

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R RS.1859-1
(12/2018)

Utilisation de systèmes de télédétection pour recueillir des données à utiliser en cas de catastrophe naturelle ou de situation d'urgence analogue

Série RS
Systemes de télédétection



Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

Séries des Recommandations UIT-R

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

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

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

Publication électronique
Genève, 2019

© UIT 2019

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

RECOMMANDATION UIT-R RS.1859-1

Utilisation de systèmes de télédétection pour recueillir des données à utiliser en cas de catastrophe naturelle ou de situation d'urgence analogue

(2010-2018)

Domaine d'application

La présente Recommandation contient des lignes directrices sur la fourniture de données télédéteectées par des satellites dans les différentes phases de la gestion des catastrophes:

- 1 avant la catastrophe (atténuation, c'est-à-dire les mesures prises pour réduire les dommages, les perturbations et le nombre de victimes; préparation, c'est-à-dire les mesures permettant d'intervenir rapidement en cas de catastrophe; et prévention c'est-à-dire le fait d'éviter les conséquences néfastes des dangers et les catastrophes connexes);
- 2 pendant la catastrophe (détection d'une catastrophe et intervention immédiate par l'envoi de services de secours et la mise en place d'une aide aux victimes); et
- 3 après la catastrophe (rétablissement après les effets immédiats de la catastrophes et réhabilitation ou remise en état sur le long terme pour retrouver une situation proche de l'état antérieur à la catastrophe).

La présente Recommandation ne contient pas d'information sur la diffusion de données.

Mots clés

SETS (actif), SETS (passif), service d'exploration de la Terre par satellite, télédétection, catastrophes, gestion des catastrophes

Recommandations et Rapports de l'UIT connexes

Recommandation UIT-R RS.1883 – Utilisation des systèmes de télédétection dans l'étude des changements climatiques et de leurs effets

Rapport UIT-R RS.2178 – Rôle essentiel et importance à l'échelle mondiale de l'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques pour les observations de la Terre et les applications connexes

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que, pour ce qui est des radiocommunications, la gestion des catastrophes comprend les aspects suivants, qui sont d'égale importance:

- 1) l'alerte rapide et la prévention, fondées sur:
 - la prévision des catastrophes, y compris l'acquisition et le traitement des données relatives à la probabilité d'occurrence, au lieu et à la durée de futures catastrophes;
 - la détection des catastrophes, notamment par l'analyse détaillée de la probabilité et de la gravité types d'une catastrophe;
- 2) l'atténuation des effets d'une catastrophe, notamment la diffusion rapide d'informations relatives à l'imminence d'une catastrophe et des alertes correspondantes aux organismes chargés des secours;
- 3) les radiocommunications destinées aux secours après une catastrophe, notamment la mise en place sur site de systèmes de communication terrestres et par satellite afin de contribuer à sécuriser et stabiliser les vies humaines et les biens dans les zones touchées;

b) qu'en raison de l'imprévisibilité inhérente aux catastrophes naturelles, il faut disposer de capacités d'observation de la Terre rapides à l'échelle mondiale, et que seuls les instruments de télédétection satellitaires peuvent répondre à ce besoin;

- c) que de tels capteurs de télédétection satellitaires existent déjà et sont exploités dans des bandes de fréquences actuellement attribuées au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS);
- d) qu'il existe des organismes dont la mission est de faciliter le traitement et la fourniture de données sur les catastrophes provenant d'un opérateur qui offre des services par satellite aux organismes chargés des secours,

reconnaissant

- a) que la Résolution UIT-R 55 – Études de l'UIT-R concernant la prévision ou la détection des catastrophes, l'atténuation de leurs effets et les opérations de secours, et la Résolution **646 (Rév. CMR-15)** sur la protection civile et les secours en cas de catastrophe soulignent l'importance des aspects relatifs aux radiocommunications/TIC concernant la prévention, la prévision, la détection, l'alerte, l'atténuation des effets et les opérations de secours, ainsi que le rôle essentiel de la Commission d'études 7 des radiocommunications et des technologies de télédétection dans la gestion des catastrophes;
- b) qu'il est décidé dans la Résolution **673 (Rév. CMR-12)** «de continuer de reconnaître que l'utilisation de fréquences pour les applications liées à l'observation de la Terre présente un intérêt social et économique considérable; de prier instamment les administrations de tenir compte des besoins de fréquences radioélectriques pour l'observation de la Terre et, en particulier, de la protection des systèmes d'observation de la Terre fonctionnant dans les bandes de fréquences connexes; et d'encourager les administrations à tenir compte de l'importance de l'utilisation et de la disponibilité de fréquences pour les applications liées à l'observation de la Terre, avant de prendre des décisions susceptibles d'avoir des incidences négatives sur le fonctionnement de ces applications»,

notant

que le Rapport de l'UIT-D sur la Question 22/2 – Utilisation des TIC pour la gestion des catastrophes, ressources et systèmes de capteurs spatiaux actifs ou passifs utilisés en cas de catastrophe et pour les secours d'urgence contient des lignes directrices destinées à faciliter la mise en œuvre du Protocole d'alerte commun (CAP) normalisé d'alerte et de notification des dangers au public en cas de catastrophe et de situation d'urgence,

recommande

- 1** d'encourager les administrations à se familiariser avec les applications des capteurs de télédétection embarqués sur des satellites, qui sont utiles à la gestion des interventions en cas de catastrophe naturelle ou de situation d'urgence analogue (voir l'Annexe 1);
- 2** que les administrations et les opérateurs continuent à fournir des données sur l'environnement en cas de catastrophe (voir l'Annexe 2).

NOTE 1 – La présente Recommandation devrait être complétée par une nouvelle Recommandation sur l'utilisation des données recueillies.

Annexe 1

Utilisation de systèmes de télédétection pour recueillir des données à utiliser en cas de catastrophe naturelle ou de situation d'urgence analogue

1 Introduction

Les auxiliaires de la météorologie, les services de météorologie par satellite et les services d'exploration de la terre par satellite jouent un rôle majeur dans certaines activités telles que:

- l'identification des zones à risque;
- la prévision météorologique et la prévision des changements climatiques;
- la détection et le suivi des tremblements de terre, des tsunamis, des feux de forêt, des marées noires, etc.;
- la fourniture d'informations permettant de lancer une alerte ou un avis en cas de catastrophe;
- l'évaluation des dommages causés par les catastrophes;
- la fourniture d'informations destinées à la planification des opérations de secours; et,
- le suivi du rétablissement après une catastrophe.

Ces services fournissent des données utiles, voire essentielles pour conserver et améliorer la précision des prévisions météorologiques, pour surveiller et prévoir les changements climatiques et pour obtenir des informations sur les ressources naturelles. Le Tableau 1 contient un récapitulatif des fréquences utilisées pour ces services et des applications liées à ceux-ci.

TABLEAU 1

Bandes de fréquences utilisées en télédétection pour la prévision et la détection des catastrophes

Bande (GHz)	Danger et attribution	Dangers littoraux et tsunamis	Sécheresse	Tremblements de Terre	Phénomènes météorologiques extrêmes	Inondations	Glissements de terrain	Pollution de l'océan	Glaces marines et lacustres	Volcans	Feux de végétation sauvage
0,43	A	X	X	X		X	X			X	X
1,25	A	X	X	X		X	X	X	X	X	
1,42	P		X			X	X				X
1,67	P										
2,65	p		X			X	X				X
3,20	a										
4,30	p										
4,90	p		X								
5,30	A	X	X	X		X	X	X	X	X	X
6,70	p		X								
7,15	p		X						X		
8,60	A		X	X	X	X	X		X		X
9,60	A		X	X	X	X	X		X		X
10,65	P	X	X		X	X	X		X		
13,50	A		X		X	X	X		X		X
15,30	p										
15,40	P	X			X	X	X				
17,25	A		X		X						X
18,70	P	X	X		X	X	X				
21,30	P	X	X		X	X	X		X		
22,30	P	X	X		X	X	X				
23,80	P	X	X		X	X	X				

TABLEAU 1 (*fin*)

Bande (GHz)	Danger et attribution	Dangers littoraux et tsunamis	Sécheresse	Tremblements de Terre	Phénomènes météorologiques extrêmes	Inondations	Glissements de terrain	Pollution de l'océan	Glaces marines et lacustres	Volcans	Feux de végétation sauvage
24,10	A		X		X	X	X				
31,50	P	X	X		X	X	X		X		
35,55	A		X		X	X	X				
36,50	P	X	X		X	X	X		X		
50,30	P	X	X		X	X	X				
55,00	P	X	X		X	X	X				
64,50	P										
78,50	A				X						
89,00	P					X	X		X		
94,00	A				X						
101,0	P		X		X						
110,0	P										
118,0	P	X	X		X	X	X				
150,5	P	X	X		X	X	X				
157,0	P										
166,0	P	X	X		X	X	X				
175,5	P	X	X		X	X	X				
183,0	P	X	X		X	X	X				
201,0	P	X	X		X	X	X				

NOTE – A et P désignent respectivement une attribution active et passive pour la télé-détection dans ces bandes de fréquences. Les majuscules indiquent une attribution à titre primaire, les minuscules une attribution à titre secondaire.

Les mesures ou observations faites au sol, sur place (*in situ*) et au bon moment sont généralement plus précises que des observations analogues faites depuis l'espace. On dit que ces observations correspondent à la «réalité du terrain» et on les emploie pour étalonner les instruments embarqués dans les satellites. Toutefois, lorsque les instruments *in situ* ou les infrastructures nécessaires à leur prise en charge ne sont pas déployés ou ont été rendus indisponibles en raison de la catastrophe, ou encore que les mesures au sol ne sont pas suffisamment précises, les observations depuis l'espace peuvent fournir des informations utiles pour remédier aux effets des catastrophes. Ces observations depuis l'espace sont particulièrement utiles lorsque les zones concernées sont vastes, que la densité de population est faible et que les infrastructures techniques sont vulnérables ou peu développées.

On trouvera ci-après une description de la manière dont les données issues des satellites peuvent favoriser les interventions en cas de catastrophe naturelle ou artificielle. Ces applications sont déjà en exploitation ou pourraient faire l'objet d'une mise en œuvre réaliste à l'avenir. La liste n'est pas exhaustive.

2 Dangers littoraux et tsunamis

Les capteurs satellitaires peuvent aider à recenser les zones à risque en s'appuyant sur des modèles numériques d'altitude (DEM) établis à partir de données de radars à ouverture synthétique (SAR) pour localiser les zones sujettes aux inondations, ou au moyen d'une bathymétrie produite par des radars SAR pour détecter au fond des océans des structures susceptibles d'aggraver des tsunamis ou des ondes de tempête imminents.

Des événements météorologiques puissants tels que des cyclones tropicaux et des typhons, qui produisent des ondes de tempête, peuvent être suivis par des satellites météorologiques. Ce suivi peut permettre de prévenir les habitants de zones vulnérables de l'existence d'un danger potentiel, souvent plusieurs jours à l'avance.

On peut déterminer l'étendue des dommages par imagerie à moyenne ou haute résolution dans la lumière visible ou l'infrarouge à partir d'équipements embarqués sur des satellites. L'imagerie SAR à basse résolution, qui n'est pas gênée par la pluie, la couverture nuageuse ou la tombée de la nuit, peut aussi être utilisée pour mettre en évidence les zones touchées. La capacité des radars SAR de traverser les nuages et de fournir des informations indépendamment de la météorologie est particulièrement utile dans les zones à forte couverture nuageuse, par exemple en Afrique centrale, en Amazonie et dans des zones insulaires comme l'Indonésie.

Ainsi, le 26 décembre 2004, après un tremblement de terre de magnitude 9.0 au large des côtes de Sumatra, un gigantesque tsunami et des secousses sismiques ont touché l'Indonésie et le sud de la Thaïlande, faisant plus de 104 000 victimes en Indonésie et plus de 5 000 en Thaïlande. On trouvera dans la Fig. 1 des photos à moyenne et à haute résolution prises par des satellites en orbite basse au-dessus de la province d'Aceh en Indonésie, avant et après le tsunami du 26 décembre 2004. Les autorités ont exploité des images de ce type pour évaluer les dommages de manière exhaustive.

FIGURE 1

Domages subis dans la province d'Aceh en Indonésie

Évaluation des dommages dans la province d'Aceh:

Images fournies par Landsat et QuickBird



En haut: mosaïque (deux scènes) fournie par Landsat 7 de l'extrémité nord de Sumatra, province d'Aceh.

3 janvier 2005: David Skole du Tropical Rain Forest Information Center à la Michigan State University (MSU) a utilisé les données fournies par Landsat 7 pour aider le gouvernement de l'Indonésie dans ses efforts de secours dans la province d'Aceh de Sumatra. Utilisant les données collectées par Landsat 7 trois jours après la catastrophe, l'équipe du MSU a établi des cartes régionales des conséquences qui ont été utilisées par les autorités indonésiennes pour orienter leurs secours. Ces travaux ont été possibles grâce à l'étendue de la couverture régionale et la résolution spatiale élevée du capteur ETM+.



Landsat 7 -
 Largeur du couloir: 183 km
 Résolution spatiale: 30 m
 Résolution en bande panoramique: 15 m

QuickBird -
 Largeur du couloir: 16,5 km
 Résolution spatiale: 2,44 m
 Résolution en bande panoramique: 61 m



13 décembre 2004



Zones de dommages graves.

29 décembre 2004



14 avril 2004



2 janvier 2005

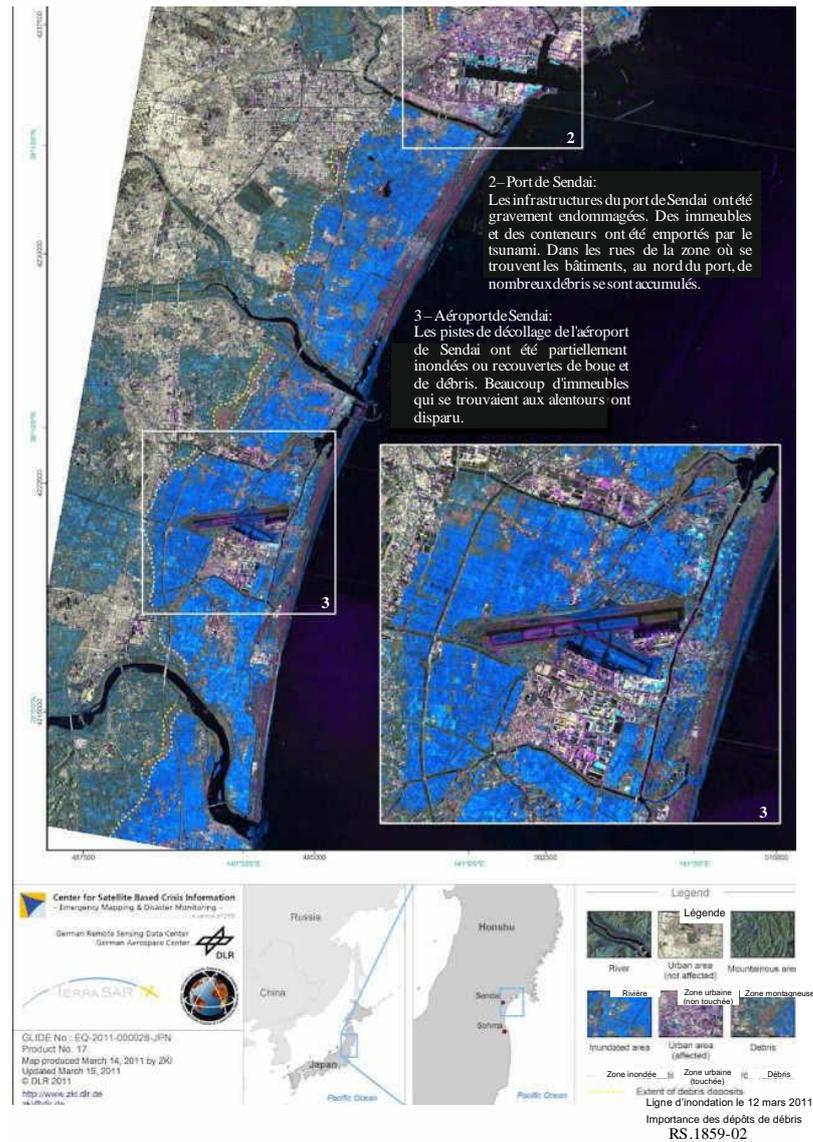
RS.1859-01

Les deux séries d'images de la Fig. 1 mettent en évidence l'intérêt de disposer de deux instruments différents. L'imagerie Landsat couvre des zones plus vastes et aide à recenser les zones touchées, tandis que l'imagerie QuickBird montre avec de plus de détails des zones beaucoup plus petites.

L'imagerie SAR peut fournir des indications très précises sur les zones inondées car la réflexion de la surface de l'eau vers l'arrière est pratiquement nulle pour des instruments SAR effectuant un balayage latéral. La Figure 2 en atteste: elle montre l'inondation qui a suivi le tsunami ayant frappé le Japon après un tremblement de terre sous-marin le 11 mars 2011.

FIGURE 2

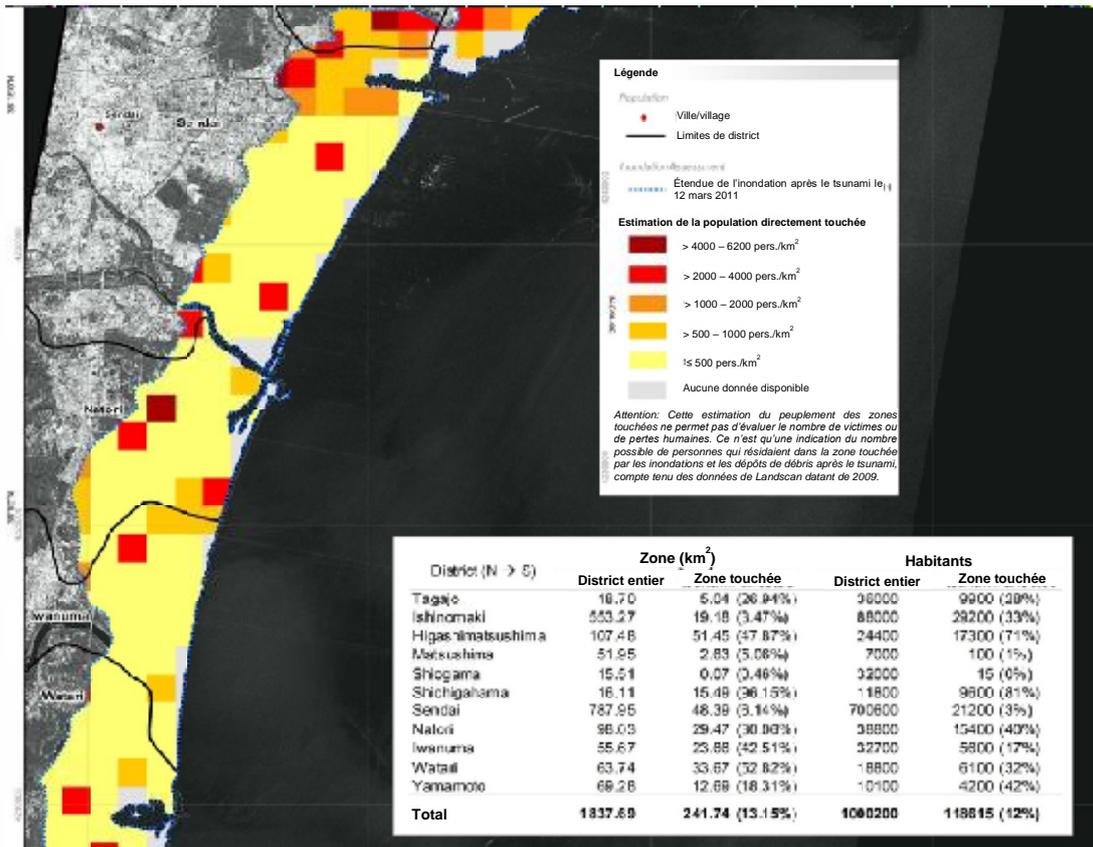
Zones inondées dans la région de Sendai, au Japon, après le tsunami du 11 mars 2011



Les zones inondées sont clairement indiquées en bleu. En associant ces informations à des données démographiques, on a pu cartographier les zones peuplées les plus touchées, comme l'illustre la Fig. 3.

FIGURE 3

Détermination de la densité de peuplement des zones à risque par l'analyse de données sur l'inondation et de données démographiques



DC 1859-0

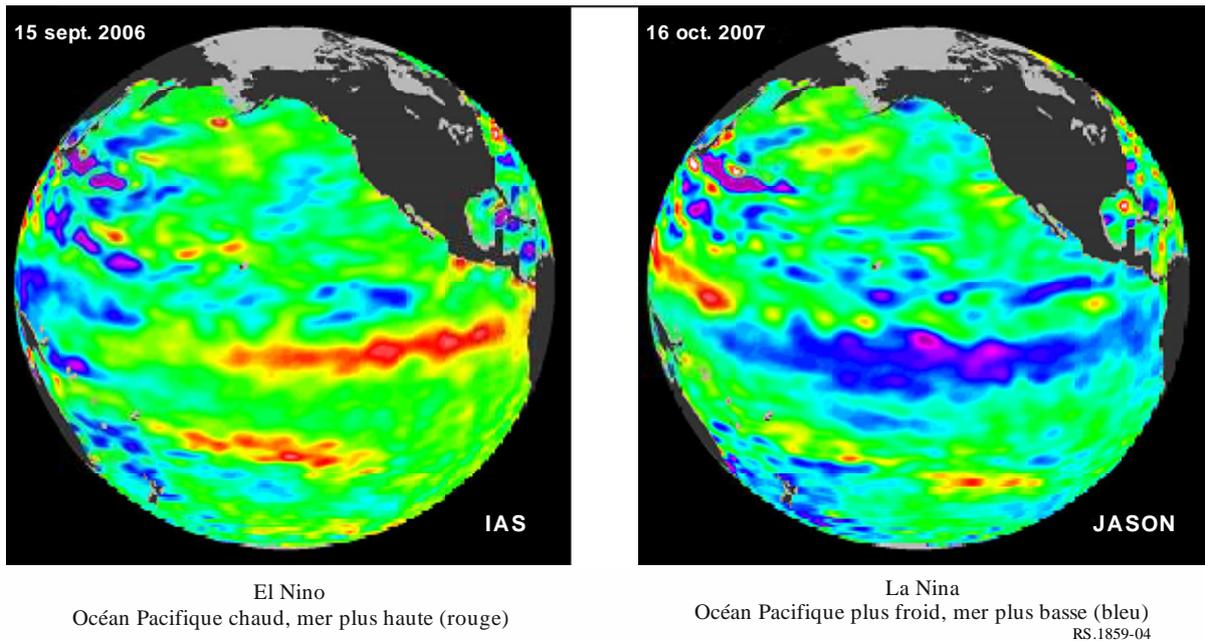
Les analyses de ce type permettent d'orienter les secours et d'améliorer leur efficacité.

3 Sécheresse

L'apparition et la progression de la sécheresse peuvent être observées depuis l'espace en notant l'humidité du sol, la pluviosité et le niveau des dommages subis par la végétation dans les zones touchées. On peut prévoir longtemps à l'avance des conditions de sécheresse dans une région en suivant l'évolution de la température de l'océan Pacifique, qui est un indicateur d'apparition du phénomène El Niño ou du phénomène inverse La Niña.

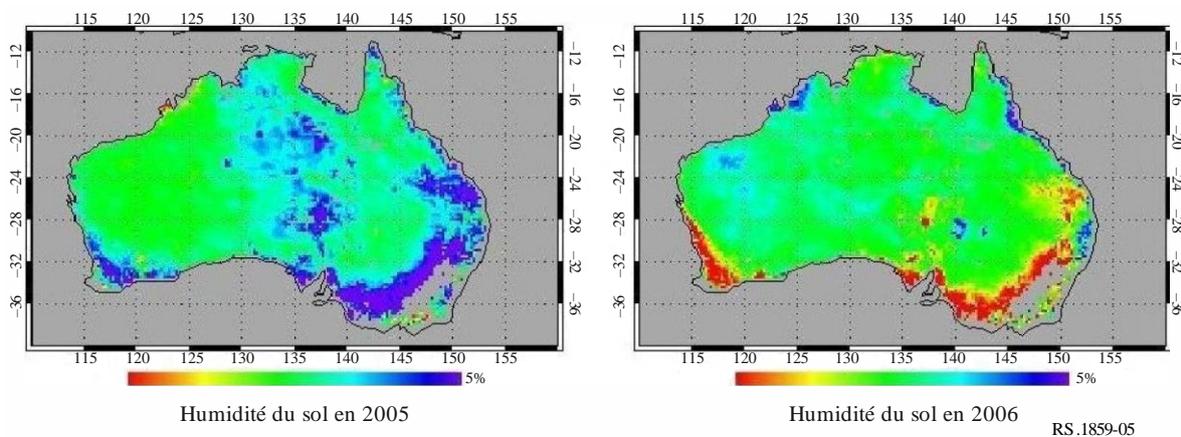
Pendant un épisode d'El Niño, la zone équatoriale orientale du Pacifique est plus chaude et le niveau de l'océan plus élevé du fait de la dilatation thermique. La sécheresse apparaît alors fréquemment en Australie et en Indonésie, et les alizés sont moins forts. Inversement, pendant un épisode de La Niña, la zone équatoriale orientale du Pacifique est plus froide et le niveau de l'océan plus bas du fait de la contraction thermique. Les côtes occidentales des Amériques subissent une sécheresse et les alizés sont plus forts. Les indicateurs permettant de prévoir l'apparition d'El Niño ou de La Niña sont notamment les vents zonaux, la température à la surface de l'océan et les anomalies de température, les anomalies de niveau de l'océan et le rayonnement sortant en ondes longues; tous ces éléments sont suivis par satellite. La télédétection par satellite des conditions dans le Pacifique permet de lancer des alertes plusieurs mois avant l'apparition d'El Niño ou de La Niña (voir Fig. 4).

FIGURE 4
Phénomènes El Niño et La Niña dans l'océan Pacifique



La Figure 5 montre une modification annuelle de la répartition de l'humidité du sol en Australie entre octobre 2005 et octobre 2006. Les données ont été recueillies par des canaux du radiomètre AMSR-E embarqué sur le satellite Aqua. La couleur rouge indique une faible humidité du sol, la couleur bleue une humidité plus élevée. Le pourcentage indiqué (en unités d'humidité du sol) correspond à la différence par rapport à l'humidité moyenne du sol calculée sur deux années (2005 et 2006). Une sécheresse s'est produite en 2006 dans le sud-est de l'Australie (zone de Granary). Cette situation est cohérente avec les observations d'El Niño présentées dans la Fig. 4.

FIGURE 5
Mesures de la sécheresse en Australie par le radiomètre AMSR-E entre octobre 2005 et octobre 2006



Selon l'UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'Enfance), à la fin mai 2008, des millions de personnes ont subi une famine dans la partie orientale de l'Éthiopie en raison de mauvaises récoltes et de l'augmentation rapide des prix qui en a découlé. Deux saisons successives de faibles pluies ont provoqué une sécheresse dans cette région, dont les conséquences sur la végétation sont illustrées dans la Fig. 6. Élaborée à partir de données recueillies par le satellite SPOT Vegetation entre le 11 et le 20 mai 2008, l'image des anomalies concernant la végétation permet de comparer la santé relative

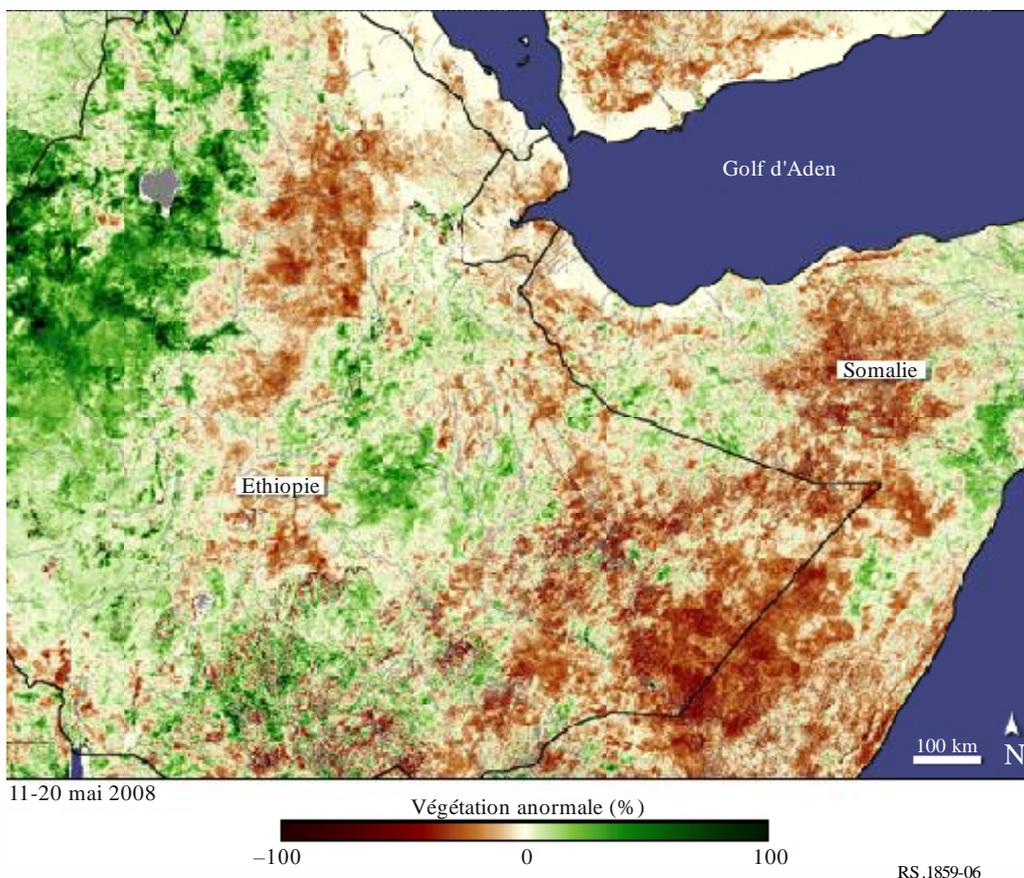
des végétaux dans des conditions moyennes. Les zones où les végétaux étaient plus petits et moins denses ou croissaient plus lentement que la moyenne sont représentées en marron, tandis que celles qui ont bénéficié de conditions supérieures à la moyenne sont représentées en vert.

Les systèmes de télédétection embarqués sur des satellites se sont révélés utiles pour établir une évaluation d'ensemble des conditions de sécheresse; ils ont même permis parfois de détecter des zones proches, mais non remarquées par le passé, dans lesquelles les cultures étaient très supérieures à la moyenne. Ces informations ont permis d'apporter une aide rapide et néanmoins peu coûteuse en réduisant au minimum le temps et les frais de transport (c'est-à-dire en utilisant des camions se trouvant à proximité au lieu d'avions se trouvant loin de la zone). La situation en Éthiopie présentait cette image de contrastes. Alors que la moitié orientale du pays souffrait de la sécheresse, les zones cultivées à l'ouest, qui avaient reçu beaucoup de pluie, étaient florissantes. Selon le Réseau des systèmes d'alerte précoce contre la famine¹, la sécheresse a limité à la fois la production de nourriture et les cultures commerciales telles que le café. L'UNICEF a estimé que 3,4 millions de personnes auraient besoin d'une aide alimentaire en juin, juillet et août si les récoltes continuaient à baisser.

FIGURE 6

État de la végétation pendant la sécheresse dont a souffert l'Éthiopie en 2008

Les zones en marron indiquent une végétation en souffrance, les zones en vert une végétation saine



4 Tremblements de Terre

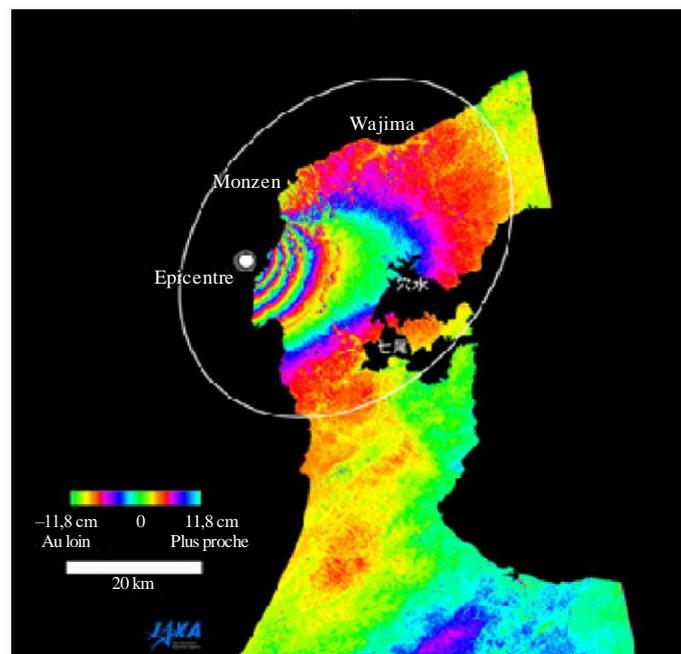
Après un important tremblement de terre, les secours peuvent être mobilisés d'autant plus rapidement que l'estimation des dommages est elle-même rapide. Les systèmes d'aide à la décision employés par

¹ <http://fews.net/fr>

les administrations et les ONG pour évaluer les dommages utilisent la densité de population, le type de constructions présentes dans la zone touchée, le terrain concerné (topographie et type de sols) et l'épicentre et la magnitude du tremblement de terre pour évaluer les dommages. Les sismographes, les mesures interférométriques SAR (InSAR) et les mesures *in situ* utilisant des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) permettent de déterminer le lieu et l'importance du phénomène pour estimer les dégâts. Les observations InSAR permettent de situer l'épicentre d'un tremblement de terre de manière bien plus précise que des sismographes éloignés; les dommages évalués sont ainsi plus précis et les secours sont par conséquent mieux définis. Grâce au lancement récent de flottes de satellites équipés de systèmes SAR (COSMO-SkyMed (ASI), TDX et TSX (DLR)), aux satellites de la mission Sentinel-1 de l'ESA et à la future constellation de satellites RADARSAT (CSA), ces évaluations s'effectuent de plus en plus rapidement.

FIGURE 7

Mesures par le radar PALSAR des modifications de la surface du sol avant et après un tremblement de terre dans la péninsule de Noto au Japon, le 25 mars 2007



RS.1859-07

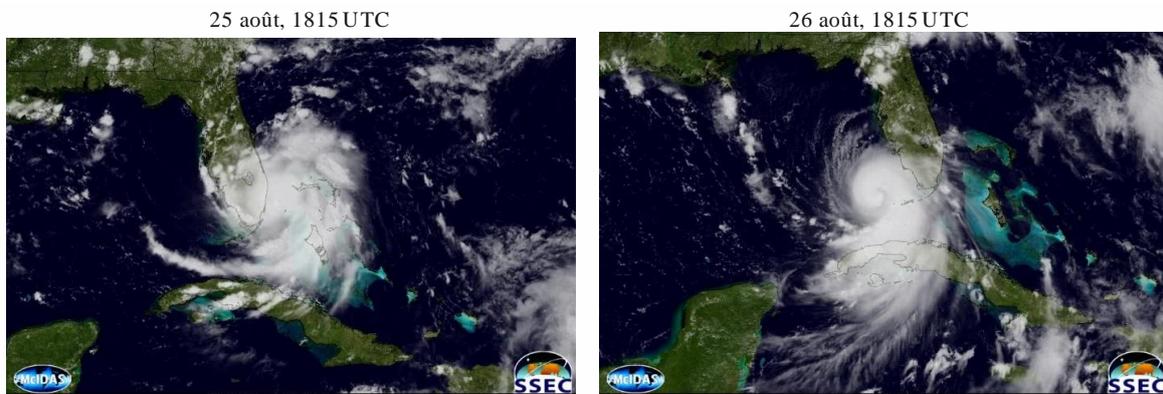
En général, les mouvements du sol liés aux tremblements de terre sont trop faibles pour être observés par les dispositifs d'imagerie des satellites fonctionnant dans le visible et l'infrarouge. Toutefois, l'imagerie reste très utile pour évaluer les dommages causés par les tremblements de terre et pour guider les secours.

5 Conditions météorologiques extrêmes

Actuellement, les satellites météorologiques opérationnels GOES, Meteosat, MetOp et POES couvrent la plus grande partie du globe. Ils sont soit en orbite géostationnaire, soit en orbite basse polaire. Les satellites géostationnaires tournent à 35 800 km d'altitude à la même vitesse que la Terre et semblent immobiles dans le ciel. Ils offrent une résolution temporelle supérieure avec des images disponibles toutes les 15 à 30 minutes (voir la Fig. 9) et permettent de surveiller la structure et l'étendue de la couverture nuageuse, ainsi que le déplacement général des phénomènes météorologiques extrêmes. Leurs données permettent de recenser les zones où les dommages se sont déjà produits et de prévoir la direction de déplacement des fortes perturbations. On peut suivre les tempêtes les plus importantes à mesure qu'elles traversent les océans et déterminer l'endroit où elles

vont atteindre la terre afin de prévenir les habitants plusieurs jours à l'avance. Les Figures 8A à 8C montrent le déplacement jour par jour de l'ouragan Katrina, y compris le jour où il a touché la ville de la Nouvelle-Orléans, le 29 août 2005. Ce n'était qu'une tempête tropicale au-dessus des Bahamas le 24 août, puis il a traversé la péninsule de la Floride les 25 et 26 août et a pris de la puissance au-dessus des eaux chaudes du Golfe du Mexique les 26 et 27 août.

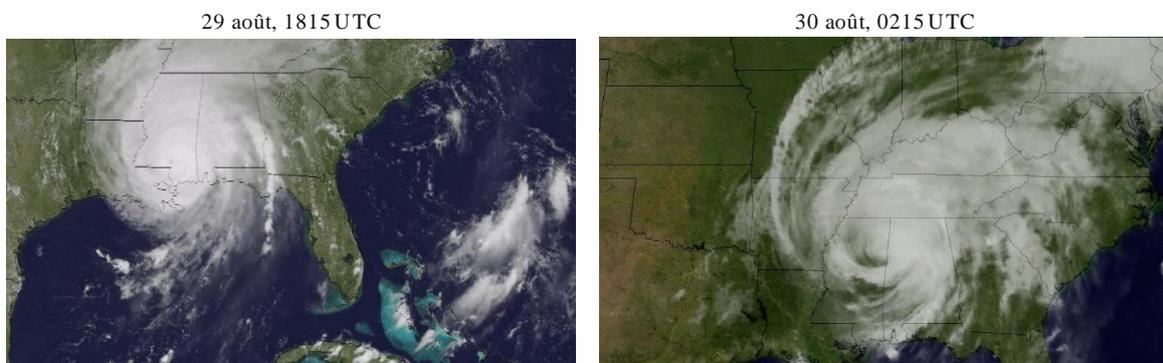
FIGURE 8
L'ouragan Katrina



A - L'ouragan Katrina quitte les Bahamas et traverse la Floride



B - Il traverse le Golfe du Mexique



C - Il se dirige vers l'intérieur des terres où il se dissipe

RS.1859-08

L'œil de l'ouragan était pleinement formé le 28 août.

L'ouragan Katrina a frappé la Nouvelle-Orléans le 29 août 2005 et a provoqué de terribles destructions.

Il s'est dissipé après avoir traversé des terres sèches et s'est réduit à une tempête tropicale, puis à une dépression tropicale le 30 août.

Les satellites en orbite polaire sont à des altitudes beaucoup plus basses que les satellites géostationnaires et survolent généralement une même zone deux fois par jour, une fois de jour et une fois de nuit. Ils fournissent des informations plus détaillées, mais pas nécessairement au bon moment. Beaucoup de ces données peuvent être obtenues sur l'Internet quelques jours après avoir été recueillies et traitées. Lorsqu'il est nécessaire de disposer immédiatement d'informations météorologiques locales, on peut acheter et installer des stations terriennes relativement peu coûteuses pour recueillir en temps réel des informations émises en permanence par des satellites en orbite polaire passant au-dessus de ces stations.

La Figure 9 est une image de l'ouragan Dean observé par un satellite géostationnaire d'exploitation pour l'étude de l'environnement (GOES) à une altitude géosynchrone.

Il est possible de se procurer des observations météorologiques plus détaillées au moyen de diffusiomètres radar, qui mesurent la vitesse et la direction du vent à la surface de la mer. La Figure 10 montre ce type de mesures effectuées en 2007 par le satellite QuikScat pour l'ouragan Dean. QuikSat était un engin spatial en orbite terrestre basse et ne pouvait pas assurer de couverture continue, contrairement au satellite GOES en orbite géosynchrone. Les diffusiomètres radar ne peuvent malheureusement pas fonctionner en orbite géosynchrone. Néanmoins, des diffusiomètres tels que QuikScat et RapidScat (qui l'a remplacé par la suite) sont embarqués sur la station spatiale internationale et peuvent fournir des informations complémentaires très utiles pour les prévisions météorologiques.

La combinaison des données fournies par ces satellites et d'autres engins spatiaux aide à mieux comprendre la nature de chaque ouragan et à prévoir le lieu, la date et la puissance des ouragans à courte échéance.

FIGURE 9

L'ouragan Dean observé par un satellite GOES en altitude géosynchrone

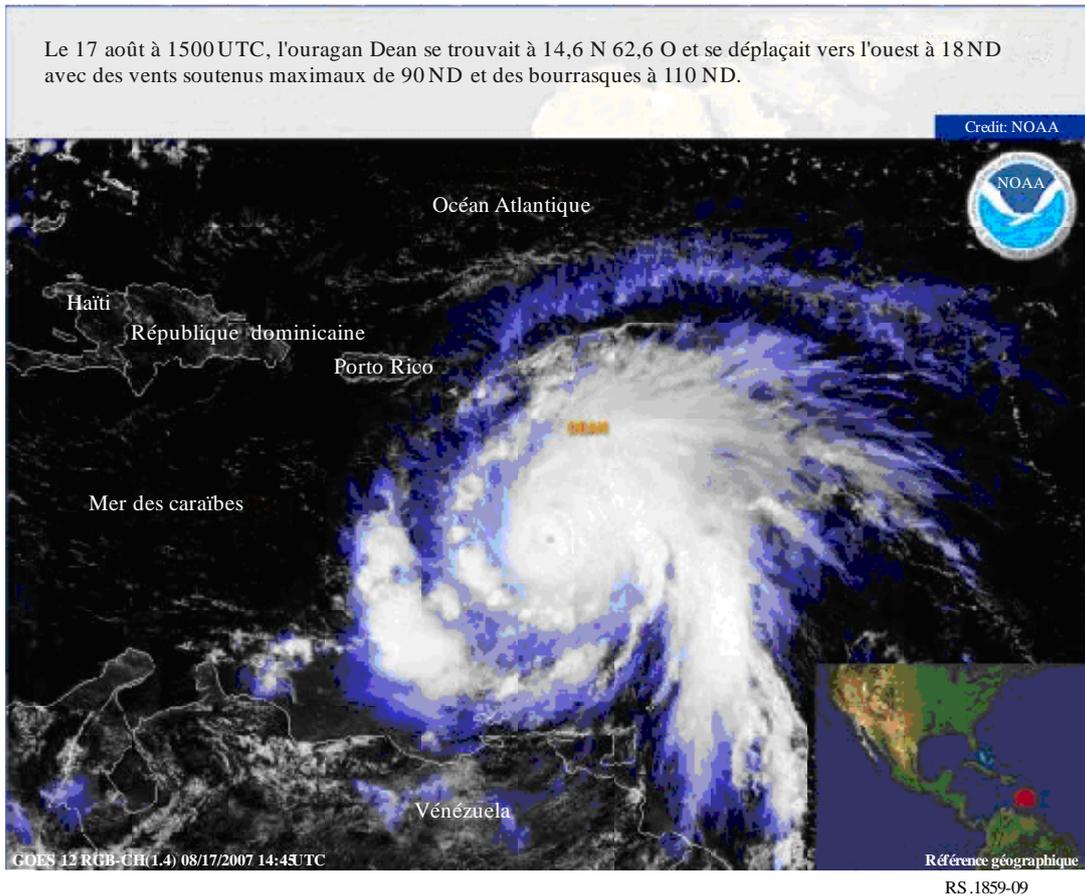
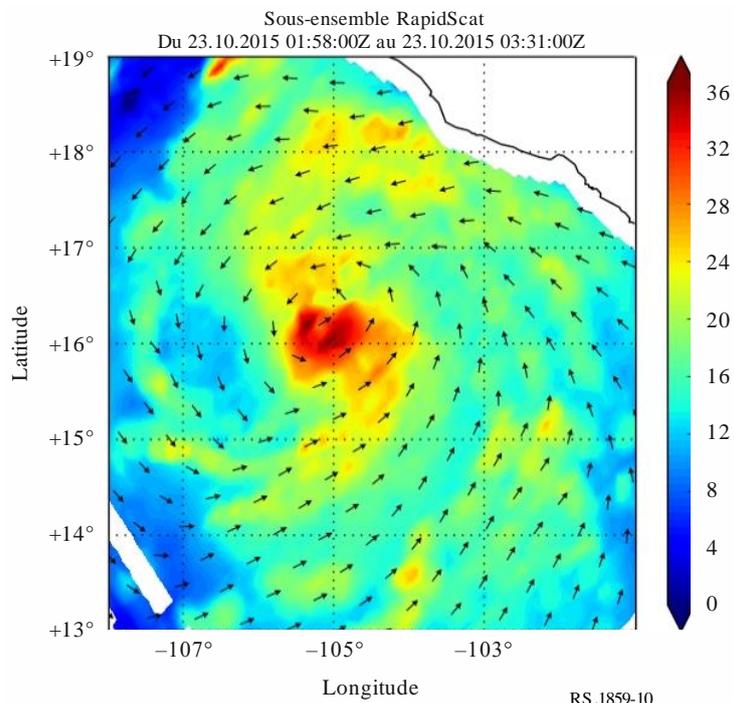


FIGURE 10

Observation par le satellite RapidScat de l'ouragan Patricia le 23 octobre 2015

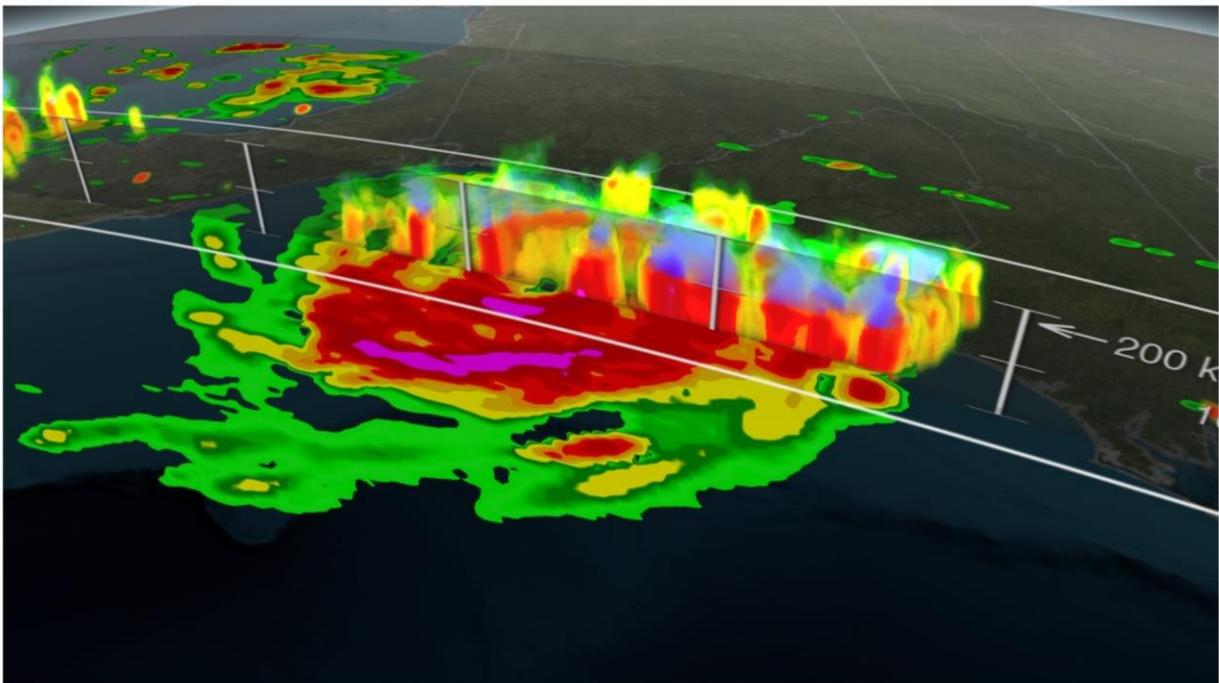


Les radars embarqués sur satellite pour la mission GPM (mesures des précipitations à l'échelle mondiale) fournissent des images en trois dimensions des précipitations en cas de tempête. Des instruments passifs sont également employés pour cette mission et fournissent des informations complémentaires sur les tempêtes au-delà du couloir couvert par le radar.

La Figure 11 montre l'ouragan Arthur observé par l'imageur en hyperfréquence de la mission GPM (couloir de 680 km) et les doubles radars mesurant les précipitations (couloirs de 120 km de large dans la bande Ka et de 245 km de large dans la bande Ku). Les observations ont été effectuées le 3 juillet 2014 au large de la côte de la Caroline du Sud. Les couleurs allant du vert clair au rouge indiquent des zones où les précipitations liquides sont faibles à élevées. Les zones en violet dans la haute atmosphère révèlent des précipitations gelées.

FIGURE 11

Observations de l'ouragan Arthur par les instruments de la mission GPM le 3 juillet 2014



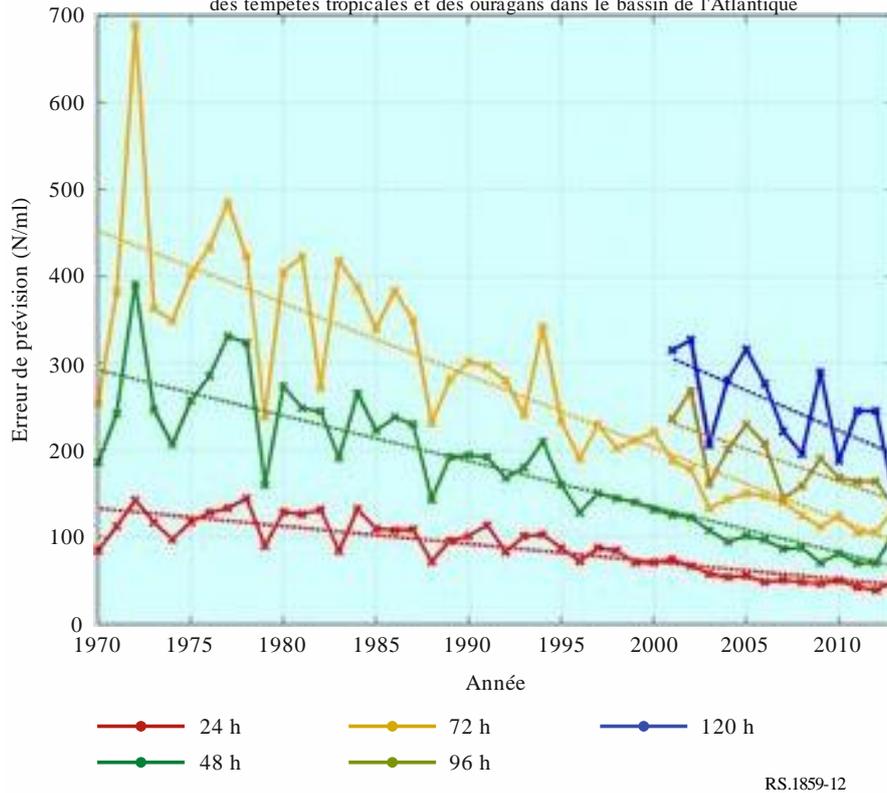
RS.1859-11

La combinaison des données fournies par ces satellites et d'autres engins spatiaux aide à mieux comprendre la nature de chaque ouragan et à prévoir le lieu, la date et la puissance des ouragans à courte échéance. Les erreurs de prévision du trajet des ouragans au-dessus de l'Atlantique se sont considérablement réduites au cours des 35 dernières années (voir la Fig. 12); ces prévisions ont permis de sauver des vies et d'éviter des dommages matériels.

FIGURE 12

Tendance des erreurs dans les prévisions de trajet dans le bassin Atlantique

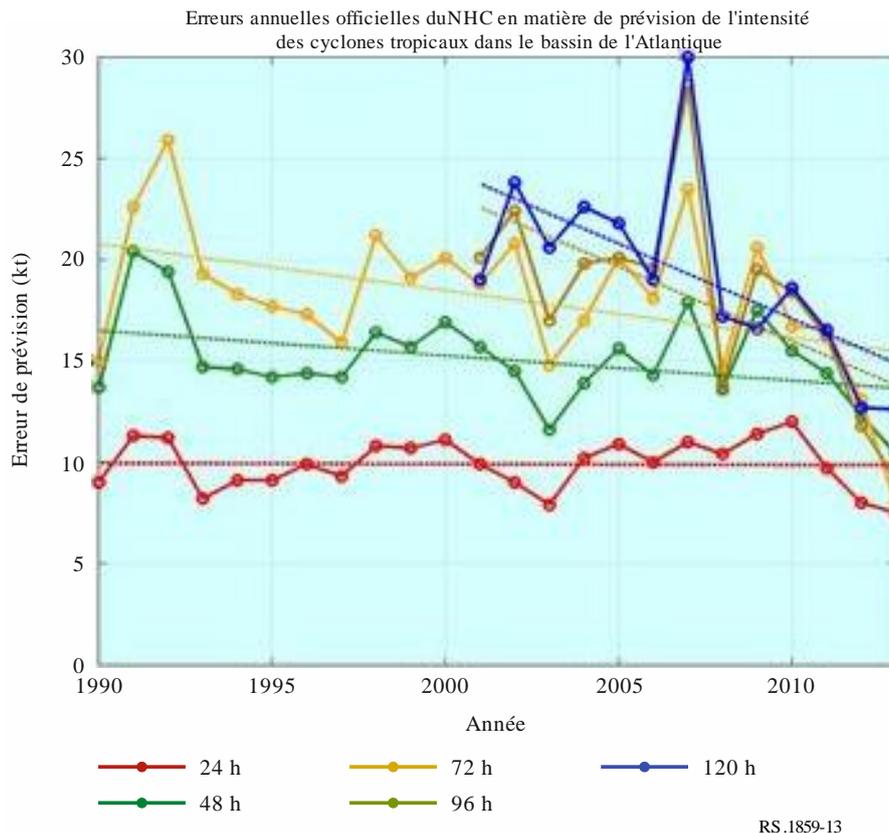
Erreurs annuelles moyennes officielles duNHC en matière de prévision du trajet des tempêtes tropicales et des ouragans dans le bassin de l'Atlantique



RS.1859-12

En revanche, la capacité de prévoir l'intensité de ces tempêtes en s'appuyant sur la vitesse du vent n'a malheureusement pas progressé de manière comparable (voir la Fig. 13).

FIGURE 13

Tendance des erreurs dans les prévisions d'intensité dans le bassin Atlantique

Les centres de prévision météorologique modernes fournissent des prévisions de meilleure qualité que par le passé et constituent une autre source de données extrêmement utiles. Voici une liste non exhaustive de ces centres:

- 1 Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (<http://www.ecmwf.int/>)
- 2 Service météorologique italien (<http://www.meteoam.it/>)
- 3 National Center for Environmental Prediction (<http://www.ncep.noaa.gov/>)

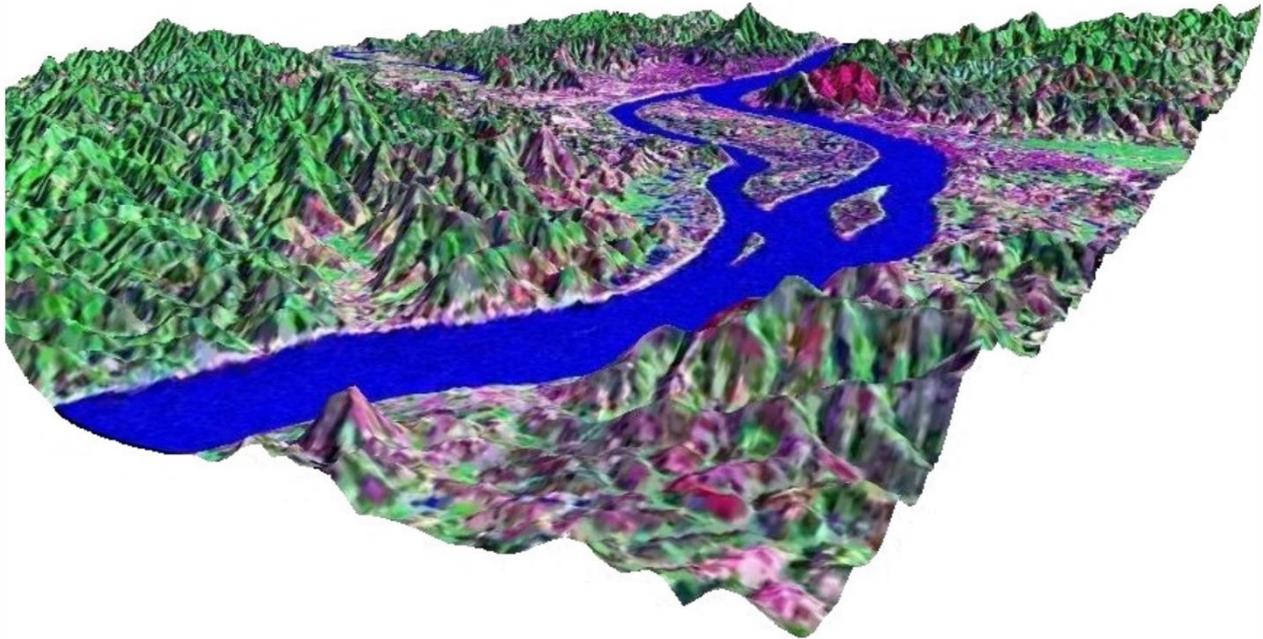
L'Organisation météorologique mondiale (OMM, <https://public.wmo.int/fr>) coordonne la diffusion, la mise en forme et l'organisation de ces données dans le monde.

6 Inondations

À l'aide de modèles numériques d'altitude (DEM) établis à partir de données fournies par les satellites, il est possible d'identifier les zones inondables (zones à risque) bien avant l'apparition d'une inondation. Ces données DEM permettent de cartographier les zones de basse terre. Les cartes terrestres aident à quantifier le risque en recensant les zones peuplées. On peut ensuite concentrer les efforts sur le recensement des infrastructures (route, ponts, communications, etc.) nécessaires pour dépêcher l'aide lorsque se produit une inondation (voir la Fig. 14) et planifier les stratégies d'évacuation appropriées.

FIGURE 14

Image Landsat, aux environs de l'an 2000, superposée à un modèle DEM STRM² de la ville de Wuzhou, dans la province de Guangxi en Chine (les zones peuplées sont indiquées en rouge-pourpre)



RS.1859-14

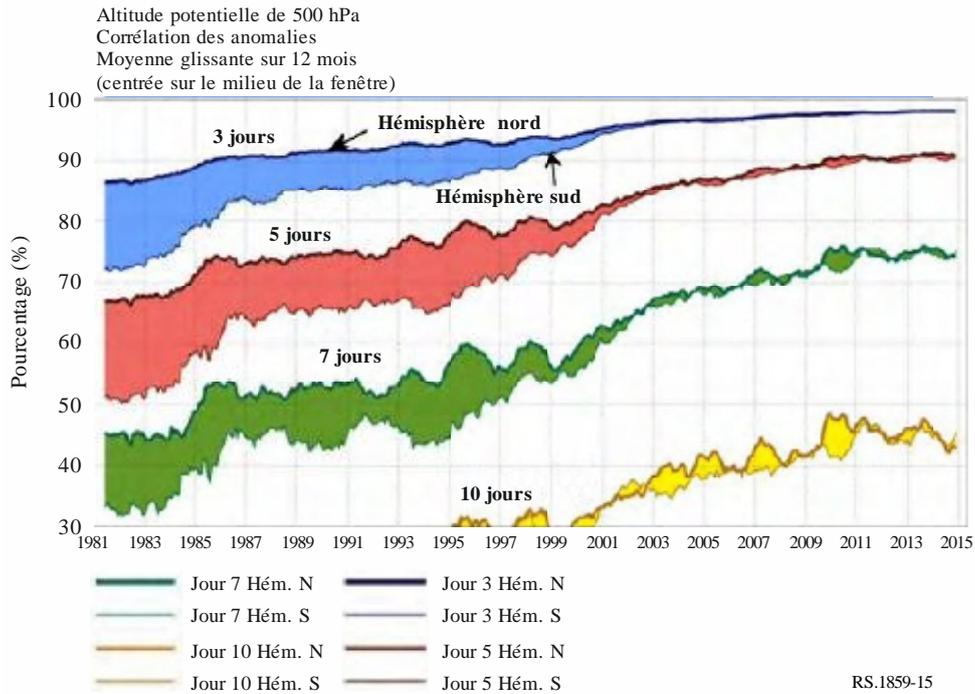
La surveillance météorologique et les prévisions météorologiques peuvent permettre de déclencher des alertes lorsqu'une inondation est possible ou imminente. Les données employées sont notamment les précipitations surfaciques, l'équivalent en eau des chutes de neige et l'humidité du sol; leur combinaison permet de savoir si le sol peut absorber plus de pluie ou s'il est saturé. Le fait d'envoyer une alerte crédible à l'avance peut faciliter le déplacement des populations quittant la zone inondable. Fort heureusement, les prévisions météorologiques à moyen terme (3 à 10 jours) se sont considérablement améliorées ces dernières décennies.

Cette amélioration est due pour l'essentiel à la progression des modèles de prévision météorologique, au fait que les ordinateurs employés pour établir ces modèles sont plus rapides, et au fait que les logiciels s'appuient sur des données de plus en plus complètes et de meilleure qualité. L'un des grands facteurs de progression tient aussi aux télédéTECTEURS embarqués sur les satellites, qui permettent d'établir des profils de température et d'humidité de l'atmosphère. Si des profils de ce type étaient déjà établis par le passé à partir de données recueillies par des radiosondes envoyées par ballon deux fois par jour dans le monde entier, la couverture de l'hémisphère sud et des océans n'était pas aussi bonne que celle des zones plus peuplées de l'hémisphère nord. L'amélioration des prévisions due à l'emploi de télédéTECTEURS embarqués sur des satellites est illustrée dans la Fig. 15:

² Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, mission de topographie radar effectuée par la navette spatiale), <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc> .

FIGURE 15

Capacité annuelle moyenne de prévision météorologique à moyen terme pour le centre de l'Europe

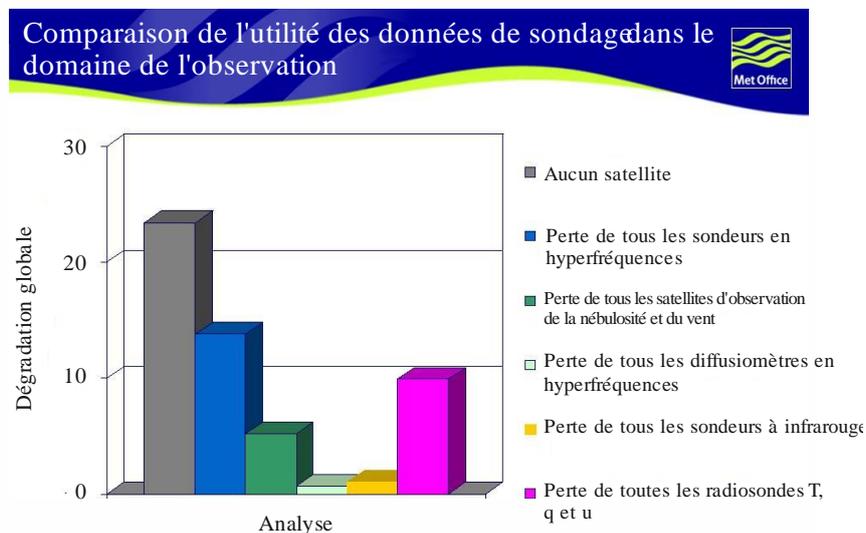


L'amélioration de la capacité de prévoir le temps et de l'utilité de ces prévisions est surtout due aux données sur le profil de température et d'humidité de l'atmosphère qui sont transmises par les instruments fonctionnant en hyperfréquence dans les bandes protégées par le N° 5.340 du Règlement des radiocommunications.

Les données de ces profils sont les plus importantes de toutes les informations provenant de satellites et de ballons en raison de la précision qu'elles permettent d'atteindre dans le domaine des prévisions météorologiques (voir la Fig. 16).

FIGURE 16

Comparaison de la valeur des données de sondage



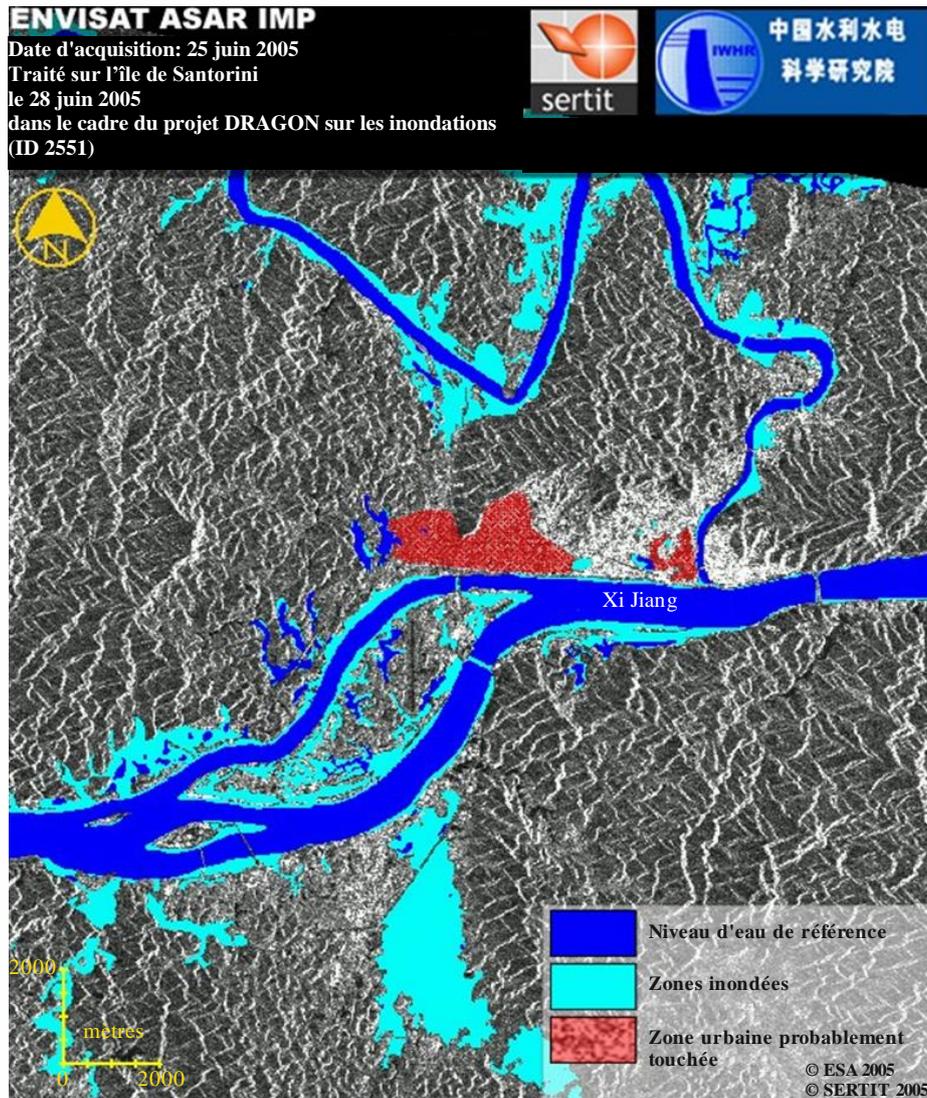
Si les sondeurs à infrarouge et les radiosondes fournissent des mesures plus précises, la capacité des sondeurs en hyperfréquence embarqués sur des satellites de fonctionner quelle que soit la couverture nuageuse (qui obscurcit généralement 60% de la Terre et bloque les observations en infrarouge) et de fournir des données sur l'ensemble de la planète deux fois par jour (contrairement aux radiosondes, dont la couverture n'est pas uniforme) est bien plus précieuse pour les prévisionnistes.

Lorsqu'on achète un pain, on pense rarement à un champ de blé ou à un épi; ils sont pourtant nécessaires à la fabrication du pain. De même, lorsqu'on lit ou qu'on écoute des prévisions météorologiques, on ne pense pas aux données ayant permis de les établir. Sans les profils de température et d'humidité de l'atmosphère fournis par les satellites, il n'y aurait pas de prévisions météorologiques modernes. Le grand public n'a pas conscience du fait que les bandes de fréquences passives employées pour produire les données servant aux prévisions météorologiques sont essentielles et doivent être protégées.

Pendant une inondation, les images fournies par les imageurs multispectraux ou panchromatiques et les radars SAR peuvent aider à orienter les équipes de secours vers les zones touchées et à faciliter l'évaluation des dommages. Avant une inondation, on peut combiner des images SAR pour établir des cartes altimétriques permettant de mieux recenser les zones vulnérables. La capacité des radars SAR à traverser la couverture nuageuse et à fournir des données de jour comme de nuit, quelle que soit la météorologie, est particulièrement utile pendant une tempête provoquant des inondations ou pendant la saison des pluies. Comme les radars SAR effectuent des observations latérales et que la rétrodiffusion hors axe de l'eau est minimale, il est plus facile de détecter des zones inondées sur des images SAR que sur des images optiques. La Figure 17 montre comment les radars SAR contribuent au recensement de zones inondées.

FIGURE 17

Inondation provoquée par la rivière Xi et touchant la ville de Wuzhou dans la province de Guangxi
 Les données de référence proviennent de Landsat et les données d'inondation du radar
 ASAR embarqué sur le satellite Envisat



RS.1859-17

7 Glissements de terrain, effondrements et avalanches

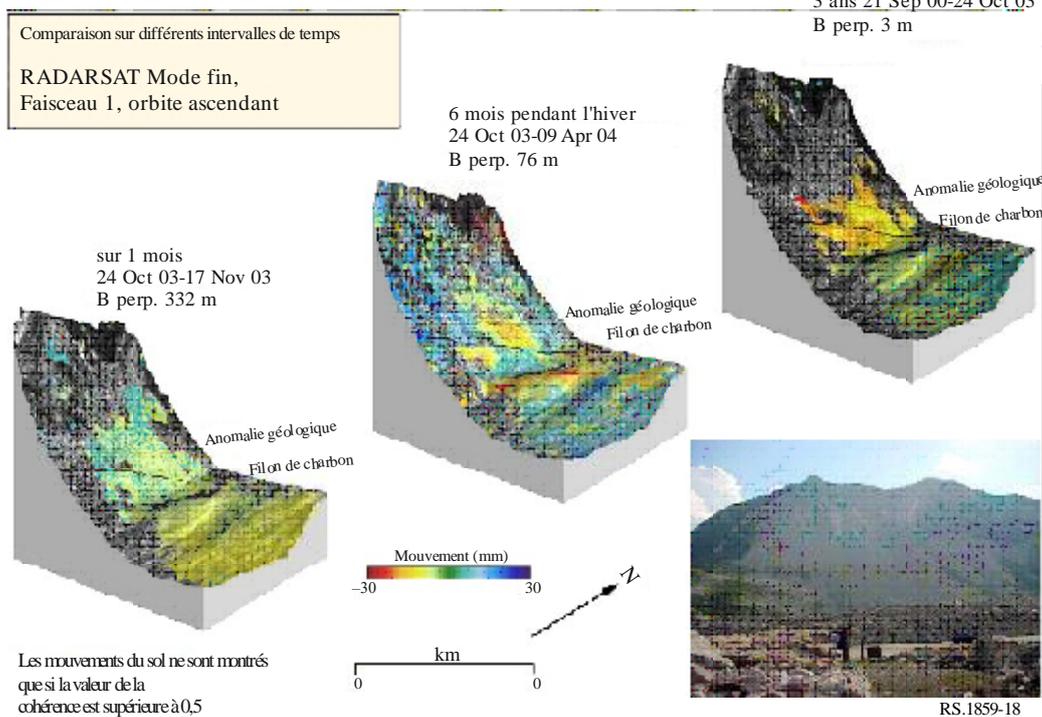
On peut détecter les zones vulnérables aux glissements de terrain en établissant des cartes altimétriques numériques à partir de mesures de radars SAR. Dans ce cas, on s'appuie sur les pentes plutôt que sur les altitudes. Lorsqu'on pense avoir repéré un mouvement de terrain discret, on effectue des mesures InSAR et on déploie des équipements GNSS sur site pour déterminer avec précision à quel endroit et sur quelle distance le terrain a bougé par rapport à de précédentes mesures.

Après le plus grand glissement de terrain de l'histoire de l'Amérique du Nord à Turtle Mountain, au Canada, l'endroit reste encore dangereux. Les mouvements de terrain, illustrés dans la Fig. 18, sont surveillés par le satellite canadien RADARSAT-1 avec des instruments InSAR.

FIGURE 18

Observation des mouvements de terrain par le radar Insar du satellite RADARSAT-1 entre 2000 et 2004

Glissement de terrain touchant la ville de Franck,
sur l'autoroute transcanadienne de l'Alberta
Surveillance de la stabilité des pentes par interférométrie SAR



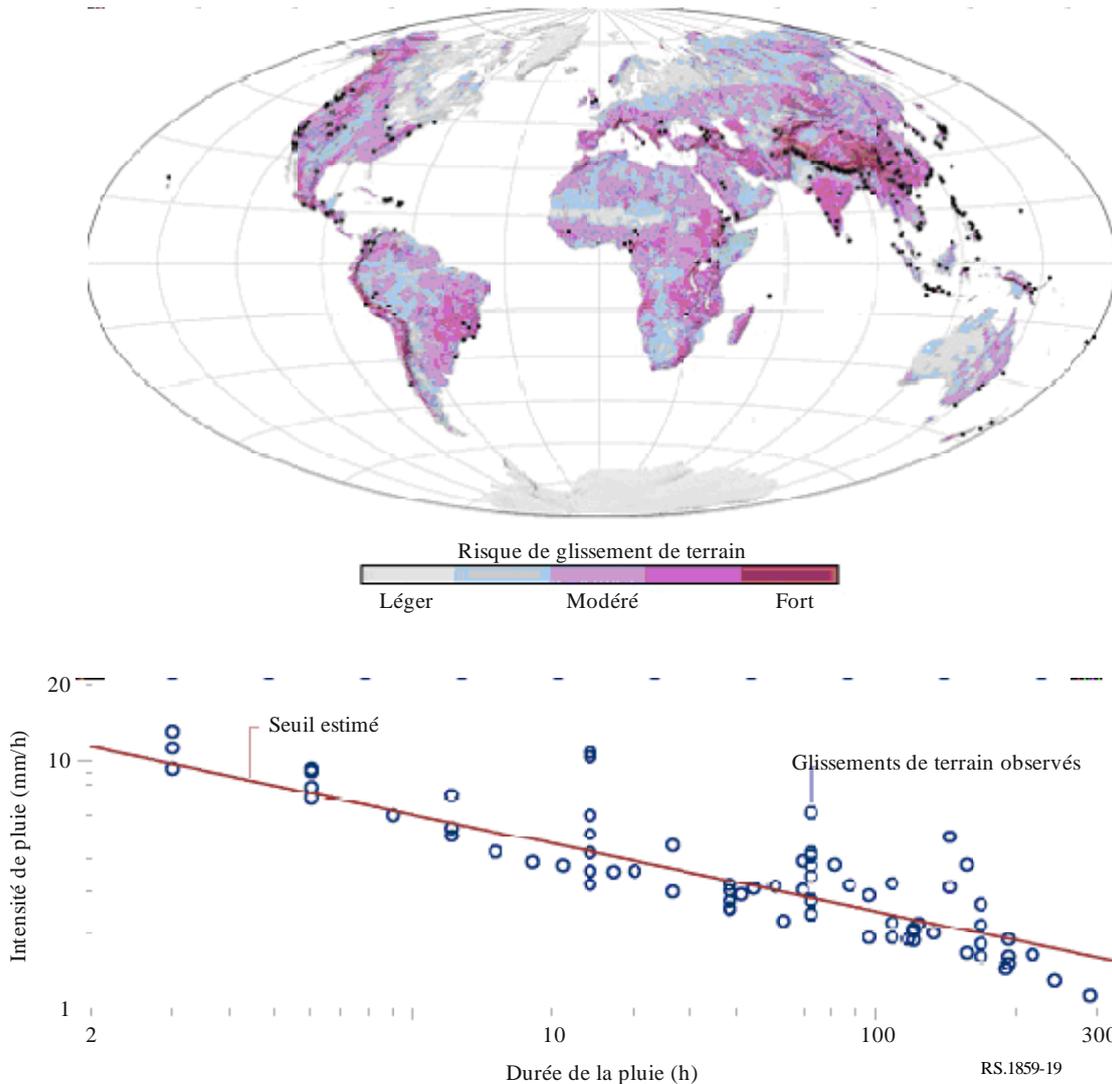
Les modifications de la couverture terrestre ou de l'utilisation des terres peuvent augmenter le risque de glissement de terrain. Ainsi, une zone intensément exploitée (déforestation) est beaucoup plus susceptible de subir des glissements de terrain qu'une zone ayant un écosystème stabilisant le sol. Les cartes d'utilisation du sol facilitent la quantification du risque car elles permettent de recenser les zones peuplées éventuellement vulnérables. On peut surveiller depuis l'espace la couverture terrestre et l'utilisation du sol, ainsi que les modifications détectées, pour faciliter la surveillance des risques.

Lorsque le sol des versants se sature d'eau pendant de très fortes pluies, il présente un risque important de glissement. On peut donc s'appuyer sur les prévisions de très fortes pluies et sur les données d'humidité du sol avant les pluies pour lancer une alerte si un glissement de terrain devient possible. Ces informations sont disponibles sur le site Internet du Global Flood Monitoring System (<http://flood.umd.edu>).

Les données fournies par les satellites peuvent être utilisées pour cartographier les risques de glissement de terrain. Les données présentées dans la Fig. 19 ont été établies à partir du modèle STRM, des informations MODIS de couverture et d'utilisation du sol, et de la pluviométrie relevée dans le cadre de la mission TRMM.

FIGURE 19

Carte des risques de glissement de terrain établie à partir de données satellitaires.
Les points en noir indiquent les glissements de terrain signalés entre 2003 et 2006



Après un glissement de terrain, l'imagerie InSAR peut fournir une cartographie précise des mouvements de terrain (effondrements) en comparant l'imagerie SAR du sol nu avant et après le glissement. D'autres imageries peuvent montrer les conséquences sur la végétation et d'autres caractéristiques de la surface dans les zones touchées.

Un tremblement de terre de magnitude 7,6 a par exemple touché le Pakistan le 8 octobre 2005; la plupart des dommages ont été causés dans la région voisine de la ville de Muzaffarabad, à 10 km environ au sud-ouest de l'épicentre. Le tremblement de terre a provoqué l'effondrement de bâtiments et des glissements de terrain dans tout le Cachemire. Le satellite Ikonos a saisi l'image d'un glissement de terrain (Fig. 20, à droite) survenu le 9 octobre 2005 à Makhri, un village situé dans la périphérie nord de Muzaffarabad. La face ouest de la montagne s'est effondrée, envoyant une cascade de rochers blancs-gris dans la rivière Neelum.

FIGURE 20

Imagerie satellite montrant les conséquences d'un glissement de terrain sur la rivière Neelum, au Pakistan, après un tremblement de terre le 8 octobre 2005



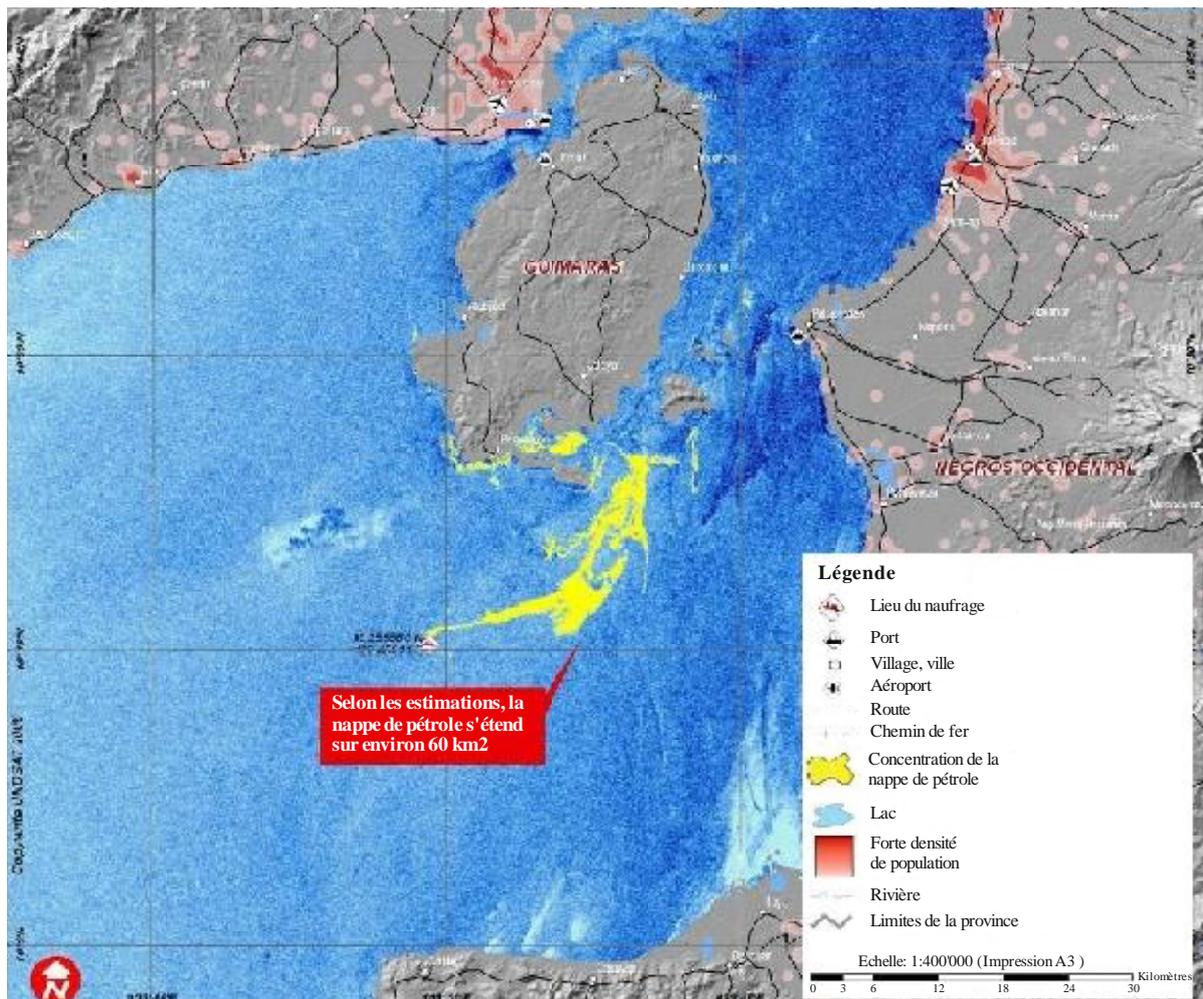
8 Pollution océanique

Les marées noires qui se produisent dans l'océan peuvent être détectées par imagerie SAR. Sur le plan opérationnel, ces nappes peuvent être détectées dans le cadre d'observations préliminaires, puis être immédiatement confirmées par des mesures effectuées par des navires sur site. Cette méthode permet de surveiller de vastes zones à moindre coût. Après confirmation sur site, la zone touchée peut être observée et suivie par satellite.

Le 11 août 2006, le pétrolier Solar a coulé au large de l'île de Guimaras aux Philippines. Le 24 août 2006, près de 190 000 litres de pétrole se sont déversés dans la mer, polluant plus de 300 km de côtes et menaçant la pêche ainsi que d'autres îles des Philippines. On a employé le radar SAR à bord du satellite ENVISAT pour obtenir l'image présentée dans la Fig. 21. Celle-ci montre l'emplacement exact et l'étendue de la nappe de pétrole à la date du 24 août 2006.

FIGURE 21

Nappe de pétrole près de l'île de Guimaras aux Philippines (image obtenue par radar SAR)

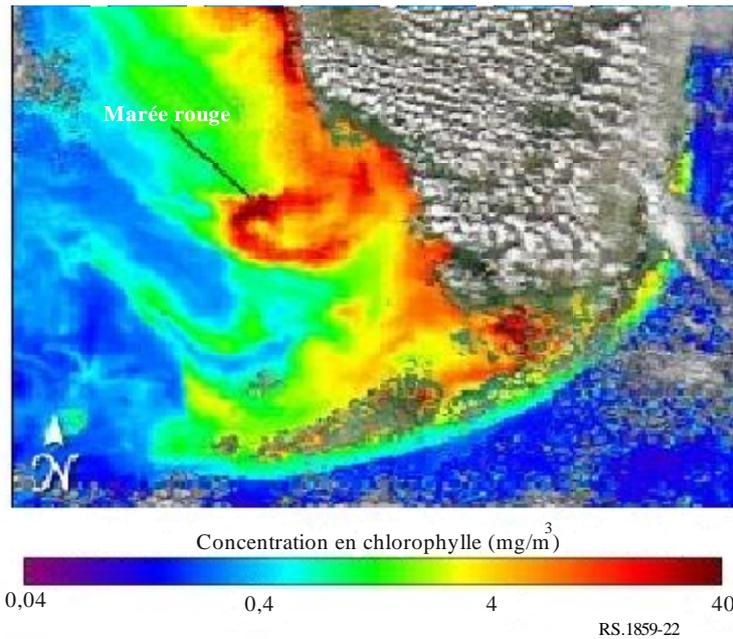


RS.1859-21

La pollution océanique naturelle, qui prend la forme d'une «marée rouge» (nom couramment employé pour désigner une prolifération d'algues associée à la production de toxines naturelles, la baisse de la teneur en oxygène dissout et d'autres conditions néfastes) peut être détectée et surveillée depuis l'espace en observant la couleur des océans. Les zones touchées par une marée rouge sont détectées et mises en quarantaine pour protéger la santé humaine. D'autres formes de pollution (par exemple des polluants de l'eau ou des sédiments littoraux) peuvent être détectées sur des images prises par des satellites dans le spectre visible ou l'infrarouge (voir la Fig. 22).

FIGURE 22

Marée rouge observée par l'instrument SeaWiFS le 21 novembre 2004 en Floride, à la pointe sud-est des États-Unis

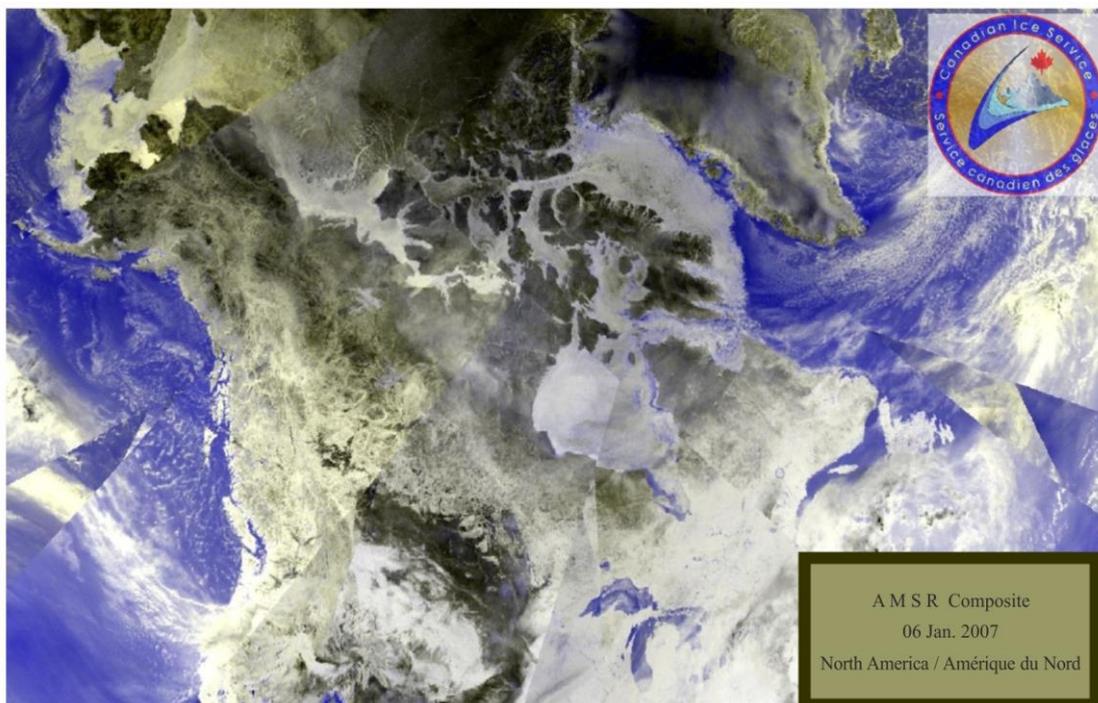


9 Glaces marines ou lacustres

Les capteurs passifs en hyperfréquence embarqués sur des satellites permettent de cartographier l'étendue des glaces marines depuis plusieurs décennies (Fig. 23); dans la pratique, on emploie des radars SAR pour guider de la navigation (Fig. 24) dans l'Arctique et sur des lacs situés à des latitudes élevées afin de prolonger la saison navigable à ces latitudes.

FIGURE 23

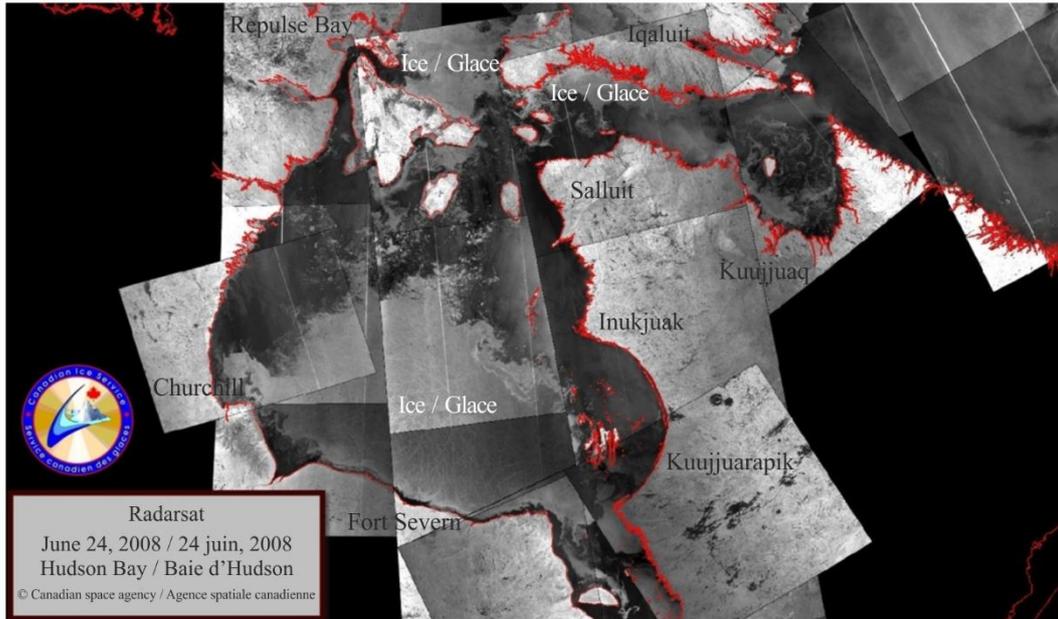
Couche de glace en Amérique du Nord en janvier 2007 (Baie d'Hudson bloquée)



RS.1859-23

FIGURE 24

Glace dans la Baie d'Hudson (Canada) en juin 2008 (navigation ouverte le long de la côte orientale)



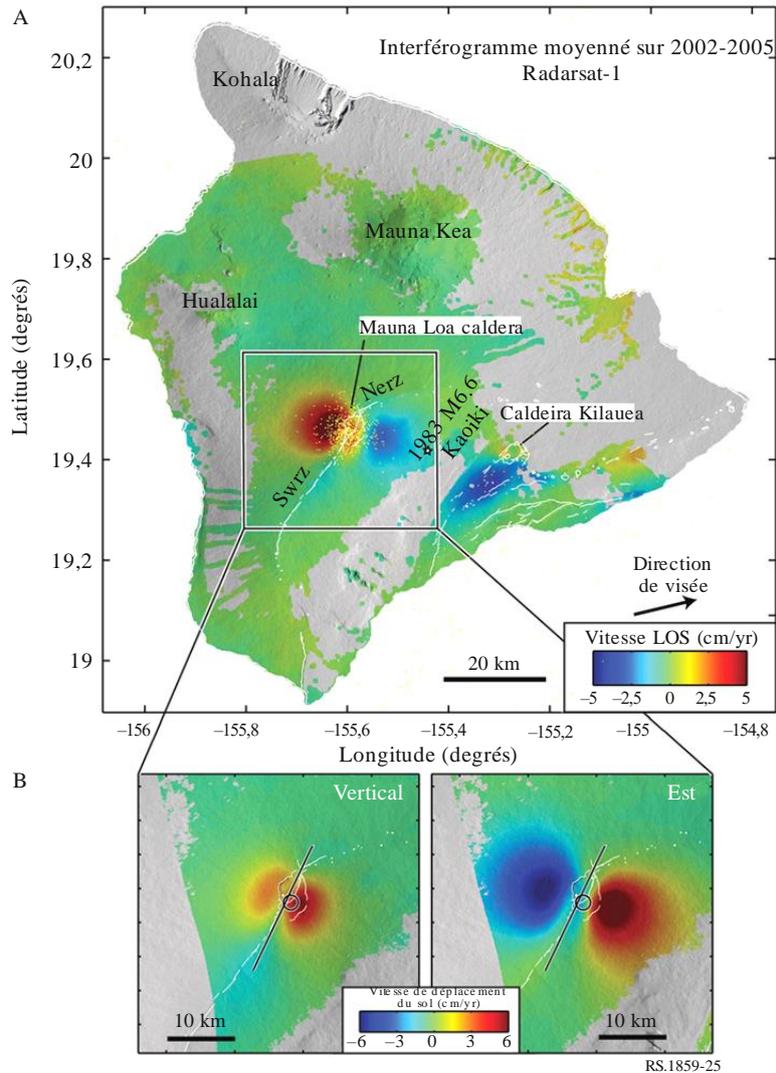
RS.1859-24

10 Volcans

Étant donné que l'activité volcanique est souvent précédée d'un gonflement ou un soulèvement du sol dans la zone proche, il est possible de surveiller l'activité volcanique potentielle, dans une certaine mesure, en cartographiant ces mouvements du sol. Des instruments GNSS *in situ* peuvent assurer une surveillance locale, tandis que les observations InSAR effectuées depuis une orbite polaire peuvent fournir des mesures plus tardives mais pour des zones reculées où il est difficile de déployer des instruments GNSS. Une image InSAR du volcan Mona Loa à Hawaï (Fig. 25) montre l'évolution de la surface à long terme, révélant un gonflement typique d'une activité volcanique souterraine. On sait que les volcans Mauna Loa et Kilauea sont tous deux actifs. Un observatoire astronomique se trouve au sommet du volcan Mauna Kea, qui a eu peu d'activité récemment. La détection de mouvements discrets du sol peut permettre de prévoir des dangers volcaniques latents n'importe où dans le monde.

FIGURE 25

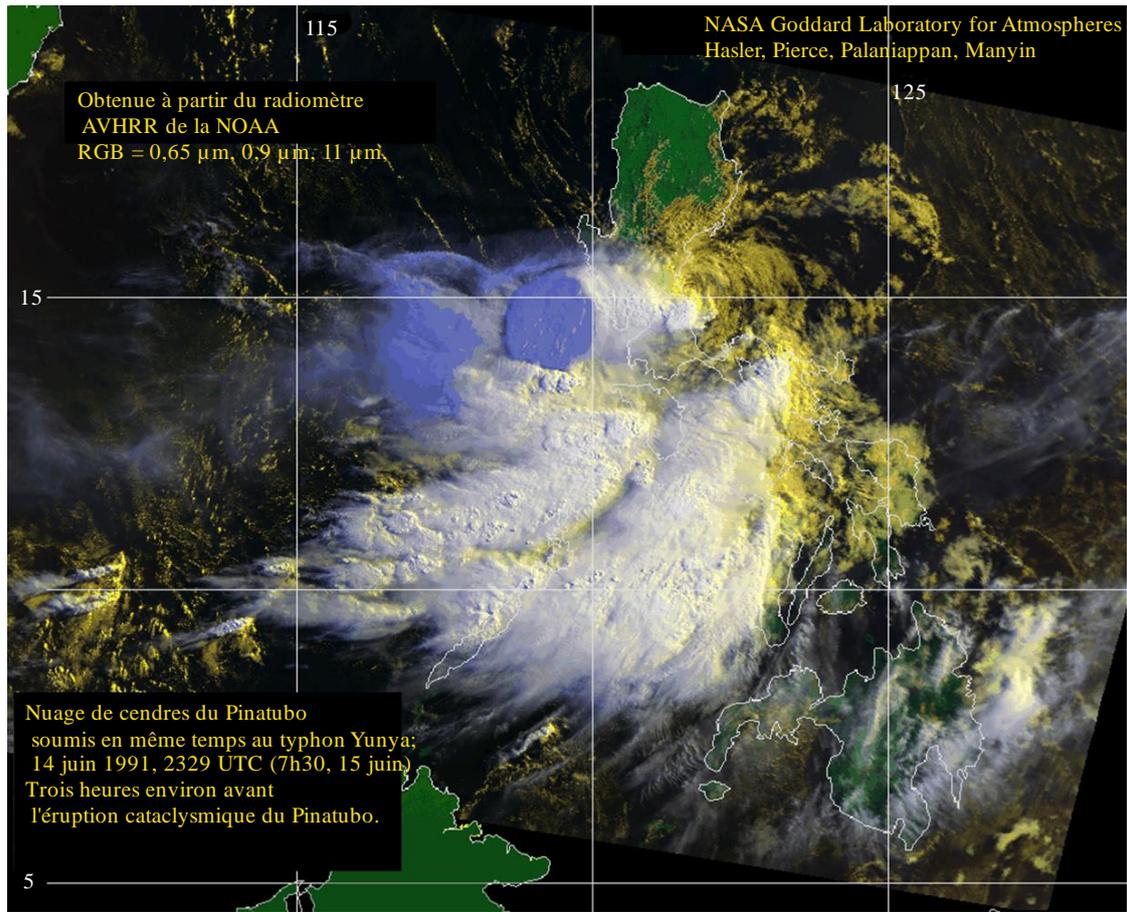
Image interférométrique SAR de la caldeira Mauna Loa à Hawaï.
Les mouvements du sol indiquent une activité volcanique souterraine dangereuse.



Pendant et après une éruption volcanique, la signature thermique de la lave, des cendres et des gaz chauds est systématiquement surveillée dans le visible et l'infrarouge depuis l'espace. Les cendres volcaniques dans l'atmosphère sont tout particulièrement dangereuses pour les avions en vol. Les cendres rejetées par le volcan Eyjafjallajökull en Islande en 2010 a provoqué l'interruption de vols la plus importante depuis la Seconde Guerre mondiale. Neuf centres d'analyse des cendres volcaniques avaient été mis en place pour observer le panache de cendres dans la partie de l'espace aérien qui leur avait été attribuée (<http://www.ssd.noaa.gov/VAAC/vaac.html>).

FIGURE 26

Nuage de cendres du Mont Pinatubo se mélangeant avec le typhon Yunya,
3 h avant l'éruption du 15 juin 1991

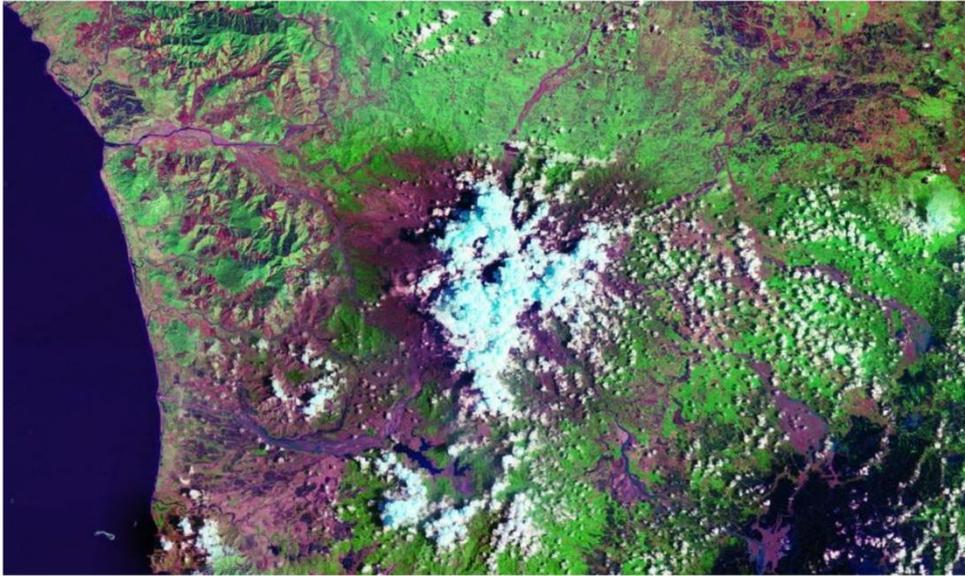


RS.1859-26

Les images fournies par les satellites permettent de recenser les zones touchées et de suivre le rétablissement de la situation. Les images dans le visible et l'infrarouge permettent d'observer la réapparition de la végétation (Fig. 27, 29 et 30). Dans les zones où la couverture nuageuse pose problème, les images SAR offrent une autre source d'information (Fig. 28). La séquence d'images ci-dessous a été réalisée après l'éruption du volcan Pinatubo aux Philippines, qui s'est produite le 15 juin 1991. Les rayures diagonales sombres de la Fig. 30 sont dues à une panne de système embarqué sur Landsat 7, dont les balayages en zigzag sont normalement convertis en grille linéaire.

FIGURE 27

Image Landsat 5, 9 septembre 1991. La végétation touchée est indiquée en rouge/brun



RS.1859-27

FIGURE 28

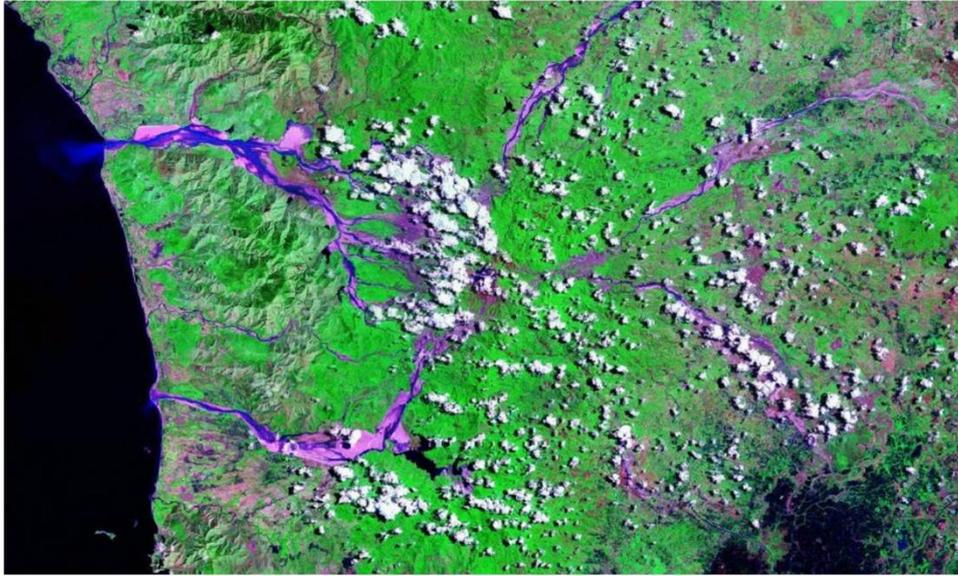
Image Landsat 5 superposée aux images du radar SIR-C, oct. 1994. Aucune nébulosité, le relief est bien visible et les lahars (coulées de boue) sont distincts et facilement reconnaissables



RS.1859-28

FIGURE 29

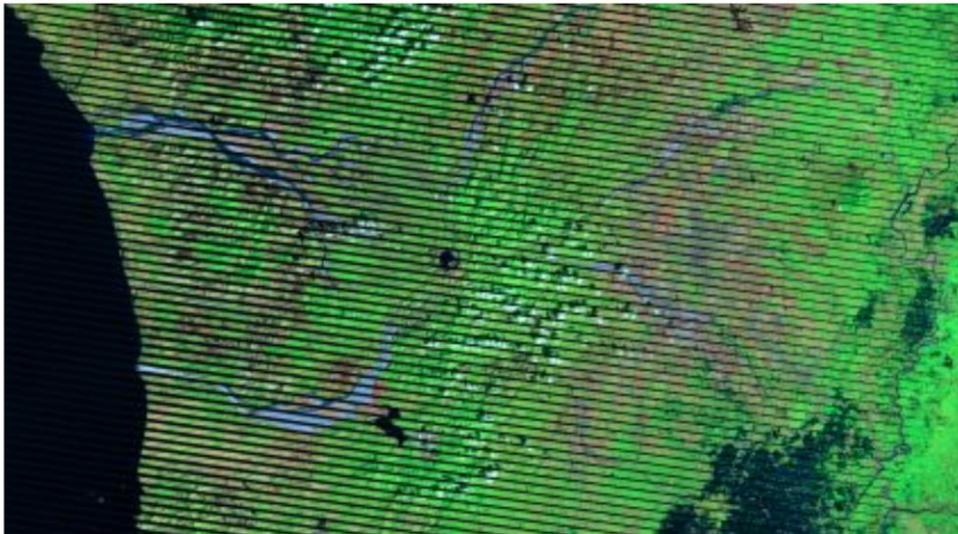
Image Landsat 7, 18 mai 2001. La végétation se rétablit



RS:1859-29

FIGURE 30

Image Landsat 7, 4 février 2010. La végétation continue de se rétablir et un lac s'est formé



RS:1859-30

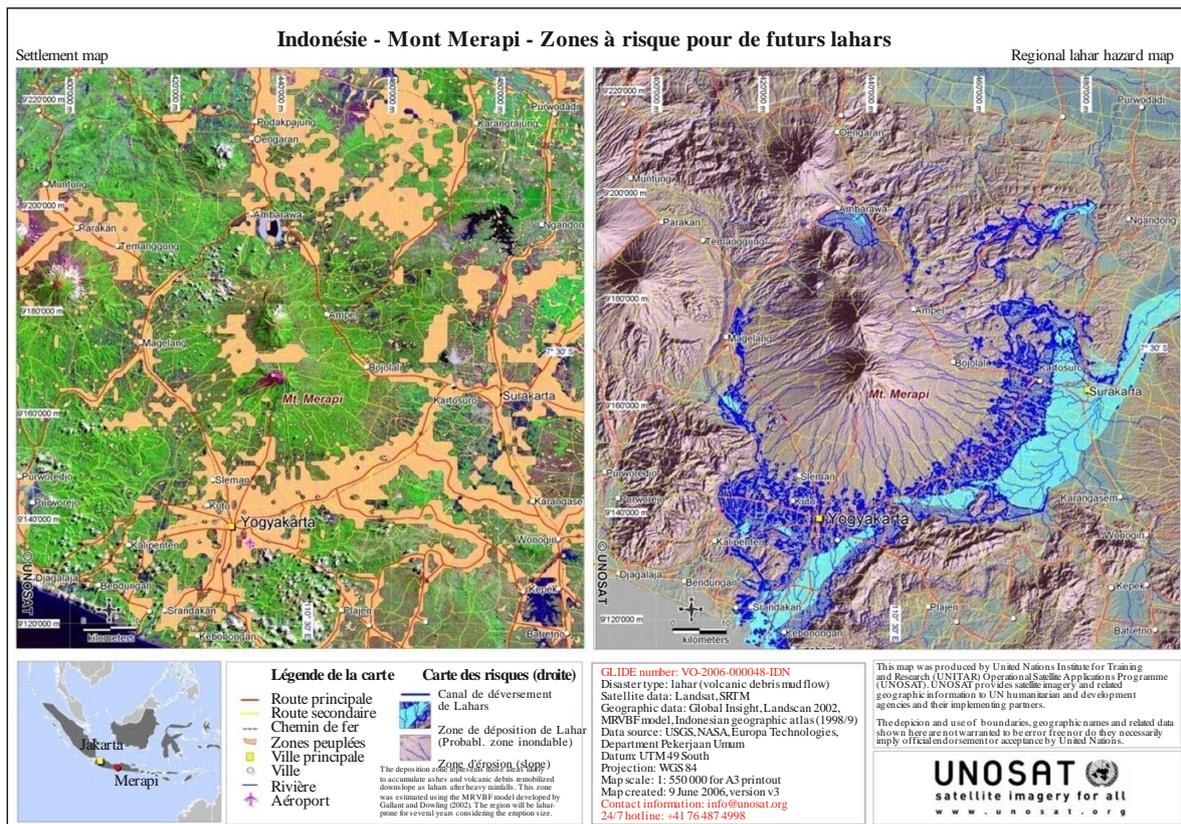
L'imagerie SAR est également utile pour détecter les zones à risque. L'éruption du Pinatubo a provoqué plusieurs lahars ou coulées de boue. Ces lahars sont facilement repérables dans les images SAR (Fig. 28) et pourraient être réactivés par de fortes pluies. C'est ce qui s'est produit en 1994, comme l'a observé le radar imageur de la navette spatiale. Les zones proches inhabitées ont été classées en zones à risque. Un lac très acide s'est formé dans la caldera; il est visible sur la Fig. 30, mais caché par les nuages sur la Fig. 29.

Les modèles numériques d'altitude (DEM) ont été utiles pour prévoir l'endroit où ces lahars pourraient se produire. Les lahars suivent les couloirs naturels et se déversent dans les zones basses.

Ces modèles DEM peuvent être combinés avec des cartes d'utilisation ou de couverture des terres, par exemple des cartes établies à partir de données Landsat ou MODIS, pour recenser et cartographier les zones à risque. On trouvera un exemple de carte des risques à la Fig. 31.

FIGURE 31

Combinaison des données Landsat et SRTM pour détecter les zones à risque et les populations vulnérables



RS.1859-31

Sur l'image de gauche, des données Landsat ont permis de distinguer les zones urbaines des zones agricoles. Sur l'image de droite, des données topographiques provenant de la *Shuttle Radar Topographic Mission* de la NASA ont été utilisées pour déterminer les zones susceptibles d'être enfouies sous la boue ou les cendres. La combinaison de ces deux cartes aide les autorités locales à définir les mesures à prendre en cas de future éruption du Mont Merapi.

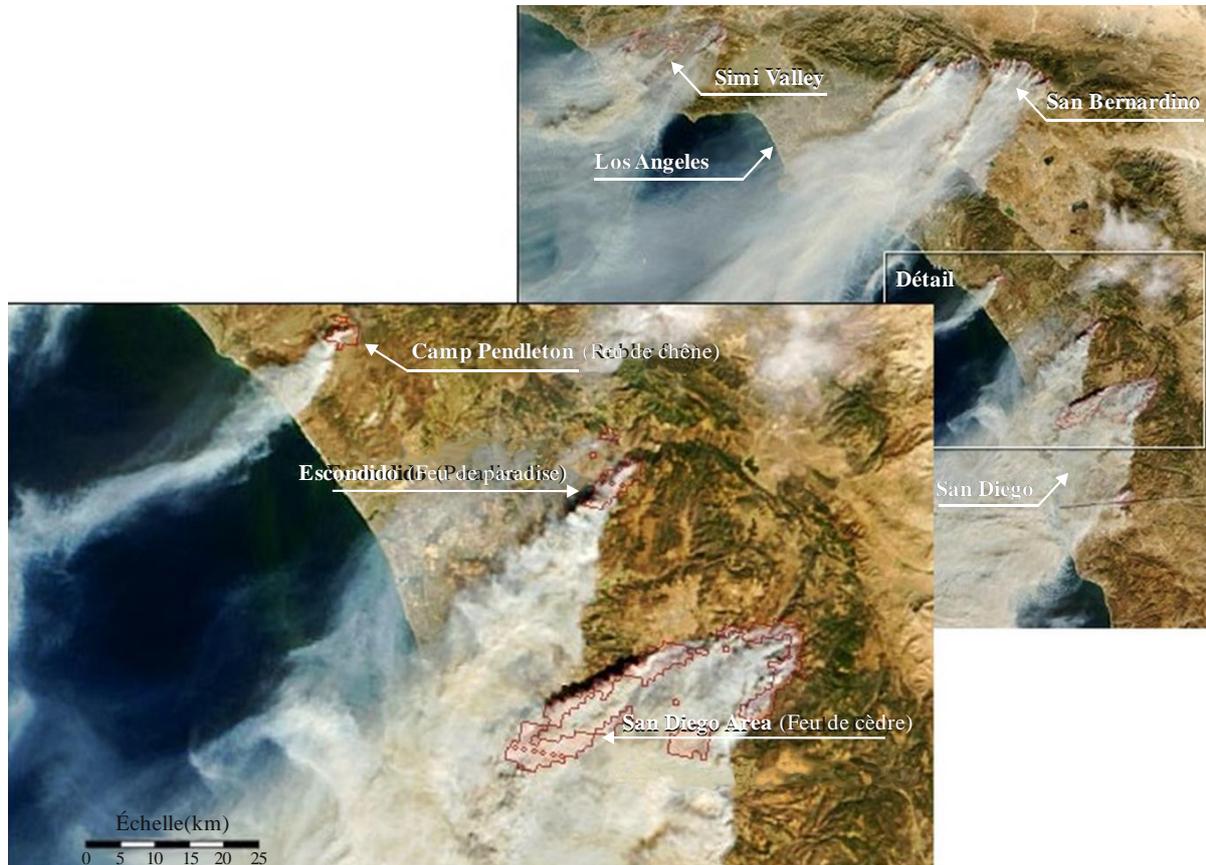
11 Feux de végétation sauvage

On peut évaluer le risque de feu de végétation sauvage dans des zones reculées et peu habitées à partir de mesures de l'humidité du sol et de l'état de la végétation (c'est-à-dire en déterminant si la végétation est saine ou malade et desséchée) effectuées depuis l'espace. Les feux de végétation sauvage peuvent être détectés sur certains canaux infrarouges par des appareils embarqués sur des satellites. Ces fréquences permettent de traverser la fumée et la brume qui occultent les observations dans le spectre visible. On peut trouver ce type d'informations sur le site web du système FIRMS de la NASA (<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>) et sur le site Worldview (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>), qui contiennent en particulier des données sur les incendies et les anomalies thermiques. Pour réduire l'intervalle de temps entre l'observation faite par le satellite et la production des données nécessaires, plusieurs organismes et organisations gouvernementales ou non gouvernementales dans le monde ont déployé des stations terriennes pour recevoir des données en temps réel à chaque passage d'un satellite pertinent en orbite polaire.

Ces images sont utiles pour combattre les feux de végétation sauvage: aux États-Unis d'Amérique, le sud de la Californie est sujette au déclenchement de ce type d'incendies pendant la saison sèche (voir la Fig. 32). Ces feux sont attisés par les vents locaux de Santa Ana, ce qui les rend difficiles à

combattre. Les images satellite aident à guider les pompiers et sont particulièrement utiles dans les zones reculées non peuplées.

FIGURE 32
Feux en Californie du sud le 26 octobre 2003



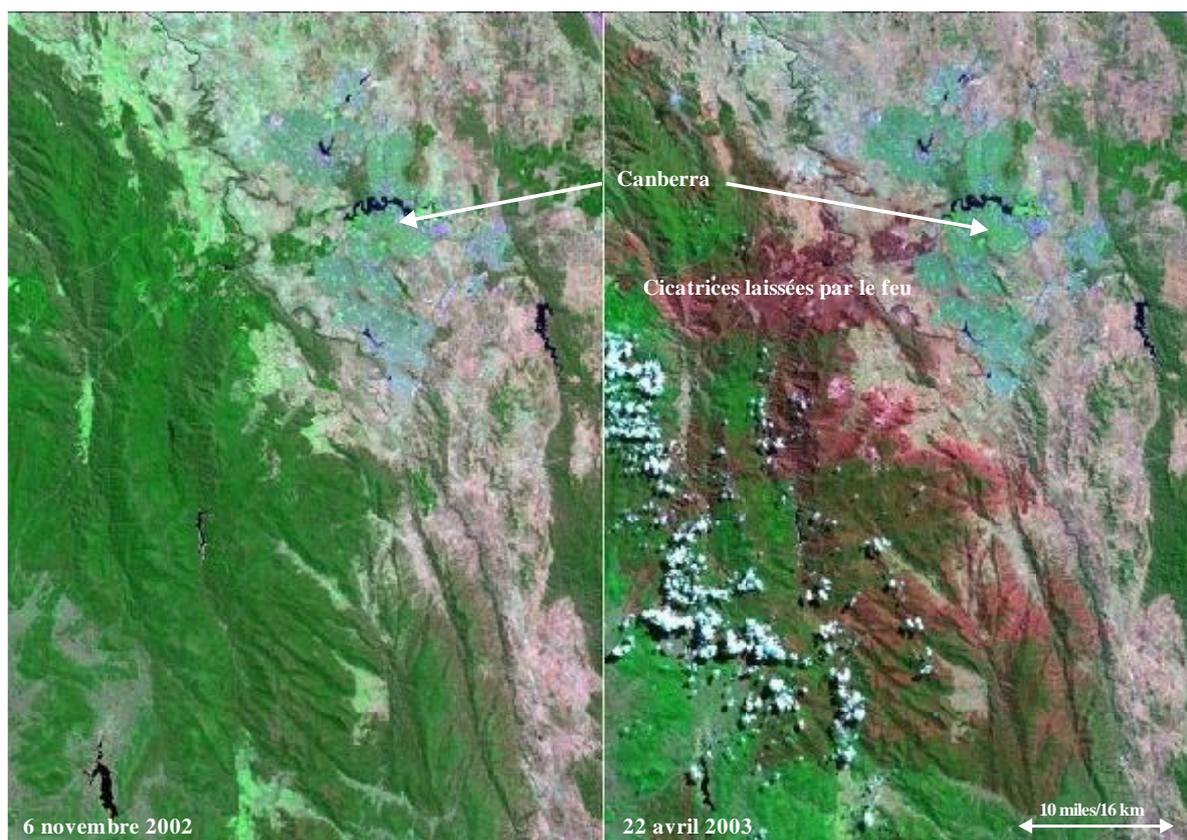
RS.1859-32

Après extinction des incendies, les images fournies par les satellites dans le visible et l'infrarouge et par SAR permettent de déterminer l'étendue des dommages et de surveiller le rétablissement de la végétation.

Les feux de végétation sauvage ont été très fréquents en Australie durant l'été 2002-2003; on a dénombré plus de cinquante incendies distincts dans la partie sud-est du continent. La capitale Canberra s'est trouvée menacée par un feu de brousse qui avait commencé le 18 janvier dans le Parc national de Namadgi. En quelques jours, le feu a atteint les abords de la ville, obligeant la population à l'évacuer et des milliers de volontaires à combattre le feu pour protéger la ville des flammes. Lorsque l'incendie s'est calmé, on a dénombré quatre victimes et 419 habitations détruites. Sur les images Landsat 7 ci-dessous (Fig. 33), la végétation saine figure en vert alors que les régions brûlées apparaissent en différentes nuances de rouge.

FIGURE 33

Images Landsat de Canberra, en Australie, avant et après les feux de 2002-2003



RS.1859-33

12 Bases de données issues de capteurs de télédétection

Les sources suivantes mettent leurs données à la disposition du grand public; toutefois, elles n'assurent pas d'intervention en cas d'incident particulier. Les organismes chargés de répondre aux demandes d'intervention sont indiqués dans le résumé.

Pour faire suite aux études de l'UIT-D, on a créé une base de données intitulée «*Disaster Support Summary*» (synthèse de l'assistance en cas de catastrophe) contenant un inventaire des sources de données terrestres et satellitaires issues de capteurs actifs et passifs pouvant être utiles en cas de catastrophe. Cette base de données récapitulative se présente sous la forme d'une feuille de calcul électronique accessible sur l'Internet à l'adresse suivante: <https://www.sfcgonline.org/home.aspx>. Il n'est pas nécessaire de se connecter au système pour utiliser la base de données.

La NASA intègre certains sites web qui fournissent des données télédéteectées en temps quasi-réel sur la qualité de l'air, les panaches de cendres, la sécheresse, les tempêtes de poussière, les feux, les inondations, les tempêtes violentes, les voies navigables (surtout dans les régions polaires, où elles sont parfois fermées par la glace), les panaches de fumée et la végétation. Ces données sont disponibles ici:

<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters>

On trouvera également des données sur la gestion des inondations sur le site suivant: <http://floodobservatory.colorado.edu/>, ainsi que sur le site du Global Flood Monitoring System: <http://flood.umd.edu>.

13 Résumé

Les exemples ci-dessus montrent que les données télédéetectées sont utiles dans la mesure où elles peuvent faciliter la gestion des conséquences des catastrophes naturelles. Pour tirer le meilleur parti possible de ces données, un organisme local doit être mis en place pour gérer l'urgence et acheminer les informations pertinentes vers les personnes qui en ont besoin sur le terrain. Le Programme des Nations Unies pour l'exploitation de l'information d'origine spatiale aux fins de la gestion des catastrophes et des interventions d'urgence (UN-SPIDER) a été créé pour aider les pays à se doter des capacités nécessaires pour gérer les situations d'urgence. Il se spécialise tout particulièrement dans la mise en place d'organismes de secours et la formation de leur personnel, tandis que d'autres organisations sont plus orientées vers la fourniture de données. Néanmoins, le site web de l'UN-SPIDER contient des listes de systèmes d'information géographique (gratuits ou commerciaux) et de sources de données. Ce site se trouve ici: <http://www.un-spider.org/>.

Après la conférence UNISPACE III tenue à Vienne en juillet 1999, un point de contact unique a été créé pour faciliter la demande d'aide internationale en cas de catastrophe; cette aide repose sur des ressources spatiales et tire parti des données recueillies par des systèmes de télédétection et d'autres sources. Tout utilisateur autorisé peut dorénavant appeler un numéro unique 24 heures sur 24 pour demander aux organisations membres la mobilisation de ressources spatiales et de ressources au sol connexes (satellites *RADARSAT*, *COSMO-SkyMed*, *Sentinel*, *SPOT*, *IRS*, *SAC-C*, *NOAA*, *LANDSAT*, *ALOS-2* et *DMC*, entre autres) afin d'obtenir des données et des informations sur une catastrophe particulière. Les organismes membres de cette Charte sont notamment les agences spatiales de l'Europe, de la France, du Canada, de l'Inde, de l'Argentine, du Japon et du Royaume-Uni, la société DMC International Imaging (en Algérie, au Nigéria et en Turquie), ainsi que les agences spatiales de la Chine, de l'Allemagne, de la Corée, du Brésil, de la Russie et du Vénézuéla. En font également partie la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) et la *Geological Survey* des États-Unis d'Amérique, ainsi qu'EUMETSAT (Europe). On trouvera des exemples de données disponibles ici: <http://www.disasterscharter.org>. Toute question ou observation destinée aux membres de la Charte ou concernant le site web doit être adressée à webmaster@disasterscharter.org.

Il existe une autre source de données télédéetectées appelée Programme d'applications satellitaires opérationnelles des Nations Unies (UNOSAT). Ce programme a été mis en place pour offrir à la communauté internationale et aux pays en développement un meilleur accès aux images satellite et aux services fondés sur des systèmes d'information géographique. Ces outils sont principalement utilisés pour les secours humanitaires, la prévention des catastrophes et la reconstruction après une crise. Les services proposés sont notamment un choix d'images satellite, une aide pour se les procurer, le traitement d'images, l'établissement de cartes, des orientations en matière de méthodes, une assistance technique et des formations. Le site Internet du Programme est ici: <http://www.unitar.org/unosat/>.

Le système SERVIR constitue une troisième source d'assistance fondée sur des données télédéetectées. Il s'agit d'un système régional de visualisation et de surveillance dont le site Internet se trouve à l'adresse suivante: <https://www.servirglobal.net/> (une version en espagnol est aussi disponible ici: <http://www.servir.net>).

Le système SERVIR découle d'une initiative de développement lancée conjointement par la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) et la *United States Agency for International Development* (USAID). Il fonctionne en partenariat avec de grandes organisations régionales du monde entier et vise à aider les pays en développement à utiliser les informations provenant de satellites d'observation de la Terre ainsi que des technologies géospatiales dans le contexte de la gestion des risques climatiques et de l'exploitation des terres. Ce système fournit aux décideurs des outils, des produits et des services leur permettant d'agir localement sur des questions liées au climat, en particulier en cas de catastrophe, mais aussi dans les domaines de l'agriculture, de l'eau, des écosystèmes et de l'exploitation des terres.

Le système SERVIR dispose de centres en Afrique (Nairobi, au Kenya), dans l'Hindou Koush et l'Himalaya (Katmandou, au Népal), dans le Bas-Mékong (Bangkok, en Thaïlande) et en Mésoamérique (ville de Panama, au Panama) pour gérer les problèmes de sécurité alimentaire et de ressources en eau, ainsi que l'évolution de l'exploitation des terres et les catastrophes naturelles survenant dans ces régions.

NOTE 1 – Il est conseillé aux parties ayant éventuellement ou probablement besoin de demander de l'aide à un ou plusieurs des organismes mentionnés ci-dessus de les contacter bien avant la survenue d'une catastrophe et d'établir une procédure (par exemple désigner le personnel de liaison avec leurs noms, courriels, numéros de téléphone, etc.) pour obtenir de l'aide au cas de catastrophe. Cette planification préalable permet de réduire considérablement le temps nécessaire pour obtenir de l'aide, le moment venu.

Annexe 2

Recensement des observations utiles en cas de catastrophe naturelle et d'autres situations d'urgence

On trouvera dans le Tableau ci-après un recensement des observations effectuées depuis l'espace qui peuvent être utiles pour gérer les conséquences des catastrophes naturelles et d'autres situations d'urgence. Le Tableau A2-1 met en correspondance les types de catastrophes et les technologies employées; celles-ci sont détaillées dans le Tableau A2-2, qui précise la situation de chaque technologie, les observations existantes et les missions disponibles pour fournir ces observations vers 2015 (date de rédaction de la présente Annexe) et à l'avenir.

TABLEAU A2-1

Technologies utiles pour gérer des catastrophes naturelles

Objectif	Technologie Imagerie SAR	Imagerie InSAR	Imagerie active en hyperfréquence Altimètre radar	Diffusiomètre radar	Radar de précipitations	Occultation radio GPS	Imagerie passive en hyperfréquence	Sondeur passif en hyperfréquence	Imagerie géo. en lumière visible et en infrarouge	Imagerie optique	Imagerie optique multispectrale	Imagerie en infrarouge
Dangers littoraux	X									X		
Sécheresse	X		X	X	X		X		X	X	X	
Tremblements de terre	X	X				X				X		
Phénomènes météorologiques extrêmes				X	X	X	X	X	X	X		
Inondations	X		X	X	X	X	X	X		X		
Glissements de terrain	X	X								X	X	
Pollution de l'océan	X										X	
Pollution										X	X	
Glaces marines et lacustres	X						X			X		
Volcans	X	X					X			X	X	X
Feux de végétation sauvage							X			X	X	X

TABLEAU A2-2

Recensement des moyens d'aide en cas de catastrophe

Technologie	Type(s) de catastrophes	Mesure	Situation (vers 2018)	Suivi (2018-2025)		
Imagerie SAR	Dangers littoraux, inondations, glissements de terrain, volcans	Modèles numériques d'altitude (DEM)	SAR sur RADARSAT (1995, +), TSX (2007), TDX (2010), COSMO-SkyMeds (2007, +), Sentinel-1 (2014); HJ-1C (2012); COSI sur KOMPSAT-5 (2013); PALSAR-2 sur ALOS-2 (2014); RISAT-SAR sur RISAT-1 (2012); X-SAR sur RISAT-2 (2009); S-M OBRC sur METEOR-M2 (2014); SAR-10 sur Kondor-E1 (2013); X-SAR sur TECSAR (2008)	BRLK sur METEOR-MP (2021); CSG-SAR sur CSG (2019); PAZ-SAR sur PAZ (2018); RISAT-SAR sur RISAT-1A (2019); SAR sur constellation RADARSAT (2018, +); S-SAR sur NovaSAR-S (2018); SAR sur TSX-NG (2018); SAR-L sur SAOCOM-1,2 (2018); SAR-P sur BIOMASS (2020); SAR-X sur METEOR-MP (2021); SAR sur HJ-C		
	Dangers littoraux, tremblements de terre, inondations, glissements de terrain, pollution, volcans	Zones touchées				
	Pollution de l'océan	Détection de marée noire				
	Dangers liés aux glaces marines et lacustres	Surface des glaces maritimes et lacustres			SARs sur RADARSATs (1995, +), TSX (2007), TDX (2010), COSMO-SkyMeds (2007, +), Sentinel-1a (2014); SIRAL sur CRYOSAT-2 (2010)	SAR sur constellation RADARSAT (2018, +); InSAR sur NISAR (2021)
	Inondations, sécheresse	Profondeur de la neige				SAR-X/Ku sur SCLP (2030)
Imagerie InSAR	Tremblements de terre, volcans, glissements de terrain	Déplacement du terrain	RADARSATs (1995, +), TSX (2007), TDX (2010), COSMO-SkyMeds (2007, +); Sentinel-1a (2014)	InSAR sur NISAR (2021) et couplé à des missions SAR		
Altimètre radar	Sécheresse	Hauteur de l'océan	SSALT sur mission JASON (2001, +); Altika-AMU sur SARAL (2013); RA sur HY-2A / (2011); SRAL sur Sentinel-3 (2016)	KaRIN sur SWOT (2020); JASON-3 (2015); SRAL sur JASON-CS/SENTINEL-6 (2020, +); SHIOSAI sur COMPIRA (2019)		
Radar de précipitations	Phénomènes météorologiques extrêmes, inondations	Précipitations	DPR sur GPM (2014)			

TABLEAU A2-2 (suite)

Technologie	Type(s) de catastrophes	Mesure	Situation (vers 2018)	Suivi (2018-2025)
Diffusiomètre radar	Sécheresse, phénomènes météorologiques extrêmes	Vecteur de vent à la surface de la mer, état de la mer	ASCAT sur MetOps (2006, +); SCAT sur HY-2A (2011); OSCAT sur OceanSat-2 (2009); ALScat sur SAC-D; DDMI sur CYGNSS (2017); OSCAT sur ScatSAT-1 (2015)	OSCAT sur OceanSat-3 (2018); SCA sur MetOp-SG-B (2022); SCAT sur CFOSAT (2018); SCAT sur METEOR-MP (2021); SWIM sur CFOSAT (2018); WindRAD sur FY-3 (2018)
	Sécheresse, inondations	Propriétés de la neige (couverture, équivalent en eau)		SCA sur METOP-SG-B (2022)
	Sécheresse, inondations, glissements de terrain	Humidité du sol		
	Dangers liés aux glaces marines et lacustres	Surface des glaces maritimes et lacustres		
	Sécheresse, volcans (rétablissement), feux de végétation sauvage (rétablissement)	Santé de la végétation (indice de surface foliaire)	ASCAT sur MetOps (2006, +)	
Occultation radio GPS	Phénomènes météorologiques extrêmes, inondations	Profil de température de l'atmosphère	COSMIC/FORMOSAT-2; DDMI sur CYGNSS (2017); (2006); KOMPSAT-5 (2013); FY-3 -C (2013); MetOp (2006, 2012); TDX (2010); TSX (2007); Megha-Tropiques (2011); OceanSat-2 (2009)	COSMIC-2/FORMOSAT-7 (2018); FY-3D.-3F(2016-2020); JASON-CS/SENTINEL-6 (2020+); GRACE-FO (2018); METEOR-M-N3, METEOR-MP-N1, -N3 (2018); METOP-SG-A,-B (2022)
		Profil d'humidité de l'atmosphère		

TABLEAU A2-2 (suite)

Technologie	Type(s) de catastrophes	Mesure	Situation (vers 2018)	Suivi (2018-2025)
Imagerie passive en hyperfréquence	Sécheresse, inondations	Humidité du sol	MIRAS sur SMOS (2009); Radiomètre sur SMAP (2015); SSM/I sur mission DMSP (1987, +), SSMIS sur mission DMSP (2003, +); MWRI sur mission FY-3 (2008, +); VIIRS sur SNPP (2011)	SSM/IS sur DMSP (2020); MWI sur METOP-SG-A (2022) MWI sur MetOp-SG-A (2022)
	Phénomènes météorologiques extrêmes, inondations	Taux de précipitations et zones touchées	GMI sur GPM (2014); SSM/I sur mission DMSP (1987, +), SSMIS sur mission DMSP (2003, +); MADRAS sur Megha-Tropiques (2011); MWRI sur mission FY-3 (2008, +)	
	Dangers liés aux glaces marines et lacustres	Surface des glaces maritimes et lacustres	SSM/I sur mission DMSP (1987, +), SSMIS sur mission DMSP (2003, +); AMSR-2 sur GCOM-W1 (2012);	
	Volcans, feux de végétation sauvage	Température du sol	AMSU sur AQUA (2002), mission MetOp (2006+), mission NOAA (1998, +); ATMS sur SNPP (2011) et NOAA-20 (2018); SSM/T sur mission §DMSP (1999, +)	
	Inondations, sécheresse	Equivalent en eau de la neige	SSM/I sur DMSP (1995, +); AMSR-2 sur GCOM-W1 (2012)	
	Sécheresse, phénomènes météorologiques extrêmes	Vents océaniques	SSM/I sur mission DMSP (1987, +), SSMIS sur mission DMSP (2003, +); Windsat sur Coriolus (2003), AMSR-2 sur GCOM-W1 (2012); MTVZA-GY sur mission Meteor-M (2009, +) MWR sur SAC-D (2011); MWRI sur HY-2A (2011)	

TABLEAU A2-2 (suite)

Technologie	Type(s) de catastrophes	Mesure	Situation (vers 2018)	Suivi (2018-2025)
Sondeurs passifs en hyperfréquence	Sécheresse	Température de l'océan	AMSR-2 sur GCOM-W1 (2012); MWRI sur HY-2A (2011); MIRAS sur SMOS (2009); WindSat sur Coriolus (2003); CrIS, ATMS sur SNPP(2011) et NOAA-20 (2017)	
	Phénomènes météorologiques extrêmes, inondations	Profil de température de l'atmosphère	MSU depuis 1979 actuellement sur mission NOAA (2002, +); SSM/I sur DMSP (1995, +); AMSU sur Aqua (2002), MetOp (2006, +); DFMRM sur FAST-T; MTVZA-GY sur mission Meteor-M (2009, +); MWTS sur mission FY-3 (2003, +) CrIS, ATMS sur SNPP (2011) et NOAA-20(2018);	MWS et MWI sur MetOp-SGs (2018, +); MTVZA-GY-MP sur METEOR-MP (2021);
		Profil d'humidité de l'atmosphère et contenu total en eau de la colonne atmosphérique	AMSU sur AQUA (2002) & POES's (1998, +); ATMS sur SNPP (2011) and NOAA-20(2018) ; MHS sur POES's (1998, +) & MetOps (2006, +); SSM/T sur mission DMSP (1999, +); MTVZA-GY sur mission Meteor-M (2009, +); MWHS sur mission FY-3 (2003, +); SAPHIR sur Megha-Tropiques (2011); AMR-2 sur JASON-3 (2016); MWR sur Sentinel-3 (2016)	AMR sur SWOT (2020); AMR-C sur JASON-CS/SENTINEL-6 (2020); MTVZA-GP-MP sur METEOR-MP (2021); MWI et MWS sur METOP-SG-A (2022)
Observations de satellites géostationnaires dans la lumière visible et l'infrarouge	Phénomènes météorologiques extrêmes	Mouvement des nuages	Mission GOES depuis 1975, mission METEOSAT depuis 1977	Mission GOES (2016, +), mission METEOSAT (2018)

TABLEAU A2-2 (*fin*)

Technologie	Type(s) de catastrophes	Mesure	Situation (vers 2018)	Suivi (2018-2025)
Imagerie optique	Dangers littoraux, inondations, glissements de terrain, volcans	Modèles numériques d'altitude (DEM)	ASTER sur TERRA (1999)	
	Dangers littoraux, sécheresse, tremblements de terre, phénomènes météorologiques extrêmes, inondations, glissements de terrain, pollution, glaces marines et lacustres, volcans, feux	Zones touchées	Faible résolution: AVHRR depuis 1981, sur mission NOAA (2002, +); AwiFS sur Resourcesats (2011); Landsat depuis 1973, -7, -8 (1999, 2013); mission SPOT (1994, +); MODIS sur TERRA (1999), AQUA (2002); AVHRR sur Metops (2006, +); Caméras et IRMSS sur HJ-1 (2008); MSI sur Sentinel-2 (2015); OLCI sur Sentinel-3 (2015); VIIRS sur SNPP (2011) et NOAA-20 (2018)	MSI sur Sentinel-2 (2015); PRISM-2 sur ALOS-3 (2019); SGLI sur GCOM-C1 (2018); NOAA-20
			Haute résolution: IKONOS-2 (1999) (commercial); QuickBird (2001); WorldView-1 (2007), WV-2 (2009), WV-3 (2014); GeoEye-1 (2008)	
Imagerie optique multispectrale	Sécheresse, volcans (rétablissement), feux de végétation sauvage (rétablissement)	Santé de la végétation (indice de surface foliaire)	AVHRR depuis 1981, sur mission NOAA (2002, +); MODIS sur Terra (2000), Aqua (2002); MISR sur Terra (2000); Landsat depuis 1973, -7, -8 (1999, 2013); mission SPOT (1994, +); SeaWiFS sur SeaStar (1997); VIIRS sur SNPP (2011) et NOAA-20 (2018)	
	Glissements de terrain, volcans (rétablissement)	Couverture et exploitation de la terre		
	Pollution de l'océan	Pollution naturelle de l'océan (marée rouge)		
Imagerie en infrarouge	Volcans, feux de végétation sauvage	Température du sol	Landsat depuis 1973, -7, -8 (1999, 2013); mission SPOT (1994, +); MODIS sur TERRA (1999), AQUA (2002)	