

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R RS.1883**  
(02/2011)

**Utilisation des systèmes de télédétection  
dans l'étude des changements climatiques  
et de leurs effets**

**Série RS**  
**Systemes de télédétection**



Union  
internationale des  
télécommunications

## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	<b>Systemes de télédétection</b>
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	Vocabulaire et sujets associés

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R RS.1883

**Utilisation des systèmes de télédétection dans l'étude  
des changements climatiques et de leurs effets**

(2011)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation gagne des lignes directrices sur la fourniture de données de télédétection par satellite aux fins de l'étude des changements climatiques.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les changements climatiques sont un phénomène mondial qui affecte l'humanité tout entière;
- b) que les changements climatiques devraient conduire à de profondes modifications de l'environnement terrestre qui, à leur tour, provoqueront des catastrophes naturelles ou les aggraveront;
- c) que l'étude des changements climatiques nécessite de disposer de capacités d'observation de l'environnement terrestre que seuls des instruments de télédétection ou des capteurs embarqués à bord de satellites peuvent fournir;
- d) qu'il existe des systèmes de télédétection embarqués à bord de satellites et que ces systèmes sont actuellement exploités dans les bandes de fréquences attribuées aux services d'exploration de la Terre par satellite (SETS),

*reconnaissant*

- a) que la Résolution 673 (CMR-07) – «Utilisation des radiocommunications pour les applications liées à l'observation de la Terre» précise que «les données d'observation de la Terre sont aussi essentielles pour la surveillance et la prévision des changements climatiques, ... pour mieux comprendre, modéliser et vérifier tous les aspects du changement climatique et pour élaborer des politiques en la matière et note en outre que plus de 90% des catastrophes naturelles sont d'origine climatique ou météorologique; ... que même si un nombre limité de pays exploitent actuellement des satellites météorologiques et des satellites d'observation de la Terre, les données ou les analyses correspondantes sont diffusées et utilisées dans le monde entier ... par des organisations qui s'occupent du changement climatique.»;
- b) que la Résolution 672 (CMR-07) – «Extension de l'attribution au service de météorologie par satellite dans la bande 7 750-7 850 MHz», reconnaît que les données obtenues par ces satellites météorologiques jouent un rôle essentiel en matière de prévisions à l'échelle mondiale (changements climatiques, bulletins et risques météorologiques),

*notant*

- a) que la Résolution 73 de l'UIT-T – «Les technologies de l'information et de la communication et le changement climatique» reconnaît que les technologies de l'information et de la communication (TIC) peuvent grandement contribuer à la réduction des effets du changement climatique (voir Annexe 1) et que les TIC jouent un rôle vital pour ce qui est de surveiller et de lutter contre le changement climatique à travers le soutien de la recherche scientifique fondamentale qui a contribué à porter le problème du changement climatique sur la place publique et à sensibiliser l'opinion aux défis à venir;
- b) que le Rapport de l'UIT – L'UIT et les changements climatiques parle de renforcer les partenariats stratégiques avec diverses instituts des Nations Unies, la Banque mondiale, la Commission européenne et les instituts et organisations internationales et nationales (par exemple instituts météorologiques, Groupe sur l'observation de la Terre, EUMETSAT, Agence spatiale européenne, Groupe de coordination des fréquences spatiales, JAXA, NOAA, NASA et Roscosmos), les ONG et les entités concernées du secteur privé dans la lutte contre les changements climatiques et examine le rôle que le SETS joue dans la surveillance des changements climatiques;
- c) que le Rapport UIT-R RS.2178 donne un vaste aperçu des différentes applications de radiocommunication utilisées pour l'observation de la Terre, la recherche spatiale et la radioastronomie et décrit leur impact social ainsi que leurs avantages économiques pour la communauté mondiale et, en particulier leur importance pour la surveillance et la prévision des changements climatiques ainsi que pour l'alerte avancée et la surveillance des catastrophes naturelles ou provoquées par l'homme et l'atténuation de leurs effets,

*recommande*

- 1 aux administrations de reconnaître l'importance des systèmes de télédétection à bord des satellites pour l'étude des changements climatiques, comme cela est expliqué dans les différentes Annexes;
- 2 aux opérateurs de continuer de fournir des données environnementales sur le climat;
- 3 de renforcer les protections accordées aux systèmes réalisant des observations climatologiques essentielles.

## **Annexe 1**

### **Utilisation des systèmes de télédétection dans l'étude du changement climatique et de ses effets**

#### **1 Introduction**

Les satellites du SETS assurent une couverture systématique du globe avec les mêmes instruments ou des instruments aux fonctions identiques. Ils fournissent donc des ensembles de données qui sont véritablement cohérentes sur l'ensemble du globe. Souvent, ces ensembles de données se recouvrent dans le temps et permettent de construire des ensembles de données couvrant de façon continue plusieurs décennies. Même s'ils ne couvrent pas des siècles ou des millénaires, ces ensembles de données apportent néanmoins des informations essentielles à tous ceux qui étudient les changements climatiques.

Les satellites sont le meilleur moyen pour donner un aperçu instantané de l'état de notre planète dans une perspective unique et unifiée. Aucun engin spatial ne peut à lui seul fournir une image complète mais la flotte actuelle d'engins spatiaux, s'ils sont exploités de façon concertée et partagent leurs données, nous donne la meilleure évaluation de la situation mondiale dont nous disposons.

L'objectif de la collecte de ces données est double:

- fournir une référence pour observer et mesurer les changements climatiques et leurs effets sur la planète;
- fournir des données scientifiquement fiables qui seront utilisées pour l'établissement de modèles climatiques.

La science du climat a fait des progrès spectaculaires grâce aux observations fournies par les satellites. Le radiomètre lancé avec Explorer 7 de 1959 à 1961 a permis de mesurer directement l'énergie absorbée et dégagée par la Terre. Cette mission et celles qui ont suivi ont permis aux scientifiques de mesurer l'équilibre énergétique de la Terre avec beaucoup plus de confiance que dans les estimations indirectes précédentes, et donc d'améliorer les modèles climatiques. Au fur et à mesure que les radiomètres se sont perfectionnés, on a pu atteindre, pour ces mesures, la précision, la résolution spatiale et la couverture mondiale nécessaires pour observer directement les perturbations du bilan énergétique mondial global de la Terre causées par des phénomènes à court terme, par exemple des éruptions volcaniques majeures ou le phénomène El Niño-oscillation australe (ENSO). Ces radiomètres mesurent directement l'échange de chaleur entre l'Equateur et les pôles, l'incidence des gaz présents à l'état de traces dans l'atmosphère sur l'effet de serre et l'influence des nuages sur le bilan énergétique de la Terre. Ces observations ont fait progresser notre compréhension du système climatique et ont amélioré les modèles climatiques.

Les satellites spécialisés dans l'étude de l'atmosphère (par exemple, AURA) et les équipements de météorologie opérationnels d'appui (par exemple, la série européenne MetOp et la série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de satellites en orbite polaire) fournissent chaque jour des profils mondiaux en trois dimensions de la température et de l'humidité de l'atmosphère ainsi que des données sur des constituants mineurs de l'atmosphère, comme l'ozone. Ces données sont introduites dans les modèles de prévisions météorologiques et servent aussi à définir l'état de l'atmosphère à un moment donné et à tester sur le court terme les modèles climatiques.

D'autres caractéristiques de la Terre sont surveillées par des engins spatiaux qui ne participent pas à des missions sur l'atmosphère, notamment:

- les engins spatiaux des séries Landsat et SPOT qui surveillent la surface de la Terre depuis des décennies;
- les satellites QuikSCAT et ADEOS-1 et -2 qui surveillent les vents à la surface de la mer et de l'océan;
- les satellites de la série TOPEX/Poseidon et Jason qui surveillent les hauteurs et les températures en surface de la mer et de l'océan;
- le satellite SMOS et d'autres satellites tels que Aquarius et SMAP surveillent ou surveilleront l'humidité du sol et la salinité de l'océan.

D'autres engins spatiaux comme les radars à synthèse d'ouverture ou les capteurs passifs hyperfréquences d'observation enrichissent les moyens dont nous disposons pour décrire notre planète, en particulier pour observer les régions polaires lorsque la nuit polaire en hiver empêche la prise de toute image par des moyens optiques.

## 2 La glace ou la cryosphère

L'un des principaux objectifs de la recherche sur les changements climatiques et la cryosphère (région des glaces) est de savoir comment le réchauffement climatique affectera les nappes glaciaires. La question est de première importance car la quantité de glaces continentales et d'eau de fonte qui arrive dans les océans contribue fortement à la variation du niveau des mers et des océans. Avant l'arrivée des satellites, les seules données concernant les pôles étaient celles que l'on avait recueillies au niveau local, lorsque les saisons le permettaient. Les satellites ont été particulièrement utiles dans les régions polaires étant donné que les périodes d'obscurité longues en hiver dans ces régions excluent toute observation dans le spectre visible. La vue synoptique qu'offrent les satellites, en particulier ceux équipés de capteurs radio, a considérablement élargi la couverture des pôles, de plusieurs ordres de grandeur, et l'accès aux régions polaires n'est plus limité par les saisons.

Avant les satellites, on supposait que le bilan massique des nappes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland était régi par la différence entre les taux de fonte et d'accumulation des glaces, la vitesse de déversement des glaces dans l'océan étant supposée constante. Les images radar satellitaires fournies par RADARSAT ont montré que:

- 1) la vitesse du flux des nappes glaciaires est extrêmement variable;
- 2) les réseaux de flux glaciaires sont complexes;
- 3) la vitesse du flux des nappes glaciaires vers la mer a augmenté de façon mesurable sous l'effet des changements climatiques.

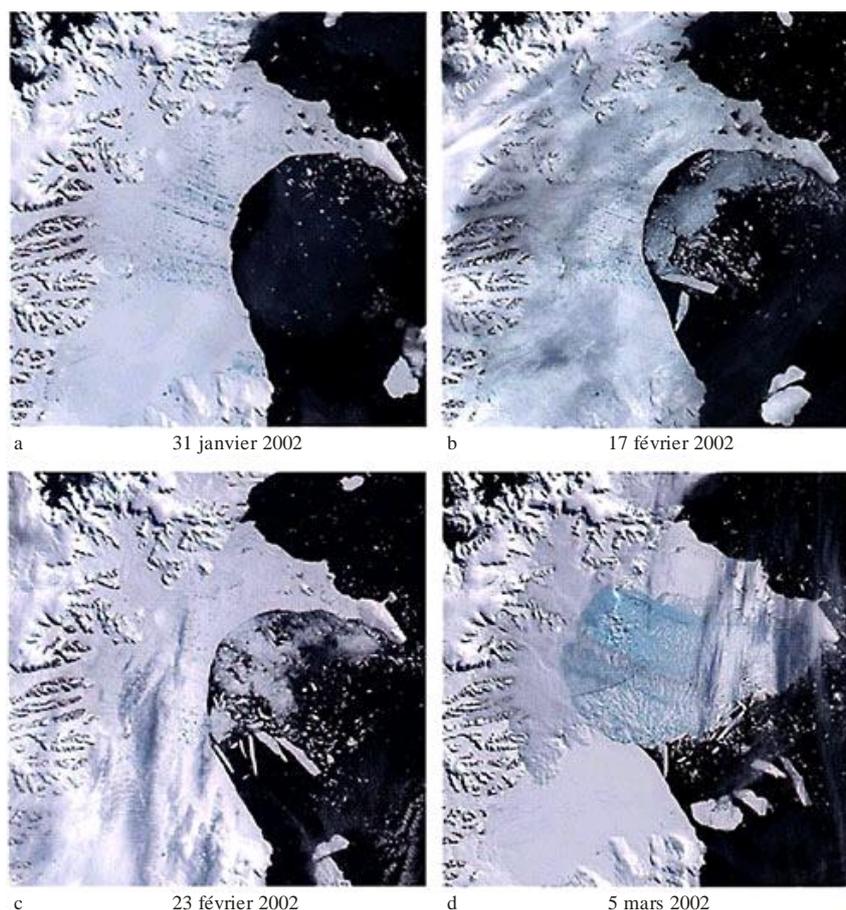
Une indication du changement climatique/du réchauffement de la planète est le retrait plutôt que l'avancée des flux des nappes glaciaires (à la fois les glaciers et les glaces de mer). L'étude du régime des glaciers dans le monde fait apparaître une déperdition considérable depuis la fin des années 70, avec une accélération marquée à la fin des années 80. La télédétection est utilisée pour suivre l'évolution de l'étendue des glaciers (taille du glacier) et la position de la ligne d'équilibre (l'altitude du glacier à laquelle l'accumulation de la neige en hiver est compensée par la fonte des glaces en été). Depuis 1972, les satellites fournissent une image optique de l'étendue des glaciers. Les radars à synthèse d'ouverture sont aujourd'hui utilisés pour étudier les zones d'accumulation des neiges glaciaires et de fonte des glaces afin de déterminer le forçage climatique et l'altimétrie laser est utilisée également pour mesurer les variations dans l'altitude des glaciers.

Etant donné que les glaciers sont sensibles aux changements climatiques passés et actuels, on recense actuellement tous les glaciers dans le monde pour suivre l'évolution de leur superficie et le rythme de cette évolution. Les mesures à l'échelle mondiale des glaces terrestres (projet Space) utilisent des données d'ASTER et du Landsat Enhanced Thematic Mapper et l'inventaire porte sur environ 160 000 glaciers dans le monde. Ces mesures et les analyses de tendance associées sont des indicateurs importants des changements climatiques et montrent par exemple tout l'intérêt et l'importance de séries de données sur le long terme pour la compréhension du système climatique qui est complexe.

Les nappes glaciaires peuvent être facilement surveillées par des instruments actifs ou passifs embarqués à bord de satellites. Les ruptures des grandes nappes glaciaires (par exemple la plate-forme de glace Larsen B) dans l'Antarctique ont été observées depuis l'espace. Même si elles ne sont pas attribuées au réchauffement climatique, ces ruptures ont été accélérées par ce phénomène. L'effondrement de la plate-forme de glace Larsen B dans l'Antarctique en 2002, que seules les images satellitaires fréquentes de la région ont permis de découvrir, ont illustré de façon spectaculaire la dynamique des nappes glaciaires sur des échelles de temps étonnamment courtes (Fig. 1). Ces révélations ont des incidences considérables: le transfert rapide de la glace depuis les nappes glaciaires continentales jusqu'à la mer pourrait conduire à une élévation importante du niveau de la mer.

FIGURE 1

Effondrement de la plate-forme de glace Larsen B dans l'Antarctique ouest. 2 000 km<sup>2</sup> de glace continentale désintégrés en l'espace de deux jours



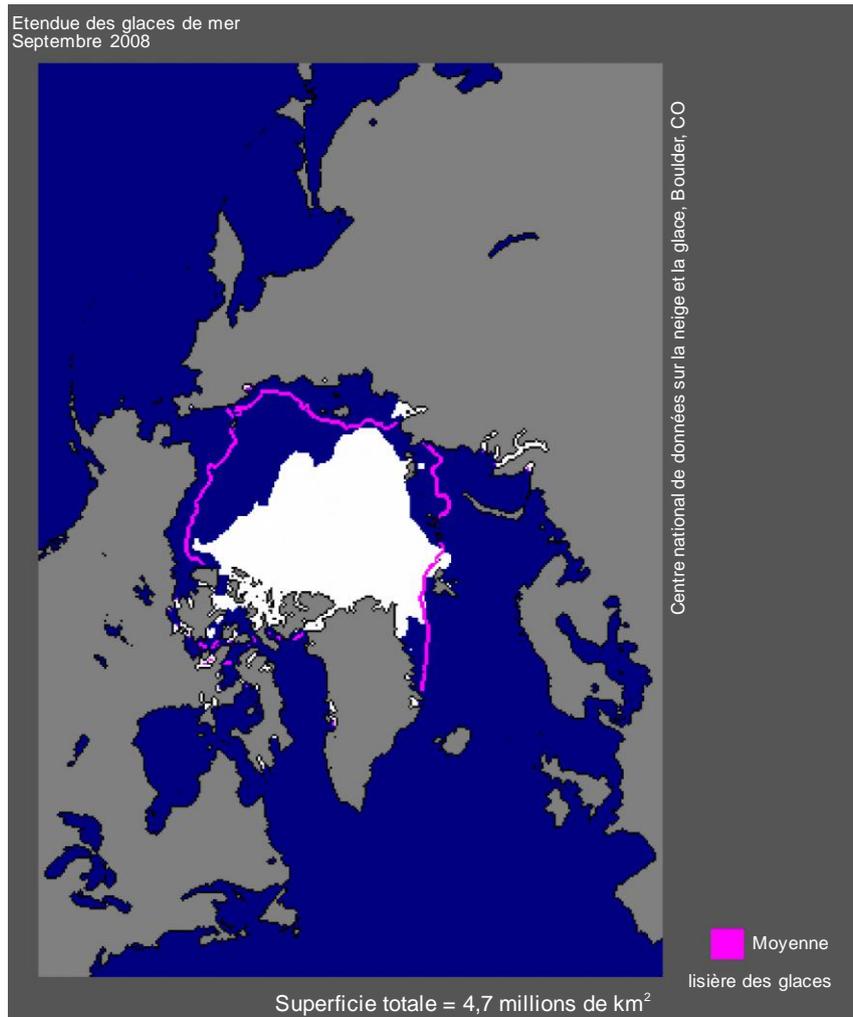
RS.1883-01

Source: Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements, p. 3, 2008, téléchargeable depuis URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

Des capteurs passifs hyperfréquences permettent de suivre en permanence depuis 1979 l'évolution des glaces de mer (radiomètre hyperfréquences à balayage électrique (ESMR), radiomètre hyperfréquences multicanal à balayage (SMMR), capteur hyperfréquences spécial/imageur (SSM/I), et radiomètre avancé à balayage hyperfréquences - système d'observation de la Terre (AMSR-E). Non limités par les conditions météorologiques ou les niveaux de lumière, ces capteurs conviennent parfaitement pour suivre l'évolution des glaces de mer en raison du fort contraste au niveau de l'émission hyperfréquences selon que l'océan est ou non recouvert par les glaces. Les données recueillies sur 35 années à l'aide de ces capteurs hyperfréquences passifs ont permis de faire une analyse des tendances qui va au-delà des fortes variations que l'on observe d'une année à l'autre en ce qui concerne les glaces de mer. Depuis l'an 2000, les minima de glace d'été dans l'Arctique ont été relevés pendant quatre des six dernières années (Fig. 2 et 3). Par ailleurs, les indications les plus récentes montrent que les glaces d'hiver elles aussi commencent aujourd'hui à reculer à un rythme plus rapide, peut-être sous l'effet du réchauffement de l'océan qui fait que les glaces sont plus fines et moins étendues. Le retrait des glaces de l'Arctique que l'on observe vient confirmer les prévisions des modèles climatiques, à savoir un réchauffement accru aux latitudes élevées, prévisions qui à leur tour sont largement déterminées par les données sur l'albédo de la glace marine. Contrairement à l'Arctique, aucune tendance claire ne se dégage en ce qui concerne la superficie des glaces de mer dans l'Antarctique.

FIGURE 2

L'étendue des glaces de mer dans l'Arctique en septembre 2008 était de 4,67 millions de kilomètres carrés (1.80 million de milles carrés), deuxième chiffre le plus bas dans les enregistrements effectués par les satellites. La ligne magenta montre l'étendue moyenne des glaces en septembre de 1979 à 2000

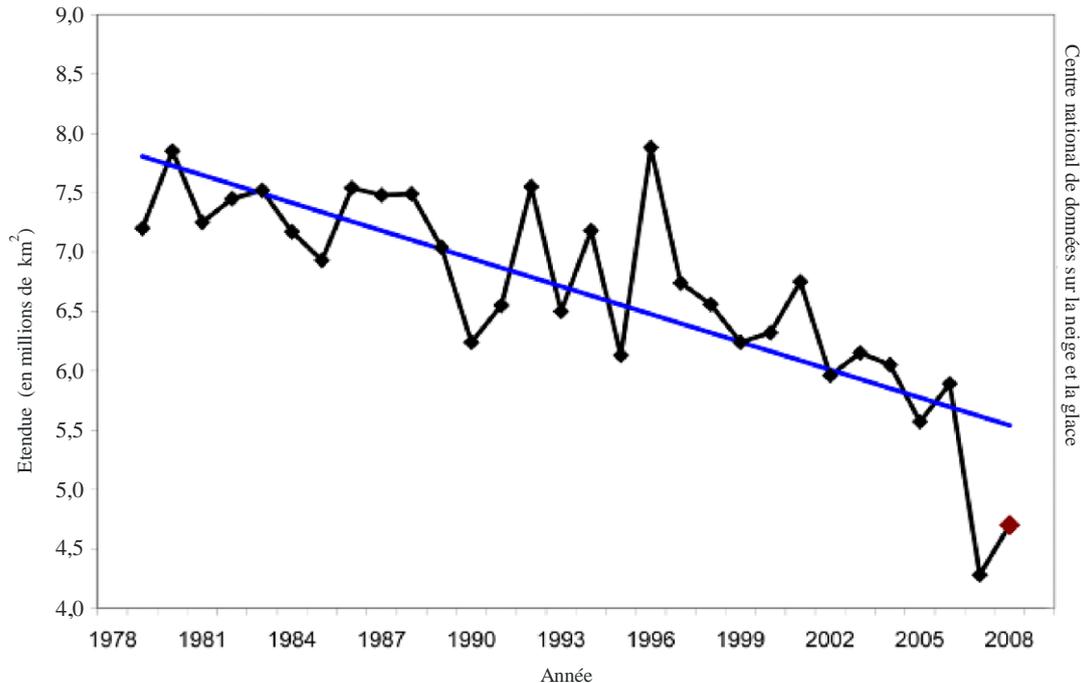


RS.1883-02

Source URL: [http://nsidc.org/news/press/20081002\\_seaice\\_pressrelease.html](http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html).

.FIGURE 3

L'étendue des glaces en septembre de 1979 à 2008 fait apparaître une baisse sur 30 ans. Le rythme pour septembre, de diminution de la glace de mer depuis 1979 s'est accéléré pour passer à  $-11,7\%$  par décennie



RS.1883-03

Source: URL: [http://nsidc.org/news/press/20081002\\_seaice\\_pressrelease.html](http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html).

Au cours des quelques dernières années, le nombre de rapports fournissant des prévisions sur l'état des glaces de mer n'a cessé d'augmenter et ces rapports sont basés pour la totalité ou la plus grande partie d'entre eux sur des données satellitaires. Par exemple, le projet Acia 2005 (évaluation de l'impact du climat dans l'Arctique) a permis de conclure que si l'étendue des glaces de mer continuait de diminuer dans l'Arctique, ce dernier pourrait être libre de glaces pendant certaines période de l'année et le trafic maritime augmenterait dans cette région car les voies de navigation traversant l'océan Arctique sont beaucoup plus courtes que celles passant par le canal de Panama ou le canal de Suez. Toutefois, certains éléments permettent de penser qu'une réduction de la couche de glace s'accompagnera d'une plus grande variabilité d'une année à une autre, du moins dans certaines régions.

Il est important de comprendre l'évolution des nappes glaciaires, des glaces de mer, des calottes glaciaires et des glaciers pour comprendre les changements climatiques à l'échelle mondiale et prévoir leurs effets. En particulier, la diminution de l'étendue des nappes glaciaires et leur contribution à l'élévation du niveau moyen de la mer a été qualifié de troisième événement le plus important en 2006 selon la revue scientifique **Science**. Compte tenu des changements climatiques prévus et de l'élévation du niveau de la mer qui en résulte, le fait de pouvoir dans l'avenir assurer la couverture des pôles par satellite permettra de répondre à des besoins cruciaux de la société qui ne peuvent être satisfaits à l'aide d'autres systèmes d'observation.

### 3 Les océans

Les océans couvrent près de 71% de la surface du globe et jouent un rôle de première importance dans le système climatique, à divers égards. Ils sont également un excellent indicateur des changements climatiques. Par exemple, les mesures du niveau de la mer donnent des indices précieux sur le réchauffement climatique.

Les changements climatiques, météorologiques et environnementaux posent de sérieux problèmes à l'humanité. Pour les résoudre il faut encore améliorer les prévisions météo, en particulier celles sur le moyen et le long terme. Si les personnes et les entreprises ont une idée claire de ce qui va se produire dans les 10 prochains jours, les prochains mois ou même la saison à venir, elles pourront beaucoup mieux se préparer à l'instabilité des conditions météorologiques. Pour relever ces défis, il faut aussi mieux comprendre les facteurs climatiques mondiaux qui sont à l'origine de ces phénomènes, par exemple El Niño et La Niña dans l'océan Pacifique, les ouragans et les typhons dangereux, et en particulier l'élévation du niveau de la mer.

Pour comprendre comment évoluent les situations climatiques, il est essentiel de cartographier les variations de l'état de la surface de l'océan à l'échelle mondiale et d'utiliser les données ainsi recueillies pour élaborer et exploiter des modèles puissants de comportement de l'océan. En combinant les modèles océaniques et les modèles atmosphériques, nous pourrions fournir les prévisions précises dont nous avons besoin à court terme et à long terme. Il est nécessaire de coupler ces modèles pour tenir pleinement compte de la dynamique à méso-échelle (distance moyenne) de l'océan. Ce couplage des modèles océaniques et des modèles atmosphériques devient important pour les prévisions météorologiques au-delà de deux semaines. L'océan joue également un rôle important dans le processus du changement climatique et il est largement admis qu'une élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale peut être l'une des conséquences les plus graves du réchauffement climatique.

### **3.1 Température de la mer en surface et élévation du niveau moyen de la mer**

Les relevés sur le long terme de la température de la mer en surface réalisés à l'aide du radiomètre à très haute résolution (AVHRR) lancé avec la série de satellites d'observation télévisuelle dans le domaine de l'infrarouge (TIROS-N) et la série des satellites NOAA constituent une contribution importante à la science du climat. La température de la mer en surface est l'un des indicateurs les plus importants des changements climatiques à l'échelle mondiale et un paramètre essentiel pour la modélisation du climat. Etant donné que ce sont les relevés océanographiques par télédétection les plus anciens, ils ont un poids considérable.

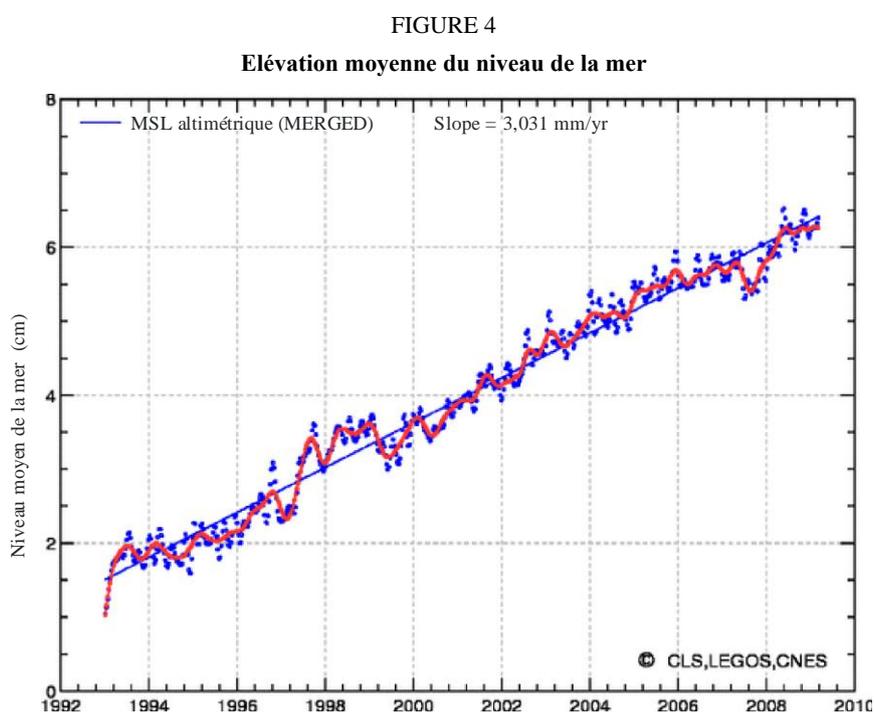
Les relevés de la température de la mer en surface ont montré le rôle que joue l'océan dans la variabilité du climat au niveau régional et mondial et ont révélé des détails importants sur les courants océaniques. Plus de 80% de la quantité totale de chaleur dégagée par le système terrestre est stockée dans les océans et les courants océaniques la redistribuent à travers le globe. Une analyse des tendances des relevés de la température de la mer en surface nous a permis de mieux comprendre les importantes rétroactions entre le climat et l'atmosphère dans les tropiques qui sont également responsables des phénomènes El Niño-oscillation australe (ENSO) dans l'océan Pacifique. Les progrès dans la compréhension du phénomène ENSO, grâce aux observations par satellite des vents à la surface de la mer, de la hauteur de la surface de la mer et de la température de la surface de la mer ont eu une profonde incidence sur les prévisions climatiques et météorologiques régionales. Par conséquent, les études utilisant les données recueillies par satellite ont permis d'améliorer les mesures de la température de la surface de la mer et de mieux comprendre les ouragans.

En outre, la température de la mer en surface est une donnée essentielle pour le couplage entre les océans et l'atmosphère et constitue un facteur de régulation des échanges de chaleur et de vapeur entre eux. Une analyse des tendances de la température de la mer en surface a fourni des preuves du réchauffement climatique mondial et des importantes rétroactions entre le climat et l'atmosphère dans les tropiques qui sont aussi responsables des phénomènes ENSO. Ces observations de la température de la mer en surface, combinées aux mesures de température verticales in situ de l'océan jusqu'à une profondeur de 3 000 m ont fourni des éléments permettant de mettre en évidence le réchauffement mondial d'origine anthropique dans l'océan.

Le fait de comprendre l'élévation de la température de la mer en surface et l'apport thermique anthropique à la surface de l'océan a aussi des conséquences importantes pour quantifier et prévoir l'élévation du niveau de la mer. L'élévation du niveau moyen de la mer pourrait être un signe de réchauffement climatique. La surveillance de ce niveau est une application de l'altimétrie et l'une des principales questions des sciences de l'environnement du XXI<sup>e</sup> siècle.

Il est assez difficile de dissocier la variabilité naturelle du climat des effets du réchauffement climatique. Depuis 15 ans, les mesures du niveau moyen de la mer se font à partir d'observations par satellite. Ces observations systématiques ont permis d'obtenir une série chronologique précise de données satellitaires, mais 15 ans c'est peu. En plus, il faut noter que les perturbations induites par l'homme s'ajoutent à la variabilité naturelle du climat. Par conséquent les signaux indiquant un changement climatique ne peuvent être détectés que s'ils sont supérieurs à la variabilité naturelle du climat. Il est plus difficile de détecter les changements climatiques à l'échelle mondiale que d'en surveiller les incidences au niveau régional.

L'élévation du niveau de la mer que l'on observe est due en partie à une augmentation de la température de l'eau. Les autres facteurs sont notamment la fonte des glaciers et les fluctuations du niveau des eaux continentales. La Fig. 4 montre que l'élévation du niveau de la mer est d'environ 3,3 mm par an, soit environ 5 cm tous les 15 ans.



RS.1883-04

Toutefois, l'élévation moyenne du niveau de la mer n'est qu'un aspect des choses. L'élévation du niveau des océans est loin d'être uniforme. Dans certaines régions océaniques, le niveau de la mer s'est élevé (jusqu'à 20 mm par an dans certains endroits), alors que dans d'autres régions il a baissé de la même quantité. Ces différences régionales observées par les satellites TOPEX/JASON depuis 1993 traduisent avant tout les fluctuations du niveau de la mer sur plusieurs années.

Du fait de l'élévation du niveau de la mer certaines régions côtières pourraient être inondées et certaines îles de faible altitude totalement submergées, ce qui constitue un grave sujet de préoccupation. Certes, ce phénomène ne nous menace pas avant un horizon relativement lointain (de l'ordre de quelques décennies, voire quelques siècles) mais les données topographiques fournies

par les observations satellitaires (comme celle du radar à synthèse d'ouverture Shuttle Radar Topology Mission ou les données optiques via ASTER) peuvent nous aider à identifier les zones vulnérables.

Les mesures de la température de la mer en surface ont non seulement apporté d'importantes informations sur les circulations océaniques (par exemple, le Gulf Stream), mais aussi fait avancer la recherche sur le climat en fournissant des informations détaillées sur l'apport de chaleur dans l'océan. Les observations de la couleur de l'océan et la température de la mer en surface ont permis de faire de nouvelles découvertes sur le couplage physique - biologie dans l'océan, avec des conséquences importantes pour le rôle que joue l'océan dans le cycle du carbone.

Les observations satellitaires sont le seul moyen d'évaluer et de surveiller le rôle que joue la bio masse des océans en tant que puits de carbone. En effet, seules les mesures par satellite permettront d'apporter une réponse à la question essentielle de savoir si la quantité de carbone biologique fixée évolue sous l'effet des changements climatiques. Il faut non seulement mesurer la couleur de l'océan (biomasse et productivité du phytoplancton) mais aussi procéder parallèlement à des observations depuis l'espace de l'environnement physique des océans (circulation et mélange océaniques), des échanges Terre-océan (à travers les rivières et les terres humides découvertes lors des marées) ainsi que d'autres facteurs comme les vents, les marées, et l'apport d'énergie solaire dans les couches supérieures de l'océan. L'observation des liens entre la physico-chimie et la biologie de l'océan est un succès important des observations depuis l'espace.

### **3.2 Humidité du sol et salinité de l'océan**

L'évaporation, l'infiltration et le renouvellement des eaux souterraines se produisent généralement à travers la zone vadose ou zone non saturée qui s'étend depuis la surface jusqu'au niveau de la nappe phréatique. La zone racinaire de la végétation, dans laquelle la végétation capte l'eau, se situe dans la zone vadose et constitue l'interface entre la végétation et le système hydrologique. La quantité d'eau disponible dans la végétation régule la transpiration des plantes et la photosynthèse et, par voie de conséquence, le piégeage du carbone. La quantité d'eau dans la zone vadose est également directement liée à la capacité de drainage du sol après la pluie. Les systèmes SVAT (interaction sol - végétation - atmosphère) utilisés en météorologie et en hydrologie sont conçus pour décrire les processus d'évaporation de base à la surface et la répartition de l'eau entre transpiration de la végétation, drainage, ruissellement de surface et humidité du sol. Une première valeur réaliste de la quantité d'eau contenue dans la zone vadose doit être fournie aux modèles SVAT.

Dans le cas d'un sol nu ou d'une végétation très clairsemée, le taux d'évaporation et le ruissellement peuvent être calculés à partir de séries chronologiques sur l'humidité du sol en surface. Dans le cas de surfaces couvertes par la végétation, la quantité d'eau contenue dans la végétation (profondeur optique de la végétation) doit être prise en compte. Cette profondeur peut en soi être une donnée très utile pour suivre la dynamique de la végétation.

Il est essentiel de connaître la répartition du sel (salinité) dans l'océan à l'échelle mondiale ainsi que sa variabilité annuelle et d'une année sur l'autre pour comprendre le rôle de l'océan dans le système climatique. La salinité est cruciale pour déterminer la densité de l'océan et donc la circulation des sels en fonction de la température. La salinité de l'océan est aussi liée au cycle du carbone océanique étant donné qu'elle participe à l'établissement de l'équilibre chimique, lequel régule à son tour la fixation et l'émission du CO<sub>2</sub>. Par conséquent, la prise en compte de la salinité à la surface de la mer dans les modèles biogéochimiques globaux des océans devrait améliorer les estimations de l'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan.

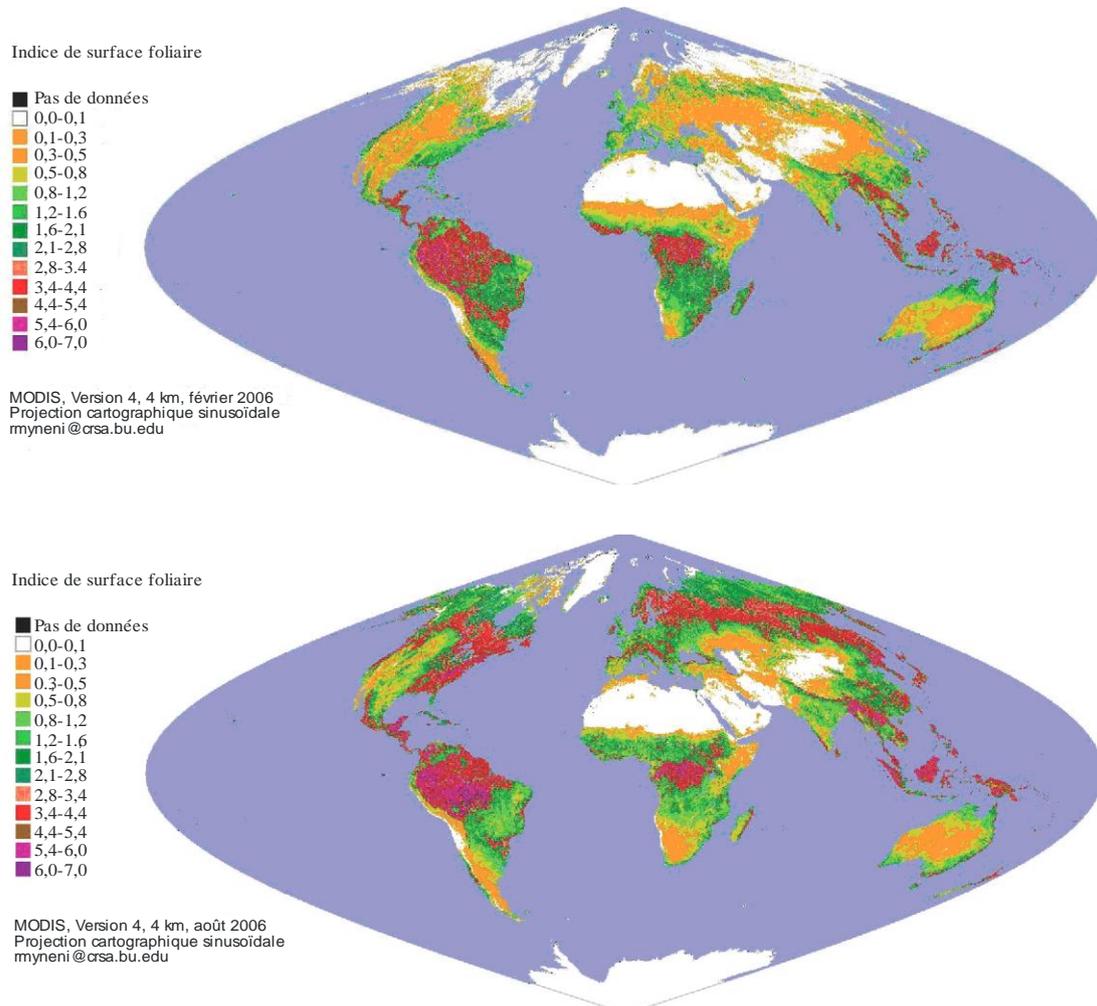
La mission du satellite SMOS est de surveiller l'humidité du sol (mission SMAP) ainsi que la salinité de l'océan (mission Aquarius).

#### 4 La biosphère

La surveillance par satellite de la dynamique de la végétation terrestre est capitale pour comprendre le fonctionnement de l'écosystème dans sa globalité et son comportement face à la variabilité du climat et aux changements climatiques. Grâce aux instruments MODIS embarqués à bord des satellites TERRA et AQUA, ces observations (Fig. 5) sont devenues plus précises car elles ont été étendues à des mesures biophysiques.

FIGURE 5

Indices de feuilles vertes fournis par MODIS montrant les variations saisonnières de la végétation



RS.1883-05

Source: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 75, 2008, downloadable from URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

Les études sur les changements climatiques ont aussi été facilitées par les recherches sur le cycle du carbone terrestre et les fluctuations énergétiques réalisées à l'aide de satellites.

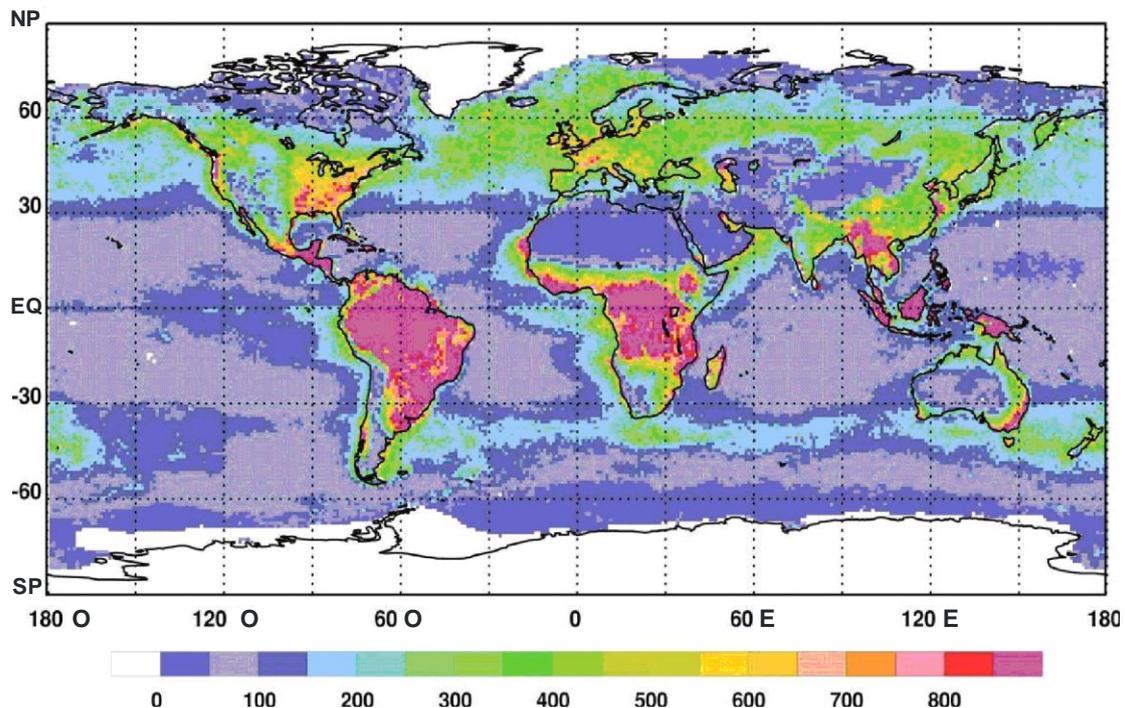
La productivité primaire nette (NPP) est définie comme étant le flux net de carbone circulant de l'atmosphère vers les plantes vertes par unité de temps. Les observations satellitaires de la NPP sont une contribution très précieuse à la compréhension de l'incidence des changements climatiques sur

la biosphère. La NPP est influencée par le climat et les facteurs biotiques qui interagissent entre eux. Les contributions de la Terre et de l'océan à la NPP sont pratiquement égales (Fig. 6), mais la variabilité de la NPP au niveau local est frappante. Etant donné que les cycles de vie du phytoplancton sont de plusieurs ordres de grandeur plus courts (de l'ordre de quelques jours et non d'années ou de décennies) que ceux des plantes terrestres, le phytoplancton peut réagir aux influences du climat sur la circulation océanique, les phénomènes de mélange et l'apport de nutriments et de lumière beaucoup plus rapidement que les plantes et les écosystèmes terrestres. La composante océanique (environ la moitié) du cycle du carbone devrait donc être plus sensible aux changements climatiques.

FIGURE 6

NPP annuelle mondiale (en grammes de carbone/m<sup>2</sup>/année) pour la biosphère, calculée à partir du modèle intégré, CASA-VGPM (modèle de production à généralisation verticale). Les données d'entrée pour la couleur de l'océan fournies par le capteur CZCS sont des moyennes de 1978 à 1983

L'indice de végétation terrestre fourni par les capteurs AVHRR est la moyenne entre 1982 et 1990



RS.1883-06

Source: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 77, 2008, downloadable from URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

Lancé en 1978, le Coastal Zone Colour Scanner a montré qu'il est possible d'observer la productivité de l'océan en utilisant les bandes du visible et de l'infrarouge; toutefois, les mesures CZCS sur terre ont été saturées et donc inutilisables.

Le radiomètre AVHRR embarqué à bord des satellites météorologiques en orbite polaire de la National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) enregistre en continu les données des observations mondiales quotidiennes acquises depuis 1978 dans les bandes du rouge et de l'infrarouge proche. Les séries de données quotidiennes AVHRR couvrent aujourd'hui plus de 25 ans et constituent les relevés mondiaux continus les plus longs disponibles sur la productivité terrestre, la phénologie (étude des événements périodiques du cycle de vie des plantes et des animaux et de la façon dont ces événements sont influencés par les variations climatiques saisonnières et interannuelles) et le changement des écosystèmes afin de suivre les réactions de la biosphère aux changements climatiques et à la variabilité du climat.

Même s'il n'a pas été conçu pour la surveillance du climat, le radiomètre AVHRR, grâce aux améliorations constantes de l'étalonnage et à de nouvelles analyses, a fourni des relevés homogènes qui ont permis de suivre et d'évaluer les réactions passées et futures de la biosphère aux changements climatiques résultant de la variabilité du climat ainsi que des activités anthropiques.

L'incidence des changements climatiques sur l'agriculture est une préoccupation majeure. Avec le réchauffement climatique, la période de croissance s'allonge et les régions septentrionales deviennent plus productives tandis que les régions australes qui doivent faire face à une chaleur extrême deviennent moins productives. La productivité agricole est suivie depuis l'espace depuis des décennies. L'indice différentiel de végétation normalisé (NDVI) est compris entre  $-1$  et  $+1$ , et sa valeur se situe autour de 1 lorsque la végétation est verte. Techniquement, l'indice NDVI correspond à la différence entre les données dans l'infrarouge proche et les données dans le rouge (visible) divisé par la somme des deux.

Au cours de la décennie passée, les données NDVI fournies par le radiomètre AVHRR sont devenues une composante essentielle, qu'il s'agisse de la surveillance des changements climatiques, de l'évaluation de l'évolution de la durée et du moment de la période de croissance ou de la surveillance de l'état de la biosphère et de phénomènes d'autres écosystèmes. Les relevés sur le long terme de l'indice NDVI ont montré que cet indice a augmenté sous l'effet du réchauffement climatique entre les années 80 et le début des années 90 mais cette tendance s'est stabilisée récemment. Les variations de l'indice NVDI planétaire (verdure) étaient fortement corrélées à la dynamique quotidienne des rayonnements terrestres actifs pour la photosynthèse et des concentrations de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. Il y a une forte corrélation négative entre l'indice NVDI et la quantité de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère: cet indice est élevé lorsque les concentrations de  $\text{CO}_2$  sont basses et vice versa. Ce modèle temporel de photosynthèse et de respiration de l'écosystème montre le couplage dynamique entre la biosphère et l'atmosphère.

## 5 Conclusion

Les capteurs embarqués à bord de satellites ont fourni des données essentielles à notre compréhension de la planète et des effets des changements climatiques. Etant donné que ces instruments continuent de fournir des données de première importance, ils devraient être protégés dans l'avenir.

## Annexe 2

### Statut des observations des principales variables climatiques et des principaux facteurs de forçage

Le résumé ci-après du statut des observations depuis l'espace (et dans certains cas associées à des moyens au sol) des variables climatiques de première importance est extrait du U.S. National Research Council's Report – Earth Science and Applications from Space, National Academies Press, Washington, DC, 2007 (Table 9.A.1, p. 298-303).

Ce document est disponible à l'adresse: <http://www.nap.edu/catalog/11820.html>.

Il est noté dans le Rapport que:

«même si le tableau offre une perspective intéressante, il faut en reconnaître les limites:

- 1) dans certains cas, il énumère les variables que permettent d'obtenir plusieurs techniques mais toutes les techniques ne sont pas indiquées;
- 2) il se limite aux observations faites par des satellites en orbite terrestre basse, même s'il est possible d'atteindre un certain nombre des objectifs fixés en recueillant des données à l'aide d'imageurs multispectraux ou de sondes embarqués sur des satellites en orbite géostationnaire ou non;
- 3) très peu d'observations depuis l'espace peuvent être considérées comme des mesures physiques à proprement parler et les interprétations de ces données sont souvent révisées au fil des comparaisons disponibles entre les conclusions tirées à partir de données d'observations spatiales et d'autres mesures de variables physiques.

Les chiffres entre parenthèses concernent les principales variables climatiques énumérées dans l'Appendice 1 du GCOS (Système mondial d'observation du climat), 2003. Ce document est le second rapport sur l'adéquation des systèmes mondiaux d'observation du climat, à l'appui du UNFCCC GCOS-82, WMO Tech. Doc. 1143.

Les missions 1, 2, 3 et 4 renvoient à des missions souhaitées et non à des missions actuellement planifiées. La 5ème colonne du tableau d'origine a été omise car elle concerne des sources de données internes.

**Changements climatiques et variabilité du climat: résumé de la situation en ce qui concerne les principales variables climatiques et les principaux facteurs de forçage**

Mesures	Stratégie	Situation actuelle	Suivi (2010-2020)
Eclairement énergétique total du soleil (1.2)	Mesures directes	SORCE lancé 2003; Glory (TIM uniquement) 2008	NPOESS TSIS-GFE
Bilan radiatif de la Terre	Imageur multispectral associé à des radiomètres large bande: identification de scènes, couche supérieure des flux atmosphériques	MODIS/CERES sur Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS/CERES sur NPOESS, C1 (2013), Mission 2
Bilan du rayonnement en surface	Imageur multispectral associé à des radiomètres large bande: identification de scènes, couche supérieure des flux atmosphériques, modélisation du transfert radiatif	MODIS/CERES sur Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS/CERES sur NPOESS, C1 (2013) Mission 2
	Radiomètres de surface: sites ARM, BSRN, CMDL, SURFRAD très dispersés		
Aérosols troposphériques (1.3): répartition géographique et verticale des aérosols, profondeur optique, dimensions, forme, albédo à diffusion unique	Imageurs multispectraux: profondeur optique, quelques conclusions concernant les dimensions au-dessus de l'océan et des surfaces sombres	AVHRR depuis 1981 (NOAA 7), actuellement sur NOAA 17, 18, 19 VIRS sur TRMM (1997) MODIS, MISR sur Terra (2000) MODIS sur Aqua (2002)	VIIRS sur NPP, NPOESS
	Imageur-radiomètre UV: profondeur optique, quelques conclusions sur l'absorption pour les couches d'aérosols élevées	OMI sur AURA (2004) OMPS sur NPP (2010)	OMPS sur NPOESS, C3 Mission 1
	Polarimètres: profondeur optique, dimensions, forme, albédo à diffusion unique	POLDER sur PARASOL (2005) APS sur Glory (2008) (trace au sol à la verticale du satellite)	APS sur NPOESS, C3 Mission 1
	Lidar: profil vertical de la concentration d'aérosols, certaines conclusions sur les dimensions et la forme	CALIPSO (2006)	Mission 1
	Radiomètres multispectraux de surface	AERONET, ARM	VIIRS sur NPOESS, Mission 1
	Mesures des flux large bande de surface et terrestres	CERES sur Terra (2000), Aqua (2004) combiné aux sites BSRN, ARM, SURFRAD	CERES sur NPOESS, Mission 2

Mesures	Stratégie	Situation actuelle	Suivi (2010-2020)
Propriétés des aérosols stratosphériques, profondeur optique, dimensions, forme, albédo à diffusion unique (1.3)	Mesures au limbe et en occultation solaire: profil de l'extinction des aérosols	HIRDLS sur Aura, (radiomètre dans l'infrarouge); SAGE II sur ERBS (1984-2006); SAGE III sur Meteor (2002-2006) SciSat (Canada-EU)	Aucun
	Dispersion de la lumière au limbe: profil de la profondeur optique des aérosols		OMPS sur NPP (2010), NPOESS
	Lidar: profil vertical de la concentration des aérosols	CALIPSO (2006)	Mission 1
Propriétés des nuages (1.2): répartition géographique et verticale, rayon équivalent des gouttelettes d'eau, habitat et dimensions des cristaux de glace des nuages, rapport eau/glace dans les nuages en phase mixte et dimensions des hydrométéores, profondeur optique visible, quantités d'eau de glace et d'eau liquide des nuages	Imageurs multispectraux: propriétés d'une seule couche nuageuse	AVHRR depuis 1981 (NOAA 7), actuellement sur NOAA 17, 18, 19 conclusions sur la taille mais pas la phase des hydrométéores VIRS sur TRMM; MODIS sur Aqua et Terra fournissent des données sur la phase des hydrométéores	VIIRS sur NPP, NPOESS conclusions sur la phase des hydrométéores
	Radiomètres à vues multiples, polarimètres	MISR sur Terra, altitude des nuages, images stéréo POLDER sur PARASOL, taille et phase des hydrométéores par polarimétrie APS sur Glory (2008), phase des hydrométéores par polarimétrie	APS sur NPOESS, C3 phase des hydrométéores par polarimétrie
	Sondes 15 µm, imageurs, pression d'une couche nuageuse pour un système nuageux à une seule couche, même pour des cirrus de faible profondeur optique	HIRS sur NOAA 17, 18, 19 MODIS sur Terra, Aqua AIRS sur Aqua (2002)	CrIS sur NPOESS
	Imageurs hyperfréquences: conclusion sur la quantité d'eau liquide dans les nuages au-dessus des océans	SSM/I sur DMSP TMI sur TRMM, AMSR-E sur Aqua, CMIS sur NPOESS	
	Lidar: frange supérieure extinction des nuages de faible profondeur optique avec polarisation, phase particulière	CALIPSO (2006)	Mission 1
	Radar profileur de nuages: frange de nuages, répartition verticale de l'eau liquide, intensité de la bruine en cas de précipitations légères	CloudSat (2006)	Mission 1
	Ozone: stratosphère, troposphère (1.3)	Imageur - radiomètre UV: teneur en ozone de la troposphère, profils à faible résolution verticale de l'ozone stratosphérique	OMI sur Aura (2004)

Mesures	Stratégie	Situation actuelle	Suivi (2010-2020)
Gaz présents à l'état de traces contrôlant l'ozone (HCl, N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, HNO <sub>3</sub> )	Sondes dans le domaine de l'infrarouge: profils verticaux de l'ozone troposphérique et de l'ozone stratosphérique	HIRDLS sur Aura; TES sur Aura fournit aussi des vues du limbe (non utilisées après 2005); AIRS sur Aqua (2002)	Aucun
	Sondes hyperfréquences du limbe: Profil vertical de l'ozone stratosphérique	MLS sur Aura	Aucun
CO <sub>2</sub> (1.3)	Spectromètre dans le domaine de l'infrarouge proche: mesures de haute précision de la concentration de CO <sub>2</sub> dans la colonne atmosphérique	OCO (2008); objectif est de parvenir à des précisions suffisantes pour pouvoir déterminer les sources et les puits; Réseaux de surface (WMO GAW, NOAA, AGAGE)	Aucun
	Sondes dans le domaine de l'infrarouge:	AIRS sur Aqua (2002)	Aucun
CH <sub>4</sub> (1.3)	Spectromètre dans le domaine proche de l'infrarouge: mesures de haute précision de la concentration de CH <sub>4</sub> dans la colonne atmosphérique	TES sur Aura; Réseaux de surface (WMO GAW, NOAA, AGAGE)	Aucun
	Sondes dans le domaine de l'infrarouge:	AIRS sur Aqua (2002)	Aucun
Couverture terrestre et albédo de surface (3) (couverture neigeuse, glaciers calottes glaciaires couvertes ultérieurement)	Images multispectrales: indice de végétation, conclusion sur l'albédo de surface	AVHRR sur NOAA 17, 18, 19: conclusions sur les albédos spectraux avec correction atmosphérique; MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002); Landsat series	VIIRS sur NPP (2010), NPOESS
	Images hyperspectrales: types de végétation, couverture terrestre	Hyperion (EO-1)	Mission 1
Température (1.2): profils verticaux	Sondes hyperfréquences dans le domaine de l'infrarouge: profils verticaux des températures des couches	HIRS/MSU depuis 1979 actuellement sur NOAA 17, 18, 19; SSM/I sur DMSP (1995, 1997, 1999); AIRS/AMSU sur Aqua (2002)	CrIS, ATMS sur NPP (2010), NPOESS
	Occultation radio GPS: profils verticaux avec une résolution de 0.5-1 km à proximité de la surface	GPS sur CHAMP (2000), COSMIC (2006)	Mission 2
	Réseau de surface: profils de températures par radiosondes, réseau de sondes de l'OMM (1959)		

Mesures	Stratégie	Situation actuelle	Suivi (2010-2020)
Vapeur d'eau (1.2): quantités dans la colonne atmosphérique, profils verticaux	Imageurs hyperfréquences quantités de vapeur d'eau dans la colonne atmosphérique au-dessus des océans	SSM/I sur DMSP satellites en orbite polaire (1995, 1997, 1999)	ATMS sur NPP (2010), MIS sur NPOESS
	Imageurs multispectraux: quantités mesurées dans la colonne atmosphérique depuis des canaux de vapeur d'eau dans le domaine de l'infrarouge proche	MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002)	Aucun
	Sondes dans le domaine de l'infrarouge: mesures des quantités de vapeur d'eau avec un faible pouvoir de résolution verticale dans la troposphère	Données HIRS depuis 1979 (TIROS-N), actuellement sur NOAA 17, 18, 19	CrIS sur NPP (2010), NPOESS
	Radiomètres à haute résolution spectral dans le domaine de l'infrarouge: mesures des quantités de vapeur d'eau dans les couches à faible pouvoir de résolution dans la troposphère	AIRS sur Aqua (2002); TES sur Aura (2004)	CrIS sur NPP (2010), NPOESS
	Radiomètres hyperfréquences à balayage du limbe, dans le domaine de l'infrarouge: mesures des quantités de vapeur d'eau dans les couches, dans la partie supérieure de la troposphère, la stratosphère	TES, MLS sur Aura (2004)	Aucun
	Occultation radio GPS: Profils de température, de vapeur d'eau à une résolution verticale d'environ 0,5 km à proximité de la surface	CHAMP (2000), COSMIC (2007)	Mission 2
	Réseau de surface: profils de température par radiosonde, réseau de sondes de l'OMM (1959)		
Perturbations dues aux incendies (3)	Imageurs thermiques: détection à haute résolution spatiale des foyers d'incendie	Données AVHRR depuis 1981 (NOAA 7), actuellement sur NOAA 17, 18, 19; MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS sur NPP (2010), NPOESS
Biomasse terrestre, fraction du rayonnement photosynthétiquement utilisable	Imageurs multispectraux: indice de végétation, conclusions sur FAPAR	Données AVHRR depuis 1979 (NOAA 6), actuellement sur NOAA 17, 18, 19; MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002); SeaWiFS	VIIRS sur NPP (2010), NPOESS Mission 1
(FAPAR) (3)	Radar: couverture terrestre par rétrodiffusion radar en bande C	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), données disponibles commercialement	Aucun

Mesures	Stratégie	Situation actuelle	Suivi (2010-2020)
Glaciers, glace de mer, calottes polaires (3)	Imageurs multispectraux couverture de zones	Données AVHRR depuis 1979 (TIROS-N), actuellement sur NOAA 17, 18, 19; MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS sur NPP (2010), NPOESS
	Imageurs hyperfréquences: couverture de zones	SSM/I sur DMSP (1995, 1997, 1999); AMSR-E sur Aqua; TMI sur TRMM (1997), MIS sur NPOESS	
	Radars: zone de glace, flux des glaces épaisseur de la glace de mer, à partir de la topographie	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), données disponibles commercialement	Mission 3
	Lidar: altitude de la glace	GLAS sur ICESat (2003)	Mission 1
	Satellite d'étude de la gravité: masse des glaces combinée avec mesure de la topographie	GRACE (2002)	GRACE suivi
Permafrost, sol saisonnièrement gelé (3) couverture neigeuse (et équivalent en eau de neige) (3)	Radars associés à des radiomètres hyperfréquences: Zone, rugosité et topographie combinées pour obtenir équivalent en eau de neige	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), données disponibles commercialement	Pas de suivi prévu
Eaux souterraines (3)	Imageurs hyperfréquences: humidité du sol sauf pour les zones couvertes par la neige et les zones fortement boisées	SSM/I sur DMSP (1995, 1997, 1999); AMSR-E sur Aqua (2002) MIS sur NPOESS	
	Satellite d'étude de la gravité: eaux souterraines de grande étendue (nécessite des observations auxiliaires in situ)	GRACE (2003)	GRACE suivi
Niveaux des lacs (3)	Imageurs multispectraux haute résolution: lacs	Landsat 7 (1999)	LDCM
	Radars: lac	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), données disponibles commercialement	Pas de suivi prévu
	Lidar: altitude de surface de l'eau	GLAS sur ICESat (2003)	Mission 1
Débit des rivières (3)	Imageurs haute résolution: zones de lacs, de rivières	Landsat 7 (1999)	LDCM
	Altimètre Lidar: niveaux des rivières	ICESat (2002)	Mission 1
	Radar: zones de lacs, de rivières	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), données disponibles commercialement	Pas de suivi prévu

Mesures	Stratégie	Situation actuelle	Suivi (2010-2020)
Indice de surface foliaire (LAI) (3)	Imageurs multispectraux: indice de végétation	AVHRR, données depuis 1981 (NOAA 6), actuellement sur NOAA 16, 17, 18; MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002); MISR sur Terra (2000); SeaWiFS (1997); VIIRS sur NPP (2010)	VIIRS sur NPOESS
	Imageurs multispectraux haute résolution: indice de végétation à une meilleure résolution spatiale:	Landsat 7 (1999); ASTER sur Terra (2000); EO-1	LDCM; Mission 1
Niveau de la mer	Altimètre: hauteur du niveau de la mer-de l'océan	Jason 1 (2001) GFO	ALT sur NPOESS, Mission 4; GRACE suivi
	Radars à synthèse d'ouverture: étendu des zones côtières	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), données disponibles commercialement	Aucun
Etat de la mer (2.1), vent de surface (1.1)	Imageurs hyperfréquences: vitesse des vents de surface	SSM/I sur DMSP (1995, 1997, 1999); AMSR-E sur Aqua (2002) MIS sur NPOESS	
	Diffusiomètre vecteur de vent de surface	QuikSCAT (1999); ASCAT sur MetOp)	ASCAT sur MetOp, Mission 4
Couleur de l'océan (2.1)	Images multispectrales (bandes UV et dans le bleu) luminance énergétique émise par la surface	SeaWiFS (1997); MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS sur NPP (2010) et NPOESS
Surface de l'océan (2.1), température sous la surface (2.2)	Images multispectrales: température de surface de la mer	AVHRR, données depuis 1981 (NOAA 7), actuellement sur NOAA 16, 17, 18; VIRS sur TRMM (1997); MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS sur NPP (2010) et NPOESS
	Sondes hyperfréquences dans le domaine de l'infrarouge: température de la mer en surface	AVHRR sur NOAA 16, 17, 18 AIRS; AMSR-E sur Aqua (2002); MODIS sur Aqua (2002), Terra (1999)	CrIS/ATMS sur NPP (2010); MIS sur NPOESS
	Flotteurs profilants non récupérables: profils de température à la profondeur correspondant à la flottabilité neutre	Flotteurs ARGO	

Mesures	Stratégie	Situation actuelle	Suivi (2010-2020)
Surface de l'océan (2.1), salinité sous la surface (2.2)	Radiomètre et diffusiomètre hyperfréquences: salinité à la surface, rugosité de l'océan		AQUARIUS (2010)
	Flotteurs profilants non récupérables: Profils de salinité, salinité à la profondeur correspondant à la flottabilité neutre	Flotteurs ARGO	
Surface de l'océan (2.1), salinité sous la surface (2.2)	Altimètre: hauteur de la surface de l'océan à partir de laquelle sont calculés les courants	Jason 1 (2001)	ALT sur NPOESS, Mission 4
	Satellite d'étude de la gravité: variations de masse en subsurface ou barotrope	GRACE (2002)	GRACE suivi
	Flotteurs profilants non récupérables: dérivée de position à la profondeur correspondant à la flottabilité neutre	Flotteurs ARGO	
Phytoplancton sous la surface (2.2)			
Précipitations (1.1)	Imageurs hyperfréquences: Intensité de pluie au-dessus des océans	SSM/I sur DMSP (1995, 1997, 1999); TMI sur TRMM (1997); AMSR-E sur Aqua (2002) MIS sur NPOESS, GPM (2012)	
	Radar de mesure des précipitations: structure verticale des intensités de pluie	TRMM (1997)	GPM (2012)
	Radar de mesure des nuages: Intensité pour une brume légère	CloudSat (2006)	Mission 1