

Radiocommunications et les changements climatiques

Édition 2020





Radiocommunications et les changements climatiques

Édition 2020

ISBN:

978-92-61-31872-7 (version papier)

978-92-61-31882-6 (version électronique)

978-92-61-31892-5 (version EPUB)

978-92-61-31902-1 (version MOBI)

Déni de responsabilité

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'UIT ou du Secrétariat de l'UIT, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.



Avant d'imprimer ce rapport, pensez à l'environnement.

© ITU 2020

Certains droits réservés. Le présent ouvrage est publié sous une licence Creative Commons Attribution Non-Commercial-Share Alike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO).

Aux termes de cette licence, vous êtes autorisé(e)s à copier, redistribuer et adapter le contenu de la publication à des fins non commerciales, sous réserve de citer les travaux de manière appropriée. Dans le cadre de toute utilisation de ces travaux, il ne doit, en aucun cas, être suggéré que l'UIT cautionne une organisation, un produit ou un service donnés. L'utilisation non autorisée du nom ou logo de l'UIT est proscrite. Si vous adaptez le contenu de la présente publication, vous devez publier vos travaux sous une licence Creative Commons analogue ou équivalente. Si vous effectuez une traduction du contenu de la présente publication, il convient d'associer l'avertissement ci-après à la traduction proposée: "La présente traduction n'a pas été effectuée par l'Union internationale des télécommunications (UIT). L'UIT n'est pas responsable du contenu ou de l'exactitude de cette traduction. Seule la version originale en anglais est authentique et a un caractère contraignant". On trouvera de plus amples informations sur le site: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/>.

Les changements climatiques sont la question déterminante de notre époque - et nous sommes à un moment décisif. Nous sommes confrontés à une menace existentielle directe. Les changements climatiques vont plus vite que nous - et leur rythme effréné a entraîné un SOS retentissant partout dans le monde. Nous savons ce qui arrive à notre planète. Nous savons ce que nous devons faire. Et nous savons même comment le faire. Les avantages pour l'humanité seront considérables si nous parvenons à relever le défi climatique. Un grand nombre de ces avantages sont d'ordre économique. Chaque jour sans action de notre part est un jour où nous nous rapprochons un peu plus d'un sort dont personne ne veut, un sort qui aura pour retentissements à travers les générations les dommages causés à l'humanité et à la vie sur terre. Notre sort est entre nos mains. Le monde compte sur nous tous pour relever le défi avant qu'il ne soit trop tard.»

*António Guterres
Secrétaire général de l'ONU*

«Une révolution numérique déferle dans le monde entier, portée par l'apparition de technologies novatrices allant de l'intelligence artificielle à l'Internet des objets et à la 5G. Qu'il s'agisse de l'élévation du niveau des mers, de la perte de biodiversité, du manque d'eau, de la qualité de l'air ou de la sécurité alimentaire, ces technologies peuvent contribuer grandement à la lutte contre les causes premières et les effets déjà dévastateurs de la crise climatique.»

*Houlin Zhao
Secrétaire général de l'UIT*

Avant-propos

Les changements climatiques et l'exploitation grandissante des ressources naturelles de la Terre conduisent à toute une série de problèmes environnementaux qui nécessitent l'adoption de mesures au niveau international. Si l'on veut que l'humanité réagisse efficacement, bon nombre des solutions seront fondées sur la surveillance de l'environnement à l'échelle mondiale, y compris au moyen de biens spatiaux. Étant donné que des prévisions météorologiques précises doivent être fondées sur la meilleure estimation possible de l'état actuel de l'atmosphère, il est primordial que les météorologues aient accès à des données d'observation précises, en temps réel et à l'échelle mondiale, concernant les phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère terrestre au-dessus des terres et des océans, données obtenues par télédétection spatiale. Les données provenant de satellites sont actuellement des paramètres d'entrée indispensables pour le fonctionnement des modèles de prévisions météorologiques et des systèmes de prévision utilisés pour la production d'avertissements de sécurité et d'autres informations intervenant dans les processus de prise de décision d'entités publiques et privées.



Mario Maniewicz
Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT

Table des matières

Avant-propos	iv
List of figures and tables	vi
Introduction.....	vii
1 Applications et systèmes de radiocommunication pour la compréhension, l'évaluation et l'atténuation des effets des changements climatiques	1
Observations par satellite de l'atmosphère et de la surface de la Terre	3
Manteaux de glace.....	7
Océans	10
Température de la mer en surface et élévation du niveau moyen de la mer	10
Humidité du sol et salinité de l'océan	12
La biosphère	12
Radars météorologiques	13
Radars profileurs de vent	14
Radars océanographiques	16
Observation radio solaire	17
Les auxiliaires de la météorologie	19
Systèmes mobiles	24
2 Activités menées par les Commissions d'études de l'UIT-R.....	27
3 Résultats des récentes Conférences mondiales des radiocommunications.....	30
Conférence mondiale des radiocommunications de 2019 (CMR-19).....	30
Conférence mondiale des radiocommunications de 2015 (CMR-15).....	31
Conférences mondiales des radiocommunications précédentes.....	32
4 Conclusions	34

List of figures and tables

Figures

Figure 1: Effondrement de la plate-forme de glace Larsen B dans l'Antarctique ouest: 2 000 km ² de glace continentale désintégrés en l'espace de deux mois	9
Figure 2: Indices de feuilles vertes fournis par MODIS montrant les variations saisonnières de la végétation	13
Figure 3: Répartition des taux de précipitation d'un typhon	14
Figure 4: Sites de radars océanographiques existants et en projet aux États-Unis, dans les îles du Pacifique et dans la région des Caraïbes.....	17
Figure 5: L'activité solaire vue depuis un satellite et depuis la Terre	18
Figure 6: Lancement d'une radiosonde	20
Figure 7: Exemple de résultats de détection de la foudre pendant deux heures	23
Figure 8: Visualisation de la consommation d'énergie d'un foyer	25
Figure 9: Télécommande de la climatisation des bureaux.....	26
Illustrations: Architecture théorique du Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS)	35
Lumières nocturnes visibles sur la Terre	35

Tables

Tableau 1: Types de systèmes d'observation de la Terre	2
Tableau 2: Bandes de fréquences attribuées au SETS (active) et largeur de bande requise en fonction du type de radar	5
Tableau 3: Variables climatiques essentielles fournies par les satellites	6
Tableau 4: Champ des études relatives aux changements climatiques menées actuellement au sein de l'UIT-R.....	28

En vue d'assurer un développement économique durable, il est indispensable de pouvoir donner l'alerte en temps utile lorsque surviennent des catastrophes naturelles et environnementales, de prévoir le climat avec précision, et de comprendre de manière approfondie, de préserver et de gérer efficacement des ressources limitées telles que la biomasse, la biosphère, les ressources minérales, l'eau et l'énergie. Les informations relatives au climat, aux changements climatiques, aux conditions météorologiques, aux précipitations, à la pollution ou aux catastrophes, revêtent une importance capitale au quotidien pour la communauté mondiale. Ce sont les activités de surveillance qui fournissent ces informations. Celles-ci sont indispensables aux prévisions météorologiques quotidiennes, à l'étude des changements climatiques, à la protection de l'environnement, au développement économique (transport, énergie, agriculture, bâtiment, développement urbain, mise en place des services d'utilité publique, agriculture, sécurité), ainsi qu'à la sécurité des personnes et des biens. Les observations de la Terre sont également utilisées afin d'obtenir des données pertinentes concernant les ressources naturelles, ce qui est particulièrement important pour les pays en développement. Il ne faut pas perdre de vue que ces informations s'obtiennent soit par des mesures, soit par l'intermédiaire de systèmes de radiocommunication qui en assurent la collecte, la restitution et la diffusion. Les systèmes de radiocommunication sont indispensables pour surveiller le climat et aider les pays à atténuer les effets des changements climatiques, à s'y adapter et à relever les défis majeurs qui en découlent.

Le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R), qui prend en charge l'ensemble des aspects techniques, opérationnels et réglementaires pertinents, joue un rôle crucial dans le développement des systèmes de radiocommunication à l'échelle mondiale. L'UIT a assigné trois buts stratégiques principaux à l'UIT-R, en particulier:

- assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre des fréquences radioélectriques et des orbites des satellites par tous les services de radiocommunication. C'est le rôle des Conférences mondiales des radiocommunications de l'UIT, qui se réunissent tous les trois ou quatre ans, et où les pays membres de l'UIT décident de mettre à jour le Règlement des radiocommunications, traité international qui contient les dispositions réglementaires applicables dans le cadre de l'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques;
- garantir l'exploitation exempte de brouillages des systèmes de radiocommunication, y compris des systèmes spatiaux. C'est le rôle des Pays Membres de l'UIT, qui appliquent les procédures du Règlement des radiocommunications administrées par le Bureau des radiocommunications de l'UIT;
- élaborer des Recommandations, des Rapports et des manuels pour garantir la qualité de fonctionnement requise lors de l'exploitation des systèmes de radiocommunication. C'est le rôle des Commissions d'études de l'UIT-R.

L'UIT-R joue un rôle vital dans le développement de tout système de radiocommunication, et ses travaux sont d'une importance capitale pour l'exploitation de toute application radioélectrique. À l'occasion de son passage au siège de l'UIT (juin 2007), Ban Ki-moon, le Secrétaire général de l'ONU, a déclaré que «l'UIT était l'un des plus importants protagonistes du débat sur les changements climatiques».

1

Applications et systèmes de radiocommunication pour la compréhension, l'évaluation et l'atténuation des effets des changements climatiques

La surveillance de l'environnement à l'aide de systèmes radioélectriques de Terre ou par satellite est essentielle en vue d'appréhender l'énormité des forces qui font de la Terre un monde habitable, mais qui peuvent également être une menace pour la vie. Les caractéristiques géologiques de la Terre sont clairement visibles depuis l'espace; la topographie des océans, mesurée au centimètre près, reproduit même le relief du plancher océanique, ce qui permet de repérer les failles et les chaînes volcaniques. Les données recueillies nous permettent de comprendre la dynamique de notre atmosphère et son interaction avec les océans et les masses terrestres, et sont donc indispensables à l'élaboration des modèles de prévision qui sont utilisés quotidiennement pour les prévisions météorologiques. La compréhension des effets à long terme sur le climat passe nécessairement par l'utilisation de capteurs extra-atmosphériques, actifs ou passifs, qui mesurent la hauteur des vagues, la température de l'eau, la salinité, la concentration d'ozone: autant de données qui permettent d'appréhender le comportement de notre environnement. Le Tableau 1 décrit les différents types d'applications radioélectriques utilisées par les systèmes d'observation de la Terre.

Tableau 1: Types de systèmes d'observation de la Terre

Applications passives		Capteurs de télédétection passive par satellite
		Capteurs passifs au sol
Applications actives	Radars au sol	Radars météorologiques, radars profileurs de vent et radars océanographiques
	Auxiliaires de la météorologie	Radiosondes
	Bandes de transmission de données, Terre vers espace	Satellites météorologiques et satellites d'exploration de la Terre
	Bande de transmission de données, espace vers Terre	Satellites météorologiques et satellites d'exploration de la Terre
	Radars spatiaux	Capteurs de télédétection active par satellite (altimètres, diffusiomètres, radars à ouverture synthétique, radars de mesure des précipitations, radars profileurs de nuages

Dans son Rapport et son Avis sur «Une approche coordonnée en matière d'utilisation du spectre radioélectrique dans l'Union européenne à des fins scientifiques» (25 octobre 2006), le Groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique de l'Union européenne (RSPG) est arrivé en particulier à la conclusion suivante:

«Pour l'essentiel, cette importance sur le plan social ne peut se mesurer en termes financiers, étant donné qu'il s'agit de prévenir d'importantes pertes de vies humaines ou de contrer les menaces pouvant peser sur la stabilité sociopolitique et la sécurité. Cependant, l'utilisation du spectre par les services scientifiques a également une incidence directe sur de nombreux secteurs de l'économie, ainsi que des répercussions sur l'évolution technologique et économique dans l'énergie, les transports, l'agriculture, les communications, la médecine, etc.»

À long terme, les informations recueillies par les satellites de télédétection ont un impact significatif sur le plan économique, aussi bien pour la production de denrées alimentaires et autres produits agricoles que pour le fonctionnement d'entreprises et de secteurs qui sont tributaires à la fois des conditions météorologiques locales et de la stabilité du climat à long terme. La préparation en temps utile à des conditions météorologiques défavorables bénéficie directement à l'aviation civile, la marine marchande et le transport terrestre, et leur permet de réaliser des économies.

Observations par satellite de l'atmosphère et de la surface de la Terre

Les satellites sont le moyen le plus économique, sinon le seul, de surveiller la totalité de l'environnement de la Terre, que ce soient les surfaces terrestres, les océans ou l'atmosphère. Les capacités exceptionnelles des satellites rendent possible l'observation de zones étendues de manière non intrusive et uniforme (c'est-à-dire, à l'aide d'un même instrument) et permettent de viser rapidement n'importe quel point de la Terre, y compris les endroits reculés et hostiles, et de poursuivre une série d'observations sur une longue période. En exploitant ces capacités, le service d'exploration de la Terre par satellite apporte de nombreux avantages à la société dans les secteurs marchand et non marchand.

Les satellites sont le meilleur moyen de fournir un instantané de l'état de notre planète à un moment donné à partir d'un point de vue unique et unifié. Aucun engin spatial ne peut en donner à lui seul une représentation complète; cependant, la flotte d'engins spatiaux actuellement en service, qui fonctionne de manière synchronisée et effectue une mise en commun des données, nous apporte la meilleure évaluation possible des conditions à l'échelle mondiale. 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; et
- fournir des données scientifiquement fiables qui seront utilisées pour l'établissement de modèles climatiques.

La climatologie 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 d'assurance que lors des 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, tels que les éruptions volcaniques de grande ampleur. Ces radiomètres mesurent directement l'échange de chaleur entre l'Équateur 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.

La *télé-détection spatiale (passive et active)* de la surface et de l'atmosphère de la Terre joue un rôle essentiel et de plus en plus important dans la recherche et l'exploitation météorologiques, en particulier pour limiter l'impact des catastrophes liées au temps et au climat, et pour la compréhension, la surveillance et la prévision des changements climatiques et de leur impact.

Les progrès impressionnants réalisés depuis plusieurs années en matière d'analyses et de prévisions météorologiques et climatiques, notamment pour émettre des avis de phénomènes météorologiques violents (des fortes pluies, tempêtes, cyclones) pouvant toucher les populations et les économies du monde entier, sont en grande partie attribuables aux observations spatiales et à leur intégration dans des modèles numériques.

La *télé-détection spatiale passive* utilisée pour les applications météorologiques est réalisée dans des bandes attribuées par l'UIT au service d'exploration de la Terre par satellite (passive) et au service de météorologie par satellite. La télé-détection passive repose sur des mesures de

rayonnements naturels, généralement de très faible intensité, qui contiennent des informations essentielles sur le processus physique à étudier. La télédétection passive par satellite de la surface et de l'atmosphère de la Terre revêt une importance de plus en plus grande pour la météorologie opérationnelle et la recherche météorologique. Elle contribue également à la compréhension, la surveillance et la prévision des changements climatiques et de leur impact. En outre, les systèmes météorologiques sont utilisés afin de surveiller les changements du climat et de l'environnement. L'humanité est confrontée à un ensemble de phénomènes environnementaux qui demandent d'être examinés et analysés avec soin. Les systèmes météorologiques effectuent des mesures et recueillent des données sur le long terme en vue de permettre l'élaboration d'études sur les changements climatiques et environnementaux

Étant donné que le niveau des émissions observées est très faible, puisqu'il correspond pratiquement au bruit thermique, l'affaiblissement atmosphérique peut avoir de profondes répercussions sur ces émissions, notamment en raison de l'absorption d'énergie radioélectrique par l'oxygène et la vapeur d'eau dans l'atmosphère, ou des émissions provenant de l'atmosphère terrestre elle-même. Dans ces conditions, il est primordial de choisir les fréquences appropriées pour les détecteurs passifs, afin d'obtenir la qualité de mesure voulue, les fréquences ne se prêtant pas toutes aux observations. Ainsi, par exemple, les mesures effectuées aux fréquences situées au voisinage de 1,4 GHz fournissent les renseignements les plus précis sur la salinité, la bande des 6 GHz est celle qui convient le mieux pour la mesure de la température de la mer, la bande des 24 GHz est bien adaptée pour la mesure de la teneur en vapeur d'eau et celle au-dessus de 36 GHz convient pour la mesure des nuages liquides. Il devient donc évident que, dans la pratique, l'utilisation en partage de fréquences entre les services actifs et les détecteurs passifs est impossible. Dans ces conditions, le Règlement des radiocommunications recense une série de bandes de fréquences dans lesquelles les émissions sont interdites.

Il s'agit des bandes suivantes: 1 400-1 427 MHz, 2 690-2 700 MHz, 10,68-10,7 GHz, 15,35-15,4 GHz, 23,6-24 GHz, 31,3-31,5 GHz, 31,5-31,8 GHz, 48,94-49,04 GHz, 50,2-50,4 GHz, 52,6-54,25 GHz, 86-92 GHz, 100-102 GHz, 109,5-111,8 GHz, 114,25-116 GHz, 148,5-151,5 GHz, 164-167 GHz, 182-185 GHz, 190-191,8 GHz, 200-209 GHz, 226-231,5 GHz et 250-252 GHz.

L'application de *télédétection active spatiale* à l'étude des phénomènes météorologiques et climatologiques s'effectue avant tout au moyen d'altimètres, pour les études portant sur les océans et les glaces, de diffusiomètres, pour les vents océaniques de surface, ou de radars de détection des précipitations et des nuages. Elle fournit des informations importantes concernant l'état des océans et des surfaces terrestres et les phénomènes atmosphériques. Les satellites du service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) aident à la modélisation climatique à long terme en fournissant des données d'entrée qui couvrent réellement l'ensemble de la planète. Si, à l'échelle climatologique, les observations par satellite ne permettent que des prévisions à court terme, elles fournissent néanmoins de nombreuses variables climatiques essentielles. Certaines d'entre elles reposent très largement sur les observations par satellite qui, dans d'autres cas, jouent un rôle de soutien ou d'amélioration. Des modèles informatiques en déduisent les scénarios les plus probables concernant l'évolution des changements climatiques. Par conséquent, les mesures effectuées dans le cadre de la télédétection, active ou passive, fournissent des informations générales indispensables afin d'élaborer les scénarios climatiques dont nous avons besoin pour construire des politiques nationales et mondiales sur les changements climatiques à l'échelle de la planète.

Le principe fondamental régissant le fonctionnement des systèmes actifs du SETS réside dans le fait que le satellite «illumine» l'objet ou la surface à étudier et reçoit le signal réfléchi par cet

objet ou cette surface, qui peut alors être traité et utilisé comme source d'information pour analyser diverses caractéristiques ou divers phénomènes. Les détecteurs actifs présentent certains avantages par rapport aux détecteurs passifs, en ce sens qu'ils offrent une sensibilité spécifique à plusieurs variables terrestres, océaniques ou atmosphériques (comme l'humidité végétale et la hauteur des nuages). En outre, ils permettent de percer les couches superficielles de la végétation, d'opérer par tous les temps et à tout moment, d'obtenir une résolution spatiale élevée, d'améliorer la qualité des mesures en modifiant l'angle d'illumination et, enfin, de travailler dans des gammes de fréquences étendues indépendantes des émissions dues aux phénomènes à bande étroite. Étant donné que le signal utile traverse deux fois l'atmosphère, subissant ainsi un affaiblissement et une diffusion, le choix de la bande optimale est très important lors de la planification des systèmes du SETS. La liste des bandes de fréquences attribuées au SETS (active) conformément au Règlement des radiocommunications et la bande de fréquences nécessaire en fonction du type de radar utilisé sont indiquées dans le Tableau 2.

Tableau 2: Bandes de fréquences attribuées au SETS (active) et largeur de bande requise en fonction du type de radar

Bande de fréquences attribuée conformément à l'Article 5 du RR	Largeur de bande requise				
	Diffusiomètre	Altimètre	SAR	Radar de mesure des précipitations	Radar profileur de nuages
432-438 MHz			6 MHz		
1 215-1 300 MHz	5-500 kHz		20-85 MHz		
3 100-3 300 MHz		200 MHz	20-200 MHz		
5 250-5 570 MHz	5-500 kHz	320 MHz	20-320 MHz		
8 550-8 650 MHz	5-500 kHz	100 MHz	20-100 MHz		
9 300-9 900 MHz	5-500 kHz	300 MHz	20-600 MHz		
13,25-13,75 GHz	5-500 kHz	500 MHz		0,6-14 MHz	
17,2-17,3 GHz	5-500 kHz			0,6-14 MHz	
24,05-24,25 GHz				0,6-14 MHz	
35,5-36 GHz	5-500 kHz	500 MHz		0,6-14 MHz	
78-79 GHz					0,3-10 MHz
94-94,1 GHz					0,3-10 MHz
133,5-134 GHz					0,3-10 MHz
237,9-238 GHz					0,3-10 MHz

La surveillance et la prévision des conditions météorologiques est la discipline la plus avancée en termes de fonctionnement dans le domaine de l'observation de la Terre. Depuis des

décennies, les observations par satellites fournissent des données essentielles qui se traduisent par une amélioration des prévisions météorologiques. Allant du suivi du mouvement des nuages au calcul des profils de température et d'humidité, elles favorisent le développement de systèmes de prévision informatisés de plus en plus précis. De nombreuses activités humaines bénéficient de l'amélioration des prévisions météorologiques: agriculture, transports, gestion de l'eau, santé publique, bâtiment, tourisme et loisirs, énergie, entre autres. Les satellites du SETS facilitent l'élaboration de modèles climatiques à long terme en fournissant des données d'entrée qui couvrent réellement l'ensemble de la planète. Si, à l'échelle climatologique, les observations par satellite ne permettent que des prévisions à court terme, elles fournissent néanmoins de nombreuses variables climatiques essentielles. Certaines d'entre elles reposent très largement sur les observations par satellite qui, dans d'autres cas, jouent un rôle de soutien ou d'amélioration (voir Tableau 3). Le rôle des satellites du SETS consiste également à surveiller les effets des changements climatiques à l'échelle mondiale à mesure qu'ils se produisent. Cela concerne la surveillance à long terme du niveau de la mer et des glaciers, ainsi que des changements qui surviennent au cours de la période de croissance des cultures.

Tableau 3: Variables climatiques essentielles fournies par les satellites

	Variables atmosphériques	Variables océaniques	Variables terrestres
D é p e n d a n t e s	Précipitations en surface	Température de la mer en surface	Niveaux des lacs
	Bilan radiatif de la Terre en altitude	Niveau de la mer	Manteau neigeux
	Température en altitude	État de la mer	Glaciers et calottes glaciaires
	Vitesse et direction des vents de haute altitude	Glace de la mer	Albédo
	Vapeur d'eau en altitude	Couleur de la mer (biologie)	Couverture terrestre (y compris le type de végétation)
	Propriétés des nuages en altitude	Salinité sous la surface de la mer	Humidité des sols
	Dioxyde de carbone		Indice de surface foliaire
	Ozone		Biomasse
	Propriétés des aérosols		Perturbation par le feu
		Fraction absorbée du rayonnement photosynthétiquement actif	

	Variables atmosphériques	Variables océaniques	Variables terrestres
S o u t e n u e s	Température de l'air en surface	Salinité de surface	Débit fluvial
	Pression de l'air en surface	Courants de surface	Utilisation de l'eau
	Bilan radiatif en surface	Pression partielle de CO ₂ de surface	Eaux souterraines
	Vitesse et direction du vent en surface	Température sous la surface de la mer	Permafrost/gélosol saisonnier
	Vapeur d'eau en surface	Courants sous la surface de la mer	
	Méthane	Nutriments sous la surface de la mer	
	Autres gaz à effet de serre à longue durée de vie	Carbone sous la surface de la mer	
		Traceurs océaniques sous la surface de la mer	
	Phytoplancton sous la surface de la mer		

Manteaux de glace

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, dans ces régions, les longues périodes d'obscurité en hiver excluent toute observation dans le spectre visible. La vue synoptique qu'offrent les satellites, en particulier ceux équipés de capteurs radioélectriques, 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 l'utilisation des 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, tandis que la vitesse de déversement des glaces dans l'océan était supposée constante. Les images radar satellitaires ont montré que:

- la vitesse du flux des nappes glaciaires est extrêmement variable;
- il existe des réseaux complexes de flux glaciaires;
- la vitesse du flux des nappes glaciaires vers la mer a augmenté de façon mesurable sous l'effet des changements climatiques.

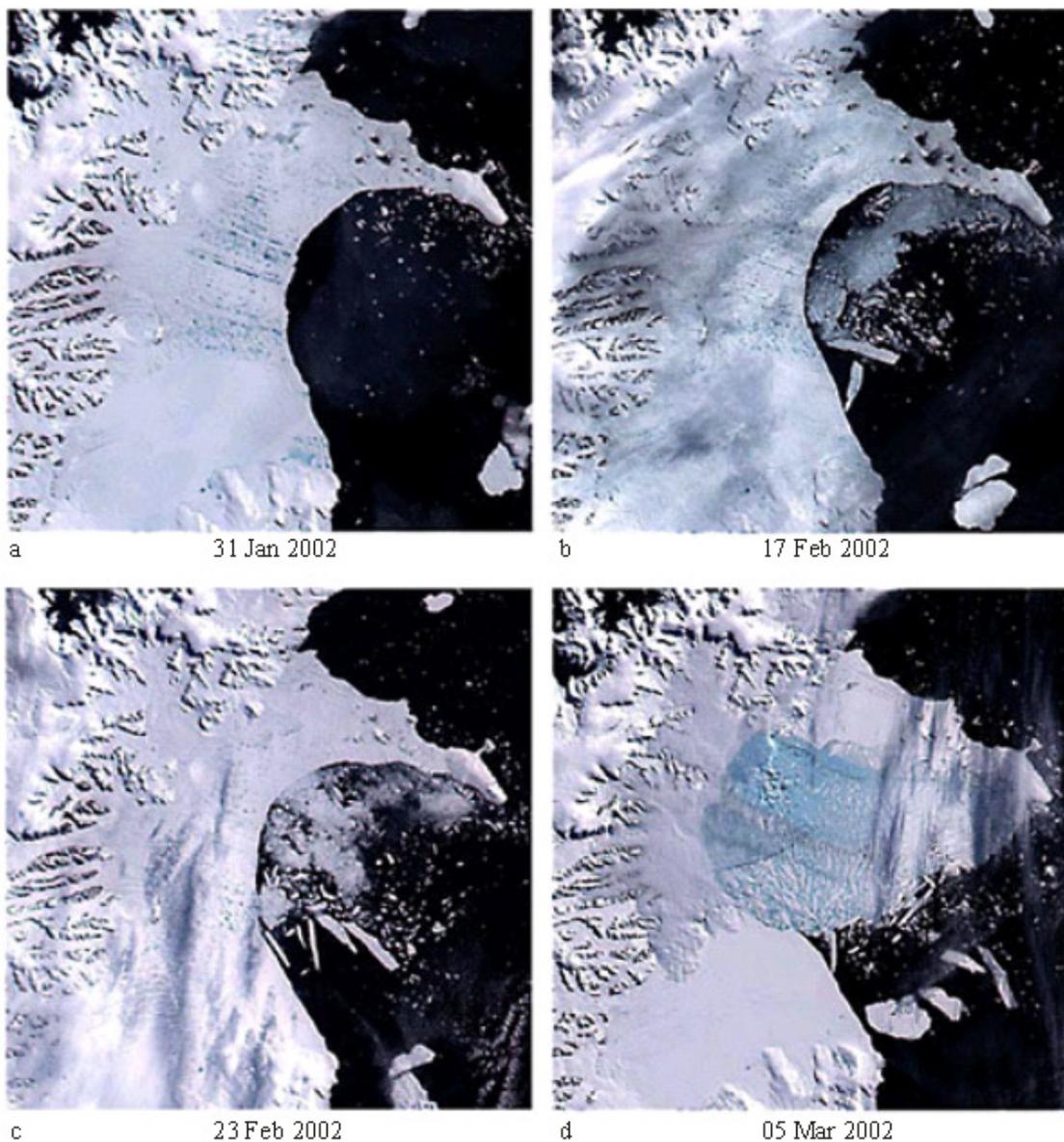
Une indication des changements climatiques, ou du réchauffement de la planète, est le retrait plutôt que l'avancée des flux des nappes glaciaires (à la fois les glaciers et les glaces de mer). L'étude du régime des glaciers dans le monde fait apparaître une déperdition considérable

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 ouverture synthétique (SAR) 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.

Étant 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 «Global Land Ice Measurements from 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 qui en découlent, sont des indicateurs importants des changements climatiques et illustrent 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 km² de glace continentale désintégrés en l'espace de deux mois



R5.1383-01

Source: «Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements», p. 3, 2008 téléchargeable depuis l'adresse: www.nap.edu/catalog/11991.htm.

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 résultera, le fait, dans l'avenir, de disposer d'une couverture par satellite de l'ensemble des régions polaires, permettra de répondre à des besoins cruciaux de la société, qui ne peuvent être satisfaits au moyen d'autres systèmes d'observation.

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 particuliers et les entreprises ont une idée claire de ce qui va se produire dans les prochains jours, les prochains mois ou même la saison à venir, ils 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 des océans à l'échelle mondiale et d'utiliser les données ainsi recueillies pour élaborer et exploiter des modèles puissants de comportement des océans. 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) des océans. 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 des changements climatiques, 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.

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 constituent une contribution importante à la climatologie. La température de la mer en surface est désormais mesurée par des instruments à micro-ondes passives et constitue l'un des indicateurs les plus importants des changements climatiques à l'échelle mondiale ainsi qu'un paramètre essentiel pour la modélisation du climat.

Les relevés de la température de la mer en surface ont montré le rôle joué par les océans 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 épisodes 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. En outre, un lien a été établi entre l'intensité des ouragans et la température de la mer en surface. Les études utilisant des données recueillies par satellite nous ont donc permis d'améliorer notre compréhension concernant aussi bien les températures à la surface de la mer que 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 épisodes 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 général 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 des océans 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^e 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. Toutefois, la période de temps concernée demeure relativement courte. 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 observée du niveau de la mer est due en partie à une augmentation de la température de l'eau. 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. 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 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, associées aux mesures de la température de la mer en surface, ont permis de faire de nouvelles découvertes sur le couplage physique-biologie dans l'océan, qui ont des incidences importantes concernant le rôle joué par l'océan dans le cycle du carbone.

Les observations satellitaires sont le seul moyen d'évaluer et de surveiller le rôle que joue la biomasse 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 spatiales de l'environnement physique des océans (circulations et mélanges océaniques), des échanges Terre-océan (par l'intermédiaire des rivières et des 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. La découverte de liens entre la physico-chimie et la biologie de l'océan est un aboutissement majeur des observations depuis l'espace.

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.

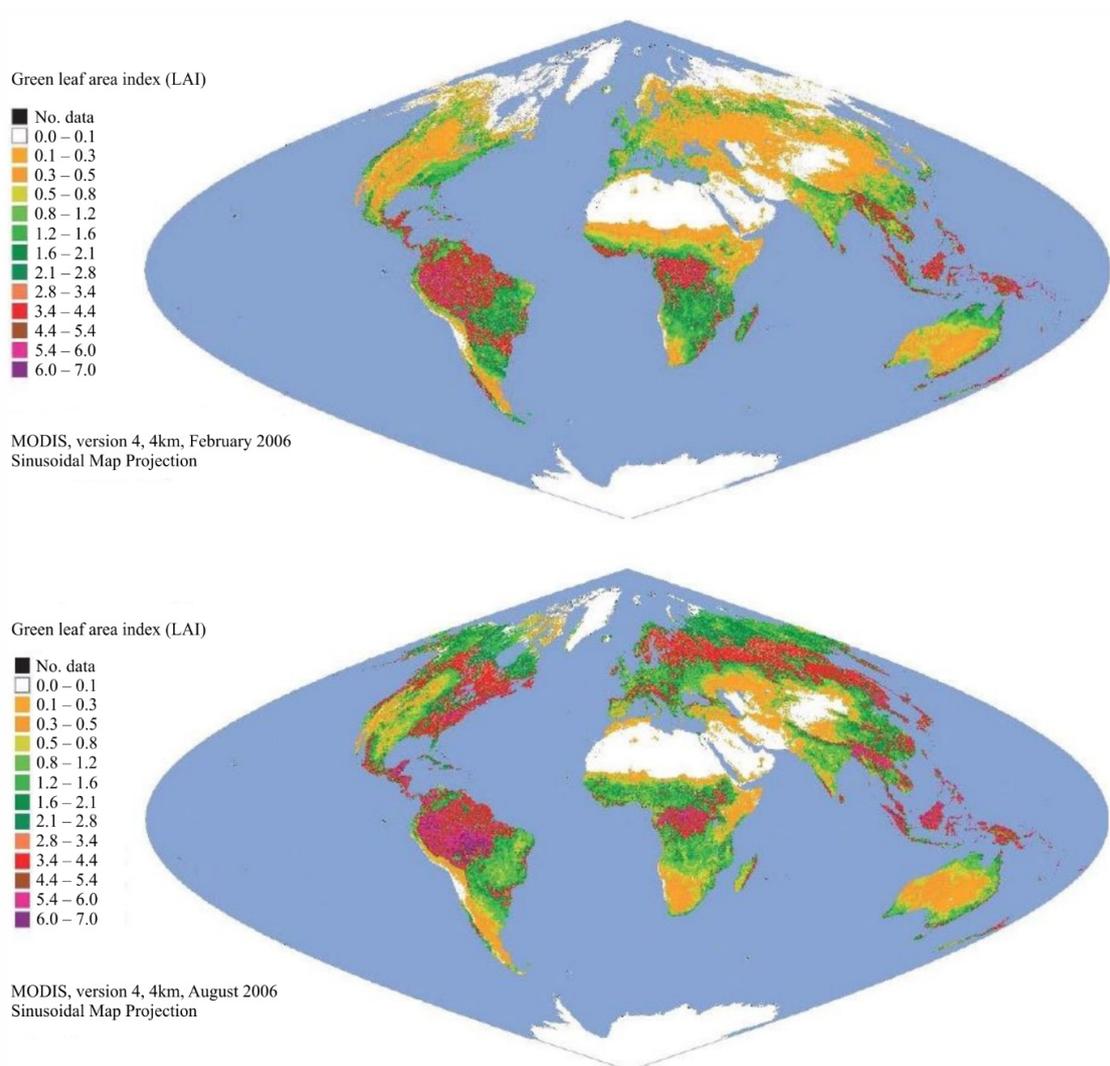
Dans le cas d'un sol nu ou d'une végétation très clairsemée, le taux d'évaporation et le ruissellement peuvent être calculés à partir de séries chronologiques sur l'humidité du sol en surface. Dans le cas de surfaces couvertes par la végétation, la quantité d'eau contenue dans la végétation (profondeur 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 thermohaline. 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, qui régule à son tour la fixation et l'émission du CO₂. 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 CO₂ par l'océan.

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. Ces observations (Fig. 2) sont devenues plus précises du fait de leur extension à des mesures biophysiques.

Figure 2: Indices de feuilles vertes fournis par MODIS montrant les variations saisonnières de la végétation



ClimateChange-02

Source: «Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements», p. 75, 2008 téléchargeable depuis l'adresse: www.nap.edu/catalog/11991.html.

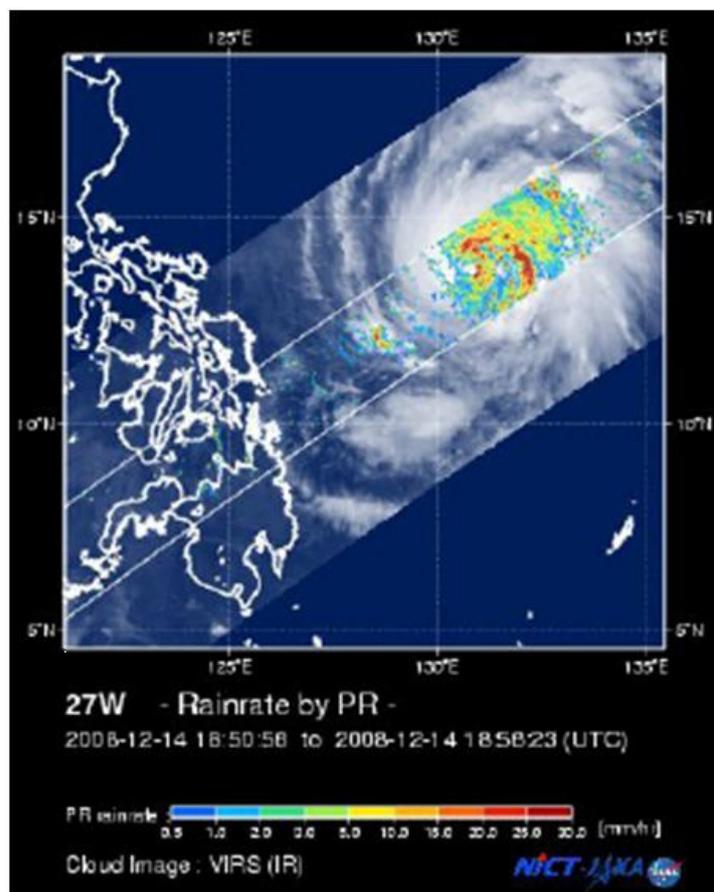
Radars météorologiques

Les radars météorologiques sont utilisés pour détecter les conditions atmosphériques afin d'effectuer les prévisions quotidiennes, de détecter les mauvaises conditions météorologiques, de détecter les vents et les précipitations, d'estimer les précipitations, de détecter les conditions de formation de givre sur les aéronefs et d'éviter le mauvais temps pour la navigation. Les radars météorologiques émettent des impulsions polarisées horizontalement qui permettent de mesurer la dimension horizontale des nuages (eau des nuages et glace des nuages) et des précipitations (particules de neige, de grésil, de grêle et de pluie).

Les radars polarimétriques, également appelés radars à double polarisation, émettent à la fois une impulsion à polarisation horizontale et une impulsion à polarisation verticale. Ils sont nettement plus performants que les systèmes non polarimétriques en ce qui concerne l'estimation des

précipitations, la classification des précipitations, la qualité des données et la détection des risques météorologiques. La Fig. 3 donne un exemple de mesures effectuées par radar.

Figure 3: Répartition des taux de précipitation d'un typhon



EESS.4-13

Le Règlement des radiocommunications contient trois références spécifiques aux radars météorologiques dans le Tableau d'attribution des bandes de fréquences. Ces trois références figurent dans des renvois associés aux bandes 2 700-2 900 MHz, 5 600-5 650 MHz et 9 300-9 500 MHz.

Radars profileurs de vent

Du fait de l'évolution des prévisions météorologiques, il est actuellement nécessaire d'obtenir sur le vent des données fréquentes, rapprochées, de bonne qualité et d'une plus grande précision dans les zones situées entre la surface de la Terre et une altitude élevée dans l'atmosphère. Les données relatives au vent fournies principalement par des instruments installés à bord de ballons, des dispositifs de mesure par satellite et des systèmes de signalisation automatiques aéroportés ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins des modèles atmosphériques informatisés, qui demandent une résolution de plus en plus grande, ni à ceux des systèmes de prévision avec interaction homme-machine. La capacité des nouveaux modèles et des systèmes interactifs mis en application à la fin de la présente décennie afin d'améliorer les prévisions

météorologiques et les avis de phénomènes météorologiques violents sera grandement limitée sans une amélioration significative des données à haute résolution sur le vent.

À l'échelle planétaire, les modèles atmosphériques numériques produisant des prévisions sur une période comprise entre trois et dix jours, nécessitent des données sur la haute atmosphère dans des zones étendues du globe. Dans les régions éloignées en particulier, les radars profileurs de vent fonctionnant sans surveillance peuvent offrir un moyen d'obtenir des données importantes à haute altitude pour les modèles concernant les régions où les données sont rares. Quant aux modèles numériques relatifs à des prévisions couvrant un continent ou une zone plus petite sur une durée comprise entre 3 et 48 h, les données doivent être obtenues dans l'atmosphère sur une grande distance verticale, en général de 200 m à 18 km, avec une résolution verticale de 250 m environ selon l'application. En ce qui concerne la résolution temporelle, les données doivent être obtenues une fois par heure.

Pour les prévisions météorologiques à très court terme, la surveillance de la pollution atmosphérique, l'analyse anémométrique sur le terrain et la prévision des trajectoires des traînées toxiques résultant d'accidents chimiques ou nucléaires, les alertes météorologiques graves destinées à l'aviation, les observations météorologiques, les opérations aéroportuaires et la protection du public, les météorologues doivent disposer de données anémométriques à très haute résolution temporelle et spatiale, en particulier dans la basse atmosphère. L'acquisition des données doit être effectuée de manière continue, sur une distance comprise entre le sol et une hauteur de 5 km, la résolution ne devant parfois pas dépasser les 30 mètres. Les mesures seront généralement réalisées dans les zones peuplées.

Les radars profileurs de vent jouent également un rôle important dans les recherches expérimentales sur l'atmosphère. Grâce à leur capacité de mesurer le vent avec une haute résolution spatiale et temporelle, ils se prêtent très bien à la vérification expérimentale des modèles, ainsi qu'à l'étude de la couche limite et des processus essentiels à la compréhension de l'atmosphère, y compris de l'évolution du climat.

À l'heure actuelle, les organisations météorologiques ont recours à des systèmes installés sur des ballons pour mesurer les profils de vent, de température et d'humidité dans les zones situées entre le sol et une altitude élevée dans l'atmosphère. Les radars profileurs de vent actuellement en service, bien que ne mesurant pas tous ces paramètres, présentent plusieurs avantages par rapport aux systèmes installés sur des ballons en ce qui concerne les besoins mentionnés plus haut, à savoir:

- échantillonnage quasi continu des vents;
- mesure des vents presque directement au-dessus du site;
- possibilité de mesurer la vitesse verticale de l'air;
- réalisation, avec la densité spatiale et temporelle souhaitée, des sondages nécessaires au calcul des sites dérivés de manière beaucoup plus ponctuelle;
- réduction du coût par observation;
- fonctionnement automatique dans presque toutes les conditions climatiques.

Par ailleurs, il a été démontré qu'il était possible d'adapter les radars profileurs de vent pour qu'ils mesurent les profils de température lorsqu'ils fonctionnent conjointement avec un système de sondage acoustique radioélectrique, ce qui permet d'obtenir des profils de température plus denses et de meilleure qualité que ceux que l'on obtient avec des techniques de mesure telles que

les mesures effectuées par ballon. Aucune autre technique ne présentera d'avantages comparables dans un proche avenir, pas même celle des détecteurs embarqués à bord de satellites.

Il est de la plus haute importance qu'une Conférence mondiale des radiocommunications harmonise au niveau mondial les fréquences de fonctionnement des radars profileurs de vent et identifie le spectre utilisable, ce qui permettra de mettre au point et d'exploiter ces systèmes de manière rentable. Dans la pratique, les radars profileurs de vent sont conçus pour fonctionner dans trois bandes de fréquences, au voisinage de 50 MHz, 400 MHz et 1 000 MHz.

Radars océanographiques

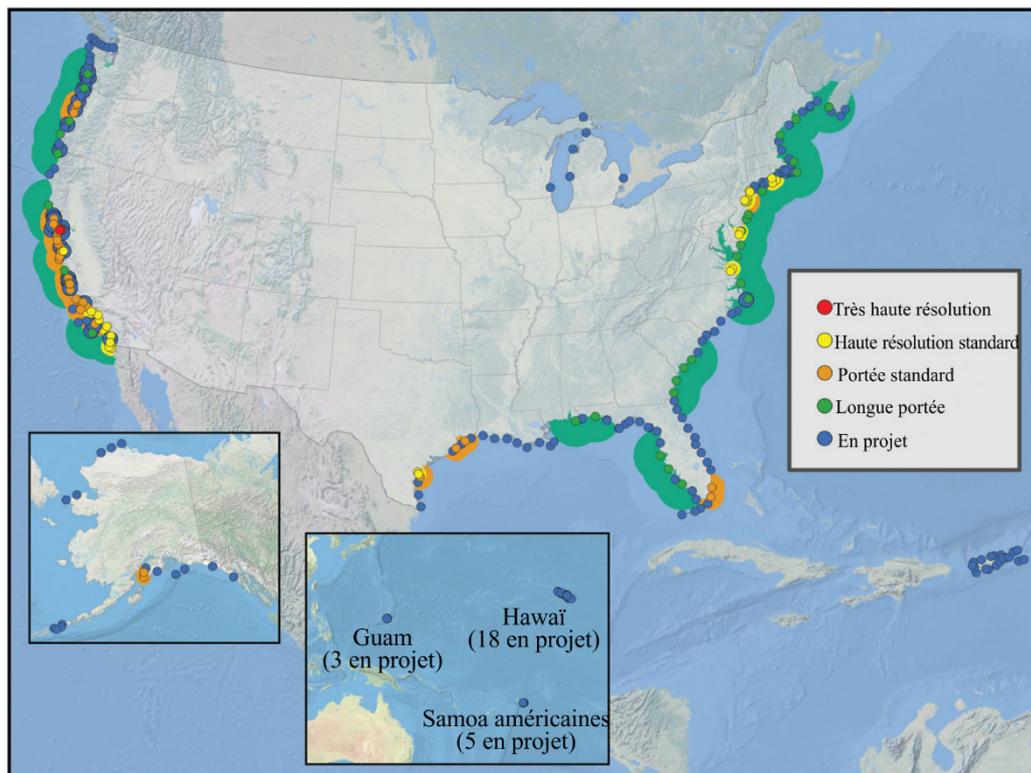
Une proportion élevée de la population mondiale vivant à moins de 80 km des côtes. Il est donc essentiel de réaliser des mesures exactes, fiables et détaillées des variables environnementales le long des côtes. De même que les vents de l'atmosphère nous donnent des informations sur l'endroit et le moment où se produisent les phénomènes météorologiques, de même les courants maritimes déterminent comment les phénomènes océaniques se déplacent. Ces deux flux dynamiques sont utilisés pour déterminer le trajet des polluants naturels et artificiels. Or, actuellement, les mesures des courants océaniques ne sont pas aussi faciles à obtenir que celles des vents.

C'est pourquoi l'on cherche de plus en plus à mesurer avec précision les courants et la houle le long des côtes. La communauté océanographique internationale prévoit donc de mettre en place des réseaux de radars pour surveiller la surface océanique le long des côtes. L'amélioration des mesures des courants côtiers et de l'état de la mer présente pour la société plusieurs avantages, notamment celui de mieux comprendre la pollution des côtes, la gestion de la pêche, les opérations de recherche et de sauvetage, l'érosion des plages, la navigation maritime et le transport des sédiments. En mesurant la surface océanique, les radars côtiers collectent des données sur l'état de la mer et les vagues océaniques dominantes, données qui sont exploitées par les systèmes de météorologie.

De plus, la technologie des radars océanographiques trouve des applications dans le domaine maritime à l'échelle mondiale puisqu'elle permet de détecter à longue distance les navires de surface, ce qui contribue à la sécurité et à la sûreté de la navigation et des ports dans le monde entier. Pour obtenir des données supplémentaires en vue d'atténuer les effets des catastrophes naturelles, notamment des tsunamis, de comprendre le changement climatique et d'assurer la sécurité des déplacements maritimes, on s'est intéressé à l'exploitation des réseaux de radars océanographiques à l'échelle mondiale.

On comptait, en 2009, 143 radars océanographiques répartis inégalement le long des côtes états-uniennes (ce chiffre inclut les radars qui ne fonctionnent pas de façon régulière). La quasi-totalité des systèmes radar océanographiques des États-Unis sont détenus et exploités par des départements universitaires de recherche. Les sites des radars océanographiques existants et en projet aux États-Unis, dans les îles du Pacifique et dans la région des Caraïbes sont représentés sur la Fig. 4.

Figure 4: Sites de radars océanographiques existants et en projet aux États-Unis, dans les îles du Pacifique et dans la région des Caraïbes

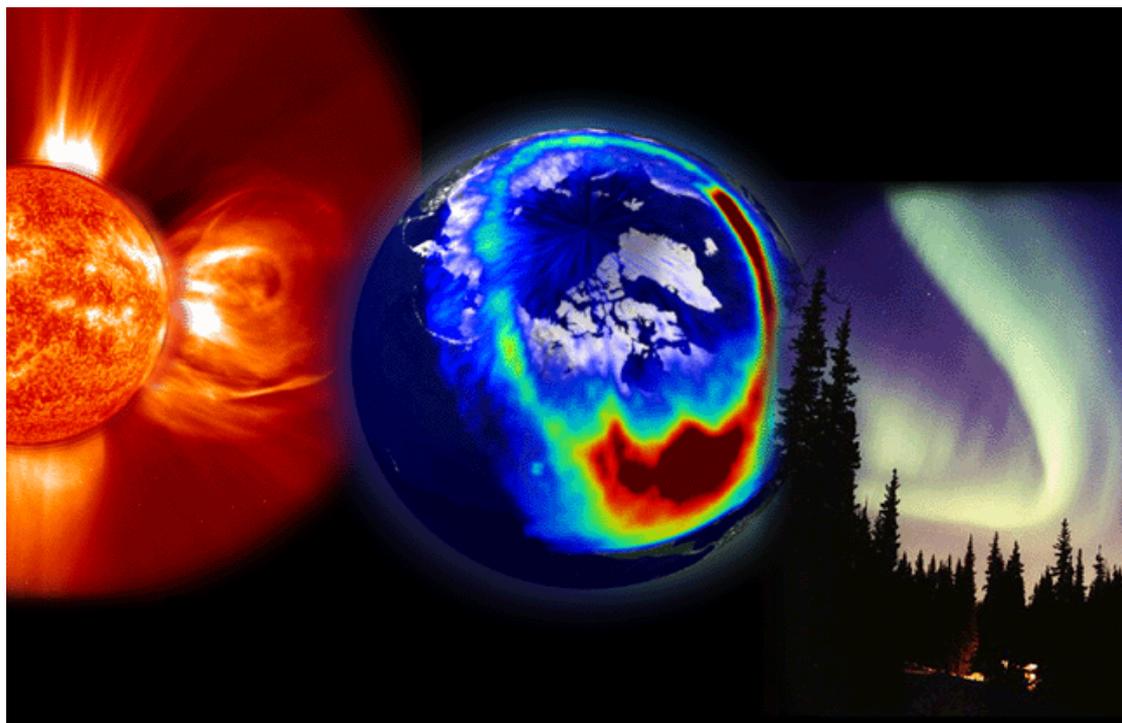


Source: «Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements», p. 75, 2008 téléchargeable depuis l'adresse: www.nap.edu/catalog/11991.html.

Observation radio solaire

La réalisation grandissante de notre vulnérabilité à l'activité du soleil a mené à la création d'une nouvelle discipline: la «météorologie spatiale». De même que son homologue traditionnelle, qui s'intéresse à des questions plus terre à terre, la météorologie spatiale consiste à étudier l'évolution des conditions dans la région de l'espace située à proximité de la Terre. Toutefois, au lieu d'étudier le vent et la pluie, les météorologues spatiaux mesurent les rayonnements électromagnétiques et le comportement du plasma solaire (Fig. 5).

Figure 5: L'activité solaire vue depuis un satellite et depuis la Terre



Source: Observatoire solaire et héliosphérique (SOHO).

À long et moyen terme, les conséquences de l'évolution de l'activité solaire sur le climat sont de même ampleur que les effets du volcanisme terrestre et de la somme de toutes les activités humaines. Cependant, à court terme, ce sont les perturbations causées par les conditions météorologiques spatiales sur nos infrastructures techniques dans l'espace, dans l'air et sur Terre, qui ont le plus d'importance.

L'observation radio solaire est une branche spécialisée de la radioastronomie. Elle joue un rôle important en météorologie spatiale, aussi bien au niveau des services que de la recherche et, par l'observation de l'activité solaire, permet d'effectuer des prévisions de météorologie spatiale et de déclencher des alertes en temps utile concernant les phénomènes d'éruption solaire susceptibles de perturber les activités humaines et terrestres.

Bien qu'il s'agisse d'une menace à plus long terme, la possibilité d'éruptions solaires géantes constitue néanmoins un risque naturel majeur qu'il convient de prendre en considération. Il semble que celles-ci aient lieu de manière aléatoire. Aucun phénomène de cette nature ne s'est produit depuis l'apparition de notre société moderne qui, du fait de son utilisation intensive des infrastructures électriques et de communication, ne peut se passer de la technologie. Un tel événement aurait de lourdes répercussions et, en l'absence de précédent historique, il convient de mieux évaluer les perturbations majeures qu'il pourrait entraîner à l'échelle mondiale.

Ce nouveau risque technologique majeur est impossible à maîtriser, ce qui souligne la grande importance des systèmes d'alerte avancée, qui reposent sur l'observation permanente de l'activité du soleil dans le but de limiter ses effets. Les télescopes radio solaires au sol font partie de ces systèmes d'alerte avancée. L'observation radio solaire vise à:

- améliorer notre compréhension des changements entraînés par le soleil sur le climat et sur d'autres paramètres environnementaux, avec des répercussions d'ordre scientifique, économique ou humanitaire;

- comprendre et prévoir les phénomènes de météorologie spatiale qui ont une incidence sur nos communications, transports et autres infrastructures, ainsi que sur des activités comme la pêche et l'agriculture.

Pour traiter de nombreuses questions environnementales ou liées à notre planète Terre, on suppose couramment que le soleil est simplement une source d'énergie constante. En réalité, il produit un mélange complexe de particules et d'ondes électromagnétiques, qui varie en permanence selon le niveau général de l'activité électromagnétique solaire. La mesure des émissions radioélectriques solaires sera encore à l'avenir une composante essentielle de l'observation des principaux facteurs à l'origine des perturbations subies par notre environnement. Ces émissions n'ont pas d'effets directs visibles sur notre environnement ou nos technologies, mis à part lors des rares occasions où les émissions radioélectriques solaires sont suffisamment fortes pour détériorer les systèmes radioélectriques, ce qui s'est produit à plusieurs reprises. Les observations radioastronomiques sont un excellent moyen d'étudier les aspects du fonctionnement solaire qui peuvent avoir des effets considérables sur notre environnement et nos activités sur Terre, dans l'atmosphère et dans l'espace. Les répercussions de l'activité solaire sur notre environnement, nos activités et nos infrastructures sont multiples.

Les auxiliaires de la météorologie

Les systèmes du service des auxiliaires de la météorologie (MetAids) permettent principalement d'effectuer, dans la haute atmosphère, des mesures in situ de divers paramètres météorologiques (pression, température, humidité relative, vitesse et direction du vent) jusqu'à une altitude de 36 km. Ces mesures jouent un rôle crucial dans le fonctionnement des services de prévision météorologique nationaux (et, par conséquent, dans le lancement des avis de phénomènes météorologiques violents destinés au public en vue de la protection des personnes et des biens). Les auxiliaires de la météorologie et les systèmes de poursuite qui leur sont liés réalisent des mesures simultanées de la structure verticale de la température, de l'humidité relative ainsi que de la vitesse et de la direction des vents sur toute la plage de hauteurs spécifiée. Les variations verticales de ces paramètres météorologiques fournissent la majeure partie des informations indispensables aux prévisions météorologiques. Les systèmes MetAids constituent le seul système d'observation météorologique capable de fournir de manière régulière la résolution verticale dont les météorologues ont besoin pour les quatre paramètres précités. Il est de la plus haute importance de déterminer les hauteurs auxquelles un paramètre subit de brusques changements. Par conséquent, il est primordial de maintenir la fiabilité des mesures pendant tout le trajet de la radiosonde.

Les observations du service MetAids s'effectuent au moyen de radiosondes installées à bord de ballons ascensionnels lancés à partir de stations terrestres ou de navires, par des catasondes lancées d'aéronefs et freinées par un parachute, et par des fusées sondes lancées dans l'atmosphère au moyen de fusées et redescendant sous un parachute pendant la collecte des données (voir par exemple la Fig. 6). La plupart des pays procèdent régulièrement à des radiosondages, à raison de deux à quatre lancers par jour. Les informations sont ensuite diffusées immédiatement à tous les pays dans un délai de quelques heures par l'intermédiaire du système mondial de télécommunications (SMT) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Les systèmes d'observation et de diffusion des données relèvent tous du Programme de veille météorologique mondiale de l'OMM.

Le réseau de radiosondes constitue la principale source mondiale de mesures effectuées in situ en temps réel. Selon les règlements de l'OMM (Manuel du système mondial de traitement

de données (SMTO)), les mesures effectuées par les radiosondes doivent être réalisées et diffusées à tous les centres SMTO dans le monde (niveaux national, régional et mondial), en vue de la prévision numérique du temps. L'espacement horizontal entre les stations d'observation doit, dans le monde entier, être inférieur ou égal à 250 km au cours de la première décennie du XXI^e siècle, la fréquence des observations étant d'une à quatre fois par jour. Toutefois, pour des phénomènes météorologiques à petite échelle (par exemple orages, vents locaux, tornades) et pour les urgences environnementales, les modèles de prévision numérique du temps exigent en fait que les observations locales dans la haute atmosphère soient effectuées à des intervalles compris entre une et trois heures avec une résolution horizontale de 50 à 100 km. Les observations doivent être transmises par divers systèmes choisis en fonction des besoins de l'administration nationale et comprennent les mesures effectuées par les MetAids, les radars profileurs de vent ou les satellites.

Figure 6: Lancement d'une radiosonde



Source: R.P Leck, Earth Resource Technologies Inc.

Les radiosondages sont essentiels pour maintenir la stabilité du système d'observation mondial mis en place par l'OMM. Les mesures recueillies par télédétection par les satellites n'indiquent pas la résolution verticale fournie par les radiosondes. Pour déterminer la structure verticale de la température à partir des mesures par satellite, il est généralement nécessaire d'initialiser les calculs directement à partir des statistiques établies par radiosonde ou à partir des prévisions météorologiques numériques elles-mêmes. Dans le second cas, les mesures par radiosonde garantissent la précision et la stabilité au cours du temps de la structure verticale associée à ces prévisions. Par ailleurs, les mesures par radiosonde permettent d'échantillonner, au moyen de diverses techniques, les observations effectuées par satellite. On considère donc les radiosondages comme étant indispensables, dans un avenir prévisible, pour l'activité météorologique.

Au cours des 20 dernières années, la température de l'atmosphère et l'ozone atmosphérique ont subi de grands changements partout dans le monde, les modifications les plus importantes ayant eu lieu en majorité à des hauteurs comprises entre 12 et 30 km au-dessus de la surface de la Terre. L'ampleur de ces changements est suffisante pour inspirer des inquiétudes au sujet des conditions futures de santé publique. Des radiosondages effectués régulièrement chaque

jour à des hauteurs supérieures à 30 km permettent de déterminer la répartition verticale des changements qui se produisent, et donc d'en évaluer les causes. Les mesures de l'ozone effectuées par sonde à des hauteurs similaires permettent de déterminer la structure verticale de l'appauvrissement de l'ozone, phénomène qui semble actuellement se produire en hiver et au printemps dans l'hémisphère nord comme dans l'hémisphère sud. À l'heure actuelle, un grand nombre de pays lancent des sondes pour mesurer l'ozone au moins trois fois par semaine en hiver et au printemps afin de surveiller l'évolution de la couche d'ozone.

Les instituts de recherche nationaux et d'autres utilisateurs peuvent également recourir aux MetAids, indépendamment des principaux organismes de météorologie du secteur civil. Les sujets d'étude particuliers sont la pollution de l'environnement, l'hydrologie, la radioactivité dans l'atmosphère libre, les phénomènes météorologiques violents (blizzards, ouragans, orages, etc.) ainsi que certaines propriétés physiques et chimiques de l'atmosphère. Cette utilisation ne diminue pas avec le temps, étant donné qu'avec l'automatisation moderne, il est maintenant beaucoup plus facile d'exploiter efficacement des systèmes mobiles et des systèmes à bord de navire sans avoir à recourir à des opérateurs très expérimentés ni à disposer d'équipements support en grande quantité. Il faut tenir compte de ces utilisateurs du service MetAids, d'où une augmentation des besoins de spectre pour ce service. La situation est particulièrement critique lorsque les sites de lancement de ces autres utilisateurs sont à moins de 150 km des sites de lancement des organismes de météorologie.

Les réseaux de radiosondes sont mis en service et utilisés par les services nationaux de météorologie, conformément aux pratiques et aux procédures recommandées, convenues au plan international dans le cadre de l'OMM. Le nombre actuel des stations de radiosondage transmettant régulièrement des observations est de l'ordre de 900. Environ 800 000 radiosondes sont lancées chaque année dans le cadre du réseau de l'OMM, sans compter les radiosondes exploitées dans le secteur de la défense ou destinées à des applications spécialisées, dont le nombre est estimé à 400 000.

Les *catasondes* sont des capteurs météorologiques lâchés d'aéronefs et freinés par un parachute afin d'établir un profil de l'atmosphère. Elles sont lâchées à des altitudes allant de 3 000 à 21 400 m et poursuivies jusqu'à la surface de la Terre. Elles peuvent être utilisées au-dessus des terres, mais elles sont généralement utilisées au-dessus des océans, où il est impossible d'exploiter des sites de radiosonde. Les catasondes sont largement utilisées pour surveiller les conditions à l'intérieur des tempêtes tropicales, des ouragans et des typhons, étant donné que l'aéronef peut les lâcher à des endroits importants à mesure qu'il traverse la tempête. Les catasondes transmettent les données captées à un récepteur à bord de l'aéronef. Un aéronef lâchant des catasondes peut, simultanément, poursuivre et recevoir les signaux provenant de huit catasondes au maximum et doit donc utiliser un système de réception multicanaux. L'aéronef peut ainsi effectuer un trajet déterminé à l'intérieur d'une tempête, lâcher des catasondes à différents points-clés du phénomène et collecter des données à partir de ces points. Les catasondes utilisent le GPS et leur position est associée aux mesures de la pression, de la température et de l'humidité, l'ensemble de ces données étant transmises à l'aéronef afin de calculer et de prévoir la vitesse du vent.

Les catasondes lâchées d'un aéronef traversent très rapidement l'atmosphère au-dessous du parachute. La perte de données, même pendant une courte période, peut conduire à une grande quantité de données manquantes pour des parties importantes de l'atmosphère. Toutes les données au cours de la descente sont essentielles, mais de nombreuses applications accordent une plus grande importance aux dernières données mesurées avant que la catasonde

atteigne la surface. Ces données représentent les conditions à la surface, qui sont capitales pour les prévisions météorologiques.

Les catasondes permettent d'établir un profil de l'atmosphère à l'intérieur des grandes tempêtes lorsqu'elles sont encore loin des terres. Ces données sont essentielles pour surveiller l'intensité de la tempête et prévoir l'évolution de son intensité et de sa trajectoire.

Les catasondes sont également utilisées dans le monde entier pour la recherche en météorologie et en climatologie au-dessus des océans et au-dessus des terres. Elles permettent de déployer rapidement une forte densité de capteurs dans des zones où il est impossible de déployer des stations de radiosonde. Leur utilisation permet aussi de reconfigurer rapidement le réseau suite à un changement de conditions, ce qu'il est impossible de faire rapidement avec des stations de radiosonde au sol.

Les *fusées-sondes* sont utilisées par les agences spatiales et autres utilisateurs dont les besoins en données ne peuvent pas être satisfaits par l'utilisation de radiosondes ou de catasondes. Tout comme les catasondes, les fusées sondes collectent des données atmosphériques au cours de leur descente à travers l'atmosphère. Au lieu d'être lâchées à partir d'aéronefs comme les catasondes, les fusées sondes sont lancées rapidement dans l'atmosphère à bord d'une petite fusée à combustible solide et les données sont collectées à mesure que la fusée-sonde redescend vers la terre attachée à un parachute.

Les fusées-sondes sont lancées par une petite fusée à combustible solide pour réaliser des mesures atmosphériques. On utilise aussi bien des fusées-sondes à basse altitude que des fusées-sondes à haute altitude. Les fusées-sondes ne sont pas très utilisées; néanmoins elles sont indispensables lorsque seule leur performance unique permet de répondre aux besoins de données.

La version à basse altitude est utilisée pour lancer très rapidement un appareil de mesure à une altitude d'environ 1 000 m de manière à pouvoir mesurer les conditions de couche limite. Dans cette version, le capteur est éjecté de la fusée à l'apogée.

La version à haute altitude est utilisée pour lancer des appareils de mesure de données atmosphériques à des altitudes (supérieures à 32 km) qui ne peuvent pas être atteintes avec des radiosondes lancées à bord de ballons. Après le lancement, le moteur de la fusée se consume rapidement à une altitude basse (environ 2 000 m) et se sépare d'une flèche qui transporte la charge utile de la fusée-sonde jusqu'à l'apogée (73 à 125 km). A l'apogée, la charge utile de la fusée-sonde est éjectée de la flèche et retraverse l'atmosphère en descendant attachée à un parachute. Outre la transmission des données météorologiques issues de la fusée-sonde, le parachute, qui est revêtu de mylar aluminisé, permet à un radar de poursuivre son enveloppe afin de mesurer les vents atmosphériques. La durée s'écoulant entre l'arrivée à l'apogée et la fin de la collecte des données à 14 km est généralement de 100 min. La poursuite de l'enveloppe par un radar est réalisée dans une bande attribuée au service de radiorepérage et non dans une bande attribuée au service MetAids.

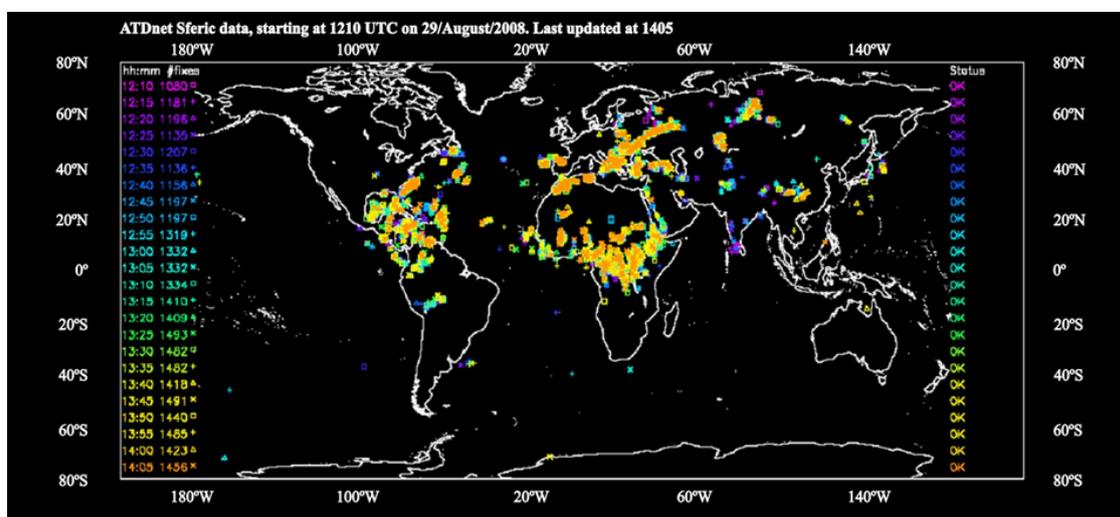
Les systèmes du service MetAids sont utilisés pour la détection de la foudre sur de grandes distances depuis 1939. À cette fin, on utilisait à l'origine des systèmes à très forte intensité de main d'œuvre, qui permettaient de mesurer la direction à partir de laquelle les signaux étaient reçus. Depuis 1987, on a recours à un système automatique, qui utilise les différences de temps des signaux reçus pour calculer la position de l'éclair.

Ce système fait appel à un réseau de stations périphériques jouant un rôle de détection, afin d'observer les émissions spectrales provenant de coups de foudre nuage-sol. Les ondes ionosphériques, réfléchies par l'ionosphère, se propagent sur de très grandes distances moyennant un affaiblissement relativement faible, et sont précédées d'une onde de sol sur de courtes distances. En conséquence, il est possible de recevoir des émissions en provenance d'un coup de foudre nuage-sol à des milliers de kilomètres de la position de l'éclair. Un réseau réparti de détecteurs au sol permet de localiser l'origine de la décharge électrique en se basant sur les différences entre les temps d'arrivée des émissions de foudre aux différents emplacements des détecteurs.

En juin 2010, le réseau comprenait onze détecteurs répartis dans toute l'Europe, de l'Islande à Chypre, et fonctionnant dans le cadre d'une collaboration entre la Finlande, la France, l'Allemagne, l'Islande, l'Irlande, le Portugal et la Suisse. Un détecteur supplémentaire a été mis en place à La Réunion (dans l'océan Indien, à l'est de Madagascar) afin d'évaluer les améliorations de la localisation pour l'Afrique, mais son utilisation ne rentre pas encore dans le cadre du système opérationnel. Dans un avenir très proche, il est prévu d'installer de nouveaux détecteurs en Croatie, dans certains sites d'Afrique, en Amérique du Sud, au Moyen-Orient et en Asie occidentale. À long terme, il devrait se présenter des occasions d'étendre le système afin de fournir une couverture mondiale.

Les résultats types obtenus au moyen de ce système sont illustrés dans la Fig. 7, qui représente les emplacements des coups de foudre détectés à une période de l'année où l'activité orageuse est faible en Europe, mais intense en Afrique centrale, dans les Caraïbes et certaines parties de l'Amérique du Sud.

Figure 7: Exemple de résultats de détection de la foudre pendant deux heures



Les données fournies par le système de détection de la foudre sont utilisées par les organisations météorologiques du monde entier, et contribuent à la sécurité de la vie humaine, tant pour les prévisions aux fins de la sécurité publique que pour les prévisions destinées aux opérations aériennes, en particulier au-dessus des océans et des vastes étendues terrestres, où il n'existe aucun système national de détection de la foudre. Outre les dangers liés aux coups de foudre, les orages peuvent entraîner des précipitations intenses et provoquer de ce fait des inondations, d'importantes formations de givre, un cisaillement du vent, des turbulences et de brusques variations du vent.

Systemes mobiles

On assiste à une augmentation des besoins en matière de systèmes d'accès hertziens capables de relier à des réseaux centraux les capteurs et actionneurs associés à des êtres humains ou à des objets très dispersés, afin de soutenir le fonctionnement d'un nombre croissant d'applications de service. Les systèmes d'accès hertziens mobiles font l'objet d'une forte demande de la part de divers services, tels que la surveillance de l'environnement, le traçage des biens volés, la surveillance des consommations de gaz, d'eau et d'électricité, afin de réduire les charges environnementales, la sécurité sociale, les soins de santé, etc.

Le système d'accès hertzien mobile est un réseau public cellulaire étendu, capable de fournir des télécommunications à divers objets, y compris les services de communication machine-machine ayant une couverture étendue. En raison de la simplicité et de la rentabilité de sa mise en place, un grand système d'accès hertzien cellulaire, doté d'un rayon de cellule de plusieurs kilomètres, s'avère particulièrement pratique pour desservir les zones rurales et non résidentielles, ainsi que les zones urbaines ou résidentielles. Les catégories et exemples de service disponibles sont les suivants:

- télérelevé de services d'utilité publique tels que l'eau, le gaz et l'électricité: cette application permet également aux particuliers de visualiser la consommation d'énergie de leur foyer en vue de l'évaluation écologique (voir la Fig. 8);
- observation météorologique: mesure de la température et de l'humidité de l'air, mesure des précipitations, mesures du niveau des rivières et de la mer, mesure de la concentration en CO₂;
- observation et protection de l'environnement: observation de la pollution de l'environnement (y compris l'air, l'eau et le sol), étude des déchets industriels, surveillance de l'industrie chimique, étude des écosystèmes;
- prévention des catastrophes et mesures d'évitement: observation des tremblements de terre (par exemple détection sismique), surveillance des inondations, observation des coulées de débris;
- systèmes de transport et de gestion du trafic intelligents: réduire au minimum les distances de transport et la consommation de carburant;
- l'administration publique, la médecine, l'entreprise et le commerce mobiles, c'est-à-dire l'adoption des technologies mobiles pour soutenir et améliorer les performances des administrations publiques et des entreprises, et favoriser le développement d'une société mieux connectée. L'accent est mis sur les besoins du secteur public et des utilisateurs finals, qu'il s'agisse de citoyens ou d'entreprises, de manière à garantir que la technologie soit utilisée afin de réorganiser le mode de travail des individus, de satisfaire les besoins des citoyens grâce à une amélioration de la fourniture des services, et de leur donner la possibilité de se connecter à un large éventail d'informations et de services: informations juridiques, santé, éducation, finance, emploi, transport et sécurité publique, etc. Cette démarche contribue à la préservation des ressources naturelles et à l'efficacité énergétique par l'intermédiaire des effets suivants:
 - limitation du double emploi des efforts et des ressources grâce au partage des données et des ressources, à l'automatisation des tâches répétitives et à la centralisation des tâches et des services dans des processeurs centraux et/ou répartis: centre de données, serveurs d'application communs, etc.;
 - augmentation de l'efficacité dans l'utilisation des ressources existantes et/ou communes, un accent particulier étant mis sur les capacités de calcul et les ressources humaines;
 - diminution de la consommation de papier et contribution au recyclage;
 - diminution des temps d'attente et des mises en file d'attente;

- limitation des déplacements et diminution des émissions de GES;
 - diminution des trajets journaliers et de la pollution.
- les systèmes intelligents pour la performance des bâtiments: on assiste actuellement à l'émergence des systèmes de surveillance de l'environnement en tant qu'outils permettant de gérer à distance les habitations et les installations humaines, y compris les bâtiments et les chantiers. Les systèmes intelligents pour la performance des bâtiments (IBS) intègrent des systèmes mobiles dans leur conception et leur fonctionnement afin de gérer le confort, la sécurité et les coûts. L'utilisation de systèmes hertziens, de dispositifs en réseau et d'algorithmes intelligents constitue la base technologique d'un «bâtiment intelligent». Ce concept repose sur l'association de dispositifs en réseau, tels que: thermostats intelligents, détecteurs de présence, détecteurs et dispositifs de commande d'éclairage, systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, capteurs de sécurité, détecteurs d'incendie et d'humidité, capteurs de vibration et de contrainte, systèmes de commande d'ascenseur et d'escalier mécanique, ainsi que d'autres systèmes utilisés dans les bâtiments, l'ensemble communiquant par l'intermédiaire d'une «unique infrastructure large bande». Ces technologies pourraient permettre de réduire de plus de 30% les coûts énergétiques des bâtiments existants, et de plus 70% ceux des nouveaux bâtiments, tout en faisant de ces nouveaux bâtiments des fournisseurs nets d'électricité pour le réseau électrique. La télécommande de la climatisation des bureaux constitue un bon exemple de ce type de dispositif. Cette application permet aux opérateurs de commande de recueillir des informations relatives à l'environnement, telles que la température et l'humidité, à l'intérieur des bureaux ou dans l'ensemble du bâtiment, et contribue à en optimiser la consommation d'électricité en assurant la commande des climatiseurs qui y sont répartis (voir la Fig. 9).

Figure 8: Visualisation de la consommation d'énergie d'un foyer

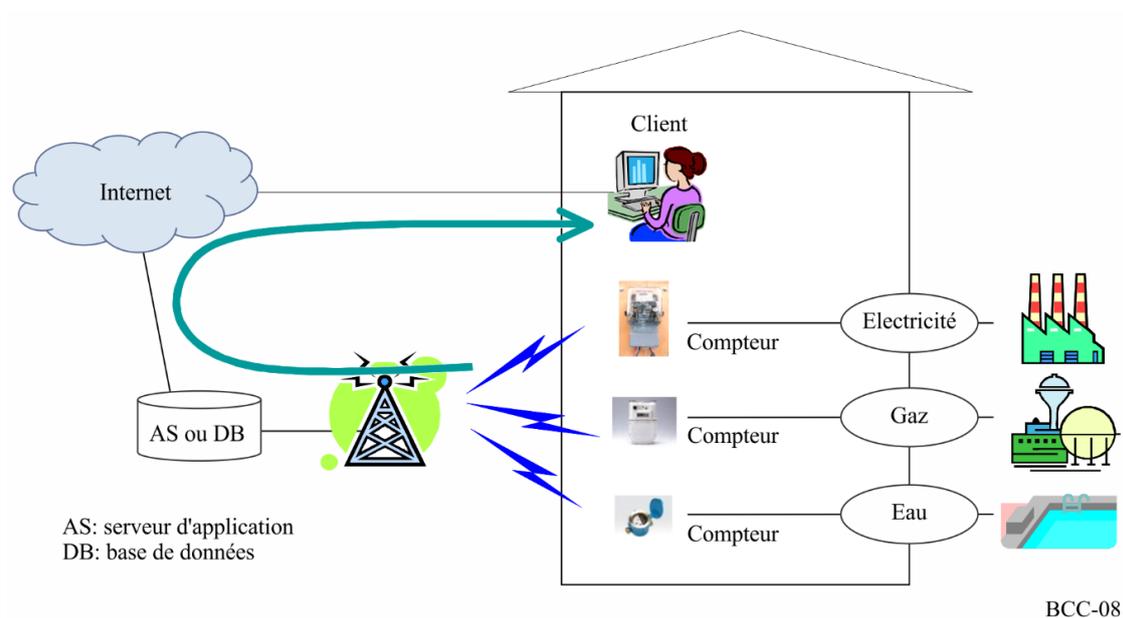
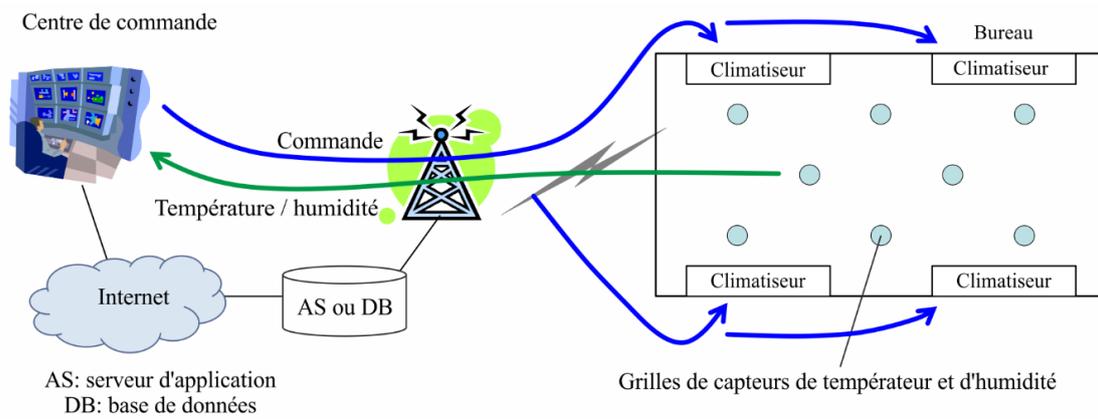


Figure 9: Télécommande de la climatisation des bureaux



2

Activités menées par les Commissions d'études de l'UIT-R

Les Commissions d'études de l'UIT-R sont établies et se voient confier l'étude de Questions en vue d'élaborer des projets de Recommandations. Toutes les Recommandations UIT-R sont élaborées par des experts des radiocommunications du monde entier; elles jouissent donc d'une excellente réputation et sont universellement appliquées, ce qui leur confère le statut de normes internationales dans leur domaine d'application. Les études portent sur les sujets suivants:

- la gestion et l'utilisation efficaces de la ressource spectre/orbite par les services de Terre et les services spatiaux;
- les caractéristiques et la qualité de fonctionnement des systèmes radioélectriques;
- le fonctionnement des stations de radiocommunication;
- les aspects «radiocommunication» des questions relatives à la détresse et à la sécurité.

Les Commissions d'études de l'UIT-R effectuent aussi des travaux préparatoires en vue des Conférences mondiales et régionales des radiocommunications (CMR, CRR). Elles mènent leurs travaux en coopération avec d'autres organisations internationales s'occupant de radiocommunications. Plus de 1 500 experts du monde entier, représentant les États Membres, les Membres de Secteur et les Associés de l'UIT, participent actuellement aux travaux des Commissions d'études de l'UIT-R. Il existe actuellement six commissions d'études, spécialisées dans les questions suivantes:

CE 1 - Gestion du spectre

CE 3 - Propagation des ondes radioélectriques

CE 4 - Services par satellite

CE 5 - Services de Terre

CE 6 - Service de radiodiffusion

CE 7 - Services scientifiques

En ce qui concerne la question spécifique des changements climatiques, les travaux des Commissions d'études de l'UIT-R portent actuellement sur les sujets suivants:

- la gestion des radiocommunications pour prévoir ou détecter les catastrophes, en atténuer les effets et pour mener les opérations de secours;
- le développement de systèmes de radiocommunication permettant de prévoir ou de détecter les catastrophes, d'en atténuer les effets et de mener les opérations de secours. On trouvera des précisions dans le Tableau 4;
- l'élaboration de Recommandations, de Rapports et de Manuels UIT-R sur les sujets suivants:
 - les bonnes pratiques existantes pour réduire la consommation d'énergie dans les systèmes, équipements ou applications des TIC fonctionnant dans un service de radiocommunication;
 - l'utilisation des systèmes de radiocommunication permettant de réduire la consommation d'énergie dans les secteurs autres que celui des radiocommunications;
 - les systèmes efficaces d'observation de l'environnement et de suivi et de prévision des changements climatiques, la fiabilité de fonctionnement de ces systèmes devant être garantie.

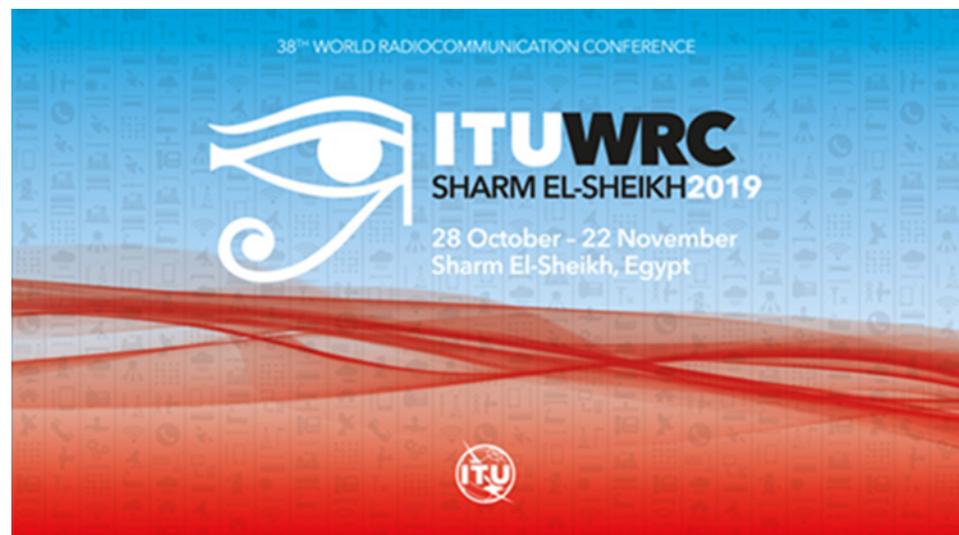
Tableau 4: Champ des études relatives aux changements climatiques menées actuellement au sein de l'UIT-R

Activités	Tâches principales	Services de radiocommunication concernés	Commission d'études de l'UIT-R
Surveillance de l'environnement	Observations par satellite de l'atmosphère et de la surface de la Terre Acquisition, traitement, analyse et diffusion des données à partir de satellites de télédétection	Service d'exploration de la Terre par satellite	CE 7
		Service de météorologie par satellite	
	Service d'exploitation spatiale	CE 7	
	Observation radio solaire	Radioastronomie Service de recherche spatiale	CE 7
	Observation au sol des caractéristiques de l'atmosphère	Service des auxiliaires de la météorologie	CE 5
		Service de radionavigation Service de radiolocalisation	CE 5
		Service mobile	CE 7

Activités	Tâches principales	Services de radiocommunication concernés	Commission d'études de l'UIT-R
Autres applications	Optimisation des constructions Optimisation de la circulation routière Économies d'énergie Décisions en matière de semis Planification de l'irrigation	Service d'exploration de la Terre par satellite	CE 7
		Mobile	CE 5

3

Résultats des récentes Conférences mondiales des radiocommunications



Conférence mondiale des radiocommunications de 2019 (CMR-19)

La CMR-19 a défini les conditions propres à assurer la protection des services existants contre les brouillages préjudiciables causés par les stations mobiles et les stations de base IMT futures. Il était très important et prioritaire d'assurer la protection des services scientifiques sensibles fonctionnant dans les bandes adjacentes, en particulier dans la bande attribuée au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive), cette bande étant utilisée pour effectuer des mesures qui servent ensuite à l'établissement de modèles de prévisions météorologiques. Des brouillages préjudiciables causés dans cette bande pourraient avoir des incidences sur ces mesures et réduire la précision des prévisions météorologiques. En ce qui concerne l'exploitation du SETS (passive) dans la bande 23,6-24 GHz, la CMR-19 a adopté la Résolution 750 (Rév.CMR-19) relative à la compatibilité entre le

service d'exploration de la Terre par satellite (passive) et les services actifs concernés, qui doit être mise en œuvre en deux temps:

- Une limite de -33/-29 dBW/200 MHz s'appliquera aux stations de base/stations mobiles mises en service avant le 1er septembre 2027.
- Une limite de -39/-35 dBW/200 MHz s'appliquera aux stations de base/stations mobiles mises en service après le 1er septembre 2027.

La Conférence mondiale des radiocommunications (CMR-19) a également adopté:

- La Résolution 646 (Rév.CMR-19) – Protection du public et secours en cas de catastrophe.
- La Résolution 647 (Rév.CMR-19) – Aspects des radiocommunications, y compris les lignes directrices relatives à la gestion du spectre, liés à l'alerte avancée, à la prévision ou à la détection des catastrophes, à l'atténuation de leurs effets et aux opérations de secours en cas d'urgence et de catastrophe.
- La Résolution 657 (Rév.CMR-19) – Protection des capteurs de météorologie spatiale basés sur le spectre des fréquences radioélectriques et utilisés pour les prévisions et les alertes à l'échelle mondiale.

L'Assemblée des radiocommunications de 2019 (AR-19) a adopté plusieurs Résolutions demandant à l'UIT-R de mener des études appropriées, en particulier:

- La Résolution UIT-R 55-3 – Études de l'UIT concernant la prévision ou la détection des catastrophes, l'atténuation de leurs effets et les opérations de secours.
- La Résolution UIT-R 60-2 – Réduction de la consommation d'énergie pour la protection de l'environnement et l'atténuation des effets des changements climatiques grâce à l'utilisation de technologies et systèmes des radiocommunications/technologies de l'information et de la communication.
- La Résolution UIT-R 61-2 – Contribution de l'UIT-R à la mise en œuvre des résultats du Sommet mondial sur la société de l'information et du Programme de développement durable à l'horizon 2030.

Pour télécharger les Actes finals de la CMR-19, cliquez sur le lien suivant: (<https://www.itu.int/pub/R-ACT-WRC.14-2019/en>).

Conférence mondiale des radiocommunications de 2015 (CMR-15)

La CMR-15 a accepté de faire, dans la gamme de fréquences 7-8 GHz, de nouvelles attributions nécessaires pour pouvoir transmettre, en liaison montante, une grande quantité de données pour les programmes d'exploitation et pour les modifications apportées de manière dynamique aux logiciels utilisés par les engins spatiaux, ce qui permettra à terme de simplifier l'architecture des systèmes embarqués et les concepts d'exploitation des futures missions du service d'exploration de la Terre par satellite (SETS).

Les attributions de fréquences dans la gamme de fréquences 9-10 GHz favoriseront le développement de techniques de détection large bande modernes ainsi que des radars spatioportés du SETS pour la télédétection active. Les applications scientifiques et utilisant des informations géographiques permettront d'obtenir des résultats de mesures de grande qualité, quelles que soient les conditions météorologiques, et seront accompagnées d'applications améliorées dans des domaines comme les secours en cas de catastrophe et l'aide humanitaire, l'utilisation des sols et la surveillance de zones côtières étendues.

Conférences mondiales des radiocommunications précédentes

Les décisions prises lors des Conférences mondiales des radiocommunications de 2007 et 2012 ont renforcé la mission de l'UIT dans le domaine de la durabilité, des changements climatiques et des communications d'urgence, et garanti la disponibilité du spectre et des orbites des satellites pour le fonctionnement des systèmes de radiocommunication destinés à la surveillance de l'environnement et à l'évaluation et la prévision des changements climatiques, de la manière suivante:

- Le service de météorologie par satellite obtient une plus grande largeur de bande

Des bandes de fréquences additionnelles ont été attribuées au service de météorologie par satellite. L'attribution existante pour le service de météorologie par satellite (MetSat) a été étendue aux bandes 7,85-7,9 GHz et 18,3-18,4 GHz. Cela permettra aux futurs systèmes du service MetSat de mesurer et d'observer les paramètres météorologiques et climatiques avec une résolution bien meilleure et, partant, de mieux comprendre et prévoir les conditions météorologiques et les changements climatiques.
- Développement et protection de la télédétection passive par satellite

Ces conférences ont mis à jour l'utilisation du spectre pour les futures applications d'observation de la Terre, compte tenu du développement des détecteurs passifs embarqués à bord des satellites de météorologie ou de surveillance de l'environnement et destinés à la surveillance des raies spectrales de la vapeur d'eau et de l'oxygène, qui sont nécessaires pour les mesures des précipitations et des nuages de glace ainsi que pour la surveillance des tempêtes et les études sur le climat. Des limites d'émission obligatoires et recommandées ont été adoptées pour les services actifs, afin de protéger les services passifs.
- Protection des radars océanographiques

La quantité totale des besoins de spectre pour les radars océanographiques en vue d'atténuer les effets des catastrophes, notamment des tsunamis, de comprendre les changements climatiques et d'améliorer la sécurité des voyages maritimes a été prise en considération. À cette fin, un certain nombre de bandes de fréquences ont été attribuées au service de radiolocalisation entre 4 MHz et 42,5 MHz. Les niveaux de protection appropriés ont été adoptés en ce qui concerne les brouillages causés par les radars océanographiques. Ces radars utilisent l'onde de sol qui se propage au-dessus des océans pour mesurer les conditions de surface de la mer à proximité des côtes à des fins environnementales, océanographiques, météorologiques, climatologiques, maritimes et d'atténuation des catastrophes, et pour la surveillance de la pollution des côtes, la gestion des ressources halieutiques, les opérations de recherche et de sauvetage, l'érosion des plages et la navigation maritime.
- La télédétection active obtient davantage de spectre

L'extension de l'attribution dont bénéficie le SETS pour la télédétection active au voisinage des 9 500-9 900 MHz a été adoptée, ce qui répond à la nécessité de disposer d'une bande contigüe de 500 MHz pour mener des activités telles que la cartographie de la topologie de la surface terrestre au moyen de radars à ouverture synthétique (SAR).
- Protection du développement du système de détection de la foudre

La CMR-12 a adopté de nouvelles dispositions réglementaires et techniques afin de protéger les systèmes automatisés utilisés pour la détection et la prévision des coups de foudre. Les données fournies par ces systèmes sont utilisées par les organisations météorologiques du monde entier. Ces données sont particulièrement utiles pour les prévisions destinées aux opérations aériennes, en particulier au-dessus des océans et des vastes étendues terrestres où il n'existe aucun système national de détection de la foudre.

Un certain nombre de Résolutions ont été approuvées, celles-ci reflétant les préoccupations spécifiques des États Membres concernant l'utilisation des radiocommunications afin d'atténuer les effets négatifs des changements climatiques et des catastrophes naturelles ou causées par l'homme. En voici des exemples:

- prier instamment les Commissions d'études de l'UIT-R d'accélérer leurs travaux, en particulier dans le domaine de la prévision et de la détection des catastrophes, de l'atténuation de leurs effets et des opérations de secours; traiter la question plus large de la protection du public et des secours en cas de catastrophe, et encourager les administrations à examiner les bandes ou gammes de fréquences ou parties de ces bandes ou gammes de fréquences identifiées, lorsqu'elles procéderont à une planification au niveau national, pour trouver des bandes ou gammes de fréquences harmonisées au niveau régional pour des solutions évoluées de protection du public et de secours en cas de catastrophe;
- continuer de développer de nouvelles technologies comme les télécommunications mobiles internationales (IMT) et les systèmes de transport intelligents (ITS) afin de prendre en charge ou de compléter des applications évoluées liées à la protection du public et aux secours en cas de catastrophe;
- souligner l'importance de prendre des mesures efficaces pour atténuer les effets des catastrophes naturelles, notamment pour la prévision, la détection et l'alerte, grâce à l'utilisation concertée et efficace du spectre des fréquences radioélectriques. La planification, au niveau national, des fréquences pour les situations d'urgence et les secours en cas de catastrophe devrait tenir compte de la nécessité d'une coopération et de consultations bilatérales avec d'autres administrations concernées. Cela peut être facilité par une harmonisation de l'utilisation du spectre, ainsi que par l'adoption de lignes directrices en matière de gestion du spectre, applicables à la planification des situations d'urgence et des secours en cas de catastrophe. L'identification, par chaque administration, de fréquences disponibles dans lesquelles des équipements puissent fonctionner, peut faciliter l'interopérabilité et l'interfonctionnement. Il est clairement important que des fréquences soient disponibles en vue de leur utilisation au tout début d'une intervention d'aide humanitaire pour les secours en cas de catastrophe;
- continuer d'aider les États Membres à mettre en place leurs activités de planification des communications d'urgence, en tenant à jour la base de données des fréquences actuellement utilisables dans les situations d'urgence;
- souligner l'importance de la collecte et de l'échange de données d'observation de la Terre pour maintenir et améliorer la précision des prévisions météorologiques, qui contribuent à la protection de la vie humaine et à la protection des biens dans le monde entier.

4

Conclusions

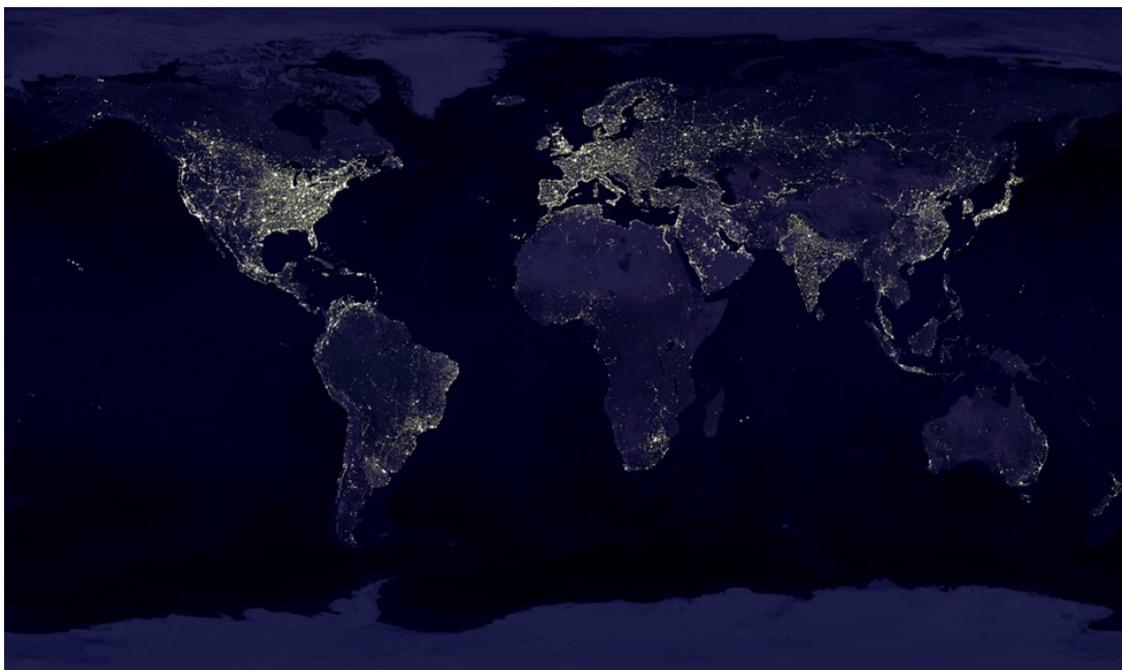
L'impact des activités humaines sur l'environnement - et sur les changements climatiques en particulier - est une source de préoccupation grandissante, et constitue un défi pour la vie sur Terre. Les radiocommunications offrent un certain nombre de solutions en vue de faire progresser la recherche, la planification et l'action à l'échelle mondiale en matière d'environnement. Leur utilisation concerne aussi bien l'observation et la protection de l'environnement, que l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de leurs effets.

Le présent rapport montre que les TIC peuvent contribuer à réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre (GES), tout en permettant d'améliorer l'efficacité énergétique et de faire diminuer l'utilisation des ressources naturelles. Ces avancées reposent sur l'emploi de techniques propres aux systèmes radioélectriques pour remplacer les déplacements par les communications à distance, prendre en charge le recyclage et réduire la consommation d'énergie. Ce rapport traite également, de manière approfondie, de l'utilisation des TIC dans de nombreux aspects du secteur de l'environnement, à savoir l'observation, l'analyse, la planification, la gestion et la protection, l'atténuation et le renforcement des capacités en matière d'environnement.

Illustrations: Architecture théorique du Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS)



Lumières nocturnes visibles sur la Terre







Union
internationale
des télécommunications
Place des Nations
CH-1211 Genève 20
Suisse

ISBN: 978-92-61-31882-6



9 789261 318826

Publié en Suisse
Genève, 2020
Crédits photos: Shutterstock