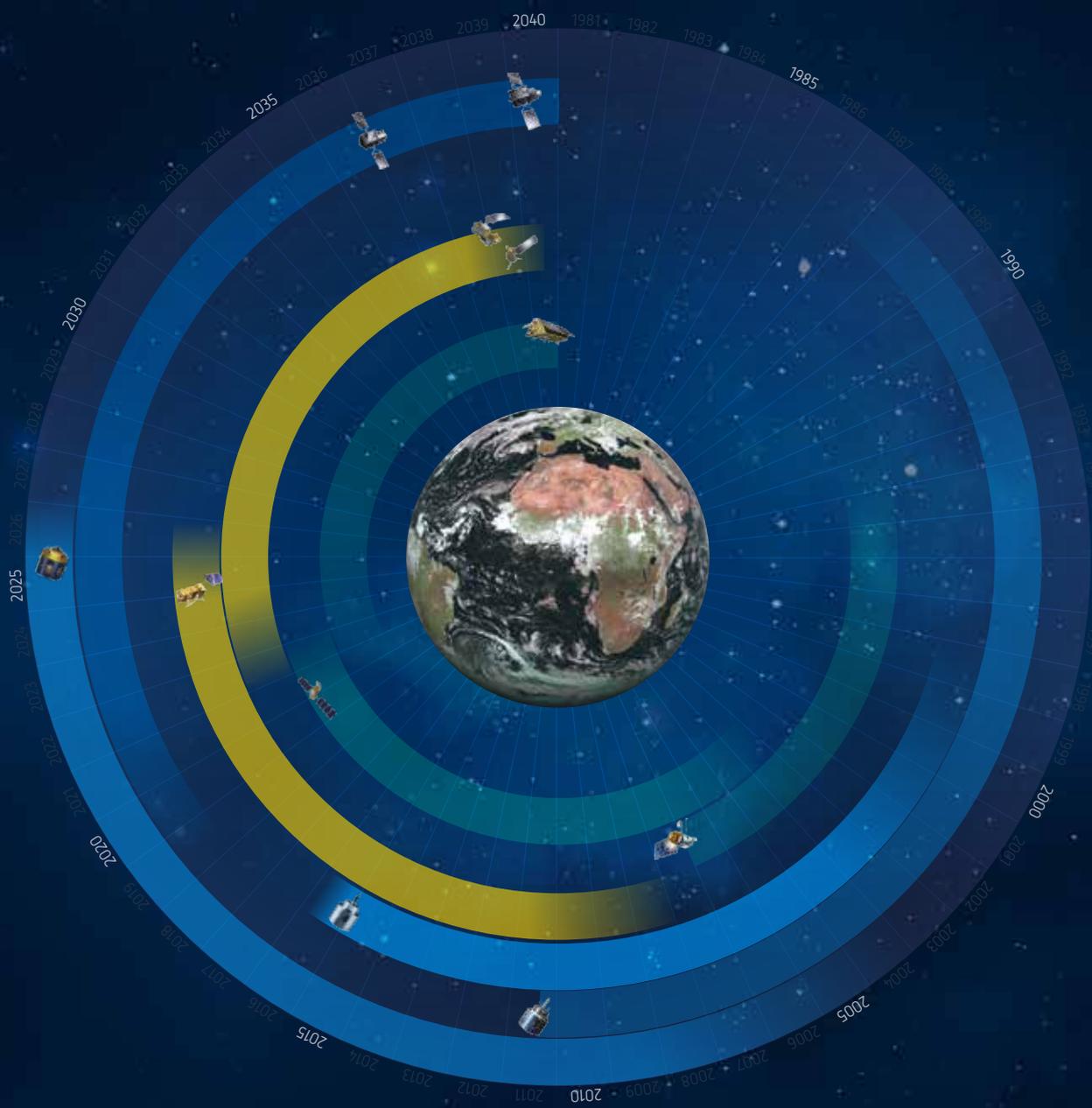


CLIMAT@EUMETSAT

DE LA MÉTÉOROLOGIE À LA SURVEILLANCE DU CLIMAT



LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : UNE RÉALITÉ ET UN DÉFI MONDIAL

Le cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) apporte de nouvelles évidences de la réalité du changement climatique

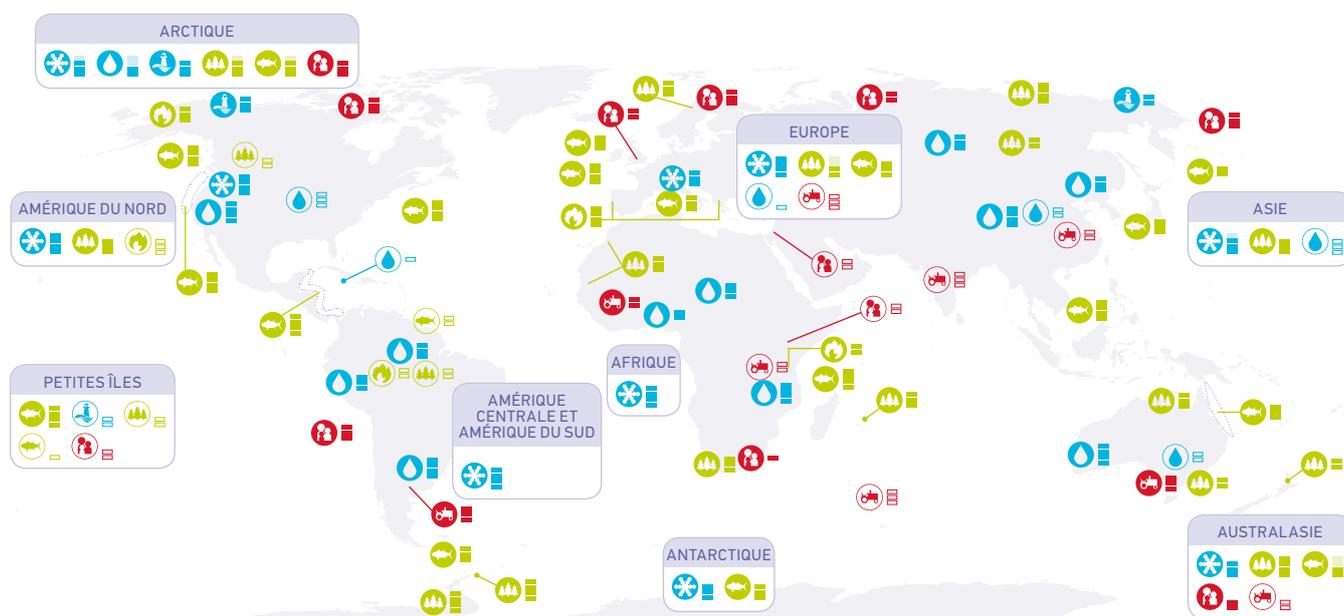
« Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies voire des millénaires. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé et les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté. »¹

populations des régions touchées. Les conséquences socio-économiques prennent la forme de perturbations de la production alimentaire et de l'approvisionnement en eau, de dommages aux infrastructures et aux aménagements ou de crises sanitaires – comme la surmortalité causée par la chaleur ou des maladies véhiculées par l'eau.

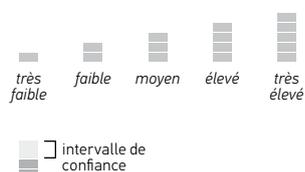
Les changements de l'équilibre énergétique de la Terre dus à l'augmentation des gaz à effet de serre perturbent déjà les régimes des vents et des précipitations. De même, le nombre de phénomènes météorologiques extrêmes a doublé au cours des trois dernières décennies, et la hausse de la fréquence ou de l'intensité des vagues de chaleur, des inondations, des cyclones et des feux de forêt ont mis en lumière la vulnérabilité des écosystèmes et des

L'Europe ne sera pas épargnée. Le GIEC estime que les régions du sud en particulier pâtiront de sécheresses, alors même que la demande en eau croît face aux besoins de l'irrigation, de l'industrie et des usages domestiques. Associées aux feux de forêt qui menacent des régions entières, ces sécheresses pèseront sur l'agriculture et des industries vitales comme le tourisme. Dans le même temps, l'Europe centrale et l'Europe du Nord seront

Incidences observées et confiance dans l'attribution au changement climatique (source : rapport du GIEC¹)



Degré de confiance associé à l'attribution au changement climatique



Incidences observées attribuées au changement climatique

Systèmes physiques



Systèmes biologiques



Systèmes humains et aménagés



Symboles vides = contribution mineure du changement climatique

Symboles remplis = contribution majeure du changement climatique

INCIDENCES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

¹ Changements climatiques 2013, Les éléments scientifiques, Résumé à l'intention des décideurs



touchées par des inondations de plus en plus sévères, associées à la hausse du niveau de la mer, qui « exposeront de plus en plus les systèmes côtiers et les zones submersibles aux effets des inondations et de l'érosion côtières ». ¹

Les changements climatiques sont déjà une réalité, et la maîtrise du risque impose l'adoption de politiques d'adaptation adéquates, visant à renforcer la prévention en améliorant encore les systèmes d'avertissement précoce des épisodes météorologiques à fort enjeu (auxquels les satellites d'EUMETSAT fournissent des observations décisives), à introduire des défenses côtières et autres infrastructures de protection contre les inondations et à repenser l'habitat, l'urbanisme et l'aménagement des territoires.

En réduisant les émissions, les politiques d'atténuation sont tout aussi essentielles pour limiter l'ampleur du changement climatique à long terme. Elles offrent également un potentiel de croissance économique, puisqu'en Europe, plus de 3,5 millions de personnes travaillent dans les secteurs «verts», qui ont créé plus de 180 000 emplois par an entre 1999 et 2008, dont la plupart ont été préservés durant les pires années de la crise économique.

Parce qu'elles exigent des investissements publics et privés conséquents, les politiques d'adaptation et d'atténuation doivent s'appuyer sur des informations scientifiquement fondées sur les changements climatiques en cours et à venir.

Crues centennales en Europe en 2002 et 2013

LE CADRE MONDIAL POUR LES SERVICES CLIMATOLOGIQUES

Une réponse globale aux besoins d'informations climatologiques des décideurs

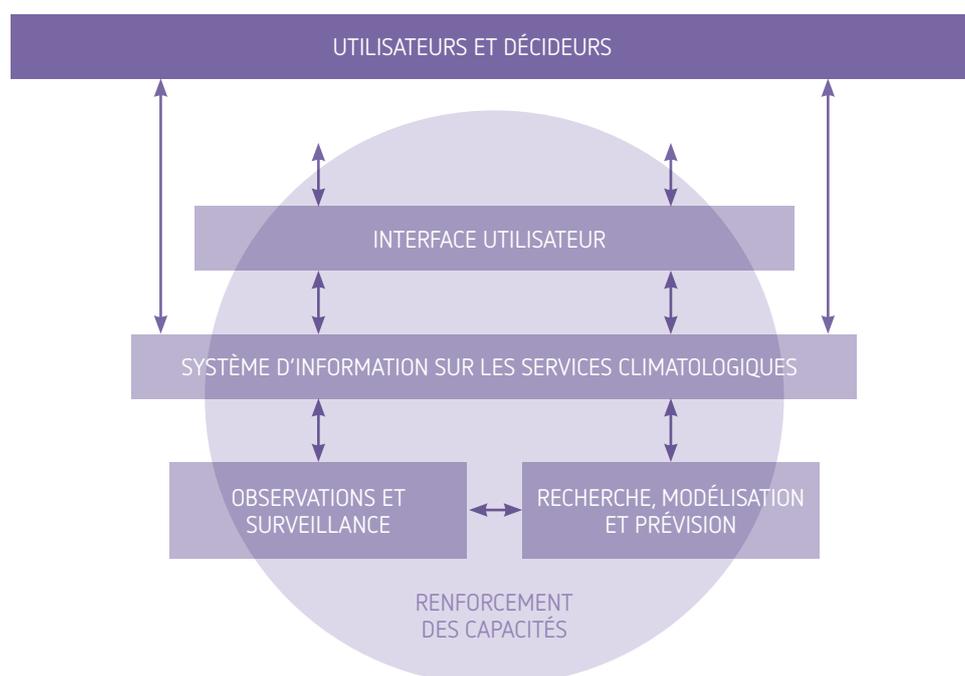
Pour développer les services d'informations climatologiques, la troisième Conférence mondiale sur le climat (WCC-3, Genève, 2009) a établi le Cadre mondial pour les services climatologiques (CMSC). Le CMSC vise à renforcer la qualité, la quantité et la disponibilité des informations climatologiques développées par les scientifiques et les fournisseurs de services et à rapprocher ces informations des besoins concrets des utilisateurs finaux.

Le CMSC comporte cinq piliers. Les piliers « observations et surveillance » et « recherche, modélisation et prévision » constituent le fondement du CMSC en fournissant les observations, les données et les produits de modélisation exploités par les chercheurs et les fournisseurs de services pour extraire toute une gamme de produits et d'informations climatologiques. Le « système d'information sur les services climatologiques » assure la production et l'échange opérationnels de ces données, produits et informations, que l'« interface utilisateur » transforme en informations sur mesure destinées à des projets

spécifiques – tout en stimulant le développement de nouveaux services en réponse aux besoins des utilisateurs. Le pilier « renforcement des capacités » vise à doter les pays en développement des capacités de services climatologiques nécessaires à la réalisation de leurs stratégies d'adaptation.

Le CMSC cible avant tout quatre secteurs climato-sensibles prioritaires : l'agriculture et la sécurité alimentaire, la réduction des risques de catastrophes, la santé et la gestion des ressources en eau. L'aide à la décision dans ces secteurs permettra notamment d'améliorer la sécurité alimentaire, l'offre de soins et la gestion des ressources hydriques, mais aussi de réduire les effets des risques naturels. Dans ces secteurs, « la fourniture de services climatologiques sans couture couvrant le court et le long terme sera essentielle pour garantir une exploitation efficace et cohérente des informations, face à la diversité des décisions à prendre dans le monde réel.»²

Les cinq composantes (piliers) du CMSC (source : OMM)



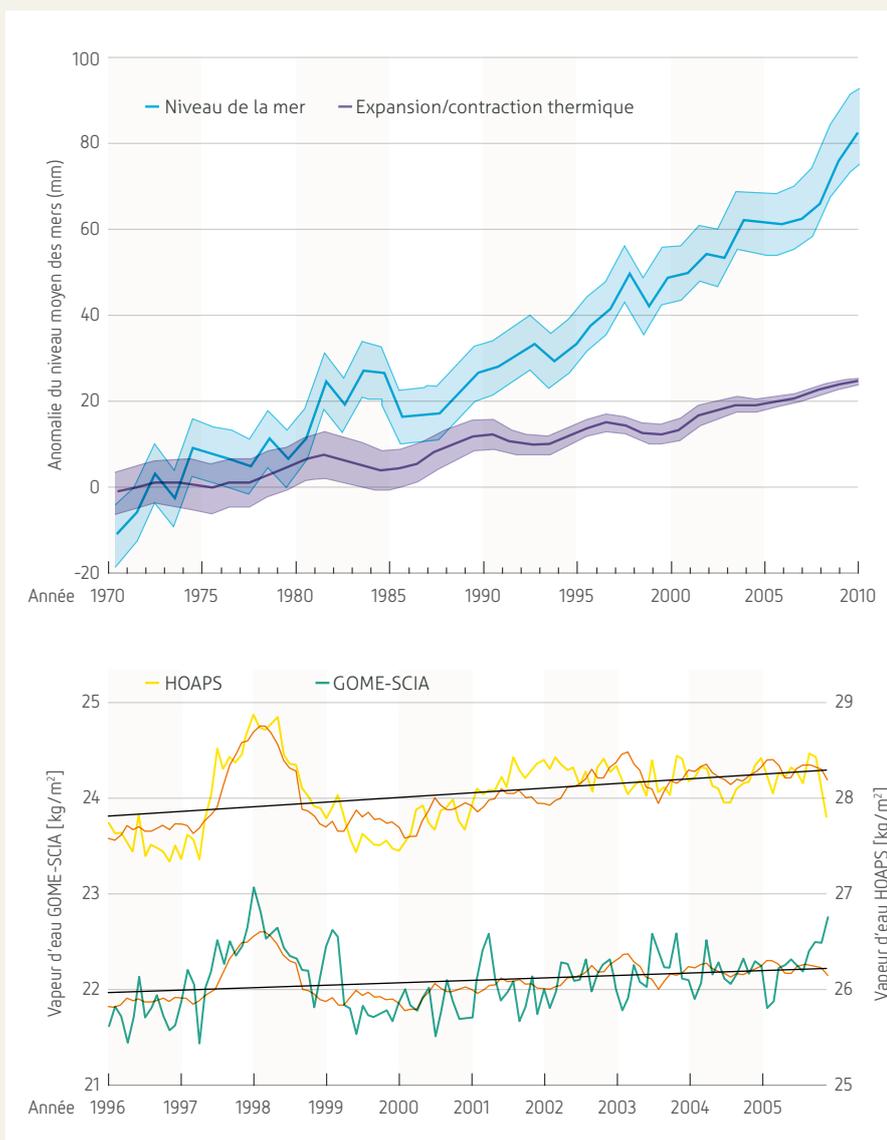
L'OBSERVATION : UNE CONTRIBUTION ESSENTIELLE

Les observations sont essentielles à la détection et à l'évaluation du changement climatique, ainsi qu'à la validation des modèles du système Terre utilisés pour les prévisions et projections climatiques

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) aborde explicitement le besoin en observations du climat et confie au Système mondial d'observation du climat (SMOC) la tâche de définir les exigences associées pour les observations réalisées in situ ou depuis l'espace. Le SMOC travaille en partenariat pour définir ces exigences, mais aussi pour assurer la production pérenne des observations de paramètres physiques, chimiques et biologiques issues des systèmes d'observation les plus performants, ainsi que des Relevés climatologiques correspondants.

Le SMOC a identifié un ensemble de variables géophysiques, appelées variables climatiques essentielles (VCE), dont l'observation est cruciale pour apprécier la réalité du changement climatique et soutenir la recherche et l'émergence des services d'informations climatologiques. Les VCE comme le vecteur vent, le niveau de la mer ou l'albédo, sont divisées en trois catégories : atmosphérique, terrestre et océanique.

Vu la dynamique relativement lente du changement climatique, les observations des VCE doivent être précises et bien étalonnées pour constituer des séries chronologiques homogènes couvrant plusieurs décennies, appelées relevés de données climatologiques (RDC). Seuls les plus longs des RDC permettent de distinguer les tendances de la variabilité climatique à plus court terme. Ils peuvent être utilisés seuls pour analyser la variabilité et les changements du climat, ou ingérés par des modèles numériques du système Terre qui permettent de reconstruire – « réanalyser » – des relevés climatologiques cohérents d'un plus vaste ensemble de VCE.



Tendances mondiales du niveau de la mer³ et de la vapeur⁴ d'eau, déduites des observations

³ Rhein, M. et al. Changement climatique 2013: Les éléments scientifiques – Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (éd. T. F. Stocker et al.) 255-315 (Cambridge University Press, 2013)

⁴ Mieruch, S. et al. Comparison of decadal global water vapor changes derived from independent satellite time series, *Journal de recherche géophysique : atmosphères* 119, DOI : 10.1002/2014JD021588 (2014)

OBSERVER LE CLIMAT DEPUIS L'ESPACE : LA VISION D'EUMETSAT

Grâce à leurs observations répétitives et globales, les satellites fournissent un aperçu unique du changement climatique, les plus longs Relevés de données climatologiques étant ceux accumulés par les satellites météorologiques



En général, les RDC des variables VCE reposent sur la combinaison d'observations in situ et satellitaires, mais les contributions des observations satellitaires sont significatives pour une majorité de VCE.

Le plan du SMOC précise que « les satellites deviennent un moyen de plus en plus important d'obtenir des observations globales pour comparer la variabilité et les changements du climat entre différentes parties de la Terre. Il est donc prioritaire de disposer d'un système de satellites et d'instruments développé de manière à garantir la pérennité, la précision, la stabilité et l'homogénéité des données ».

Plus récemment, le Symposium sur le thème « Recherche climatique et observation de la Terre depuis l'espace : informations climatologiques et aide à la décision » – organisé conjointement par EUMETSAT et le Programme mondial de recherche sur le climat en octobre 2014 – a souligné « le besoin incontestable de disposer de systèmes d'observation pérennes reposant sur des satellites opérationnels ». Le symposium a également établi que « les synergies entre les satellites opérationnels et les missions de recherche devraient être privilégiées pour aborder les questions scientifiques qui sont au cœur de plusieurs grands défis de la recherche sur le climat ».

LA VISION D'EUMETSAT

Cette vision était déjà celle des États membres d'EUMETSAT lorsqu'ils décidèrent d'étendre le mandat initial de l'organisation - « établir, maintenir et exploiter des systèmes européens de satellites météorologiques » - pour « contribuer à la surveillance du climat et des changements climatiques à l'échelle de la planète ». Cette décision était fondée sur plusieurs constats :

- la météorologie moderne, comme la surveillance du climat, nécessite des observations bien au-delà de l'atmosphère, c'est-à-dire de nombreux paramètres de l'atmosphère, des océans et des terres émergées qui sont de fait des VCE ;
- les programmes opérationnels multi-satellites d'EUMETSAT et leur continuité garantie au cours des prochaines décennies, constituent un atout unique pour la surveillance du climat, et alimentent une archive déjà riche de plus de 35 ans d'observations de Meteosat ;
- l'existence même d'EUMETSAT, de ses infrastructures et de son savoir-faire scientifique et technique sont un gage d'efficacité pour sa contribution à la surveillance du climat.

En 2000, la Convention d'EUMETSAT de 1986 a été révisée en conséquence. Cette révision a également introduit la possibilité d'ajouter des programmes facultatifs aux programmes obligatoires Meteosat et Système polaire EUMETSAT, de façon à produire davantage d'observations destinées à la surveillance du climat. C'est donc sans surprise que les premiers programmes facultatifs d'EUMETSAT ont porté sur sa contribution aux missions d'altimétrie de haute précision Jason-2 et Jason-3 consacrées à la surveillance de la circulation océanique et du niveau de la mer.



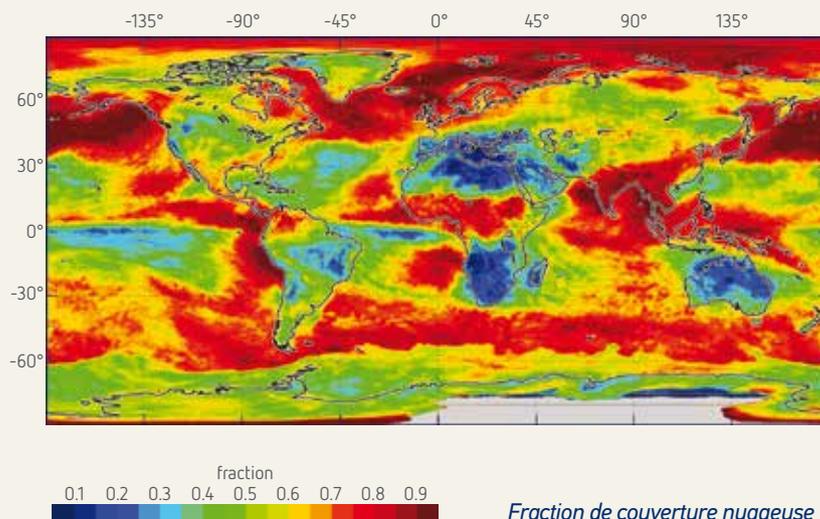
LE RÔLE D'EUMETSAT : DE L'OBSERVATION AUX RELEVÉS CLIMATOLOGIQUES

Intégrée à l'ensemble des activités d'EUMETSAT, des opérations à la planification des satellites du futur, la surveillance du climat fait aussi l'objet d'un travail spécifique de réétalonnage des données historiques et d'extraction de relevés climatologiques

En pratique, EUMETSAT accomplit sa mission de surveillance du climat à travers les activités suivantes :

- réalisation de programmes multi-satellites apportant la perspective opérationnelle et l'engagement à long terme nécessaires à la surveillance du climat ;
- archivage de décennies d'observations spatiales de l'atmosphère, de l'océan et des surfaces continentales ;
- ré-étalonnage des observations historiques pour en extraire, par retraitement, des relevés de données climatologiques (RDC) de variables physiques et géophysiques, cohérents et de longue durée ;
- coopération avec la communauté scientifique pour valider les RDC et encourager leur utilisation dans le Cadre mondial pour les services climatologiques ;
- assurer un accès facile à une large gamme de RDC bien documentés ;
- soutien à l'Union européenne dans la définition et la mise en œuvre du service Copernicus sur le changement climatique (C3S) ;
- soutien aux initiatives de renforcement de capacités liées au climat, notamment en Afrique.

Ces activités contribuent à trois des piliers du CMSC, le pilier « observations et surveillance », grâce au déploiement et à l'exploitation de systèmes d'observation pérennes, le « système d'information sur les services climatologiques » par la production systématique et l'échange régulier de relevés de données climatologiques, et le pilier « renforcement des capacités ».



Fraction de couverture nuageuse moyenne mensuelle à l'échelle globale, extraite d'un relevé de données climatologiques d'AVHRR pour la période 1982 - 2009 (source : SAF Climat)

Pour la plupart de ses activités, EUMETSAT interagit avec les communautés du pilier « recherche et de modélisation », et prend part, aux côtés des utilisateurs d'informations climatologiques, à des projets relevant au pilier « interface utilisateur ».

Le cadre général de l'engagement d'EUMETSAT est son Plan de surveillance du climat, approuvé par son Conseil, qui établit les priorités et fournit une vue d'ensemble des activités en cours et prévues et des opportunités de coopération internationale.

Les activités de surveillance du climat d'EUMETSAT impliquent ses installations centrales à Darmstadt et son réseau de Centres d'applications satellitaires (SAF) répartis dans ses États membres, en particulier le SAF Climat (CM-SAF), qui joue un rôle de premier plan. Elles mobilisent les infrastructures d'archivage et de traitement de données distribuées au sein de tout ce réseau.

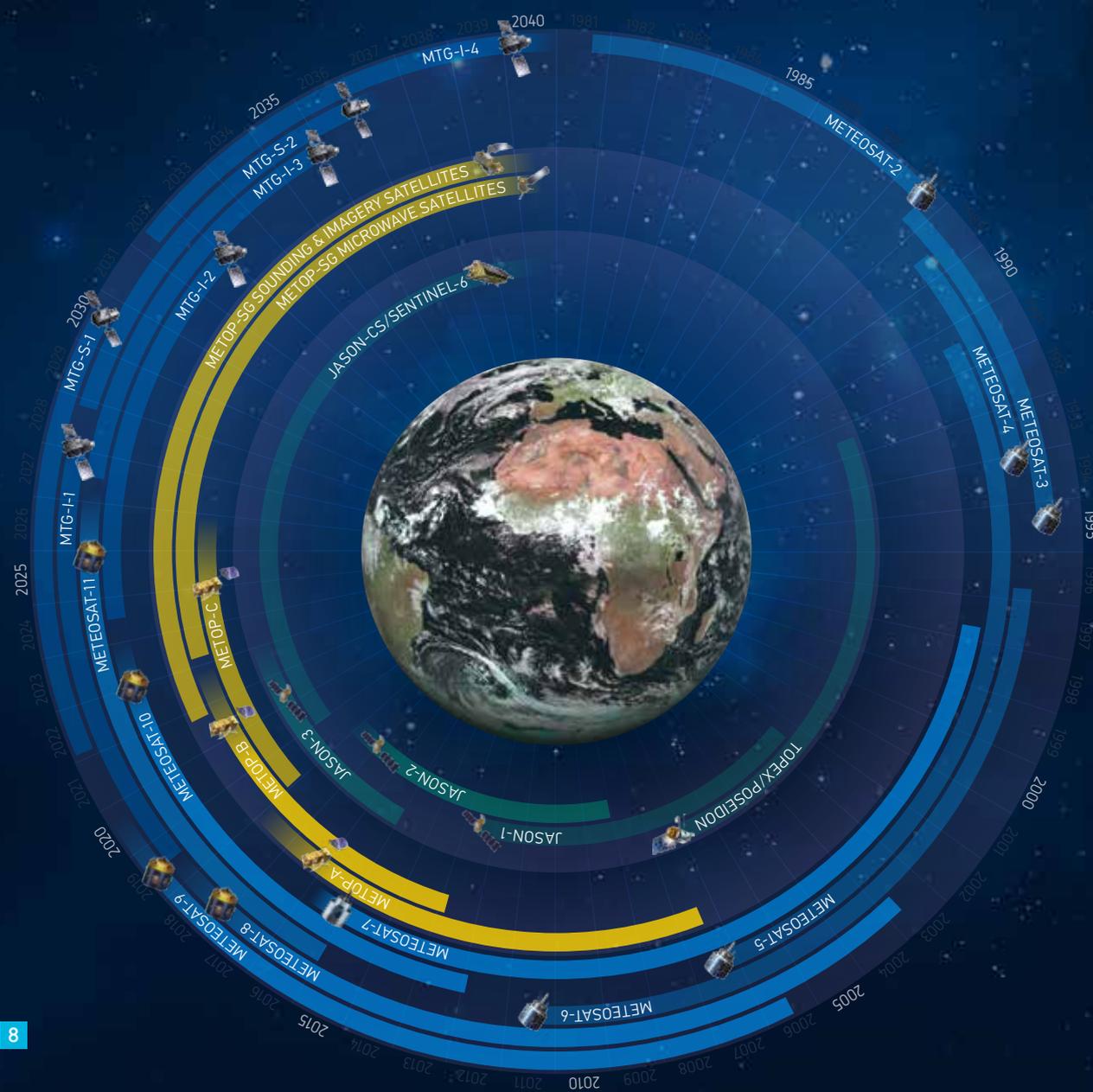


DES PROGRAMMES MULTI-SATELLITES À LONG TERME : UN ATOUT MAJEUR

EUMETSAT est une agence opérationnelle pilotée par ses utilisateurs, qui doit assurer la continuité des observations et des services de données exigés par ses États membres pour la prévision d'événements météorologiques à fort enjeu. Cet engagement est aussi un atout pour la surveillance du climat.

Ces observations étant vitales pour la sécurité des personnes et des biens et pour les secteurs météo-sensibles de l'économie, elles exigent des programmes à long terme de plusieurs satellites pour éviter les interruptions de service. De même, chaque programme doit prévoir des redondances en orbite et au sol, ainsi

qu'une période de chevauchement entre deux satellites d'une même série ou entre deux générations successives. Ainsi, chaque génération de satellites Meteosat ou Metop d'EUMETSAT couvre une vingtaine d'années d'observations, grâce à une série de trois à quatre satellites identiques.

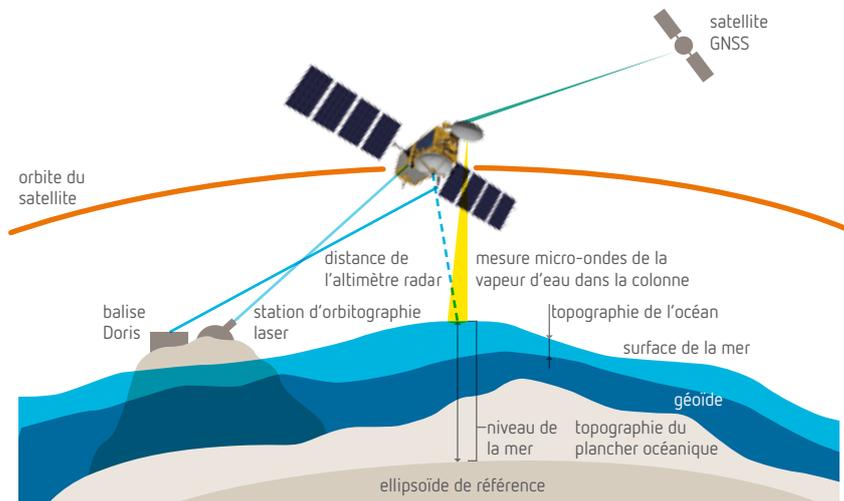


CONTINUITÉ ET INNOVATION

Pour la surveillance du climat, cette approche permet d'acquérir des séries chronologiques de données cohérentes tout au long d'une même génération de satellites, en tirant profit de l'inter-étalonnage réalisé lors des périodes de chevauchement de satellites successifs, dont la durée satisfait et souvent dépasse les exigences du SMOC.

Les capacités d'observation sont en outre maintenues dans la durée, ce qui permet d'extraire les mêmes paramètres physiques et les mêmes variables VCE des données de plusieurs générations successives de satellites, pendant des décennies. En outre, pour garantir la continuité des relevés de données climatologiques issus d'un type d'instrument donné, EUMETSAT se conforme autant que possible aux consignes du SMOC pour la surveillance du climat, lorsqu'il définit les spécifications d'une nouvelle génération, apportant une attention particulière aux exigences de stabilité et d'étalonnage.

Au delà de la nécessaire continuité, l'innovation technologique permet d'améliorer les capacités d'observation d'une génération à la suivante, ouvrant ainsi de nouvelles opportunités pour la surveillance du climat. Par exemple, l'imagerie de l'instrument FCI (Flexible Combined Imager) des futurs satellites Meteosat de Troisième Génération (MTG) aura des performances radiométriques inédites dans l'infrarouge thermique, adaptées à l'observation de cibles chaudes et donc à la mesure de l'énergie radiative des incendies de forêt, essentielle pour la surveillance du climat. Le nouvel imageur de détection des éclairs (LI) permettra quant à lui d'évaluer les effets du changement climatique sur l'activité orageuse aux latitudes tropicales des océans Indien et Atlantique, dont les incidences pourraient être significatives pour la gestion des vols long-courriers. De même, l'utilisation combinée des observations des sondeurs infrarouges hyperspectraux (IRS à bord de MTG-S et IASI-NG sur Metop-SG A) et des instruments Copernicus embarqués sur les mêmes satellites (Sentinelle-4 à bord de MTG-S et Sentinelle-5 sur Metop-SG A) donnera accès à des observations d'un ensemble élargi de



composés chimiques atmosphériques et de gaz à effet de serre (ozone, CO, SO₂, NH₃, CH₄, etc.), qui constituent autant de VCE. Enfin, les imageurs optiques et micro-ondes embarqués sur les satellites Metop-SG détecteront les cirrus et fourniront des informations plus détaillées sur les nuages et les aérosols, la température de surface, l'albédo, les précipitations et les glaces de mer.

Principe de mesure du niveau de la mer par altimètre

DES MESURES DE RÉFÉRENCE POUR LA SURVEILLANCE DU CLIMAT

Les programmes actuels d'EUMETSAT incluent des missions et des instruments de référence, conçus ou optimisés pour la surveillance du climat.

C'est le cas des instruments GRAS embarqués sur les satellites Metop qui utilisent la technique de radio-occultation des signaux GNSS pour produire des mesures auto-étalonnées des profils de température à haute résolution verticale. Ces mesures sont utilisées pour évaluer la cohérence du réchauffement attendu dans la troposphère et du refroidissement de la stratosphère, et améliorer les modèles de climat. De même, le sondeur infrarouge IASI, embarqué sur les satellites Metop depuis 2006, est une référence extrêmement stable utilisée pour l'étalonnage croisé de l'imagerie infrarouge d'instruments moins précis.

Enfin, la mission Jason-2/-3 d'altimétrie océanique de haute précision, à laquelle participe EUMETSAT aux côtés du CNES, de la NOAA et de la NASA, est une mission optimisée pour la surveillance de l'évolution du niveau moyen de la mer – un indicateur clé du changement climatique. Prenant le relais de Topex/Poseidon et Jason, ces satellites océanographiques enrichissent un relevé climatologique sans équivalent – entamé en 1992 – que la future mission Sentinelle-6 devrait poursuivre jusqu'en 2030, avec l'implication de l'Union européenne.

RÉÉTALONNER LES DONNÉES HISTORIQUES ET PRODUIRE DES RELEVÉS DE DONNÉES CLIMATOLOGIQUES FONDAMENTALES

Dans le cadre d'un effort européen visant la maturité opérationnelle des services climatologiques, EUMETSAT développe des méthodes de réétalonnage et de retraitement et extrait des relevés climatologiques de ses archives



Jörg Schulz
Responsable des produits
de services climatologiques
EUMETSAT

« Rendre des séries de données de plus de 30 ans exploitables pour la recherche et les services climatologiques exige des efforts substantiels de ré-étalonnage et de retraitement. »

RÉÉTALONNER LES DONNÉES ORIGINALES DES INSTRUMENTS

Pour produire des RDC de la meilleure qualité possible, EUMETSAT développe des méthodes pour améliorer les données originales archivées, notamment pour les missions historiques telles que Meteosat, conçues pour surveiller le temps plutôt le climat et donc dépourvues de mécanismes d'étalonnage interne de précision.

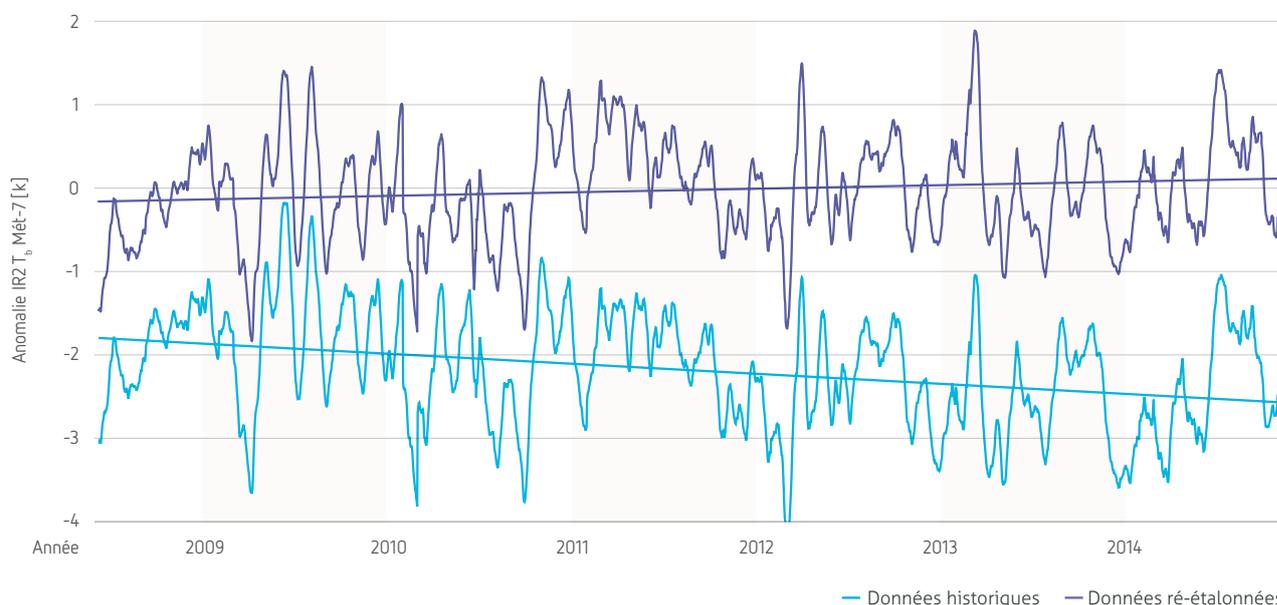
De fait, chaque instrument d'une série possède des caractéristiques propres – dont certaines peuvent dériver – et les méthodes d'étalonnage utilisées pendant les opérations en temps réel ont évolué pendant la durée de vie de l'instrument ou d'un satellite à l'autre. C'est pourquoi une simple accumulation de données dans le temps présenterait des sauts ou des tendances artificielles, rendant les données inutilisables pour les analyses climatologiques.

Il est heureusement possible d'améliorer *a posteriori* la qualité des données d'une mission en réévaluant les données de caractérisation et d'étalonnage au sol de

chaque instrument et en corrigeant les anomalies bien caractérisées en orbite. Dans certains cas, les données peuvent aussi être réétalonnées à l'aide de systèmes d'étalonnage externe et/ou de cibles de référence naturelle.

Les données d'une série chronologique d'instruments successifs peuvent aussi être harmonisées par référence aux données du meilleur instrument de la série, en utilisant les périodes de chevauchement des instruments. On peut aussi procéder par étalonnage croisé avec un instrument externe de référence extrêmement stable, comme le spectromètre infrarouge IASI. Il est alors nécessaire de recourir à des techniques de propagation de l'inter-étalonnage aux instruments antérieurs, si la stabilité dans le temps de ces derniers peut être évaluée indépendamment.

Série d'observations de Meteosat-7 dans l'infrarouge thermique (résidus par rapport à la moyenne), déduites de données originales et de données réétalonnées. Le réétalonnage élimine le biais connu du système d'étalonnage embarqué et fournit des indications sur la variabilité du climat.

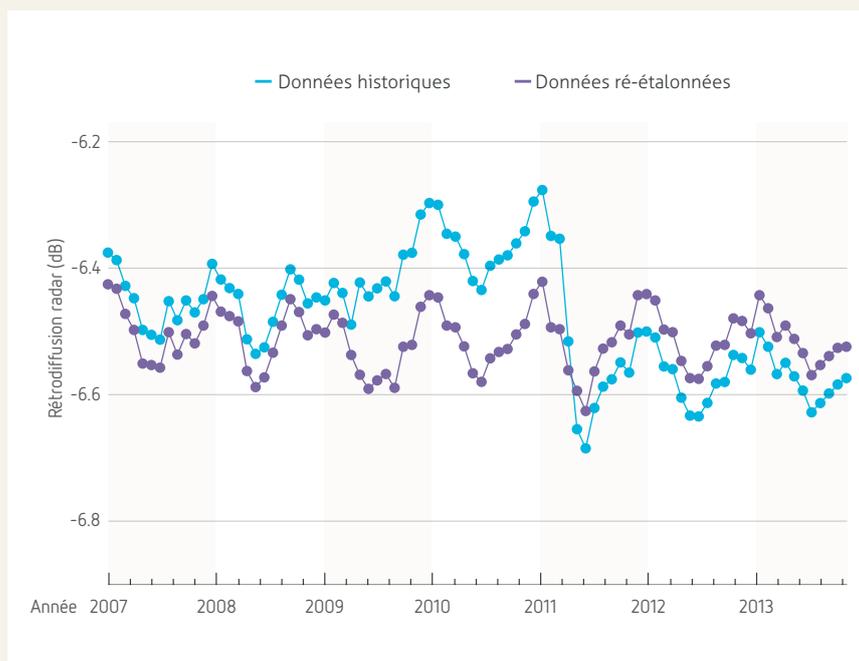


PRODUIRE DES RELEVÉS DE DONNÉES CLIMATOLOGIQUES FONDAMENTALES (RDCF)

Après réétalonnage, les mesures instrumentales doivent être retraitées pour extraire de longues séries chronologiques des observables physiques de base (par ex. réflectance, radiance, coefficients de rétrodiffusion radar), appelées Relevés de données climatologiques fondamentales (RDCF). Le meilleur algorithme disponible doit être choisi pour le retraitement, vu que l'algorithme utilisé en temps réel a été constamment amélioré. Enfin, il faut adjoindre des métadonnées aux RDCF pour consigner les informations de contrôle qualité et sur les incertitudes évaluées par comparaison à des données de référence indépendantes.

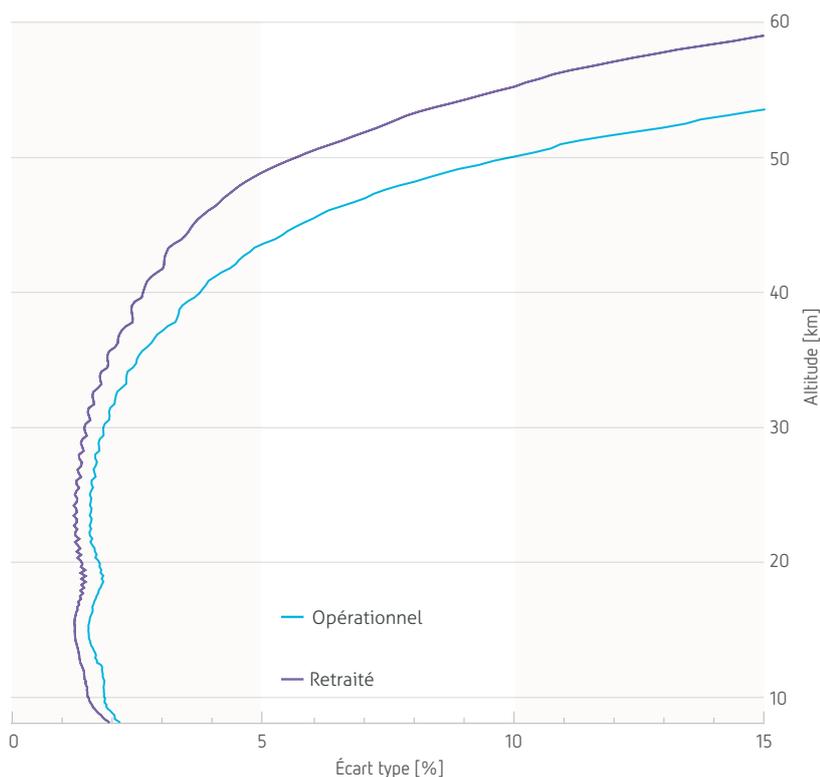
Ces RDCF constituent la matière première à partir de laquelle les variables géophysiques, en particulier les VCE, peuvent être retraitées, en adoptant à nouveau le meilleur algorithme disponible pour cette transformation. Par exemple, la principale observable physique extraite des observations auto-étalonnées de l'occultation des signaux GNSS par l'atmosphère est l'angle d'inflexion du signal GNSS réfracté au cours de son trajet atmosphérique entre le satellite GNSS émetteur et le récepteur GRAS embarqué sur le satellite Metop. L'angle d'inflexion étant lié à la densité de l'atmosphère et donc à sa température et son humidité, les profils verticaux de ces deux paramètres peuvent être déduits des profils verticaux de l'angle d'inflexion.

La production et l'amélioration continue des RDCF constituent la priorité absolue pour EUMETSAT. Cela demande une profonde connaissance des instruments, la préservation ou la reconstitution des données d'étalonnage et de caractérisation des instruments, des recherches algorithmiques et le recours à des techniques de validation complexes.

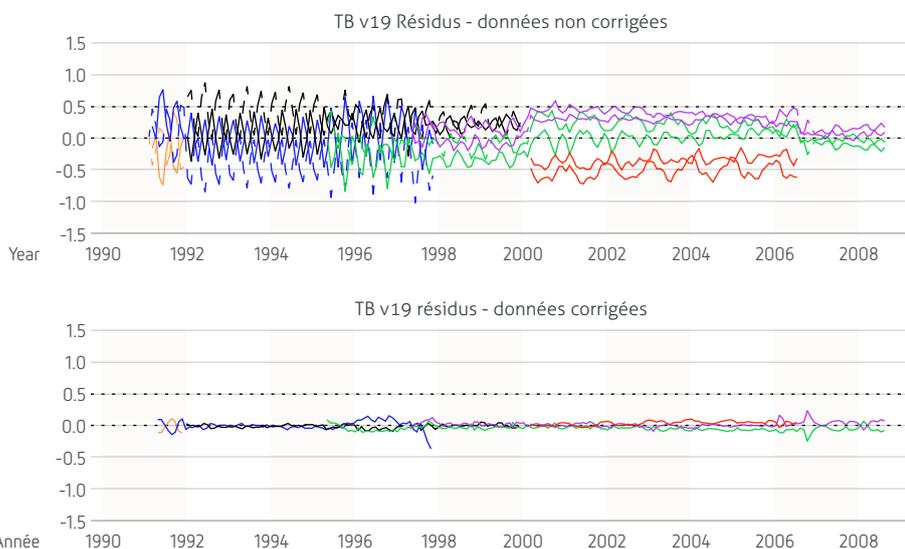


Signature de rétrodiffusion radar de la forêt tropicale mesurée en temps réel par ASCAT (bleu) et estimée par les produits ré-étalonnés grâce aux données de répéteurs au sol (violet). Le réétalonnage élimine les dérives et les sauts des séries chronologiques, qui ne reflètent plus que les variations naturelles de la rétrodiffusion de la canopée forestière.

RÉÉTALONNER LES DONNÉES HISTORIQUES ET PRODUIRE DES RELEVÉS DE DONNÉES CLIMATOLOGIQUES FONDAMENTALES



Écart type (en %) entre les angles d'inflexion estimés en temps réel et retraités à partir des observations de GRAS et les prévisions du CEPMMT, mettant en évidence l'amélioration de la qualité sur tout le profil vertical.



Dans le cas de GRAS, des algorithmes sophistiqués d'optique géométrique et d'optique ondulatoire sont utilisés pour produire par retraitement des RDCF aussi précis que possible. Ces RDCF seront utilisés par le Met Office britannique pour évaluer la capacité du modèle de climat du Centre Hadley à représenter les variations de la température dans la haute troposphère et la basse stratosphère. Les résultats de cette étude contribueront à l'amélioration du modèle et encourageront l'utilisation des RDCF pour des démarches analogues au sein la communauté de modélisation.

Un autre exemple est le RDCF de la température de brillance micro-ondes, produit par le SAF Climat d'EUMETSAT sur la période 1987-2008, par retraitement des observations des séries d'imageurs SSM/I embarqués sur les satellites météorologiques de la défense américaine. L'ingestion de ce jeu de données par le modèle global de prévision numérique du temps du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT) permettra d'obtenir des informations supplémentaires sur les précipitations et l'humidité. Ces informations disponibles sur une période de plus de vingt ans, devraient permettre d'améliorer la représentation du cycle de l'eau dans la « réanalyse » du CEPMMT, et mieux comprendre les processus qui gouvernent la variabilité du climat.

Série chronologique des températures micro-ondes (résidus par rapport à la moyenne) avant (en haut) et après (en bas) correction (moyennes journalières). Le code couleurs distingue les différents satellites utilisés.

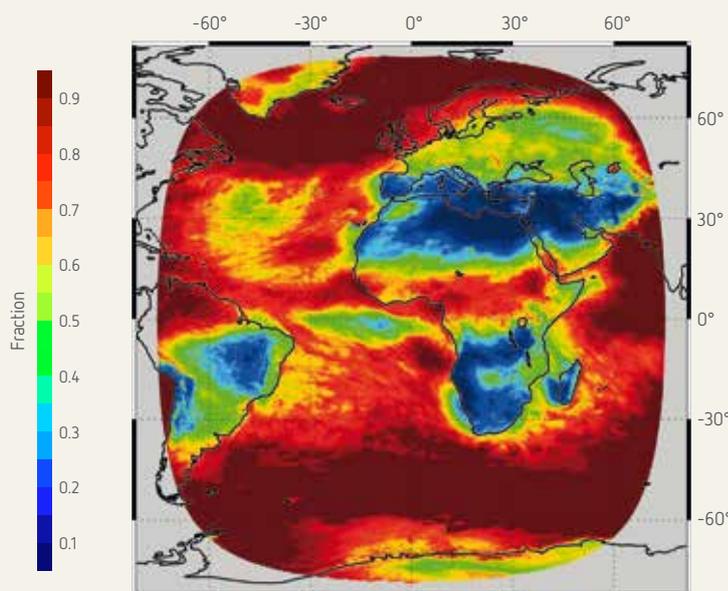
PRODUIRE DES RELEVÉS CLIMATOLOGIQUES DES VARIABLES CLIMATIQUES ESSENTIELLES

Les relevés climatologiques des Variables climatiques essentielles : une contribution primordiale pour la recherche et les services climatologiques

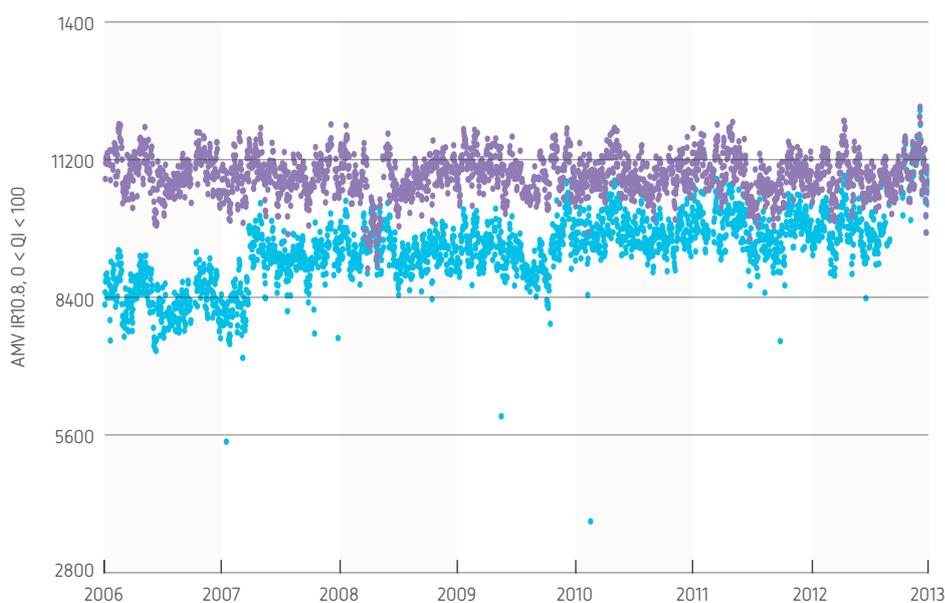
Les séries homogènes de VCE comme le vent, la température, la nébulosité ou le bilan radiatif constituent les Relevés de données climatologiques thématiques (RDCT).

La production des RDCT est partagée entre le siège d'EUMETSAT et le réseau des SAF, mais constitue la priorité de ces derniers.

Le retraitement des VCE permet d'améliorer sensiblement et d'homogénéiser la qualité des produits historiques élaborés en temps réel, comme l'illustre le cas du vecteur vent dans l'atmosphère estimé à partir du déplacement des nuages et des structures du champ de vapeur d'eau, observé toutes les 15 minutes par l'imagerie visible et infrarouge de Meteosat.



Fraction nuageuse moyennée pour le mois de juillet 2010 avec un échantillonnage de $0,05^\circ$ en latitude et longitude extrait d'un relevé de données climatologiques METEOSAT (source : SAF Climat)⁵



Nombre de produits vecteur vent extraits de l'imagerie Meteosat dont l'index de qualité est supérieur à 80 % pour la période 2006-2013 : produits retraités (violet) et en temps réel (bleu). Le retraitement permet d'atteindre sur l'ensemble de la période le nombre élevé de produits de haute qualité obtenus en temps réel à partir de 2013.

⁵ Stengel, M., Kniffka, A., Meirink, J. F., Lockhoff, M., Tan, J., and Hollmann, R.: CLAAAS: the CM SAF cloud property data set using SEVIRI, Atmos. Chem. Phys., 14, 4297-4311, doi:10.5194/acp-14-4297-2014, 2014

PRODUIRE DES RELEVÉS POUR LES VARIABLES CLIMATOLOGIQUES ESSENTIELLES

Les relevés des variables climatiques essentielles sont des données d'entrée cruciales pour les services d'informations climatologiques, comme le montre l'estimation du potentiel électrique photovoltaïque à partir de l'imagerie visible de Meteosat



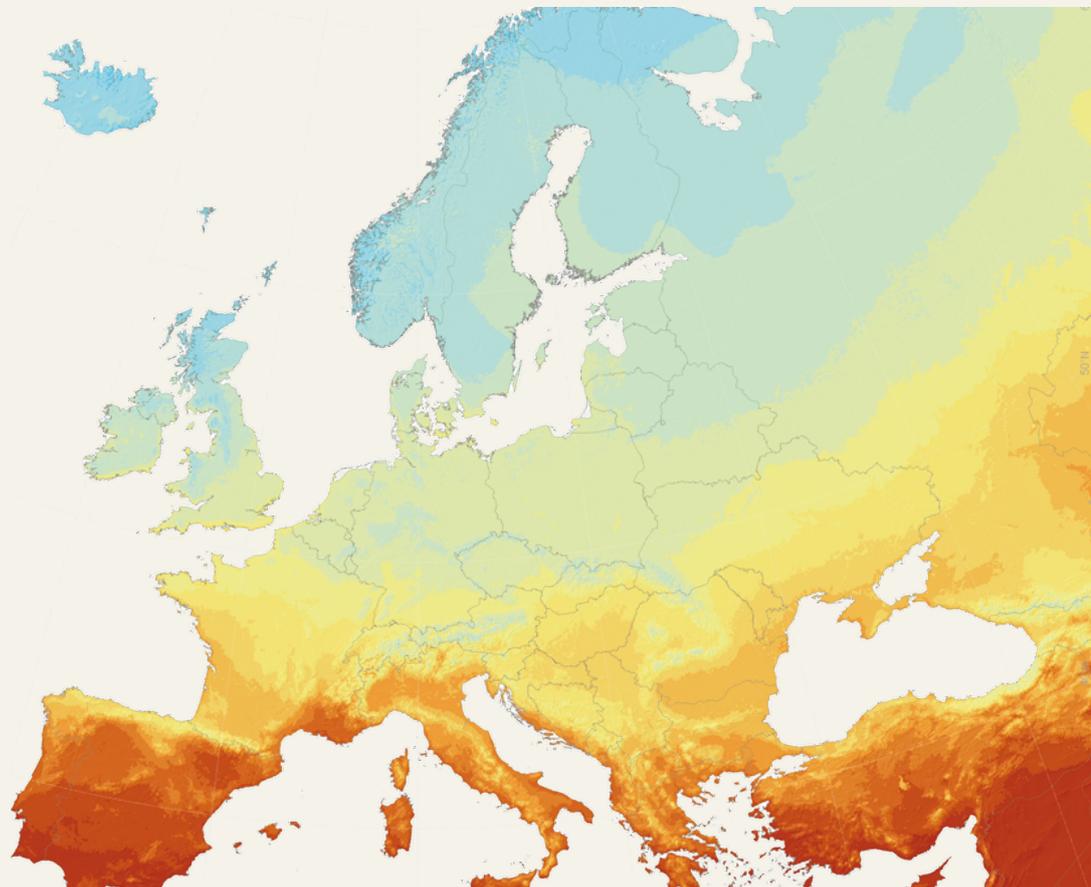
Martin Werscheck

Chef du Centre d'applications satellitaires d'EUMETSAT pour la surveillance du climat (SAF climat) Deutscher Wetterdienst (DWD)

« Le SAF Climat développe, produit systématiquement, archive et diffuse des produits satellitaires de haute qualité sur les cycles de l'énergie et de l'eau, pour surveiller et comprendre la variabilité et les changements du climat. »

Le développement et l'utilisation rationnelle des sources d'énergie renouvelables sont essentiels pour atténuer le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. La planification, le choix des meilleurs sites de déploiement et l'exploitation des systèmes photovoltaïques nécessitent des informations sur le potentiel de production électrique photovoltaïque (PV), que le CCR de la Commission européenne produit pour l'Europe et l'Afrique à partir des RDCT de l'irradiance

solaire en surface (la ressource solaire) diffusés par le SAF Climat : le potentiel électrique est cartographié à partir de la ressource solaire par application d'une fonction de transfert proposée par un simulateur modélisant l'efficacité de chaque type de système photovoltaïque. Le CCR propose une application Web permettant d'estimer le potentiel énergétique solaire pour les sites et les systèmes photovoltaïques envisagés, qui rencontre un franc succès (environ 100 visites par jour).⁶



Carte du potentiel électrique photovoltaïque dérivé de la climatologie du flux solaire (source : CCR avec le concours du SAF Climat)⁷

⁶ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

⁷ www.cmsaf.eu

ADAPTER L'INFRASTRUCTURE INFORMATIQUE AUX BESOINS DES ACTIVITÉS CLIMATOLOGIQUES

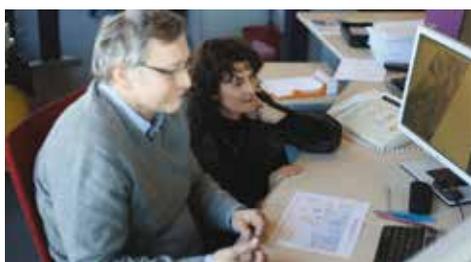
Le retraitement rapide et fréquent de longues séries d'observations avec des algorithmes de plus en plus complexes impose une amélioration constante de l'infrastructure informatique d'accès et de retraitement de larges volumes de données

Les algorithmes utilisés pour le retraitement des données archivées sont de plus en plus complexes, représentant plus fidèlement la physique de la mesure de chaque instrument et combinant des données provenant de plusieurs instruments ou satellites. La recherche algorithmique demande un accès flexible aux données et à l'environnement logiciel de référence des systèmes temps réel, tandis que les moyens de calcul doivent pouvoir retraiter rapidement et fréquemment de gros volumes de données et permettre l'analyse des résultats.

Pour accéder aux données, l'infrastructure informatique s'appuie déjà sur des technologies « cloud » et sera bientôt dotée d'une capacité supplémentaire de disques à accès rapide pour permettre l'accès en ligne à un sous-ensemble plus important des données archivées.

EUMETSAT doit augmenter sa puissance de calcul, mais aussi, par souci d'efficacité et de souplesse d'utilisation, « virtualiser » les chaînes de traitement, ce qui a déjà été réalisé en 2014 pour le traitement des données Meteosat.

Pour ses futurs systèmes MTG et EPS-SG, EUMETSAT a choisi une architecture plus flexible et plus évolutive pour les chaînes de traitement de données, basée sur le découplage des logiciels de traitement et de leur infrastructure d'accueil.



COOPÉRER AVEC LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

EUMETSAT coopère avec la communauté scientifique pour valider ses Relevés de données climatologiques et encourager leur utilisation pour la recherche et les services climatologiques



Dr Dick Dee
 Chef de la section de réanalyse du CEPMMT
 Coordonnateur du projet ERA-CLIM

« Notre longue coopération avec EUMETSAT sur le contrôle qualité et l'assimilation des données spatiales dans le modèle du CEPMMT est un atout décisif pour les projets ERA-CLIM. Cela nous permet d'utiliser les meilleures données satellitaires retraitées dans nos réanalyses globales du climat. »

Le CMSC doit permettre « aux chercheurs et aux producteurs et utilisateurs d'information climatologique de s'unir pour améliorer la qualité et la quantité des services climatologiques dans le monde ». C'est pourquoi EUMETSAT participe à des projets intégrés associant chercheurs, fournisseurs de services et utilisateurs, pour valoriser ses propres relevés de données climatologiques (RDC).

Un premier objectif est de développer des méthodes standards pour évaluer la qualité et la maturité des RDC et de leur production, du point de vue de l'utilisateur, pour lever les obstacles à leur utilisation la plus large pour la recherche et les services climatologiques. C'est ainsi que les principaux fournisseurs européens de RDC ont validé les méthodes d'évaluation proposées par EUMETSAT, dans le cadre du projet CORE-CLIMAX co-financé par l'UE pour évaluer la capacité européenne

Critères proposés par EUMETSAT au sein du projet CORE-CLIMAX pour évaluer la maturité des relevés de données climatologiques et de leur production, du point de vue de l'utilisateur

de production de RDC. Ces méthodes sont désormais appliquées à la production de RDC d'EUMETSAT.

Un second objectif est de valider les RDC d'EUMETSAT à l'aide de mesures de référence indépendantes et de démontrer leur apport aux services climatologiques. À cet effet, EUMETSAT participe aux projets ERA-CLIM, pilotés par le CEPMMT et co-financés par l'UE. Grâce à l'ingestion de RDC issus d'observations spatiales et conventionnelles retraitées par des modèles numériques du système Terre (« réanalyse »), ces projets produisent des RDC d'un plus vaste ensemble de VCE. Dernier projet en date, ERA-CLIM2 mobilise 15 institutions européennes et produira une réanalyse globale à haute résolution couvrant les 100 dernières années. La contribution d'EUMETSAT consiste à améliorer la qualité de ses données historiques, dont 80 % peuvent être ingérés par les modèles. Les RDC d'EUMETSAT seront ainsi intégrés à l'un des jeux de données les plus utilisés en géosciences, actuellement par plus de 17 000 utilisateurs de plus de cent pays.



Maturité du logiciel	Métadonnées	Documentation utilisateurs	Caractérisation des incertitudes	Accès public, feedback et mise à jour	Utilisation
Les codes sont-ils conformes aux standards, stables, portables et reproductibles ?	Les métadonnées suivent-elles les standards internationaux, permettent-elles d'identifier la provenance ?	La documentation et les publications de référence sont-ils publiques et à jour ?	Les incertitudes sont-elles évaluées systématiquement et de façon standard ?	Les données, le code source et la documentation sont-ils publics et régulièrement mis à jour ?	Les données sont-elles largement utilisées par les scientifiques et les décideurs ?

EUMETSAT entretient un dialogue soutenu avec le Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC)

Le PMRC coordonne la recherche sur le climat à l'échelle mondiale via ses principaux projets sur la variabilité du climat (CLIVAR), les cycles de l'énergie et de l'eau (GEWEX), la cryosphère (CliC) et la stratosphère (SPARC). Il coordonne le développement de réanalyses et l'évaluation des modèles climatiques utilisés dans le processus d'évaluation du GIEC.

EUMETSAT entretient un dialogue soutenu avec le PMRC, en participant notamment à son Conseil consultatif sur les données (WDAC) qui traite de toutes les questions de données.

En 2014, après la publication du 5^e Rapport d'évaluation du GIEC, EUMETSAT et le PMRC ont organisé un symposium sur le thème « Recherche climatique et observation de la Terre depuis l'espace : informations climatologiques et aide à la décision »⁸, attirant à Darmstadt plus de 500 scientifiques de

premier plan issus de 50 pays. Le symposium a évalué les besoins d'observations du climat depuis l'espace et leur rôle pour relever les six grands défis scientifiques du PMRC : « nuages, circulation et sensibilité du climat », « changements du cycle de l'eau », « la cryosphère dans le réchauffement global », « circulation océanique et élévation régionale du niveau de la mer », « prévision et attribution des phénomènes : du climat à la météo » et « variabilité et changement climatique régional : fondement des services climatologiques ». Il a conclu que seule la coopération internationale pourra répondre à l'ensemble des priorités de la communauté des chercheurs, via l'architecture pour la surveillance du climat depuis l'espace.

En octobre 2014, le symposium Climat, organisé à Darmstadt par le PMRC et EUMETSAT, a attiré plus de 500 scientifiques de premier plan issus de 50 pays



⁸ Toutes les informations sur le Symposium Climat, y compris le direct des sessions, sont disponibles sur www.theclimatesymposium.com

OFFRIR UN ACCÈS AISÉ AUX DONNÉES ARCHIVÉES ET AUX RELEVÉS DE DONNÉES CLIMATOLOGIQUES

L'accès facile et gratuit à une large gamme de données et de Relevés de données climatologiques est un élément clé du service qu'EUMETSAT offre aux utilisateurs

Cela prend d'autant plus d'importance que la demande en informations climatologiques est appelée à augmenter avec le développement des services climatologiques.

L'accès aux données et aux produits se fait par le Portail d'observation de la Terre sur le site Web d'EUMETSAT. Un catalogue en ligne - appelé Navigateur de Produits - permet de découvrir les données et produits, y compris les relevés climatologiques, qui peuvent par la suite être commandés gratuitement au Centre de Données. Un service d'assistance aux utilisateurs est également offert pour faciliter la commande.

Le Centre de Données EUMETSAT héberge les archives qui assurent la préservation à long terme des données et produits extraits des observations de tous les satellites EUMETSAT, des missions Sentinelles Copernicus exploitées par EUMETSAT pour le compte de l'Union européenne et de missions partenaires. Rassemblant les jeux de données climatologiques produits au siège d'EUMETSAT et au sein du réseau de SAF,

les archives d'EUMETSAT proposent l'une des collections de données d'observation de la Terre les plus importantes d'Europe.

Tous ces jeux de données sont disponibles dans des formats établis, contenant des informations complètes sur la façon dont ils ont été créés. EUMETSAT délivre en particulier des RDC en formats NetCDF et BUFR (de l'OMM), incluant des métadonnées conformes aux normes internationales (Convention Prédiction et Climat), pour faciliter l'utilisation la plus large possible.

En outre, les sites Web du réseau de SAF, accessibles depuis la page d'accueil du site d'EUMETSAT, proposent des données climatologiques supplémentaires.

À l'avenir, les RDC seront également fournis avec des identifiants uniques permanents - notamment l'Identifiant d'objet numérique (DOI) largement utilisé par les publications scientifiques pour identifier les sources de données utilisées par les auteurs. Cette référence permettra l'identification rapide des RDC d'EUMETSAT.

Réseau EUMETSAT de Centres d'applications satellitaires

NWC SAF

Contribution à la prévision immédiate et à très courte échéance (SAF Prédiction immédiate) piloté par l'Agencia Estatal de Meteorología, Espagne

OSI SAF

Océan et Glaces de mer (SAF Océan et Glaces de mer) piloté par Météo France

CM SAF

Surveillance du climat (SAF climat) piloté par le Deutscher Wetterdienst, Allemagne

NWP SAF

Prédiction numérique du temps (SAF Prédiction numérique) piloté par le Met Office, Royaume-Uni

LSA SAF

Analyse des terres émergées (SAF Terres) piloté par l'Institut portugais de la mer et de l'atmosphère

O3M SAF

Surveillance de l'ozone et de la chimie atmosphérique (SAF Ozone) piloté par l'Institut météorologique de Finlande

ROM SAF

Météorologie par radio-occultation (SAF Radio-occultation) piloté par l'Institut météorologique du Danemark

H SAF

Contribution à l'hydrologie opérationnelle et à la gestion de l'eau (SAF Hydrologie) piloté par le Service météorologique italien

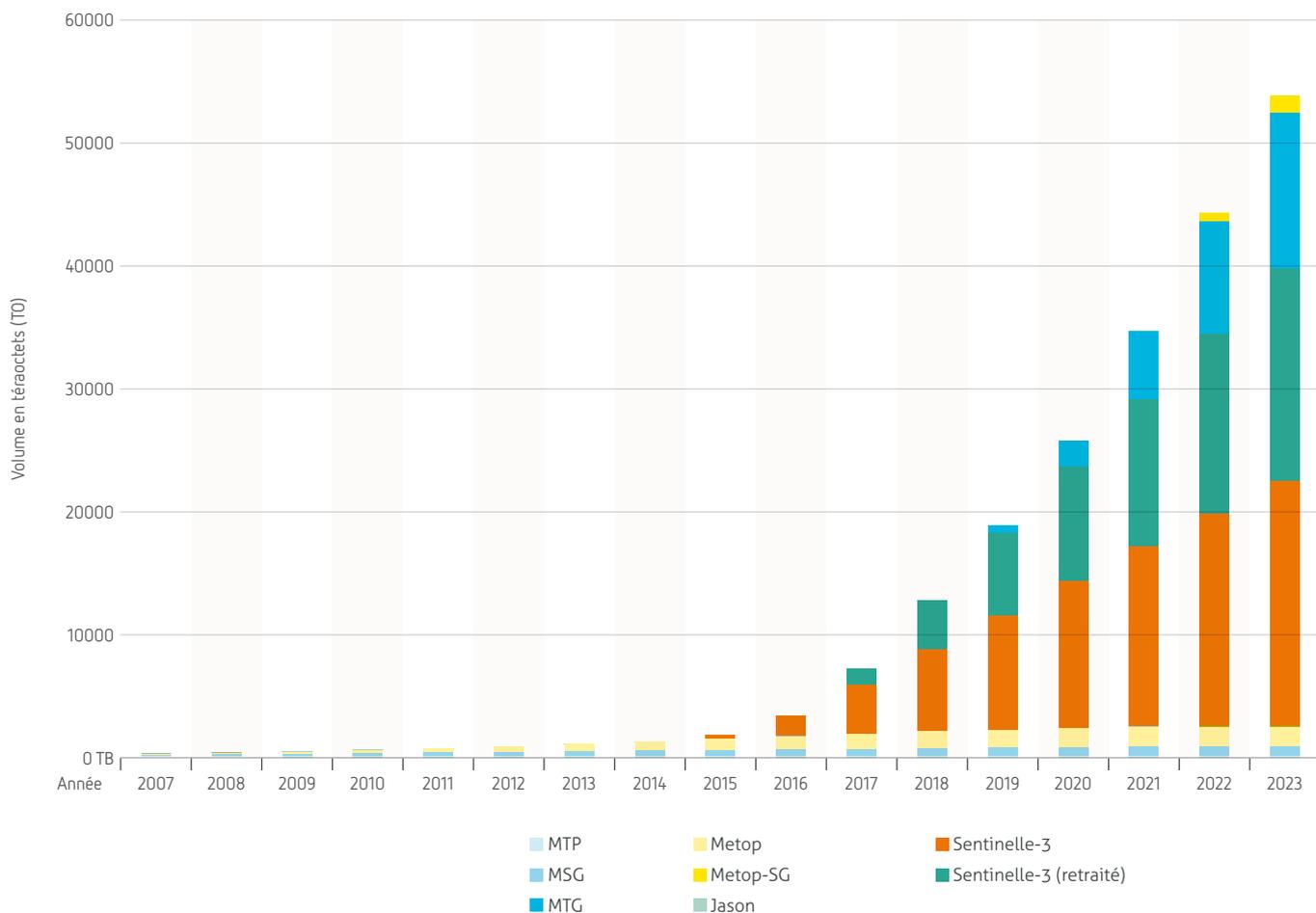


UNE ARCHIVE UNIQUE POUR LA PRÉSERVATION DES DONNÉES

Avec près de 35 ans de données de satellites météorologiques opérationnels et un volume de 1,4 Pétaoctet (PB), les archives d'EUMETSAT hébergent certaines des plus longues séries de données satellitaires et constituent un actif important pour la surveillance du climat.

Le nouveau système d'archivage installé en 2014 permettra d'absorber les données des futurs systèmes de satellites, y compris Sentinelles-3, MTG et EPS-SG, qui devraient porter le volume total à 40 PB d'ici à 2020. La modularité du système permettra d'héberger jusqu'à 200 PB, vers 2027.

Dans le cadre de sa politique de préservation des données, EUMETSAT conserve trois copies distinctes de ses archives, dont une conservée hors de son Siège.



UN ATOUT POUR LE SERVICE COPERNICUS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DE L'UNION EUROPÉENNE

Le service Copernicus sur le changement climatique (C3S) de l'UE répond aux défis environnementaux et sociétaux associés à la variabilité du climat et aux changements climatiques d'origine anthropique⁹



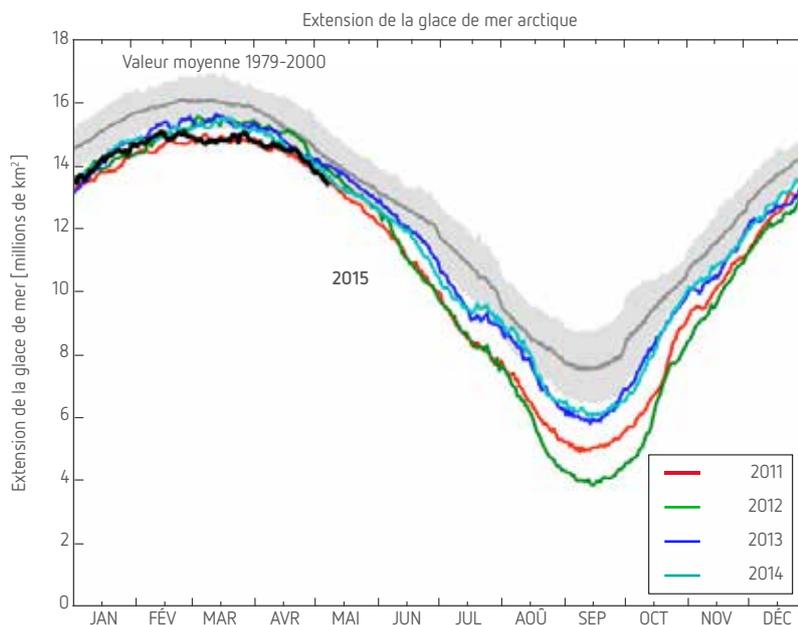
Mauro Facchini
Chef de l'Unité Copernicus
DG GROW
Commission européenne

« Le service Copernicus sur le changement climatique permettra d'accéder à des informations pour la surveillance et la prévision du climat, et contribuera aux efforts d'adaptation et d'atténuation. »

Ce service est une composante de Copernicus, le programme phare d'observation de la Terre de l'UE, qui vise à assurer une surveillance opérationnelle de l'atmosphère, des océans et des surfaces continentales pour fournir des informations fiables et validées à un large spectre d'applications environnementales et de sécurité.

Le C3S est piloté par le CEPMMT. S'appuyant sur des observations pérennes – provenant à la fois de réseaux in situ et de satellites – et de capacités de modélisation du système Terre, le C3S fournira une grande quantité d'informations sur les changements climatiques en cours et prévus.

Cycle annuel de l'extension des glaces de mer dans l'Arctique : en gris le cycle moyen pour la période 1979-2009, la partie ombrée représente la variabilité autour de cette moyenne, et en couleur les cycles annuels des années 2011 à 2014 (Source : SAF OSI)



Le C3S devra en particulier utiliser une large gamme d'observations réalisées depuis l'Espace, notamment par les missions d'EUMETSAT telles que Jason-2/-3, Meteosat, EPS/Metop et les quatre missions Sentinelles Copernicus exploitées par EUMETSAT pour le compte de l'UE pour la surveillance des océans (mission océaniques Sentinelles-3 et -6) et de la composition atmosphérique (Sentinelles-4 et -5).

Les activités de surveillance du climat d'EUMETSAT et le savoir-faire acquis constituent un atout pour le service C3S, auquel EUMETSAT prévoit de contribuer en soutien du CEPMMT.



Dr Jean-Noël Thépaut
Coordinateur du service Copernicus sur le changement climatique
CEPMMT

« Le service associera des observations du système climatique aux derniers progrès scientifiques afin de produire des informations rigoureuses et fiables sur l'état passé, présent et futur du climat, à échelle européenne et mondiale. »

EUMETSAT, PARTENAIRE DES INITIATIVES DE RENFORCEMENT DE CAPACITÉS

La mise en œuvre régionale du Cadre mondial pour les services climatologiques constitue une priorité politique en Afrique. EUMETSAT soutient les initiatives de renforcement des capacités établies conjointement par l'Union africaine et l'Union européenne.



Le 7 septembre 2014, à Benoni, S.E. Rhoda Peace, Commissaire de l'Union africaine en charge de l'Économie rurale et de l'agriculture, et S.E. Edna Molewa, Ministre Sud-africaine de l'environnement, signent une déclaration politique confirmant leur engagement à la mise en œuvre du CMSC en Afrique et dans les régions des Caraïbes et du Pacifique

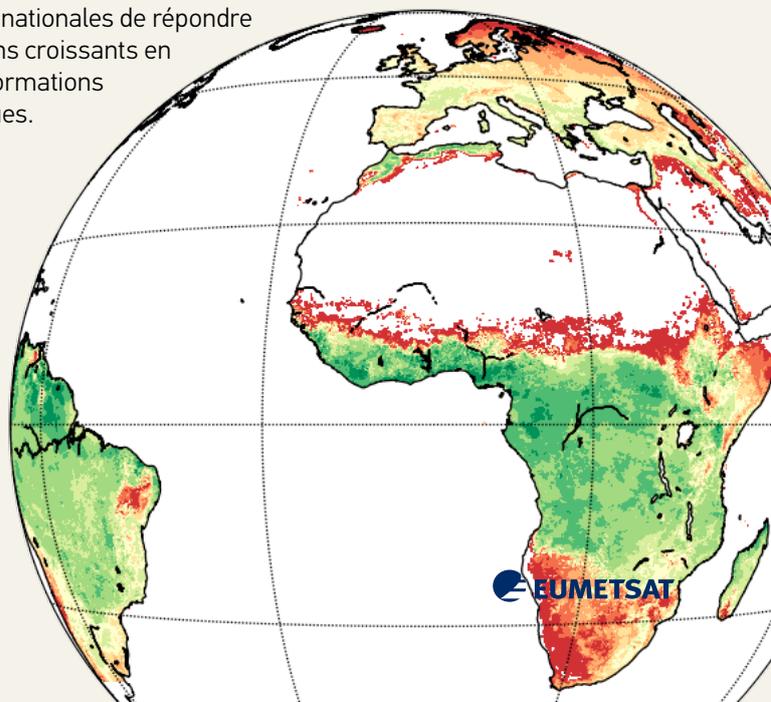
Avec les Déclarations d'Addis-Abeba (septembre 2012) et de Benoni (septembre 2014), les institutions politiques régionales africaines et le Secrétariat ACP ont appelé à la mise en place du CMSC dans les pays d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique, et ont demandé un soutien à l'UE. Ces institutions politiques estiment que les services climatologiques sont indispensables aux décideurs et aux planificateurs confrontés aux effets néfastes des changements climatiques. Les domaines concernés sont notamment la gestion des ressources en eau, la sécurité alimentaire, la réduction des risques de catastrophes et la santé.

Depuis 2002, EUMETSAT soutient le renforcement de capacités en Afrique via les projets successifs financés par le Fonds européen de développement (FED) – PUMA de 2002 à 2006, AMESD de 2007 à 2013 et maintenant MESA – menés en partenariat avec l'Union européenne, l'Union africaine, les Communautés économiques régionales, le Secrétariat ACP et l'OMM. Dans ce cadre, une infrastructure panafricaine d'accès en temps réel aux données satellitaires et aux informations de surveillance et de prévision du temps et de l'environnement

a été établie puis maintenue. Avec le projet de Surveillance pour l'environnement et la sécurité en Afrique (MESA), financé par le FED, cette infrastructure s'étendra encore pour porter à 500 le nombre de stations du service de diffusion par satellite d'EUMETSAT – baptisé EUMETCast – implantées dans plus de 52 pays et centres régionaux d'Afrique. EUMETSAT soutient la mise en service et la maintenance de l'infrastructure, fournit des données satellites, diffuse d'autres informations et forme les utilisateurs, en coopération avec plusieurs centres de formation d'Afrique.

Au sein du projet MESA, qui inclut la mise en œuvre initiale de services climatologiques à échelle du continent pour la réduction des risques de catastrophes, EUMETSAT soutient la consolidation de l'infrastructure d'accès aux données et l'effort de formation. Son engagement permettra aux institutions africaines régionales et nationales de répondre à leurs besoins croissants en matière d'informations climatologiques.

Rayonnement solaire en surface mensuel moyen pour janvier 2001 extrait d'un relevé de données climatologiques Meteosat (source : SAF Climat)



LA DIMENSION INTERNATIONALE : EUMETSAT PARTIE PRENANTE DE PARTENARIATS MONDIAUX

Le potentiel des observations spatiales pour la surveillance du climat ne peut être réalisé que grâce à la coopération internationale. C'est pourquoi toutes les activités climat d'EUMETSAT s'inscrivent dans un cadre international.

SYSTÈME MONDIAL D'OBSERVATION DU CLIMAT

Le programme de Système mondial d'observation du climat¹⁰ (SMOC) constitue le socle du dispositif, en formulant les exigences et en évaluant les capacités en matière de surveillance du climat depuis l'espace, à travers des publications de référence comme le volet spatial de son plan de mise en œuvre. EUMETSAT soutient le processus d'évaluation du SMOC ainsi que les contributions du Programme spatial de l'OMM au SMOC.

relevés de données climatologiques et en créer de nouveaux pour combler les lacunes identifiées par le SMOC.

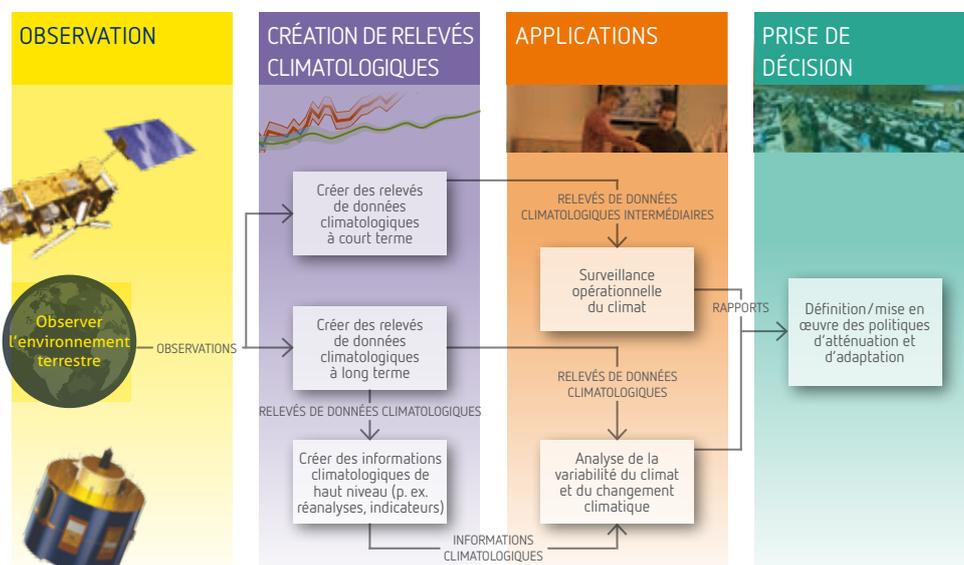
Le cadre général est l'« Architecture mondiale pour la surveillance du climat depuis l'espace » définie en 2013 suite à une initiative de l'OMM, du Comité sur les satellites d'observation de la Terre (CEOS) et du Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS), pour mettre sur pied la composante spatiale du pilier « observations et surveillance » du CMSC.

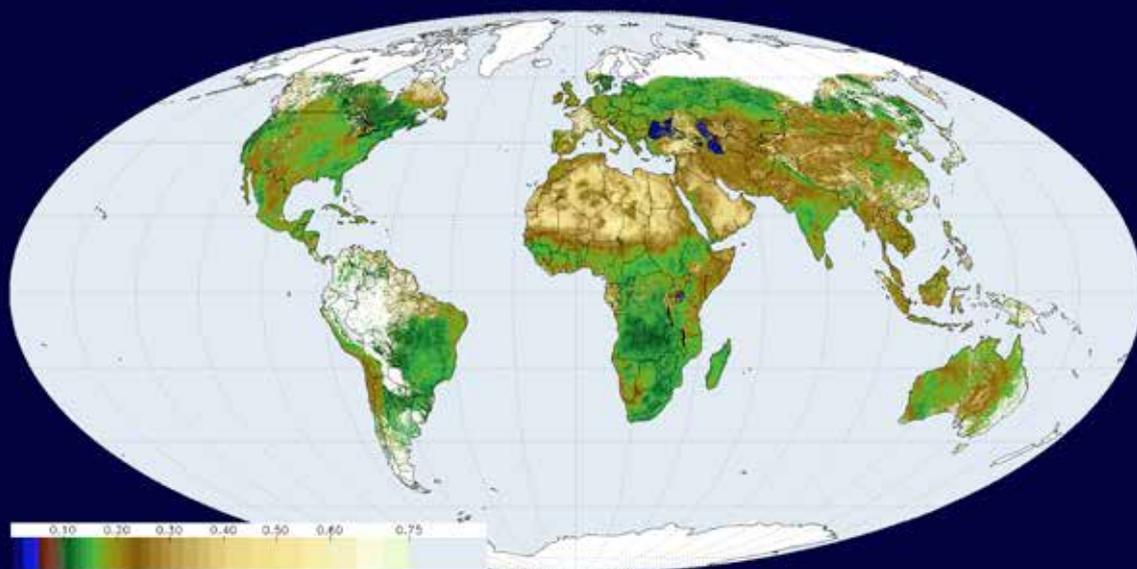
ARCHITECTURE MONDIALE POUR LA SURVEILLANCE DU CLIMAT DEPUIS L'ESPACE

Aucune agence ne peut à elle seule satisfaire la totalité des exigences du SMOC. C'est pourquoi l'ensemble des agences spatiales opérationnelles et de recherche coopèrent à l'échelle mondiale pour coordonner leurs moyens, promouvoir leur meilleure utilisation conjointe et planifier les missions futures indispensables pour prolonger les

Les fonctions et ressources à coordonner couvrent l'ensemble de la chaîne de la valeur, y compris les satellites et les systèmes sol nécessaires à l'archivage, la préservation et le libre échange des données et les moyens d'accès offerts à tous les utilisateurs. D'autres fonctions essentielles sont le réétalonnage et l'inter-étalonnage des données, leur retraitement, l'extraction de RDC et leur mise à disposition des utilisateurs et des décideurs.

Découpe fonctionnelle de l'architecture pour la surveillance du climat depuis l'espace et apport à la prise de décision





En 2014, alors qu'EUMETSAT assurait la présidence du CEOS, les agences spatiales opérationnelles et de recherche membres du CEOS et du CGMS ont établi un groupe de travail commun chargé de coordonner la mise en œuvre de l'Architecture, avec trois objectifs principaux :

- délivrer une information structurée, complète et accessible sur la disponibilité des RDC issus des missions spatiales des membres du CEOS et du CGMS ou de leurs combinaisons ;
- créer les conditions nécessaires pour la production de nouveaux RDC, notamment des relevés multi-missions, en utilisant au mieux les données déjà disponibles (p. ex. en ciblant les lacunes d'inter-étalonnage ou de retraitement) ;
- optimiser la planification des missions et constellations de satellites futures pour prolonger les RDC existants et en créer de nouveaux, pour combler les lacunes identifiées par le SMOC.

Au titre du premier objectif, un inventaire des RDC de variables climatologiques essentielles a été établi.

Pour répondre au second, des projets coopératifs sont en cours pour inter-étalonner les données des différentes missions et développer ou améliorer la production de RDC.

Dans ce domaine, EUMETSAT participe aux initiatives de « Système mondial d'inter-étalonnage spatial » (GSICS) et de « Traitement soutenu et coordonné des données de satellites environnementaux à des fins climatologiques » (SCOPE-CM) de l'OMM.

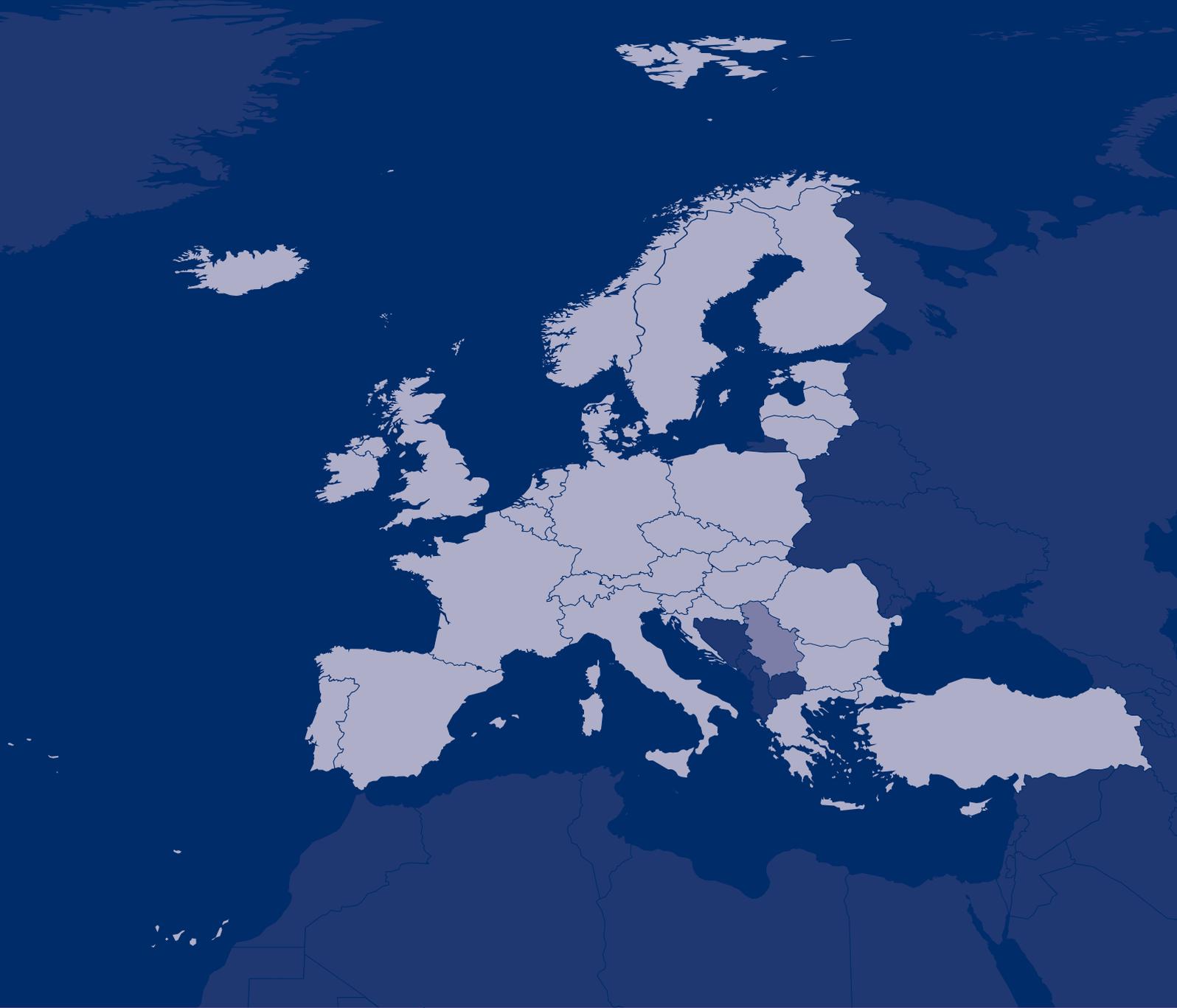
Le GSICS est une plateforme internationale de développement de méthodes et de procédures opérationnelles visant à assurer la qualité et la comparabilité des observations réalisées à des instants différents par les missions spatiales, et à partager des produits d'inter-étalonnage utilisables par tous. En aval du GSICS, SCOPE-CM coordonne des projets de production de RDC.

EUMETSAT soutient le GSICS depuis son lancement en 2005, héberge le secrétariat de SCOPE-CM et est impliqué, avec son réseau de SAF, dans plusieurs projets de SCOPE-CM.

Pour réaliser le troisième objectif, les agences planifient ensemble les missions futures nécessaires à l'enrichissement des RDC, notamment dans le cadre des « constellations virtuelles » du CEOS.

Climatologie de l'albédo de surface, établie dans le cadre du projet international SCOPE-CM à l'aide de données historiques issues de la constellation des satellites météorologiques géostationnaires (source : SCOPE-CM)

-  ÉTATS MEMBRES
-  ÉTATS COOPÉRANTS



Eumetsat-Allee 1 Tél : +49 6151 807 3660/3770
 64295 Darmstadt Email : ops@eumetsat.int
 Allemagne www.eumetsat.int

© EUMETSAT, juin 2015
 Brochure: APP.03, V.1

ÉTATS MEMBRES



ÉTATS COOPÉRANTS



EUMETSAT coopère également avec d'autres agences et entités engagées dans la météorologie satellitaire, dont des services météorologiques nationaux (Canada, Chine, Corée du Sud, Inde, Japon, Russie et États-Unis).

-  @eumetsat
-  www.facebook.com/eumetsat
-  www.youtube.com/eumetsat1
-  www.flickr.com/eumetsat