux de forêts (en rouge sur les continents), la température des

océans (croissante du bleu au rouge, en passant par le vert et le jaune) et la couverture nuageuse. Les eaux chaudes qui s'accumulent sur l'Ouest de l'Amérique du Sud, dans l'océan Pacifique (en rouge), sont dues à un système périodique de courants océaniques nommé El Niño.

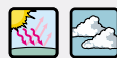


PARAMÈTRES MESURÉS PAR TERRA

- AÉROSOLS
- TEMPÉRATURE DE L'AIR
- NUAGES
- FEUX
- GLACIERS
- TEMPÉRATURE DU SOL
- ÉROSION
- CATASTROPHES NATURELLES
- PRODUCTIVITÉ DE L'OcéAN
- TEMPÉRATURE DE L'OcéAN
- POLLUTION
- BILAN RADIATIF
- COUVERTURE DE GLACE SUR LES OcéANS
- COUVERTURE NEIGEUSE
- VÉGÉTATION
- VAPEUR D'EAU



Paramètres mesurés :



Caractéristiques : CERES est le seul système embarqué sur un satellite qui mesure les flux radiatifs dans toute l'atmosphère.

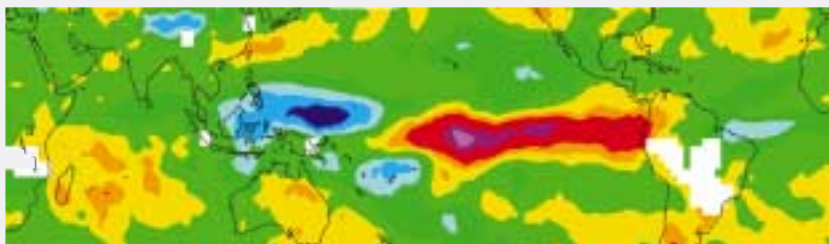
Systèmes de mesure : deux radiomètres à balayage, sur un large domaine spectral.

Résolution spatiale : 20 kilomètres.

CERES est l'acronyme de *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*, soit «système de mesure des nuages et du bilan radiatif de la Terre». Pour prédire les variations des températures moyennes, on doit d'abord comprendre les échanges d'énergie

CERES

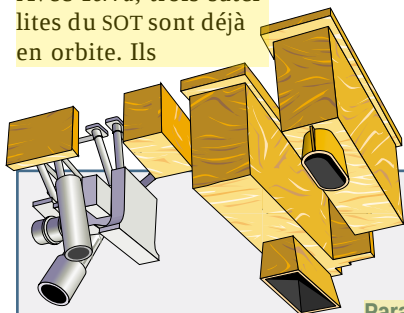
entre la surface de la Terre, l'atmosphère et l'espace. Aujourd'hui, on s'interroge sur le devenir de huit pour cent du rayonnement qui entre dans l'atmosphère. Cette fraction est-elle absorbée par les nuages et les aérosols (de petites particules de fumée et de poussière), puis dispersée dans l'atmosphère inférieure, où aucun satellite ne mesure les rayonnements? Pour comprendre le rôle des nuages dans la circulation de l'énergie à la surface de la Terre, CERES mesure les rayonnements à la limite supérieure de l'atmosphère et à la surface de la planète, avec une précision deux fois supérieure à celle des satellites précédents. Les mesures de CERES compléteront celles d'ERBE, un satellite qui fut mis en orbite pendant les années 1980.



L'INSTRUMENT CERES a enregistré la plus grande variation jamais observée de rayonnement réfléchi, dans l'Est de l'océan Pacifique, en février 1998. Le phénomène El Niño a réchauffé ses eaux, entraînant une formation accrue de cumulo-nimbus qui ont alors piégé une plus grande quantité de la chaleur émise par l'océan et par la couche inférieure de l'atmosphère (en rouge).

Des yeux dans le ciel

Avec *Terra*, trois satellites du SOT sont déjà en orbite. Ils



mesurent des paramètres en rapport avec le climat global, telles la réflexion du rayonnement solaire ou la force des vents au-dessus des océans. Dans le cadre du SOT, 15 autres satellites doivent être construits et mis en orbite. Ils devraient récolter des données pen-

dant 15 ans : pour faire des prévisions précises en matière de climat, nous aurons besoin de mesures sur de longues périodes.

Avec les systèmes de mesure de *Terra* et des autres satellites du SOT, on identifiera les phénomènes qui

ASTER

Paramètres mesurés :

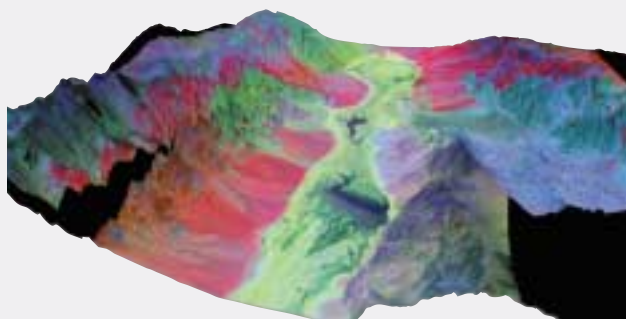


Caractéristiques : ASTER est le système de mesure de *Terra* qui a la meilleure résolution spatiale; on peut le pointer vers des cibles spécifiques.

Instruments : Trois systèmes orientables qui mesurent les longueurs d'onde dans le visible et l'infrarouge (proche, moyen et infrarouge thermique).

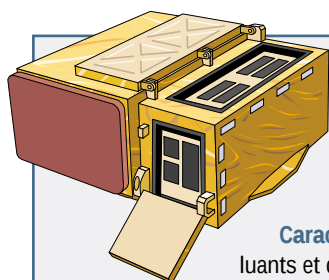
Résolution spatiale : de 15 à 90 mètres.

ASTER est l'acronyme de *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, soit «radiomètre pour la mesure depuis l'espace des émissions thermiques et des réflexions de la lumière solaire». Les terres émergées émettent des rayonnements qu'ASTER mesure avec une très haute résolution. Grâce à ces données, on établira le bilan radiatif de la planète. On identifiera aussi la nature des roches, des sols et de la végétation qui émettent les rayonnements détectés : les agriculteurs comprendront comment les variations de température, la pente et le type de sol influent sur leurs cultures. ASTER surveille aussi le recul des glaciers et des calottes glaciaires, l'avancée des déserts, la déforestation, les inondations et les feux naturels : il aidera les climatologues à distinguer l'influence des facteurs naturels et humains sur le climat. Avec ses systèmes orientables, ASTER produit des cartes numériques plus précises que celles des satellites *Landsat*.



LES ROCHES ET LA VÉGÉTATION apparaissent en fausses couleurs sur ces images produites avec les mesures d'ASTER. Elles représentent un couloir de 60 kilomètres de large, dans la Vallée de la Mort, en Californie. ASTER détecte le rayonnement thermique (*en haut*), révélateur de la nature de la surface terrestre locale : le rouge correspond à des roches riches en quartz et le vert clair à des dépôts de sels. Il détecte aussi le rayonnement lumineux et infrarouge (*en bas*) : le vert correspond à la végétation, le bleu à l'eau et l'orange aux roches volcaniques riches en fer.

Avec l'autorisation de Michael Abrams, Jet Propulsion Laboratory/California Institute of Technology



MOPITT

Paramètres mesurés :



Caractéristiques : MOPITT détecte les polluants et détermine leur source.

Système de mesure : un radiomètre

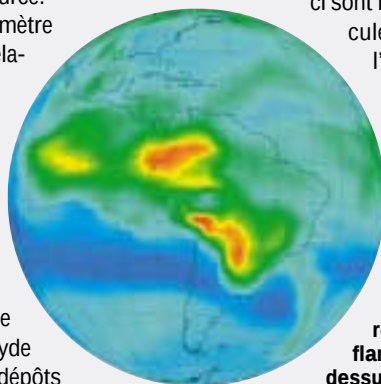
à balayage qui utilise la spectrométrie par corrélation des gaz.

Résolution spatiale : 22 kilomètres.

MOPITT (*Measurements Of Pollution In The Troposphere*, soit «mesure de la pollution dans la troposphère») mesure la concentration en méthane et en monoxyde de carbone dans la couche inférieure de l'atmosphère. Une molécule de méthane, un gaz à effet de serre, piège 30 fois plus de chaleur qu'une molécule de dioxyde de carbone. Les marécages, les animaux et des dépôts

solidifiés, sous le plancher océanique, sont des sources de méthane, mais on ignore combien de méthane est libéré dans l'atmosphère. La concentration en méthane dans l'atmosphère inférieure augmente au rythme d'environ un pour cent par an.

Le monoxyde de carbone produit par les industries, les automobiles et les feux de forêts réagit avec les radicaux hydroxyles, qui sont des «agents nettoyants naturels de l'atmosphère» : ceux-ci sont moins nombreux pour réagir avec d'autres molécules, et le monoxyde de carbone empêche ainsi l'atmosphère de se débarrasser d'autres produits chimiques nocifs. MOPITT, le premier satellite à utiliser la spectroscopie par corrélation des gaz, distingue le méthane et le monoxyde de carbone des autres gaz, tels le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau.



DU MONOXYDE DE CARBONE s'accumule au-dessus de l'Amérique du Sud. Les concentrations élevées en ce gaz (*en rouge et en jaune*) résultent des feux de forêt. Les vents d'Est soufflant autour de l'équateur transportent ces gaz au-dessus de l'océan Pacifique.