

Observation de la Terre



Missions en cours d'exploitation

Envisat and ERS-2

2004 restera dans les mémoires l'année tragique du tsunami qui a frappé l'Asie du Sud le 26 décembre. La Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » a permis de fournir quelque 200 clichés pris par Envisat, IRS P6, Spot, Radarsat et CHRIS/Proba. L'efficacité de ce système de partage d'images satellitaires en situation de crise a une fois de plus été reconnue à l'échelle internationale.

Les agences spatiales européenne et française, initialement, et canadienne par la suite, ont signé la Charte en 2000 ; plus tard sont venus se joindre les Etats-Unis, l'Inde, l'Argentine et le Japon. Le niveau d'activité de la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » a été consolidé en 2004 – soit une moyenne d'un appel tous les quinze jours.

Depuis l'entrée en vigueur de la Charte, en 2000, il a été procédé à soixante-dix-neuf activations à la demande des organismes de protection civile des pays signataires, du Centre de contrôle et d'information de la Commission européenne et des agences spécialisées des Nations Unies.

Les activations consenties en 2004 ont concerné différents types d'événements sur tous les continents, dont cinq tremblements de terre et trois ouragans, des inondations, des glissements de terrain, des éruptions volcaniques, des secousses sismiques, des incendies de forêts en Amérique du Sud et les actions de secours humanitaire au Darfour.

La mission ERS-2, toujours pleinement opérationnelle après plus de neuf ans d'exploitation, fournit des données de haute qualité à plus de 7 000 scientifiques, agences météorologiques et utilisateurs commerciaux. La demande en données ERS de haute résolution n'a cessé de croître au fil des ans, ces données constituant 14 000 des produits livrés en 2004.

La mission Envisat, entrée dans sa troisième année d'exploitation, dessert une communauté d'utilisateurs en croissance constante. Plus de

Image composite visible
acquise par Météosat-8
le 18 février

Image de la ville de Banda Aceh (Sumatra) après le tsunami, réalisée par l'ESA à partir des données ASAR d'Envisat du 3 janvier 2005. Les deux cadres présentent des images optiques QuickBird prises avant et après la catastrophe et faisant apparaître l'étendue des dommages le long des côtes de l'île, de manière similaire aux images ASAR.

L'instrument ASAR, qui fonctionne par tous les temps et balaie une large bande de terrain, permet d'observer les dommages sur l'ensemble de la zone à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit
(Copyrights : Données Envisat – ESA ; données QuickBird – DigitalGlobe)

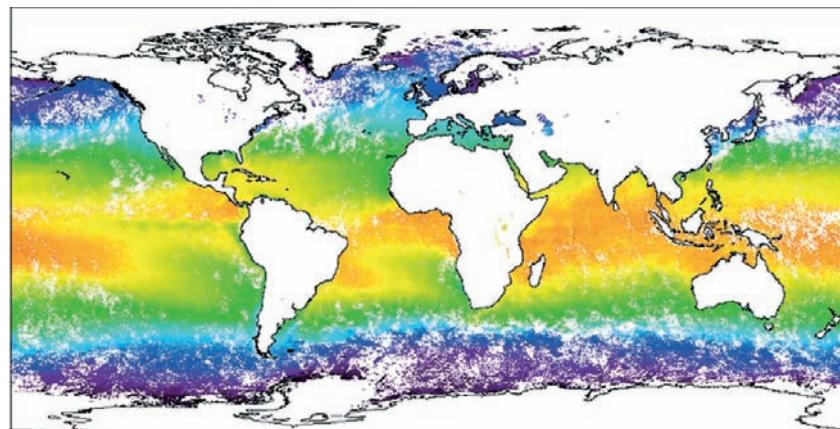


700 projets scientifiques utilisaient régulièrement les données d'Envisat à la fin de l'année ; les données distribuées aux utilisateurs commerciaux (par EMMA et SARCOM) sont de plus en plus souvent transmises par liaison descendante directe à des stations qui n'appartiennent pas à l'ESA. Le nombre d'images ASAR acquises à la demande des utilisateurs a quadruplé en un an.

Le symposium Envisat, qui s'est tenu à Salzbourg (A) en septembre, a été de loin l'événement le plus important organisé par l'ESA dans le domaine de l'observation de la Terre. Accueillant près de 1 000 participants, cette manifestation a démontré que la mission Envisat est l'un des principaux outils à la disposition des chercheurs en sciences de la Terre.

Depuis 14 ans, les données d'ERS et d'Envisat ont permis entre autres :

- de confirmer le changement climatique mondial,
- de mesurer l'impact des activités anthropiques depuis l'espace,

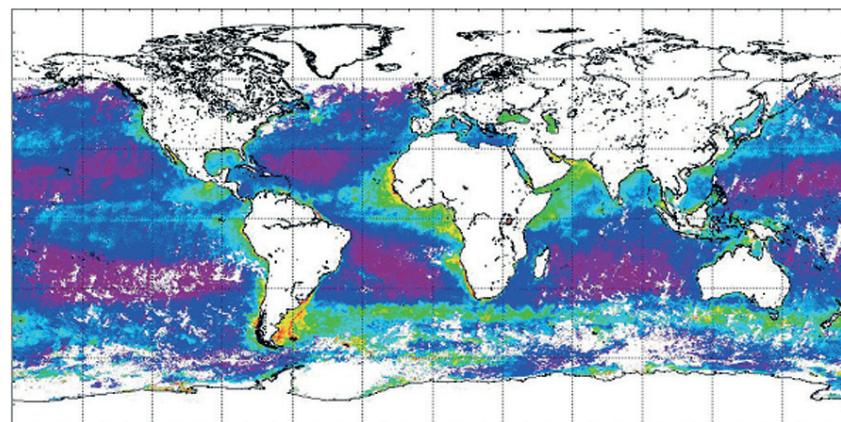


- de mettre en place une capacité européenne de surveillance de l'atmosphère, des glaces, des océans et des terres émergées.

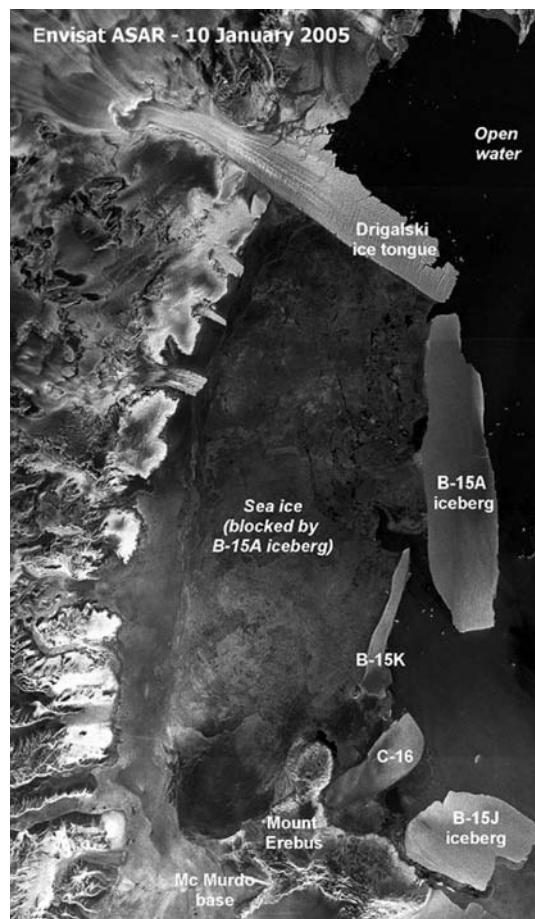
Le symposium a été l'occasion de présenter quelques résultats particulièrement marquants :

- **Changement climatique** : le niveau global des mers s'élève de quelque 3 mm par an et la température de surface de la mer d'environ 0,13°C par décennie. Les séries d'observations de l'AATSR fournissent des données planétaires cohérentes d'une précision de 0,1 K sur 14 années.

Les mesures ATSR/AATSR font ressortir une légère hausse de la température de surface de la mer, de l'ordre de $0,13 \pm 0,03^\circ\text{C}$ par décennie
(Source : David Llewellyn Jones, Univ. Leicester (UK))



Répartition mondiale de la chlorophylle fournie par l'instrument MERIS d'Envisat – moyenne mensuelle pour janvier 2003
(Source : ACRI (F))



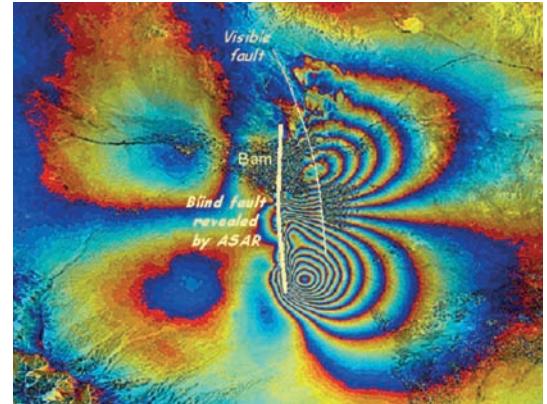
Dérive de l'iceberg B-15

- **Atmosphère** : suivi de la pollution atmosphérique mondiale, mettant en évidence une accélération de la pollution de l'air en Chine depuis 1995. Les rejets des navires sur les grands axes de circulation maritime ont été détectés depuis l'espace pour la première fois.

Mesures du NO_2 à l'échelle mondiale, réalisées par Sciamachy entre janvier 2003 et juin 2004
(Source : Steffen Beirle, Univ. Heidelberg (D))

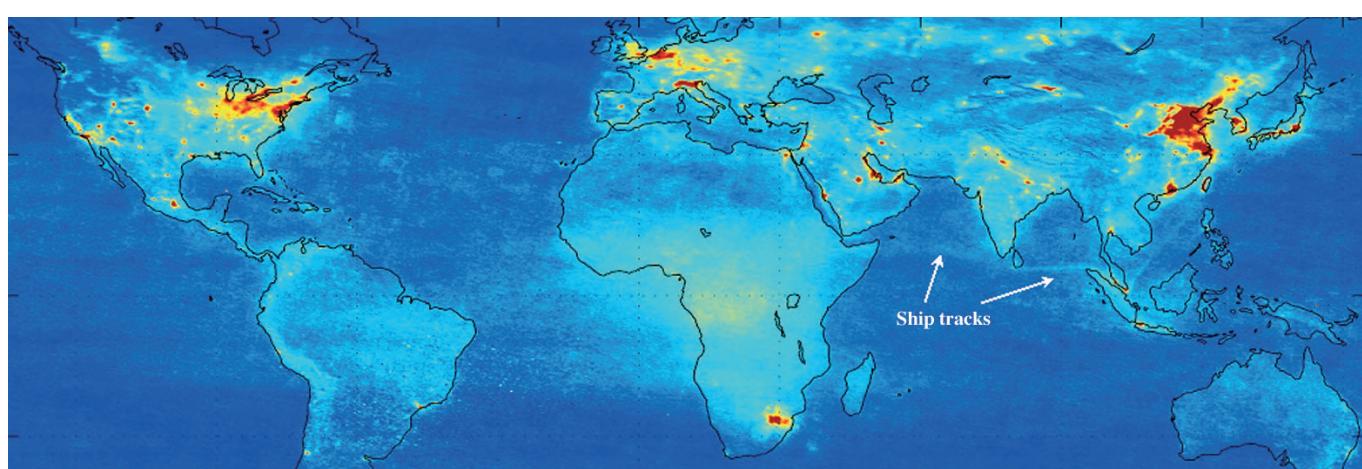
- **Régions polaires** : suivi quotidien du mouvement des glaces de mer et observation de la rupture de plates-formes de glace en Antarctique.

Origines du séisme de Bam, analysées à l'aide des données ASAR
(Source : A. Monti-Guarnieri, POLIMI (I))



- **Océanographie** : quantification de la concentration mondiale de chlorophylle permettant d'évaluer la biomasse de phytoplancton, au rôle primordial dans la fixation du CO_2 par photosynthèse.

- **Tectonique** : identification, par interférométrie ASAR, de la faille cachée à l'origine du séisme de Bam (Iran) en décembre 2003. Ces observations sont surprenantes : la ville se trouve bien sur une ceinture sismique mais le foyer du séisme se situe en un endroit inattendu. La faille cachée mise en évidence par l'ASAR apparaît sous la forme d'une discontinuité nette dans l'interférogramme, tandis que l'amplitude des déplacements de part et d'autre de la faille va de 5 à 30 cm.



Programme Earthnet

Le programme Earthnet offre un accès aux données de missions d'observation de la Terre menées par d'autres agences spatiales et opérateurs des États membres ou de partenaires internationaux : les « missions de tiers », qui comprennent actuellement Landsat, Spot, NOAA, Terra/Aqua, OrbView/Seawifs, QSCAT et Proba. S'y ajouteront en 2005 Bird, Scisat, Coriolis, DMC, IRS-P6, KOMPSAT, SAC-C, CBERS et Rocsat-2, ce qui portera à plus de vingt le nombre de missions de tiers incluses dans Earthnet. Le programme donne également accès aux archives historiques de JERS-1, Nimbus-7, IRS-P3 et Landsat, constituées au cours des 25 dernières années.

De nouvelles missions seront régulièrement étudiées et ajoutées à la liste si elles répondent à certains critères, tels que l'intérêt de leurs données pour les activités scientifiques et opérationnelles européennes, leur accessibilité et leur coût en termes d'installations au sol, ou encore leur pertinence par rapport à la stratégie et aux objectifs de l'ESA en matière d'observation de la Terre.

De nouveaux projets de coopération internationale avec la Russie (Bear), la Chine (Dragon) et certains États africains (Tiger) ont vu le jour en 2004, tandis qu'un accord d'assistance en cas de panne est en cours de négociation avec l'Agence spatiale canadienne et RADARSAT pour que les utilisateurs puissent être sûrs d'avoir accès aux données d'observation de la Terre en toutes circonstances.

Harmonisation du segment sol

Les activités d'harmonisation européenne se sont poursuivies en 2004 sous la supervision d'un organe de coordination du segment sol. Contrairement à il y a encore cinq ans, les utilisateurs et les projets demandent aujourd'hui une uniformisation de l'accès à de multiples données d'observation de la Terre. Les services aux utilisateurs continuent de se multiplier et portent sur un nombre toujours croissant de missions ; il en va de même pour le segment sol, qui repose sur une infrastructure multimission établie en coopération avec les

agences nationales et l'industrie. La coopération avec les opérateurs tiers, particulièrement efficaces pour les activités liées à la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures », s'étend progressivement.

La préparation du programme GMES et le besoin d'une uniformisation de l'accès aux données d'observation de la terre confèrent à l'harmonisation du segment sol une importance accrue.

Un portail web, regroupant les sites de l'ESA consacrés aux nombreuses missions d'observation de la Terre de l'Agence et de tiers, offre désormais un accès bien structuré à l'information.

Missions en cours de développement

Missions d'exploration de la Terre (Earth Explorer)

Modèle de vol de CryoSat chez IABG (D) - Essais d'ambiance

CryoSat

CryoSat a été conçu pour mesurer les variations d'épaisseur des calottes polaires et des glaces de mer. Ses données serviront à étudier les bilans de masse des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland et à déterminer l'influence de la cryosphère sur l'élévation globale du niveau des mers. La mission fournira également d'importantes observations sur l'épaisseur des glaces de mer pour des études climatologiques concernant aussi bien l'Arctique que l'ensemble de la planète.

Le projet est bien avancé. EADS Astrium (D) a terminé l'intégration du prototype de vol du satellite ; il a été transporté chez IABG (D) fin juillet pour les essais d'ambiance qui ont aussi



confirmé la compatibilité de CryoSat avec le lanceur Rockot. Le développement du segment sol est achevé, y compris pour l'installation de traitement des données de l'altimètre radar SIRAL. Le lancement devrait s'effectuer depuis Plesetsk à la fin septembre 2005.

GOCE

La mission Gravité et circulation océanique en régime stable (GOCE), mission de base d'exploration de la Terre, a pour objet d'établir des modèles inédits du champ de gravité terrestre et du géoïde à l'échelle planétaire, avec une précision et une résolution spatiale encore inégalées.

Après la consolidation de la conception détaillée du satellite en 2003, l'année 2004 a été essentiellement consacrée à la fabrication et à l'essai des différents modèles de développement. Les activités de développement du segment sol ont progressé conformément au calendrier et la revue de conception s'est achevée avec succès en novembre. Le lancement de la mission reste prévu en août 2006.

SMOS

La mission d'étude de l'humidité des sols et de la salinité des océans (SMOS) testera l'observation depuis l'espace de deux variables fondamentales du système Terre : l'humidité des sols des terres émergées et la teneur en sel des océans. Ces deux paramètres, déterminants pour l'étude du climat et des changements climatiques, n'ont encore jamais été mesurés.

La phase de développement (phase C/D) de la charge utile de SMOS, qui comprend le radiomètre imageur hyperfréquence à synthèse d'ouverture (MIRAS) et ses instruments de soutien, a commencé au cours de l'année. La plate-forme Proteus du satellite, fournie par le CNES, est actuellement en phase de conception (phase B).



La procédure d'approvisionnement du lanceur Eurockot (Brême, D) qui doit assurer la mise en orbite de SMOS en 2007, a été engagée à la fin de l'année.

ADM-Aeolus

La mission d'étude de la dynamique de l'atmosphère (ADM-Aeolus), deuxième mission de base, dont le lancement est prévu pour 2008, fournira les premières mesures de profils de vents réalisées depuis l'espace. Cette mission, encore unique en son genre, atteindra les profondeurs de la stratosphère où il n'a été effectué pratiquement aucune mesure jusqu'à présent. On en attend par conséquent d'importantes avancées dans le domaine de la prévision numérique du temps, et notamment des phénomènes météorologiques extrêmes.

La phase de développement (phase C/D) du contrat d'approvisionnement du satellite progresse de manière satisfaisante, de même que le développement du segment sol.

Le système sol de gestion des données de charge utile sera réparti entre plusieurs installations : réception en bande X à Svalbard (N), traitement pour corrections techniques à Tromsø (N) et élaboration des produits vents au Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF), à Reading (GB). Les opérations de commande et contrôle seront confiées à l'ESOC, à Darmstadt (D), qui utilisera la station sol de Kiruna (S).



MSG-2 en configuration de vol et MSG-3 sous forme pré-intégrée dans la salle blanche d'Alcatel Space à Cannes (F)
(Source : Alcatel Space)

Missions de surveillance de la Terre

Météosat de seconde génération (MSG)

La première année d'exploitation de MSG-1, rebaptisé Météosat-8 après sa mise en orbite, a donné entière satisfaction à la communauté des utilisateurs. Les performances optiques de l'imageur visible et infrarouge amélioré non dégénéré (SEVIRI) et les résultats de l'instrument de bilan radiatif terrestre sur orbite géostationnaire (GERB) sont excellents.

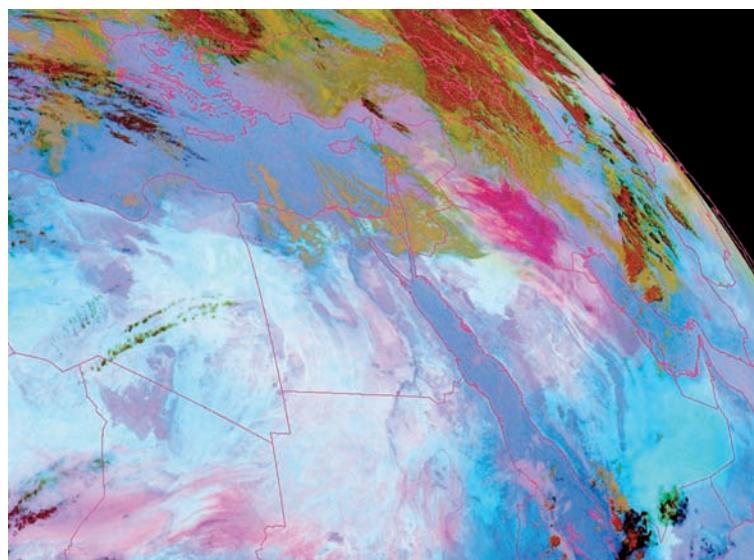
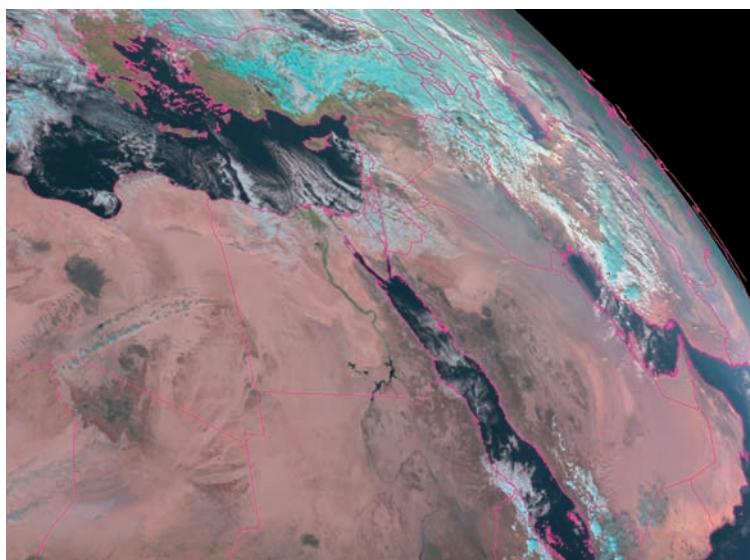
Les essais d'ambiance achevés, le satellite MSG-2 est désormais prêt à être expédié à

Kourou, où il sera préparé en vue de son lancement par Ariane-5 en novembre 2005.

Après la campagne de lancement de MSG-2, MSG-3, dont les essais d'ambiance sont également terminés sera entreposé jusqu'à son propre lancement, actuellement prévu pour 2009.

L'approvisionnement de MSG-4 a progressé conformément au calendrier. Pour la plupart, les sous-systèmes ont déjà été livrés, de sorte que certaines activités de préintégration au niveau système ont pu démarrer. L'intégration finale commencera après le lancement de MSG-2.

Une tempête de sable (accompagnée d'une masse d'air froid) a traversé l'Arabie saoudite dans la nuit du 23 au 24 novembre 2004. À 7h00 UTC, elle avait déjà atteint la partie sud de la Péninsule arabique et avançait vers Oman et le Yémen. L'image haute résolution acquise par Météosat-8 dans le visible (à gauche) montre le nuage de sable, qui apparaît comme une zone claire et indistincte se démarquant de la surface structurée du désert. La tempête de sable est également identifiable sur les images infrarouges, qui font ressortir une zone plus froide contrastant avec la surface chaude du désert.
(Source : Eumetsat)



MetOp

2004 a permis de franchir certaines étapes clés du programme MetOp.

- Le satellite MetOp-1 est terminé et les résultats de la première partie de la revue de recette pour le vol sont positifs. Le satellite sera maintenant entreposé jusqu'à sa réactivation, son lancement n'étant prévu que vers 2010.
- L'intégration de MetOp-2, le premier satellite MetOp qui sera lancé, est bien avancée ; les campagnes d'essais de compatibilité électromagnétique et d'environnement mécanique étaient achevées à la fin de l'année. Le lancement est prévu pour avril 2006.
- Les relations avec la communauté météorologique élargie ont été renforcées par de multiples activités.

InfoTerra/TerraSAR

Le champ magnétique terrestre est essentiellement généré par un effet dynamo qui trouve son origine dans le noyau externe. Les observations précises de la constellation Swarm contribueront à identifier les autres facteurs en jeu

La mission TerraSAR a pour principal objectif de fournir des services d'information géographique à des utilisateurs commerciaux exploitant des produits de données qui proviendront à la fois de TerraSAR-L et de TerraSAR-X (en cours de développement au titre d'un programme conduit par l'Allemagne au niveau national). TerraSAR-L sera la plus

puissante des missions d'imagerie radar de l'ESA. Prévue pour durer 5 ans, elle assurera une couverture mondiale depuis une orbite de 640 km d'altitude suivant un cycle de 14 jours avec 20 minutes d'acquisition de données par orbite.

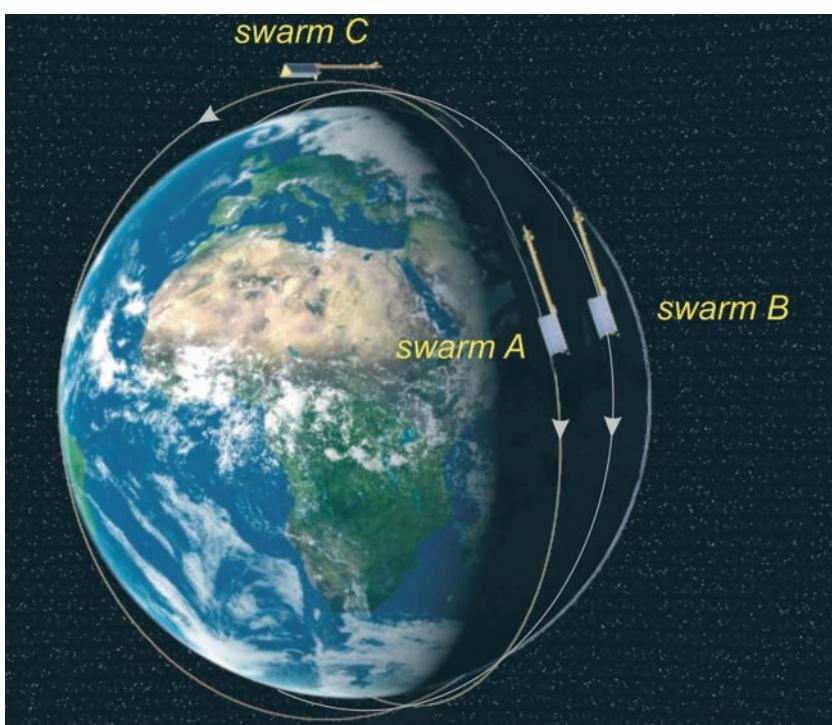
L'essentiel de la charge utile est constitué par un instrument SAR en bande L, utilisant une antenne réseau à commande de phase de 11 m x 2,9 m comportant 160 modules d'émission / réception. Plus de 600 Gbits de données pourront être stockés à bord et téléchargés par un réseau de stations sol via une liaison à 300 Mbits/s. La plateforme du satellite, qui reposera sur la nouvelle configuration Snapdragon et présentera une



masse au lancement de 2,4 t, sera embarquée sur un lanceur Soyouz Frégate ST. Les panneaux solaires délivreront une puissance de 5 kW.

Fuegosat

La première étape de l'Élément « Consolidation de Fuegosat » est achevée. Le prototypage et la démonstration des services, réalisés avec les utilisateurs dans leur environnement opérationnel, ont permis d'identifier leurs besoins et de consolider les capacités du système spatial. L'architecture de cette mission, conçue pour lutter contre les incendies, qui causent chaque année la perte de millions d'hectares de forêts, pourrait comprendre des éléments opérationnels généraux tels que les Sentinelles GMES et des détecteurs spécifiques fonctionnant dans l'infrarouge moyen et thermique pour améliorer la détection et la surveillance des incendies.



Préparation des missions futures

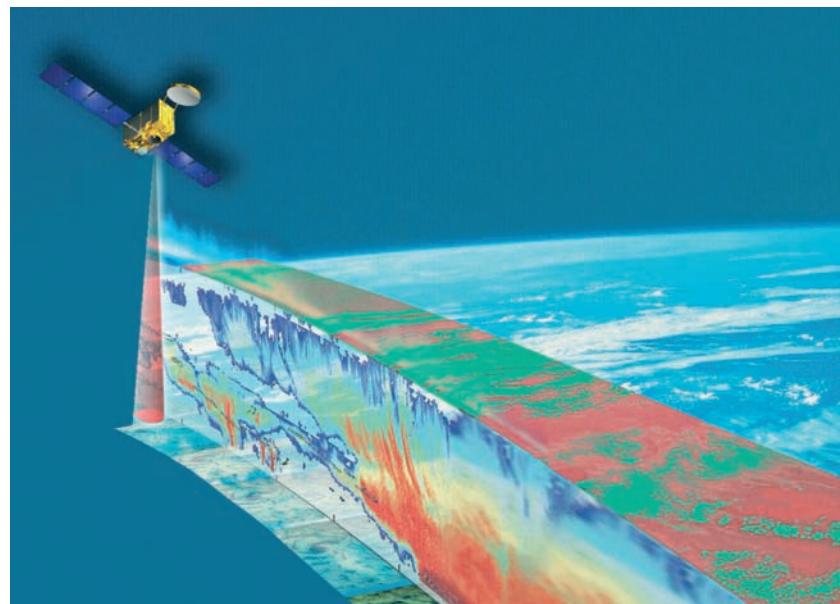
Les activités préparatoires portent sur les futures missions d'exploration et de surveillance de notre planète, destinées à accroître notre connaissance du système Terre et à déployer des solutions spatiales dans des domaines critiques comme la détection du changement climatique, la surveillance de l'environnement, le développement durable, la gestion des risques et d'autres domaines couverts par l'initiative GMES venant s'ajouter aux activités bien établies telles que la météorologie spatiale.

Missions d'exploration de la Terre (Earth Explorer)

Les résultats des études de faisabilité portant sur six missions candidates – EarthCARE, SPECTRA, WALES, ACE+, EGPM et Swarm – ont été présentés lors d'une réunion tenue en avril à l'ESRIN (I), à laquelle ont assisté 300 représentants de la communauté scientifique et de l'industrie. Les recommandations formulées par les scientifiques ont conduit à la sélection de Swarm et d'EarthCARE en vue d'un lancement à la fin de la décennie.

Les missions d'exploration de la Terre, dont le nombre est ainsi porté à six, visent à conduire de nombreuses études scientifiques dans le but d'améliorer notre compréhension du fonctionnement du système Terre, de son évolution et de son altération par les activités humaines.

Swarm, cinquième mission d'exploration de la Terre, surveillera les champs magnétiques et électriques qui entourent notre planète. Grâce à une configuration originale à trois petits satellites, elle permettra d'établir un lien entre les variations des champs mesurés et le comportement dynamique du globe terrestre ainsi que les interactions avec le rayonnement solaire. Complémentaire de la mission d'exploration de la Terre GOCE, qui mesurera le champ de gravité terrestre, Swarm améliorera notre connaissance de la dynamique de la surface terrestre et notre compréhension des séismes, qui constituent une menace pour un nombre croissant de personnes. Ce satellite, qui devrait être lancé en 2009, représente

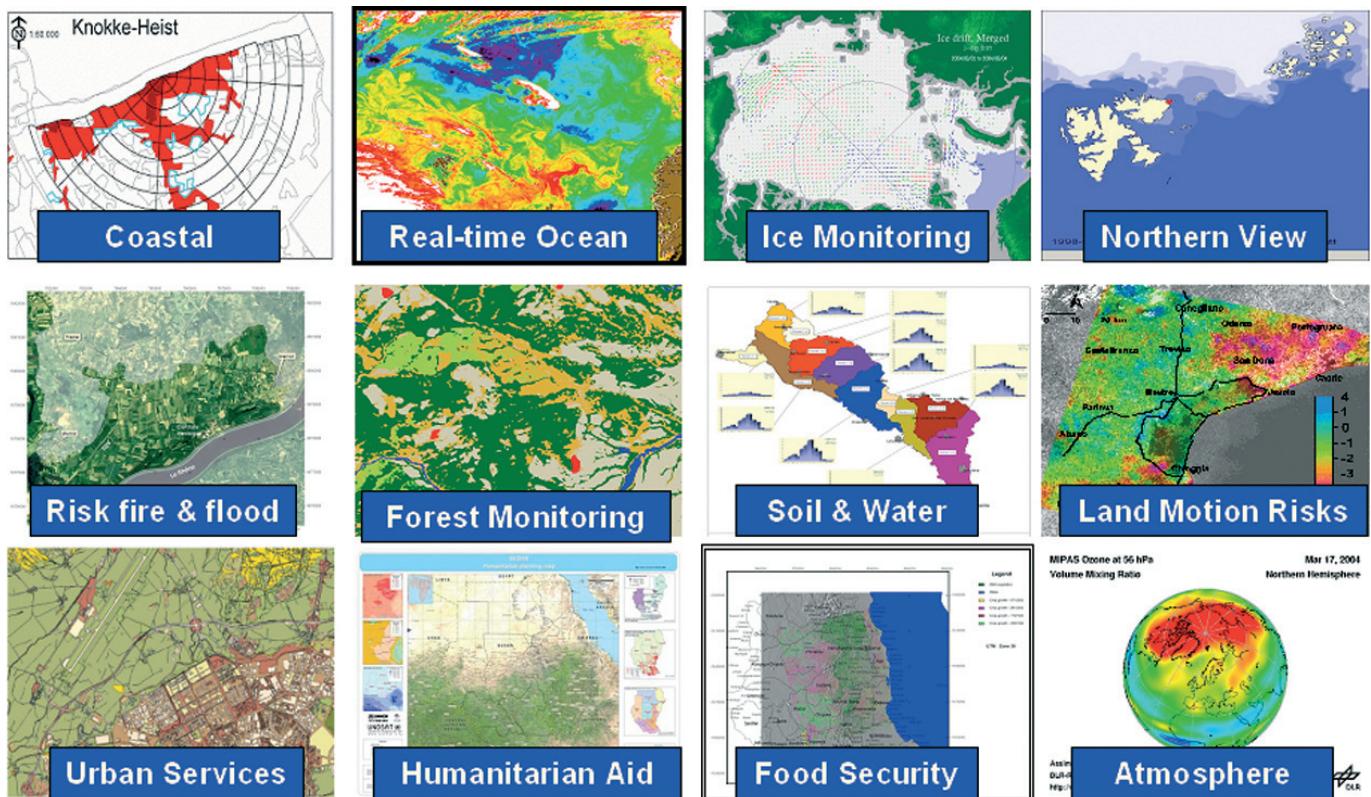


l'aboutissement de travaux européens de longue haleine qui ont commencé avec la mission danoise Øersted et se sont poursuivis avec la mission allemande CHAMP.

La sixième mission d'exploration de la Terre sera la mission EarthCARE. Elle sera menée en coopération avec le Japon pour un lancement en 2012. Elle étudiera le rôle climatologique des nuages et des aérosols et mesurera avec précision le bilan radiatif terrestre. Les nuages comptent parmi les éléments les plus importants et les plus complexes du système climatique de notre planète. Les aérosols présents dans l'atmosphère peuvent quant à eux exercer un effet de réchauffement ou de refroidissement selon la nature des particules, qui dépend pour une part importante des activités humaines. EarthCARE améliorera notre connaissance des facteurs qui conditionnent le changement climatique et de la responsabilité de l'homme dans le réchauffement actuel de la planète.

Près de 70 propositions de missions ont été examinées au cours des dix ans écoulés depuis la création du programme d'exploration de la Terre en 1994 et six d'entre elles ont été sélectionnées. Aujourd'hui, ces missions n'en sont pas toutes au même stade de développement : la première, CryoSat, doit être lancée en 2005 tandis que le lancement d'EarthCARE, la dernière sélectionnée jusqu'à présent, est prévu pour 2012.

EarthCARE fournira des informations essentielles pour l'établissement de modèles numériques et l'étude, à l'échelle mondiale, de la divergence des flux radiatifs, des interactions entre aérosols, nuages et rayonnement, de la répartition verticale de l'eau et de la glace et de leur transport par les nuages, du chevauchement vertical des champs de nuages et des interactions entre nuages et précipitations ainsi que de bien d'autres questions scientifiques d'un grand intérêt



Missions de surveillance de la Terre GMES (Earth Watch)

L'analyse des impératifs mission découlant des besoins des utilisateurs et des besoins en matière de services a permis l'établissement de concepts applicables aux premières missions spatiales de Surveillance globale pour l'environnement et la sécurité (GMES), dénommées « Sentinelles ».

Il a été convenu d'une série d'activités préparatoires à réaliser en 2005, parmi lesquelles l'évaluation des bénéfices socio-économiques de l'initiative et des études d'architecture et de scénarios de mise en œuvre pour toutes les composantes du système, mais en particulier pour la composante Observation de la Terre. Sont également prévues au titre des activités préparatoires des études de définition concernant Sentinel-1 (mission SAR en bande C visant à assurer la continuité des données SAR d'ERS, d'Envisat et de Radarsat), Sentinel-2 (mission d'imagerie optique superspectrale, s'inscrivant dans la continuité des mesures de Spot et Landsat tout en les améliorant) et Sentinel-3 (satellite de surveillance des océans,

des terres émergées et de la couverture végétale à l'échelle planétaire équipé d'un imageur optique fonctionnant dans le visible et l'infrarouge thermique et d'un altimètre de technologie avancée). Il a également été prévu des études initiales pour Sentinel-4 et Sentinel-5, satellites de surveillance de la composition atmosphérique qui fonctionnent respectivement en orbite géostationnaire et en orbite terrestre basse.

Développement de services et applications

DUP-DUE

Plusieurs nouveaux projets liés au programme pour les Utilisateurs de données (DUP) et à l'Elément Utilisateurs de données (DUE) ont été lancés menant à l'établissement des ensembles de données globaux, tels que tracer des aérosols, des littoraux, de la glace de mer, des déserts, des aquifères et de la couverture de terre.

Ces projets ont été mis à exécution en étroite collaboration avec des utilisateurs

institutionnels tels que les organisations d'aide humanitaire, les administrateurs des bassins fluviaux, les ministères et agences environnementales, les ministères de l'agriculture et des forêts, l'OMS, l'UNESCO, la FAO et le PNUE.

Surveillance globale pour l'environnement et la sécurité (GMES)

Les dix contrats de consolidation des services GMES ont été menés à terme avec succès en 2004, les communautés d'utilisateurs s'étant clairement prononcées en faveur d'une extension du rôle des données d'observation de la Terre pour répondre aux besoins en information découlant d'orientations politiques. Un nombre inégalé de produits et de services, de la cartographie des icebergs à celle de la qualité des eaux côtières européennes, a ainsi pu être fourni à plus de 200 organisations d'utilisateurs dans toute l'Europe et en Afrique.

Deux nouvelles activités de consolidation ont débuté en 2004, dans les domaines de la surveillance de la pollution atmosphérique et de l'aide à la décision en liaison avec les opérations d'aide humanitaire, lors d'événements tels que le tsunami d'Asie du Sud ou la crise du Darfour.

Le Bureau du programme GMES a assuré la coordination avec la Commission européenne des activités relatives aux services GMES, parmi lesquelles la préparation de la Semaine « Terre et Espace », organisée à Bruxelles en février 2005, et la planification détaillée de la mise à l'échelle des services pour les trois ans à venir (2005-2007).

EOMD

Par l'intermédiaire du programme ESA de développement du marché de l'observation de la Terre (EOMD), les fournisseurs de service ont continué à fonctionner étroitement avec les clients potentiels dans les secteurs du génie civil, des mines, du secteur pétrolier et gazier, de production et transport, d'aquiculture, de navigation, de transport et certification marine, d'énergies renouvelables, et de réassurance.

Plus de 30 épreuves spécifiques de service conçue avec ces clients potentiels sont planifiées tout au long de 2005.

Education

Les activités d'éducation de l'observation de la Terre (EO) se sont concentrées sur l'enrichissement d'Eduspace, le site Web multilingue EO d'ESA pour les écoles secondaires conçus sous les auspices d'EURISY. Un nouveau module intitulé 'Afrique de l'espace' et accompagnement des cas d'étude ont été intégrés dans la version opérationnelle du site Web. LEOWorks 2.0, la version améliorée de l'outil à traitement d'images d'Eduspace pour enseignants et étudiants, est devenu opérationnel pendant l'été.

Des manifestations et cours conçus à l'intention des enseignants, ont été supportés dans l'Europe et ailleurs. Plusieurs stagiaires internationaux et boursiers nationaux ont été accueillis à l'ESRIN pendant 2004.

GRID

2004 a vu l'accomplissement et le transfert des applications mûres basées sur GRID aux opérations, avec en particulier l'intégration de l'outil de traitement de données de l'instrument MERIS sur ENVISAT (BEAM) dans l'environnement 'GRID-sur-demande' pour produire de divers produits Niveau-3 utilisés pour la promotion et mosaïque du mode global d'ASAR au-dessus du continent antarctique.

L'environnement GRID permet l'accès de grandes bases de données à la source, au lieu de livrer les produits de données à partir des installations d'acquisition/storage au site d'utilisateur. La GRILLE fournit à la communauté d'utilisateurs l'accessibilité rapide aux données, aux ressources informatiques à haute performance et donc aux résultats rapides.