

RAPPORT
TECHNIQUE No.
2013- 4

WIGOS

Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM

PLAN D'ACTION POUR L'ÉVOLUTION
DES SYSTÈMES MONDIAUX D'OBSERVATION



Organisation
météorologique
mondiale

Temps • Climat • Eau

RAPPORT
TECHNIQUE No.
2013-4

WIGOS

Système mondial intégré des systèmes d'observation
de l'OMM

PLAN D'ACTION POUR L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES MONDIAUX D'OBSERVATION



**Organisation
météorologique
mondiale**
Temps • Climat • Eau

**Le Groupe d'action sectoriel ouvert des systèmes d'observation
intégrés relevant de la CSB a mené l'élaboration de ce plan, qui
contribue au Système mondial intégré d'observation de l'OMM
(WIGOS)**

© Organisation météorologique mondiale, 2013

L'OMM se réserve le droit de publication en version imprimée ou électronique ou sous toute autre forme et dans n'importe quelle langue. De courts extraits des publications de l'OMM peuvent être reproduits sans autorisation, pour autant que la source complète soit clairement indiquée. La correspondance relative au contenu rédactionnel et les demandes de publication, reproduction ou traduction partielle ou totale de la présente publication doivent être adressées au:

Président du Comité des publications
Organisation météorologique mondiale (OMM)
7 bis, avenue de la Paix
Case Postale 2300
CH-1211 Genève 2, Suisse

Tél.: +41 22 730 8403
Fax: +41 22 730 8040
Courriel: publications@wmo.int

NOTE

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

La mention de certaines sociétés ou de certains produits ne signifie pas que l'OMM les cautionne ou les recommande de préférence à d'autres sociétés ou produits de nature similaire dont il n'est pas fait mention ou qui ne font l'objet d'aucune publicité.

Les constatations, interprétations et conclusions exprimées dans les publications de l'OMM portant mention d'auteurs nommément désignés sont celles de leurs seuls auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'OMM ou de ses Membres.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	4
1. INTRODUCTION.....	11
1.1. Préambule.....	11
1.2. Contexte.....	11
1.3. Cadre et objet du nouveau Plan d'action.....	12
2. FONDEMENT STRATÉGIQUE DES ACTIVITÉS DE MISE EN ŒUVRE.....	14
2.1. Approche globale et rapport avec le WIGOS.....	14
2.2. Agents d'exécution.....	16
3. ACTIVITÉS GLOBALES ET TRANSSECTORIELLES.....	17
3.1. Prise en compte des besoins des utilisateurs.....	17
3.2. Intégration des systèmes d'observation de l'OMM.....	20
3.3. Politique en matière de données.....	21
3.4. Élargissement du SMO.....	21
3.5. Automatisation.....	22
3.6. Interopérabilité et compatibilité, cohérence et homogénéité des données.....	23
3.7. Besoins en matière de fréquences radioélectriques.....	24
4. CONSIDÉRATIONS CONCERNANT L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES D'OBSERVATION DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT.....	25
5. SYSTÈMES D'OBSERVATION EN SURFACE.....	28
5.1. Introduction.....	28
5.2. Questions d'ordre général: représentativité, traçabilité, étalonnage des instruments, échange de données.....	29
5.3. Questions particulières à chaque composante des systèmes d'observation.....	32
5.3.1. Systèmes terrestres d'observation en altitude.....	32
5.3.1.1. Stations d'observation en altitude.....	32
5.3.1.1.1. Optimisation des réseaux de radiosondage et de la couverture en données.....	32
5.3.1.1.2. Stations du GUAN et du GRUAN.....	34
5.3.1.1.3. Amélioration de la diffusion des données.....	34
5.3.1.1.4. Transmission de données d'observation haute résolution.....	35
5.3.1.1.5. Observation de la stratosphère.....	35
5.3.1.2. Stations de profilage par télédétection en altitude.....	36
5.3.1.3. Stations météorologiques d'aéronefs.....	37
5.3.1.4. Stations de la Veille de l'atmosphère globale.....	40
5.3.1.5. Stations de réception passant par un système mondial de navigation par satellite (GNSS).....	40
5.3.2. Systèmes d'observation en surface sur la terre ferme.....	42
5.3.2.1. Stations synoptiques et climatologiques de surface.....	42
5.3.2.2. Stations de la Veille de l'atmosphère globale (VAG).....	44
5.3.2.3. Stations de la Veille mondiale de la cryosphère.....	45
5.3.2.4. Systèmes de détection de la foudre.....	46
5.3.2.5. Stations de surface servant à des applications particulières.....	47
5.3.3. Systèmes terrestres d'observation hydrologique.....	48
5.3.3.1. Stations hydrologiques de référence.....	48
5.3.3.2. Stations des réseaux hydrologiques nationaux.....	48
5.3.3.3. Stations d'observation des eaux souterraines.....	49
5.3.4. Stations radar météorologiques.....	50
5.3.5. Système d'observation en altitude au-dessus des océans et Programme de mesures automatiques en altitude à bord de navires (ASAP).....	52
5.3.6. Systèmes d'observation en surface sur les océans.....	52
5.3.6.1. Radars côtiers haute fréquence.....	53

5.3.6.2.	Stations maritimes (îles, côtes et plates-formes fixes)	53
5.3.6.3.	Programme de navires d'observation bénévoles	54
5.3.6.4.	Bouées ancrées et dérivantes	55
5.3.6.5.	Bouées mouillées dans des zones de glace	57
5.3.6.6.	Stations marégraphiques.....	58
5.3.7	Systèmes d'observation océanique sous la surface de la mer	59
5.3.7.1	Flotteurs profilants	59
5.3.7.2	Plates-formes captives en zone de glace.....	59
5.3.7.3	Navires occasionnels.....	60
5.3.8	Instruments exploratoires – Recherche-développement et exploitation.....	60
5.3.8.1	Aéronefs téléguidés.....	62
5.3.8.2	Nacelles.....	62
5.3.8.3	Stations du réseau GRUAN.....	62
5.3.8.4	Mesures de l'atmosphère depuis des aéronefs.....	63
5.3.8.5	Animaux marins équipés d'instruments.....	63
5.3.8.6	Planeurs sous-marins.....	64
6.	SYSTÈME D'OBSERVATION À PARTIR DE L'ESPACE	64
6.1.	Introduction.....	64
6.2.	Questions générales: étalonnage et échange de données, élaboration de produits, archivage de données, enseignement et formation	65
6.2.1.	Disponibilité et rapidité de transmission des données	65
6.2.2.	Information et formation des utilisateurs et archivage de données	66
6.2.3.	Questions relatives à l'étalonnage.....	67
6.3.	Questions propres à chaque composante du système d'observation	69
6.3.1.	Satellites d'exploitation géostationnaires.....	69
6.3.1.1.	Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible et l'infrarouge	69
6.3.1.2.	Sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge	70
6.3.1.3.	Imageurs d'éclairs	70
6.3.2.	Satellites d'exploitation héliosynchrones à défilement	71
6.3.2.1.	Sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge	72
6.3.2.2.	Sondeurs hyperfréquence	73
6.3.2.3.	Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible et l'infrarouge	73
6.3.2.4.	Imageurs hyperfréquence.....	74
6.3.3.	Missions d'exploitation additionnelles aux orbites voulues.....	75
6.3.3.1.	Diffusiomètres.....	75
6.3.3.2.	Constellation de radio-occultation	76
6.3.3.3.	Constellation d'altimètres	77
6.3.3.4.	Imageur à double angle de visée dans l'infrarouge.....	78
6.3.3.5.	Imageurs à bande étroite et haute résolution spectrale et hyperspectrale dans le visible/proche infrarouge.....	78
6.3.3.6.	Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible/l'infrarouge	79
6.3.3.7.	Radars de détection des précipitations associés à des imageurs passifs hyperfréquence.....	79
6.3.3.8.	Radiomètres à large bande dans le visible/l'infrarouge pour le bilan radiatif de la Terre	81
6.3.3.9.	Constellation d'instruments d'analyse de la composition de l'atmosphère	81
6.3.3.10.	Radar à synthèse d'ouverture (SAR).....	83
6.3.4.	Instruments exploratoires d'exploitation et prototypes	83
6.3.4.1.	Lidars à bord de satellites sur orbite basse	84
6.3.4.2.	Radiomètre hyperfréquence à basse fréquence sur orbite basse.....	85
6.3.4.3.	Imageurs/sondeurs hyperfréquence sur orbite géostationnaire	86
6.3.4.4.	Imageurs multibandes dans le visible/proche infrarouge à bande étroite et haute résolution sur orbite géostationnaire	86
6.3.4.5.	Imageurs dans le visible/l'infrarouge sur satellites à orbite très elliptique et à forte inclinaison.....	87

6.3.4.6. Capteurs gravimétriques	87
7. MÉTÉOROLOGIE DE L'ESPACE.....	88
ANNEXE I – BIBLIOGRAPHIE	92
ANNEXE II – RÉSUMÉ DES ACTIVITÉS.....	93
ANNEXE III – ACRONYMES	118

RÉSUMÉ

Introduction

Le présent Plan d'action a pour objet de présenter les principales activités à mettre en œuvre de 2012 à 2025 afin d'entretenir et de développer tous les systèmes d'observation de l'OMM. Ces systèmes ont une identité collective – le Système mondial intégré d'observation de l'OMM (WIGOS) – dont le Plan d'action prend en compte les perspectives d'avenir. Ce Plan d'action a pour but de répondre de la façon la plus économique aux besoins en matière d'observations des applications météorologiques, climatologiques et hydrologiques de l'Organisation. Les systèmes d'observation faisant partie du WIGOS vont apporter une contribution majeure au Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS) et au Cadre mondial pour les services climatologiques (CMSC). Certaines activités ayant trait aux systèmes d'observation coparrainés par l'OMM vont devoir être lancées en collaboration étroite avec les organisations partenaires.

Aux observations correspond une gamme de plus en plus vaste d'applications relatives à la surveillance et aux prévisions concernant l'atmosphère, les océans et les terres émergées, à diverses échelles de temps. Leur correspond également un nombre croissant de services ayant d'importants avantages socio-économiques. Les utilisateurs ont des exigences plus strictes et de nouvelles exigences sont apparues par rapport à ces applications. Des systèmes d'observation plus nombreux répondent aux besoins en temps réel, en temps quasi réel ou en différé. On prévoit que les exigences en matière d'observations imposées au titre du CMSC et du Système mondial d'observation du climat (SMOC) relevant de l'OMM, de la COI, du PNUE et du CIUS vont également s'accroître. Dans de nombreux cas, on pourrait obtenir des améliorations sensibles en diffusant simplement, en temps voulu, des observations déjà effectuées à d'autres fins.

Les mesures présentées dans le présent Plan d'action sont le résultat de diverses activités en cours de l'OMM, réalisées en collaboration étroite avec des experts mondiaux des disciplines pertinentes:

- Les perspectives d'avenir du Système mondial d'observation (SMO) à l'horizon 2025, approuvées lors de la soixante et unième session du Conseil exécutif (Genève, 2009), selon lesquelles des objectifs de haut niveau doivent guider l'évolution des systèmes mondiaux d'observation;
- L'étude continue des besoins, réalisée depuis plusieurs années, où l'on confronte les capacités des systèmes d'observation aux besoins des usagers dans 12 secteurs d'application de l'OMM et où l'on présente une déclaration d'orientation permettant de recenser les principales lacunes;
- Les résultats d'études d'impact et notamment d'expériences sur les systèmes d'observation et d'expériences de simulation de ces systèmes dans certains secteurs d'application.

Agents d'exécution

Dans le cas des systèmes d'observation en surface, les activités de mise en œuvre dépendent essentiellement d'organismes nationaux tels que les Services météorologiques nationaux (SMN) ou les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN), bien que dans de nombreux cas, des réseaux d'observation *in situ* soient exploités par des organismes non météorologiques dans le contexte de programmes internationaux ou d'une coopération internationale étroite. Dans certains cas, ces réseaux sont financés à des fins de recherche, ce qui pose des problèmes de viabilité de ceux-ci.

Dans le cas des systèmes d'observation depuis l'espace, les agents sont parfois des organismes nationaux qui font appel à des satellites de recherche et/ou d'exploitation et parfois des organismes multinationaux spécialisés dans les observations depuis l'espace.

Une coopération internationale étroite est nécessaire pour les systèmes tant terrestres que spatiaux, ce qui justifie l'existence de divers programmes internationaux parrainés ou coparrainés par l'OMM en partenariat avec d'autres organisations internationales.

La conception et la mise en œuvre de réseaux terrestres d'observation *in situ* relèvent souvent des conseils régionaux, qui jouent un rôle essentiel de coordination dans chaque Région en suivant les directives de commissions techniques de l'OMM, et surtout – mais pas uniquement – de la CSB. Diverses exigences sont respectées grâce aux systèmes d'observation coparrainés (SMOC, GOOS et SMOT). Pour ce qui est des réseaux d'observation *in situ* des océans, la Commission technique mixte OMM/COI d'océanographie et de météorologie maritime (CMOM) participe à tous les systèmes d'observation et effectue des mesures de météorologie maritime en surface et des mesures à la surface et sous la surface des océans. Dans le domaine de la chimie de l'atmosphère, les observations sont réalisées dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale, de son Plan stratégique et de son additif. Pour ce qui est des systèmes d'observation depuis l'espace, il existe une tendance générale à effectuer des observations satellitaires mondiales et moins régionales qu'avec les réseaux d'observation *in situ*. Cependant, le rôle de l'OMM est également important: l'Organisation travaille en collaboration étroite avec le Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS) ainsi qu'avec des organismes nationaux et internationaux.

Certains réseaux d'observation terrestre, qui jouent un rôle essentiel en matière de surveillance du climat, doivent être étoffés. Ces réseaux effectuent des mesures du rayonnement en surface, complémentaires de la mesure de l'éclairement énergétique total du soleil réalisée par des instruments satellitaires et de toutes les variables nécessaires pour suivre le cycle du carbone du système terrestre, et en particulier du carbone présent dans les sols, ainsi que les flux de dioxyde de carbone et de méthane entre l'atmosphère, les océans et les terres émergées. La stratégie relative au carbone du GEO indique quels organismes sont chargés de la réalisation de ces observations.

Activités globales et transsectorielles

Pour répondre aux besoins des usagers, il faut prendre des mesures en vue du passage de systèmes expérimentaux d'observation mûrs et économiques à un statut opérationnel. Les modifications à apporter aux systèmes existants et la création de nouveaux systèmes doivent être évalués constamment avec les utilisateurs de ces observations. Cela est particulièrement important pour divers systèmes d'observation des océans, entretenus actuellement grâce à des fonds d'une durée limitée consacrés à la recherche. Certains systèmes d'observation pourraient devenir plus économiques grâce à une adaptation au titre de laquelle on ferait varier l'ensemble des observations selon la situation météorologique.

Le rôle d'intégration du WIGOS est important pour la réalisation des perspectives d'avenir du SMO à l'horizon 2025. Il convient d'exhorter tous ceux qui produisent des observations à se conformer aux normes du SIO et du WIGOS. La continuité et la cohérence des relevés concernant les principaux éléments du système d'observation sont essentielles pour de nombreux usagers.

Il faut prendre des mesures concernant les principes applicables aux données en vue de garantir que tous les Membres de l'OMM disposent en permanence de l'ensemble des données essentielles d'observation et qu'ils adhèrent constamment aux principes de l'OMM en matière de partage des données, indépendamment de leur origine et même si elles émanent d'entreprises commerciales. La politique des Membres et de l'Organisation en matière de données doit évoluer en fonction des besoins des usagers et de l'évolution des systèmes d'observation: on doit recueillir et échanger une plus grande quantité et des types divers de données émanant de sources plus variées.

D'ici 2025, les progrès techniques vont donner lieu à des procédures plus automatisées, à des volumes de données beaucoup plus importants et à un plus grand flux de données à transmettre en temps réel. Il faut prendre des mesures pour que le SIO, grâce à ses capacités, puisse prendre en charge le volume et le flux des données d'observation et pour que les fréquences radioélectriques qu'utilise le WIGOS soient protégées.

De nombreux pays en voie de développement ou dont l'économie est en transition ne disposent pas des capacités et des ressources voulues pour produire des observations *in situ* essentielles. Il est important de résoudre ce problème en poursuivant les stratégies de renforcement des capacités des systèmes d'observation grâce à des projets financés par des organisations internationales, à des partenariats bilatéraux et au resserrement de la coopération régionale. Il faudrait notamment définir des principes directeurs et organiser des formations et des rencontres en vue du renforcement des capacités.

Les systèmes d'observation en surface

Pour répondre aux besoins de divers utilisateurs, on pourrait accroître l'efficacité de nombreux systèmes d'observation en surface sans multiplier nécessairement les observations. Cela pourrait se faire en traitant et en échangeant davantage de données, par exemple:

- En procédant à un échange mondial de toutes les données horaires pouvant avoir des applications mondiales et en favorisant l'échange de données en moins d'une heure à l'appui des secteurs d'application pertinents;
- En procédant à un échange entre diverses communautés d'utilisateurs (au sens des normes du WIGOS) d'observations émanant de systèmes d'observation de l'atmosphère, des océans et des terres émergées, avec des niveaux de prétraitement différents, le cas échéant.

On peut améliorer les systèmes d'observation en altitude grâce à diverses mesures concernant les radiosondes, les données émanant d'aéronefs et les profilers, par exemple:

- En rendant la couverture mondiale en données aérologiques plus homogène si l'on considère l'ensemble des systèmes d'observation;
- En prenant des mesures spéciales pour entretenir les plates-formes et les sites de radiosondage, y compris les stations de mesures automatiques en altitude à bord de navires;
- En adoptant des dispositions particulières pour remettre en service des sites de radiosondage ayant cessé de fonctionner ou produisant des observations qui ne sont pas transmises;
- En créant un élément d'adaptation pour les radiosondes et les systèmes de retransmission des données météorologiques d'aéronefs (AMDAR) en vue de produire des observations aux endroits et aux moments où elles sont le plus nécessaires;
- En prenant des mesures spéciales pour entretenir les sites de radiosondage appartenant au Réseau d'observation en altitude pour le SMOC (GUAN) et pour développer le Réseau aérologique de référence du SMOC (GRUAN);
- En améliorant le traitement et la diffusion des données de radiosondage pour les présenter avec une résolution verticale plus élevée et indiquer la position et l'heure de chaque donnée;
- En créant un réseau cohérent de stations régionales de profilage par télédétection;
- En concevant et en mettant en service des capteurs d'humidité faisant partie intégrante du système AMDAR.

Des mesures d'ordre général concernant les normes du SIO et du WIGOS relatives au traitement et à l'échange de données d'observation seraient très intéressantes pour la plupart des systèmes d'observation terrestre. Une multiplication des données d'observation échangées sur le plan

mondial, y compris celles qui émanent de stations de la VAG, de systèmes de détection de la foudre et de stations hydrologiques, pourrait être également intéressante. Une façon très économique d'obtenir davantage de données d'observation en surface pour divers usagers est d'accroître et d'élargir l'échange de données d'observation destinées à des applications précises telles que les transports routiers, l'aéronautique, la météorologie agricole, la météorologie urbaine et la production d'énergie.

Des mesures sont nécessaires à propos des radars météorologiques, afin:

- D'améliorer la qualité des évaluations quantitatives des précipitations;
- D'établir un cadre pour le traitement et l'échange des données émanant de radars météorologiques, à l'avantage de tous les utilisateurs, en vue d'obtenir une présentation homogène des données dans la perspective d'échanges internationaux.

Des mesures sont nécessaires pour les stations en mer, les navires d'observation bénévoles, les bouées ancrées, les bouées dérivantes et les bouées mouillées dans des zones de glace, afin d'améliorer la couverture géographique des observations océaniques, et en particulier pour mesurer la température de la mer en surface, le niveau de la mer, la salinité, la visibilité, les vagues et les vents en surface.

Pour ce qui est des observations sous la surface des océans, il convient de prendre des mesures en partenariat avec la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO afin de produire davantage d'observations – température, salinité, etc. – avec une résolution verticale élevée grâce à des flotteurs profilants et à des bathythermographes non récupérables et de diffuser toutes les données en temps réel. Pour la haute mer, où il est difficile d'obtenir des observations, il importe d'accélérer le développement de certaines techniques nouvelles.

Les systèmes d'observation depuis l'espace

Dans les perspectives d'avenir du SMO à l'horizon 2025, on prévoit un renforcement des capacités d'observation depuis l'espace, un élargissement de la communauté des agences spatiales qui contribuent aux programmes de l'OMM et un resserrement de la collaboration entre celles-ci. Davantage de satellites devraient être consacrés à diverses applications plutôt qu'à une seule activité scientifique.

Certaines questions sont importantes pour la plupart des composantes spatiales: la continuité et le chevauchement des grands capteurs satellitaires, qui doivent être garantis, le traitement et la diffusion de données en temps réel et en différé et les procédures de comparaison et d'interétalonnage.

Des mesures permanentes sont à prendre pour compléter ou entretenir au moins six satellites géostationnaires opérationnels (GEO), séparés dans l'idéal par un maximum de 70° de longitude, avec au moins:

- Un imageur dans le visible et l'infrarouge;
- Un capteur hyperspectral dans l'infrarouge;
- Un imageur d'éclairs.

Pour les missions de satellites en orbite basse, on devrait faire appel à au moins trois satellites héliosynchrones à défilement (avec des croisements de l'équateur vers 13 h 30, 17 h 30 et 21 h 30, heure locale, afin d'optimiser la couverture mondiale). Ces plates-formes devraient être équipées d'au moins:

- Un capteur hyperspectral dans l'infrarouge;
- Un sondeur hyperfréquence;

- Un imageur multispectral haute résolution dans le visible et l'infrarouge;
- Un imageur hyperfréquence.

Des mesures précises sont nécessaires pour la transmission en temps réel, le prétraitement et la diffusion auprès des usagers des volumes importants de données attendus des satellites en orbite basse.

Outre les missions essentielles des satellites météorologiques, divers autres instruments satellitaires doivent être entretenus ou conçus pour des applications océaniques, climatologiques et autres. Nombre des instruments cités ci-après ont des domaines d'application multiples:

- Diffusiomètres: au moins deux satellites équipés de diffusiomètres et tournant sur des orbites distinctes sont nécessaires;
- Récepteurs de systèmes mondiaux de navigation par satellite en orbite basse: une constellation de radio-occultation produisant au moins 10 000 occultations par jour est nécessaire;
- Altimètres: les usagers demandent une mission d'altimètres de référence haute précision tournant sur une orbite inclinée non héliosynchrone et deux autres instruments tournant sur des orbites héliosynchrones distinctes;
- Imageur à double angle de visée dans l'infrarouge: un tel instrument doit être installé à bord d'un satellite à défilement pour l'obtention de mesures de la température de la mer en surface d'une qualité permettant la surveillance du climat;
- Imageur à bande étroite dans le visible et le proche infrarouge: un appareil de ce type au moins est nécessaire pour observer la couleur des océans, la végétation, l'albédo de surface, les aérosols et les nuages;
- Imageurs multispectraux haute résolution dans le visible et l'infrarouge: les instruments de ce type sont importants pour la météorologie agricole, l'hydrologie, l'occupation des sols et la surveillance des inondations et des incendies;
- Radars de mesure des précipitations: ces instruments, associés à des imageurs hyperfréquence passifs, sont nécessaires à la mesure des précipitations à l'échelle planétaire;
- Radiomètres à large bande dans le visible et l'infrarouge: des instruments de ce type (embarqués à bord d'au moins un satellite sur orbite polaire) sont nécessaires pour mesurer le bilan radiatif de la Terre;
- Divers sondeurs (dans l'ultraviolet, le visible et le proche infrarouge) placés sur plusieurs orbites géostationnaires et orbites basses, ayant une capacité de sondage du limbe, servant essentiellement à la chimie de l'atmosphère et à la mesure des gaz à effet de serre et de la pollution de l'air;
- Radar à synthèse d'ouverture: il est important de disposer d'au moins un de ces radars dans un satellite sur orbite polaire pour surveiller les terres émergées, le niveau de la mer, la hauteur d'eau dans les zones inondées, etc., afin de contribuer efficacement à la gestion des catastrophes.

Outre les instruments cités ci-dessus, il existe divers instruments et techniques nouveaux ou en cours de mise au point à tester et éventuellement à mettre en œuvre sur le plan opérationnel d'ici 2025. On peut prendre comme exemples d'instruments embarqués à bord de satellites sur orbite basse les lidars (pour la mesure du vent, des nuages et des aérosols) et les radiomètres hyperfréquence et basse fréquence (pour la mesure de l'humidité des sols et de la salinité des océans). Il convient de faire la démonstration des instruments hyperfréquence et à bande étroite dans le visible et le proche infrarouge embarqués à bord de satellites géostationnaires. Les capteurs gravimétriques ont la possibilité de mesurer les eaux souterraines. À ce jour, aucun instrument météorologique ou océanographique n'a été mis en orbite fortement elliptique. Une démonstration de cette technique présenterait un grand intérêt.

La météorologie de l'espace

Il convient de procéder à des observations sur la météorologie de l'espace pour prévoir la probabilité d'occurrence de perturbations météorologiques dans l'espace, pour gérer les alertes lorsque les seuils des perturbations sont dépassés, pour connaître l'état immédiat de l'environnement, pour déterminer les conditions climatologiques en vue de concevoir des systèmes spatiaux (par ex. procédures concernant la sécurité des satellites et des astronautes) et des systèmes terrestres (par ex. en vue de la protection des réseaux électriques et de la gestion du trafic aérien), pour mettre au point et valider des modèles numériques et pour mener des recherches qui vont améliorer notre compréhension. Un réseau d'ensemble d'observation de la météorologie spatiale doit inclure des observatoires terrestres et spatiaux et une association de mesures de télédétection et de mesures *in situ*.

Des mesures sont nécessaires en particulier:

- Pour coordonner les plans garantissant la continuité des mesures solaires, des mesures du vent solaire et du champ magnétique interplanétaire ainsi que de l'imagerie de l'héliosphère depuis l'espace, pour coordonner, standardiser et élargir les données existantes d'observation solaire depuis le sol, pour améliorer la surveillance de l'ionosphère grâce au développement de systèmes mondiaux de navigation par satellite, pour accroître la rapidité des mesures de radio-occultation depuis l'espace grâce à ces systèmes, pour partager en temps réel, en faisant appel à ces systèmes, les mesures terrestres et spatiales parmi les spécialistes de la météorologie terrestre et de la météorologie de l'espace par le biais du SIO, pour coordonner les observations effectuées par des spécialistes de la météorologie de l'espace au moyen d'altimètres radar bifrédence et pour accroître la disponibilité en temps opportun des données issues de magnétomètres au sol;
- Pour élaborer un plan de poursuite et d'amélioration des observations météorologiques spatiales du plasma et des particules à haute énergie.

Stratégie de mise en œuvre

On prévoit que la plupart des mesures évoquées dans le présent document pourront être appliquées d'ici 2025. La principale exception a trait aux activités de recherche-développement concernant de nouveaux systèmes d'observation, la mise en œuvre de certains d'entre eux d'ici 2025 étant très incertaine.

Les activités transsectorielles qui ne sont liées à aucun système d'observation en particulier sont présentées dans les sections 3 et 4 du présent Plan d'action. Les activités relatives à l'évolution des systèmes d'observation terrestre sont présentées dans la section 5, système par système. Celles qui concernent l'évolution des systèmes d'observation depuis l'espace sont présentées dans la section 6, également système par système, et celles qui ont trait à la météorologie de l'espace sont présentées dans la section 7.

L'application du Plan d'action sera examinée et évaluée régulièrement sous la conduite de la CSB de 2012 à 2025, parallèlement à d'autres dossiers, dont, notamment, celui des perspectives d'avenir du SMO à l'horizon 2025. Il faudra, pour cela, annoncer régulièrement les progrès accomplis par rapport à l'ensemble des mesures adoptées dans le cadre du Plan d'action pour l'évolution du SMO.

On trouvera à l'[annexe I](#) un tableau résumant les activités proposées dans le présent Plan d'action.

Plan d'action pour l'évolution des systèmes mondiaux d'observation

1. INTRODUCTION

1.1. Préambule

D'ici 2025, les systèmes mondiaux d'observation, fondés sur des sous-systèmes terrestres et spatiaux existants et tirant parti de techniques actuelles et nouvelles, se seront considérablement développés. Ils constitueront les éléments centraux du Système mondial intégré d'observation de l'OMM (WIGOS), qui comprendra un système global intégré de systèmes d'observation qui répondront aux besoins des Membres de l'Organisation en matière d'informations sur le temps, le climat, l'eau et les questions environnementales connexes. Les composantes existantes de l'actuel Système mondial d'observation (SMO) de l'OMM fonctionneront en interface avec les systèmes d'observation coparrainés par l'OMM et d'autres systèmes qui ne relèveront pas de l'Organisation. Ils apporteront ainsi une contribution majeure au Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS¹) et au Cadre mondial pour les services climatologiques (CMSC²) nouvellement créé. La composante spatiale dépendra du renforcement de la collaboration dans le cadre de partenariats avec des organismes tels que le Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS³) et le Comité sur les satellites d'observation de la Terre (CSOT⁴). Certains sous-systèmes d'observation relèveront d'organisations partenaires de l'OMM: le Système mondial d'observation terrestre (SMOT⁵), le Système mondial d'observation de l'océan (GOOS⁶) et d'autres systèmes. Leurs composantes climatologiques contribueront éminemment au Système mondial d'observation du climat (SMOC⁷).

Ces systèmes d'observation vont répondre aux besoins en matière d'observations d'une vaste gamme de secteurs d'application relevant de tous les programmes mis en œuvre ou coparrainés par l'OMM, contribuant ainsi à l'amélioration des données, des produits et des services des Services météorologiques nationaux (SMN) et des Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN). Les systèmes d'observation seront développés essentiellement grâce à de légères adjonctions et mutations techniques, mais la portée de l'évolution, qui devrait être importante, exigera d'aborder autrement les sciences, la gestion des données, la conception et l'exploitation de produits ainsi que la formation professionnelle.

1.2. Contexte

Le Système mondial d'observation (SMO) de l'OMM s'est très sensiblement amélioré au cours des dernières décennies, ce qui a conduit à de vastes progrès de la gamme et de la qualité des observations disponibles pour des activités météorologiques opérationnelles, donc de la qualité des services qui en émanent.

L'évolution a été particulièrement sensible pour la composante spatiale du SMO, qui réunit désormais de nombreux instruments et systèmes satellitaires contribuant éminemment à une vaste gamme d'applications.

¹ <http://www.earthobservations.org/>

² En 2009, les participants à la troisième Conférence mondiale sur le climat ont décidé de créer un Cadre mondial pour les services climatologiques (CMSC), chargé d'améliorer la production, la disponibilité, la mise en œuvre et l'application de prévisions et de services climatologiques fondés sur la science. On trouvera davantage de détails à ce propos à l'adresse: <http://www.wmo.int/gfcs>.

³ <http://www.cgms-info.org/>

⁴ <http://www.ceos.org/>

⁵ Le SMOT est coparrainé par la FAO, le CIUS, le PNUE, l'UNESCO et l'OMM: <http://www.fao.org/gtos/>.

⁶ Le GOOS est coparrainé par le CIUS, la COI de l'UNESCO, le PNUE et l'OMM: <http://www.ioc-goos.org/>.

⁷ Le SMOC est coparrainé par le CIUS, la COI de l'UNESCO, le PNUE et l'OMM: <http://www.wmo.int/gcos>.

Les observations, outre qu'elles jouent un rôle de longue date dans la météorologie d'exploitation et qu'elles permettent des progrès rapides de la prévision numérique du temps, ont commencé à servir à une série d'applications de plus en plus nombreuses pour la surveillance et la prévision en temps réel non seulement des conditions atmosphériques, mais aussi de celles des océans et des terres émergées, y compris les prévisions à longue échéance d'échelle mensuelle et saisonnière. Les exigences des usagers sont devenues plus rigoureuses, de nouvelles conditions et de nouveaux outils ont fait leur apparition pour ces activités et les modèles ont progressé rapidement, ainsi que les conditions d'observation. Dans l'ensemble, ces conditions deviennent de plus en plus sévères et leur évolution devient de plus en plus rapide.

Dans les conditions d'observation, on tient compte de toutes les applications pertinentes des programmes parrainés et coparrainés par l'OMM. Certaines de ces applications, y compris la prévision du temps et les prévisions relatives aux océans, sont proposées en temps réel, auquel cas les observations sont normalement échangées et traitées à des échelles de temps allant de quelques minutes à plusieurs heures, en fonction de la technique d'observation, des exigences des usagers et du type de diffusion. D'autres applications, qui sont opérationnelles, sont assorties de délais plus longs pour la collecte et l'exploitation des données d'observation. D'autres activités, expérimentales, sont liées à des applications en temps réel mais ne sont pas limitées par des délais en matière de diffusion. De nombreux systèmes d'observation répondent à des besoins en temps réel et en différé. Les activités du SMOC et du CMSC comportent certaines conditions qui ne sont pas affectées par des contraintes en temps réel, bien que certains aspects de celles-ci puissent bénéficier largement d'un échange de données en temps réel ou quasi réel. On s'attend à ce que les conditions d'observation – notamment en termes de variables mesurées, de résolution spatiale et de fréquence des observations – liées à la prestation de services climatologiques opérationnels au titre du CMSC deviennent plus sévères au fur et à mesure de l'engagement des utilisateurs de ces services⁸. Dans certains cas, on peut obtenir des améliorations sensibles en diffusant simplement en temps réel des observations déjà effectuées à d'autres fins.

1.3. Cadre et objet du nouveau Plan d'action

Le Groupe d'action sectoriel ouvert (GASO) des systèmes d'observation intégrés et son Équipe d'experts pour l'évolution des systèmes mondiaux d'observation, œuvrant sous les auspices de la Commission des systèmes de base (CSB) de l'OMM, guident et suivent l'évolution des systèmes mondiaux d'observation. Le Groupe d'action et l'Équipe d'experts supervisent le processus d'étude continue des besoins. Dans ce cadre, les exigences en matière d'observations sont classées selon divers secteurs d'application et quantifiées en fonction de la densité des données (résolution horizontale et verticale), de l'incertitude (précision), du cycle des observations (fréquence) et du délai d'acheminement, pour donner une liste complète de variables météorologiques et environnementales (vent, température, etc.). Le processus d'étude continue des besoins régule la gestion d'une base de données⁹ contenant ces informations, révisée et actualisée régulièrement. Actuellement, on procède à une étude continue des besoins pour 12 secteurs d'application: prévisions numériques mondiales, prévisions numériques haute résolution, prévisions immédiates et à très courte échéance, prévisions saisonnières à interannuelles, météorologie aéronautique, applications océaniques (y compris la météorologie maritime), chimie de l'atmosphère, météorologie agricole, hydrologie, surveillance du climat, applications climatologiques et météorologie de l'espace. D'autres secteurs d'application sont ajoutés selon les besoins. Pour chacun de ces secteurs, les besoins en matière d'observations sont comparés aux capacités des systèmes d'observation actuels et prévus dans le cadre d'un «examen critique» effectué par des experts du secteur d'application considéré. Lors de cet examen, on tient compte des résultats d'études d'impact. Les principaux manques de capacité actuels et prévus par rapport aux besoins

⁸ Les utilisateurs de services climatologiques dans le contexte du CMSC constituent un groupe important et très divers incluant des décideurs, des cadres, des ingénieurs, des chercheurs, des étudiants et le grand public. Ce groupe relève de tous les secteurs et systèmes socio-économiques, y compris l'agriculture, l'hydrologie, la santé, la construction, l'atténuation des risques de catastrophes, l'environnement, le tourisme et les transports. On ne connaît pas encore la totalité de ses exigences.

⁹ <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/RRR-DB.html>

des usagers sont résumés dans une analyse des lacunes ou «déclaration d'orientation». L'énoncé de ces besoins, l'évaluation des capacités actuelles et prévues et les déclarations d'orientation sont les apports majeurs qui ont contribué en premier lieu à la détermination des perspectives d'avenir du SMO à l'horizon 2025, puis à l'analyse et à la définition des activités présentées dans le présent Plan d'action.

La première version du Plan d'action a été élaborée de 2001 à 2003 et adoptée par la CSB en 2005. Elle contenait un ensemble de recommandations visant à améliorer les sous-systèmes terrestre et spatial du SMO. Le Plan d'action actuel est le fruit d'un remaniement complet de l'ancien. Ce remaniement a dû être effectué pour les motifs suivants:

- Depuis 2003, de nombreuses observations et mises à jour ont été ajoutées aux recommandations d'origine dans le cadre du processus de déclaration des progrès accomplis à propos du Plan d'action. Ces observations et mises à jour, dont l'intérêt est désormais principalement historique, rendaient le document difficile à lire;
- Certaines recommandations étaient périmées;
- De nouvelles recommandations ont été ajoutées au rapport d'activité et nombre d'entre elles sont toujours valables pour le nouveau Plan d'action;
- Les perspectives d'avenir du SMO à l'horizon 2025¹⁰, définies en 2007 par l'Équipe d'experts pour l'évolution du SMO et adoptées en 2009 lors de la soixante et unième session du Conseil exécutif de l'OMM, présentent des objectifs de haut niveau concernant l'évolution des systèmes d'observation. Le nouveau Plan d'action reflète globalement les perspectives renouvelées, qu'il traduit dans sa structure. Comme le WIGOS constitue un nouveau cadre organisationnel pour les systèmes d'observation de l'OMM, il convenait d'insérer le Plan d'action dans ce cadre et d'y inclure des éléments importants du WIGOS tels que l'intégration et la compatibilité;
- Le nouveau Plan d'action est plus précis en ce qui concerne les responsables des diverses activités de mise en œuvre;
- Le nouveau Plan d'action correspond à la nouvelle version du Plan de mise en œuvre du SMOC¹¹, aux nouvelles conditions stipulées dans le CMSC et aux dispositions de la Veille mondiale de la cryosphère (VMC). Des activités sont présentées dans le Plan de mise en œuvre en vue de souligner et de faire connaître les conditions, présentées dans le cadre du SMOC, d'observations de haute qualité concernant les variables climatologiques essentielles et les pratiques en matière d'observation énoncées dans les principes de surveillance du climat relevant du Système mondial.

Le Plan d'action a pour objet de présenter un ensemble d'activités de mise en œuvre importantes visant à assurer une amélioration progressive de ces systèmes et une convergence vers les perspectives d'avenir du SMO à l'horizon 2025. Nombre des activités citées dans l'ancienne version du Plan d'action sont reconduites et actualisées. En outre, le nouveau Plan d'action définit les acteurs – organisations, organes – responsables de chaque activité, les délais envisagés, la gestion et le suivi globaux ainsi que les indicateurs de résultats. Ces indicateurs désignent souvent le «nombre d'observations» ou le «nombre de systèmes d'observation». Bien que cela ne soit pas précisé pour chaque activité, ces chiffres sont à considérer, par exemple, comme le nombre d'observations d'une qualité acceptable, et l'on prévoit que le cadre de référence de l'OMM pour la gestion de la qualité, en tant qu'il s'applique aux instruments et aux méthodes d'observation¹², va jouer un rôle important dans ce contexte (voir la section 2.1).

Le nouveau Plan d'action, qui présente les activités de mise en œuvre envisagées pour le début de la décennie 2010-2020, couvre la période allant jusqu'à 2025. Des rapports d'activité seront

¹⁰ Voir http://www.wmo.ch/pages/prog/www/OSY/WorkingStructure/documents/CBS-2009_Vision-GOS-2025.pdf

¹¹ Voir <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-138.pdf>

¹² Voir le *Guide de la CIMO* (<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html>), Partie III, chapitre 1, «Gestion de la qualité»

rédigés régulièrement en vue d'assurer le suivi des activités citées dans le Plan de mise en œuvre. Ces rapports indiqueront les progrès accomplis par rapport au Plan d'action de base, qui servira de référence.

Si les activités prévues apparaissent comme suffisantes pour répondre aux besoins d'ici 2025, aucune nouvelle activité ne sera prescrite dans la sous-section correspondante, ce qui n'empêchera pas d'ajouter des activités à une date ultérieure si le suivi du présent Plan d'action indique que les plans des agents d'exécution ont changé et qu'une lacune est apparue.

La section 3 du présent Plan d'action porte sur les activités transsectorielles, tandis que la section 4 concerne des points particuliers aux pays en voie de développement. Les activités sont présentées de façon distincte pour chaque système d'observation: systèmes d'observation en surface dans la section 5 et systèmes d'observation depuis l'espace dans la section 6. La section 7, quant à elle, porte sur la météorologie spatiale.

2. FONDEMENT STRATÉGIQUE DES ACTIVITÉS DE MISE EN ŒUVRE

2.1. Approche globale et rapport avec le WIGOS

Le présent Plan d'action présente des activités de mise en œuvre visant à observer de nombreuses variables relatives à l'atmosphère ainsi qu'à l'environnement se trouvant en contact avec l'atmosphère (océans, glaces et terres émergées). Ces activités sont difficiles à exécuter, mais elles sont réalisables pendant la période 2012-2025, bien qu'elles puissent ne pas être achevées en 2025. Elles sont issues dans une grande mesure des analyses des lacunes effectuées dans le cadre de l'étude continue des besoins. Les priorités liées à ces activités sont guidées par cette étude dans divers secteurs d'application et par les déclarations d'orientation correspondantes.

La conception de ces activités est étayée par une série d'informations concernant non seulement les différences existant entre les capacités d'observation existantes et prévues et les besoins déclarés des usagers, mais aussi les façons les plus efficaces de réduire ces différences. Dans la mesure du possible, une orientation a été déduite des expériences sur les incidences de modifications effectivement apportées ou pouvant être apportées aux systèmes d'observation. On a tenu compte en particulier des résultats d'expériences sur les systèmes d'observation, d'expériences de simulation de systèmes d'observation et d'autres types d'études d'impacts réalisées par des centres de prévision numérique du temps.

Pour les activités présentées dans le présent Plan d'action, on a tenu compte des perspectives d'avenir du WIGOS ainsi que de ses besoins, de ses objectifs et de sa portée, déterminés dans la Stratégie de développement et de mise en œuvre du Système mondial, adoptée par le Seizième Congrès (2011), et dans le Plan de mise en œuvre du WIGOS, que doit approuver le Conseil exécutif à sa soixante-quatrième session (2012) (voir le site Web du Système mondial¹³).

Perspectives d'avenir et besoins du WIGOS

Les perspectives d'avenir du WIGOS sont d'offrir un système d'observation intégré, coordonné et complet destiné à satisfaire de façon économique et pérenne les besoins en évolution des Membres de l'OMM dans le domaine des observations en assurant des services relatifs au temps, au climat, à l'eau et aux questions environnementales connexes. Le WIGOS constituera un cadre de référence pour l'intégration et l'évolution optimale des systèmes d'observation de l'OMM et de la contribution de l'Organisation aux systèmes coparrainés par elle.

¹³ Voir <http://www.wmo.int/wigos>

Il est nécessaire d'accroître les capacités d'observation existantes, d'obtenir un bon rapport coût-efficacité et de garantir la viabilité des opérations pour offrir de meilleurs services. La gouvernance, la gestion et l'intégration des systèmes d'observation doivent être améliorées pour qu'on puisse mettre sur pied un système coordonné, complet et viable qui réponde aux besoins de l'OMM et de ses partenaires.

L'intégration est nécessaire pour assurer l'interopérabilité et optimiser le fonctionnement des éléments d'observation du WIGOS. Trois secteurs devront être normalisés pour qu'on parvienne à l'intégration souhaitée: les instruments et méthodes d'observation, l'échange et la consultation d'informations par le biais du Système d'information de l'OMM (SIO) et une gestion des données conforme au cadre de référence pour la gestion de la qualité.

Le cadre de référence pour la gestion de la qualité

Le WIGOS vise à produire dans les meilleurs délais et à long terme des données d'observation bien documentées dont la qualité est assurée et contrôlée. Il convient de mettre en œuvre des procédures de gestion de la qualité afin de renforcer l'exploitation des capacités d'observation actuelles et émergentes.

Le WIGOS devra établir un cadre de référence pour la gestion de la qualité¹⁴ afin de garantir la qualité des observations, des relevés et des comptes rendus sur le temps, l'eau, le climat et d'autres ressources environnementales, des prévisions d'exploitation, des alertes et des informations et services connexes, ainsi que le respect des normes définies de concert avec d'autres organisations internationales.

Ce cadre devra reposer sur des normes approuvées en matière d'assurance et de contrôle de la qualité pour établir, uniquement après une mise en œuvre effective sur le plan national, un système de gestion intégré qui permette la circulation fiable et rapide des données, un contrôle adéquat de la qualité et la production de métadonnées pertinentes.

Planification et optimisation coordonnées des systèmes d'observation

La planification et l'optimisation coordonnées des systèmes d'observation dans le cadre du WIGOS vont être réalisées par le biais de l'étude continue des besoins, comme indiqué dans la section 1.3.

L'expansion du WIGOS va bénéficier de divers projets pilotes qui devraient favoriser le développement à long terme des systèmes mondiaux d'observation.

Le Plan d'action présente les activités de mise en œuvre proposées pour chaque système d'observation. D'autres aspects du WIGOS – gestion de réseaux, rapports avec des organisations partenaires, coordination avec le SIO, etc. –, bien qu'étant importants, ne relèvent pas du Plan d'action.

¹⁴ <http://www.wmo.int/qmf>

Divers éléments de la stratégie du Plan d'action sont communs à l'approche stratégique du Plan de mise en œuvre du SMOC. Ces éléments sont les suivants:

- Couverture mondiale des réseaux d'observation en surface *in situ* et par télédétection, qui suppose une nette amélioration des réseaux existants pour respecter les normes techniques, d'exploitation et de maintenance recommandées, en particulier dans les pays en développement;
- Développement des réseaux existants et, en particulier, accroissement de la densité et de la fréquence des observations dans les zones où les données sont rares, comme les océans, les régions tropicales et les latitudes et altitudes élevées, en vue de répondre aux besoins nouveaux des utilisateurs du CMSC;
- Amélioration des systèmes d'acquisition de données et des procédures de gestion des données afin de réduire au minimum le nombre de données manquantes, d'assurer la compatibilité avec les principes du SIO et du WIGOS – ce qui suppose le respect de normes internationalement reconnues concernant le temps, le climat, l'eau et les observations environnementales connexes – et de permettre l'échange de données associées;
- Exploitation efficace des données satellitaires grâce à un étalonnage et/ou à une validation continus améliorés, à une gestion efficace des données et à la continuité des observations par satellite hautement prioritaires actuelles;
- Amélioration du suivi de la disponibilité et de la qualité des données à toutes les étapes du traitement, de l'échange et de l'exploitation de celles-ci sur la base de systèmes de données existants;
- Obtention constante de nouvelles capacités par le biais de la recherche, du développement technique et de la démonstration de projets pilote.

2.2. Agents d'exécution

Les activités de mise en œuvre de systèmes d'observation en surface dépendent essentiellement d'organismes nationaux tels que les SMN et les SMHN, bien que dans certains cas, des réseaux d'observation *in situ* soient déployés par des organismes ou des instituts non météorologiques dans le cadre d'un programme international ou d'une coopération internationale étroite. Dans d'autres cas, les réseaux étant financés à des fins de recherche, leur viabilité est incertaine.

Les systèmes d'observation depuis l'espace relèvent parfois d'opérateurs de satellites et d'organismes nationaux employant des satellites à des fins de recherche et/ou d'exploitation, et parfois d'organismes multinationaux spécialisés dans les observations spatiales.

Pour les systèmes d'observation en surface et depuis l'espace, il faut entretenir une coopération internationale étroite qui justifie l'existence de plusieurs programmes internationaux parrainés par l'OMM ou coparrainés par elle en partenariat avec d'autres organisations internationales. Pour les systèmes d'observation qui passent de la recherche à l'exploitation, trois commissions techniques de l'OMM jouent un rôle prépondérant: la Commission des systèmes de base (CSB), la Commission des sciences de l'atmosphère (CSA) et la Commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO).

La conception et la mise en œuvre de réseaux d'observation terrestre *in situ* passe souvent par les conseils régionaux, qui ont un rôle clef de coordination à jouer dans chaque Région et qui appliquent les directives des commissions techniques, et surtout – mais pas uniquement – celles de la CSB. Diverses exigences sont prises en charge par les systèmes d'observation coparrainés (SMOC, GOOS et SMOT). Pour ce qui est des réseaux d'observation *in situ* des océans, la Commission technique mixte OMM/COI d'océanographie et de météorologie maritime (CMOM) s'occupe de tous les systèmes d'observation, effectuant des mesures de météorologie maritime en surface et des mesures océanographiques en surface et en profondeur. Les observations relatives à la chimie de l'atmosphère sont réalisées par le biais du Programme de la Veille de l'atmosphère

globale (VAG), de son Plan stratégique et de son additif (voir les références Internet à la section 5.3.1.4). Les systèmes d'observation depuis l'espace ont souvent une portée plutôt mondiale et moins régionale que les réseaux d'observation *in situ*. Toutefois, le rôle de l'OMM est important dans les deux cas et l'Organisation entretient une collaboration étroite avec le Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS) ainsi qu'avec des organismes nationaux et internationaux.

Certains réseaux terrestres d'observation, qui jouent un rôle essentiel de surveillance du climat, doivent être agrandis. Ces réseaux effectuent des mesures du rayonnement en surface complémentaires des mesures de l'éclairement énergétique solaire total réalisées par des instruments satellitaires, ainsi que de toutes les variables nécessaires pour suivre le cycle du carbone du système terrestre, et en particulier le carbone du sol, ainsi que les flux de dioxyde de carbone et de méthane entre l'atmosphère, les océans et les terres émergées. La stratégie relative au carbone du GEO¹⁵ permet de déterminer quels sont les agents d'exécution de ces observations.

3. ACTIVITÉS GLOBALES ET TRANSSECTORIELLES

Cette section du Plan de mise en œuvre suit de près la définition des tendances et des questions d'ordre général présentées dans les perspectives d'avenir du SMO à l'horizon 2025 et développe les activités générales obligatoirement liées à ces tendances et à ces questions.

3.1. Prise en compte des besoins des utilisateurs

Les systèmes mondiaux d'observation effectuent des observations d'ensemble pour répondre aux besoins de la totalité des Membres et des programmes de l'OMM en matière d'amélioration des données, des produits et des services concernant le temps, le climat et les questions environnementales connexes. Par le biais du WIGOS, l'OMM va continuer d'assurer une collaboration mondiale étroite pour la réalisation et la diffusion d'observations grâce à un ensemble composite de systèmes d'observation de plus en plus complémentaires.

La viabilité de ces systèmes exige parfois la conclusion de partenariats entre des établissements de recherche et des services d'exploitation. Des observations de plusieurs variables sont effectuées dans le cadre de programmes de recherche ou par des agences spatiales dont la principale mission est la recherche-développement. Lorsque les méthodes sont suffisamment mûres pour garantir un ensemble important d'observations avec un degré de précision suffisant, elles doivent se muer en systèmes d'observation opérationnels si elles répondent aux exigences de certains groupes d'utilisateurs.

Un système opérationnel inclut le processus d'observation, la transmission de données à un centre de prétraitement ainsi que leur archivage et leur diffusion auprès des utilisateurs au moyen de procédures compatibles avec le SIO. Ces activités peuvent impliquer ou non un transfert de responsabilités d'une organisation à une autre. Lorsque des techniques d'observation ou des systèmes de traitement des données nouveaux ou améliorés sont mis en place, il est essentiel d'établir un lien entre les concepteurs et les utilisateurs intermédiaires et finals afin d'évaluer les exigences et les incidences de systèmes nouveaux ou en évolution avant leur mise en œuvre, ce qui contribue à garantir que toutes les conditions essentielles sont réunies, y compris les conditions d'homogénéité des observations dans le temps. Il faut prendre des dispositions pour que les usagers puissent se préparer bien à l'avance à l'introduction de nouveaux systèmes d'observation du point de vue de la réception des données, de l'infrastructure du traitement et de l'analyse, ainsi que de l'enseignement et de la formation professionnelle associés.

¹⁵ http://www.earthobservations.org/documents/sbas/cl/201006_geo_carbon_strategy_report.pdf

En même temps, il faut continuer à prêter attention aux systèmes existants. Des méthodes d'observation de longue date restent valables et doivent être employées pour assurer la continuité et l'élargissement des réseaux en vue de répondre aux besoins des usagers.

Activité C1

Activité: Répondre aux besoins des usagers en matière d'informations climatologiques en favorisant et en secondant le développement des plates-formes traditionnelles d'observation du temps et des observations climatologiques.

Agents d'exécution: Conduite du SMOC et de la CSB, avec des centres régionaux représentant les usagers et les organisations qui exploitent des systèmes d'observation connexes.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Mesure dans laquelle les besoins des usagers sont satisfaits.

Activité C2

Activité: Une fois qu'il est démontré que les systèmes d'observation expérimentaux voulus sont suffisamment mûrs et économiques, adopter une méthode de migration appropriée pour en faire des systèmes opérationnels pérennes.

Agents d'exécution: La CSB, en collaboration avec la CIMO et la CSA, doit lancer et diriger l'évolution avec toutes les organisations qui exploitent des systèmes d'observation connexes.

Échéance: Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer au cas par cas.

Indicateur de résultats: Nombre de systèmes pérennes par rapport aux objectifs.

Activité C3

Activité: Veiller à ce que tous les exploitants qui produisent des observations se conforment aux normes du SIO¹⁶

Agents d'exécution: Organisations et organismes disposant de programmes d'observation, sous la supervision de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Mesure dans laquelle les normes du SIO sont appliquées.

Activité C4

Activité: Une préparation soignée est nécessaire avant de lancer de nouveaux systèmes d'observation ou de modifier des systèmes d'observation existants. Il faut faire part aux utilisateurs de données des directives concernant la réception et l'acquisition de données, l'infrastructure de traitement et d'analyse, la production de données indirectes et la mise en place de programmes d'enseignement et de formation professionnelle.

Agents d'exécution: Toutes les organisations qui exploitent des systèmes d'observation connexes en suivant les pratiques exemplaires de la CSB, de la CSA et d'autres commissions techniques ainsi que des programmes coparrainés.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Mesure dans laquelle les préoccupations des usagers sont prises en compte.

Actuellement, les systèmes d'observation maritime et océanique sont gérés en grande partie grâce à des fonds de durée limitée consacrés à la recherche. Vu l'importance d'observations continues à long terme concernant les principales variables maritimes et océaniques destinées à de nombreuses applications, y compris la prévision du temps et du climat saisonnier et à moyenne échéance, les Membres de l'OMM devraient prendre garde aux lacunes qui risquent d'apparaître à la fin des programmes de recherche à moins que le financement constant de réseaux d'observation pérennes soit garanti. Ces réseaux se composent: i) de bouées ancrées dans les mers tropicales; ii) du réseau Argo; iii) d'une partie des améliorations apportées aux baromètres des bouées dérivantes de surface (pour la prévision du temps) et iv) d'altimètres, de

¹⁶ Voir <http://www.wmo.int/pages/prog/wis/>

diffusiomètres, de capteurs hyperfréquences de la température de la mer en surface et de mesures des glaces de mer émanant de satellites de recherche.

Activité C5

Activité: Assurer un financement durable des principaux systèmes d'observation maritime et océanique (par ex. les bouées ancrées dans des mers tropicales, le réseau Argo, les bouées dérivantes de surface équipées de baromètres, les altimètres, les diffusiomètres, les radiomètres hyperfréquences mesurant la température de la mer en surface et les satellites de recherche mesurant les glaces de mer).

Agents d'exécution: SMN, SMHN et organismes nationaux partenaires, en collaboration avec des organisations internationales, les commissions techniques chargées de la coordination des systèmes d'observation (par ex. la CMOM, la CSB et la CIMO) ainsi que des agences spatiales.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Pourcentage des réseaux d'observation financés par un mécanisme pérenne.

Les usagers ont besoin de systèmes mondiaux d'observation, les observations étant transmises au moment et à l'endroit voulus de manière fiable, stable, continue et économique, compte tenu des exigences des utilisateurs quant à la résolution spatiale et temporelle ainsi qu'à l'exactitude et à la rapidité d'obtention des données d'observation. On adaptera les besoins des usagers à l'évolution rapide de leur environnement technologique et de leur cadre de travail en mettant à profit l'amélioration des connaissances scientifiques et le perfectionnement des techniques d'observation et de traitement des données. Notre capacité à mesurer certaines variables environnementales clés est souvent limitée par le manque de techniques appropriées. Ces limitations peuvent varier, depuis la technique d'observation fondamentale sous-jacente jusqu'aux instruments, au traitement des données, aux techniques d'étalonnage et de validation, à la résolution spatiale et/ou temporelle, à la facilité d'exploitation et au coût. Comme on effectue des observations par télédétection des variables environnementales, il est extrêmement important de valider les mesures proprement dites et les méthodes d'extraction de données utilisées sont appliquées dans des conditions géophysiques suffisamment variées. Il importe également d'obtenir des produits d'observation des océans, de la terre et de l'atmosphère de façon conséquente sur le plan physique. L'élaboration de produits intégrés exige un assortiment de divers jeux ou sources de données qui doit être cohérent dans le temps et l'espace.

Un certain degré de ciblage sera atteint grâce à la réalisation ou à la non-réalisation de certaines observations, compte tenu de la situation météorologique locale et des besoins particuliers des usagers. Ces observations devraient être effectuées sous la conduite des SMHN et en collaboration avec eux pour que soient garantis la compatibilité des données et l'échange éventuel de celles-ci (voir également la section 5.3.1.1.1).

Activité C6

Activité: Pour chaque système d'observation dont on propose l'exploitation en mode adaptatif (processus faisant varier l'ensemble des données d'observation selon la situation météorologique), en déterminer la faisabilité, le caractère économique et les effets secondaires sur la continuité des relevés de données climatologiques.

Agents d'exécution: Organisations exploitant des réseaux d'observation de façon régulière; processus à lancer et à coordonner par la CSB à partir de recommandations de la CSA, d'autres commissions techniques, des conseils régionaux et du SMOC.

Échéance: Processus continu d'évaluation de la faisabilité et du caractère économique des systèmes d'observation.

Indicateur de résultats: Nombre de réseaux exploités avec un certain degré de ciblage.

3.2. Intégration des systèmes d'observation de l'OMM

Le WIGOS va constituer un cadre permettant l'intégration et l'évolution optimale des systèmes d'observation de l'OMM (SMO, VAG, VMC et WHYCOS), y compris l'apport de l'Organisation aux systèmes coparrainés (SMOC, GOOS et SMOT). L'intégration reposera sur l'analyse des besoins et, selon qu'il conviendra, sur l'exploitation conjointe, par les Membres de l'OMM et avec d'autres partenaires, de l'infrastructure d'observation, des plates-formes et des capteurs appartenant à divers systèmes. La planification des systèmes d'observation en surface et par satellite sera coordonnée pour permettre de répondre aux besoins de divers usagers avec un bon rapport coût-efficacité et en établissant les résolutions spatiale et temporelle adéquates.

Les techniques d'assimilation des données ont un rôle important à jouer en vue d'une intégration peu coûteuse des divers systèmes d'observation qui servent des applications différentes dans diverses disciplines. Ces techniques sont susceptibles d'ajouter une valeur considérable aux systèmes d'observation en associant des séries hétérogènes d'informations en vue d'obtenir des ensembles complets et homogènes de champs géophysiques. Pris à part, chaque système d'observation ne donne qu'un petit échantillon de données par rapport à l'ensemble des exigences mondiales attestées par le processus d'étude continue des besoins. Toutefois, si l'on associe ces systèmes au niveau planétaire, l'intégration des mesures qui en émanent peut donner lieu à une analyse mondiale fiable de nombreuses variables, essentielles pour un grand nombre d'applications mondiales.

Il importe, pour l'exécution du présent Plan d'action, de trouver des moyens de maintenir l'exploitation à long terme et la continuité de ces systèmes d'observation. Cela ne veut pas dire que la continuité de chaque système doit être garantie indéfiniment: la stratégie consiste à veiller à ce que la qualité des variables importantes ne se dégrade pas lorsqu'un instrument ou un système d'observation est remplacé par un autre. Dans diverses applications, on fait appel à des observations étiquetées «recherche» ou «démonstration» à des fins d'exploitation. La limite entre «recherche» et «exploitation», mal définie, bouge tout le temps, essentiellement du fait qu'elle suit les progrès scientifiques des applications et des méthodes d'utilisation des données. Dans ce contexte, on peut, en veillant à ce que les observations de variables importantes ne se dégradent pas, garantir le passage de systèmes de recherche ou de démonstration à des systèmes opérationnels, ce qui apparaît comme très difficile.

Le rôle d'intégration du WIGOS est étayé par l'importante complémentarité existant entre les observations de surface et les observations depuis l'espace. Voici quelques exemples:

- Pour l'observation de l'atmosphère, les systèmes de surface sont plus efficaces dans la couche limite alors que les instruments satellitaires sont plus efficaces dans la stratosphère et au-dessus des nuages;
- On peut obtenir une haute résolution horizontale avec des imageurs et des sondeurs satellitaires ayant une couverture mondiale, ce qui est impossible avec des réseaux d'observation *in situ*, qui restent les meilleurs systèmes pour une haute résolution verticale, en particulier dans la basse atmosphère;
- On obtient les champs de la température de la mer en surface à partir d'une association de recherches par satellite et de mesures de référence *in situ*.

Les observations devraient être mises à la disposition des divers utilisateurs dans des délais correspondant à leurs exigences grâce à des pratiques normalisées de traitement, de codage et de diffusion des données, afin d'en faciliter l'exploitation.

Activité C7

Activité: Assurer la continuité et le chevauchement dans le temps des composantes clefs des systèmes d'observation et de leurs relevés de données, conformément aux exigences des usagers, grâce à des procédures appropriées de modification et de gestion.

Agents d'exécution: Conduite de la CSB, en collaboration avec d'autres commissions techniques, la CMOM, les conseils régionaux, des agences spatiales, les SMN, les SMHN et des organisations exploitant des systèmes d'observation.

Échéance: Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer au cas par cas.

Indicateur de résultats: Continuité et homogénéité des relevés de données.

3.3. Politique en matière de données

Le paradigme d'exploitation du SMO est fondé sur les principes de partage des données de l'OMM, en vertu desquels toutes les données essentielles sont partagées librement par les Membres de l'Organisation. La chose a été facilitée par le fait que, par le passé, les données d'observation ont été produites essentiellement par des autorités nationales et par des organismes internationaux. Les exigences des utilisateurs et les systèmes d'observation ont évolué et vont continuer d'évoluer. Des données en quantités plus importantes et de types différents sont recueillies et échangées à partir de sources plus diverses. La politique des Membres et de l'OMM en matière de données doit évoluer en conséquence.

La possibilité que des établissements commerciaux jouent un rôle plus important à l'avenir – par exemple en acceptant des charges utiles d'instruments ou des «acquisitions de données» et des mécanismes semblables – soulève d'importantes questions concernant la mise constante à la disposition de tous les Membres de l'OMM des données obtenues au titre de tels arrangements.

Activité C8

Activité: L'OMM et les systèmes d'observation coparrainés doivent garantir le respect constant des principes de l'Organisation en matière de partage de données indépendamment de l'origine des données, notamment pour les données fournies par des établissements commerciaux.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et agences spatiales; processus supervisé par la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Accès permanent de l'ensemble des Membres de l'OMM à toutes les données d'observation essentielles.

Le partage libre de données par d'autres organismes, qui a également de grands avantages, doit être encouragé le plus possible.

3.4. Élargissement du SMO

Le SMO sera élargi sur le plan des applications desservies et des variables observées. Les nouvelles observations vont permettre d'établir la production de jeux de données liées au SMOC, les variables climatologiques essentielles, conformément aux principes définis par le SMOC pour la surveillance du climat, et toutes les données d'observation supplémentaires voulues pour mettre en œuvre des services climatologiques opérationnels sur le plan mondial, régional et national au titre du CMSC. La chimie de l'atmosphère et l'hydrologie sont deux types d'applications qui exigent l'observation d'un nombre croissant de variables émanant d'un nombre de plus en plus grand de stations.

Les observations échangées à l'échelle mondiale seront plus nombreuses et porteront sur des paramètres plus variés. Divers systèmes locaux d'observation, qui ne servent actuellement qu'à des applications locales ou régionales, vont être également utilisés pour des applications mondiales dès qu'il aura été démontré qu'ils sont susceptibles d'apporter une valeur ajoutée. Le volume total des données échangées sur le plan mondial va s'accroître considérablement en raison des nouvelles variables observées, de l'échange mondial d'observations locales existantes et de l'augmentation de la résolution temporelle et spatiale des systèmes mondiaux d'observation. Le rôle des jeux de données émanant de satellites et de radars sera élargi à des applications exigeant une résolution horizontale de plus en plus fine, ce qui implique que les centres spécialisés de données vont devoir

prendre en charge une plus vaste gamme d'applications à toutes les échelles horizontales, depuis l'échelle planétaire jusqu'à l'échelle hectométrique. Cette augmentation du volume de données exercera une pression sur les processus de traitement et de diffusion des données, qui seront gouvernés par les normes du SIO, ce qui est particulièrement important pour les applications en temps réel.

Activité C9

Activité: Évaluer l'évolution à venir des volumes de données à échanger et à traiter sur la base des quantités de données dont la production à partir de sources spatiales et de surface est prévue.

Agents d'exécution: Conduite du SIO, en collaboration avec les commissions techniques, la CMOM, les conseils régionaux, des agences spatiales, les SMN, les SMHN et des organisations qui exploitent des systèmes d'observation.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Évolution des volumes de données traitées et échangées.

Certaines observations de la cryosphère terrestre émanent de réseaux opérationnels. D'autres, qui relèvent de programmes de recherche, ne sont pas acquises de façon régulière. Il existe sur le plan international une lacune importante et attestée de la capacité de mesurer de façon fiable les précipitations solides (chutes de neige, épaisseur de la couche de neige, glace et équivalent en eau de la neige). Afin de résoudre la question, on devrait faire appel à des techniques et à des technologies nouvelles en vue de réaliser des observations *in situ* et par télédétection, des recherches étant nécessaires pour intégrer les deux types d'observations. Par exemple, si l'épaisseur de la neige est mesurée régulièrement dans de nombreuses stations terrestres, l'épaisseur de la glace des lacs et le bilan de masse des glaciers ne sont pas mesurés. Une amélioration des pratiques en matière d'observation des chutes de neige et des relevés réguliers sont nécessaires, ainsi que d'autres variables. Certaines propriétés critiques de la neige et de la glace telles que les chutes de neige, l'équivalent en eau de la neige et les propriétés du pergélisol sont difficiles à mesurer depuis l'espace et *in situ*, bien que de nouvelles techniques et de nouveaux capteurs satellitaires soient prometteurs. Les responsables de la VMC vont évaluer les systèmes d'observation de la cryosphère en surface et depuis l'espace et faire des recommandations en vue de combler le fossé qui existe entre les capacités actuelles et les besoins des usagers.

3.5. Automatisation

La tendance à mettre en place des systèmes entièrement automatiques faisant appel à de nouvelles techniques d'observation et d'information se poursuivra quand le rapport coût-efficacité le justifiera et qu'elle n'entraînera pas de dégradation par rapport aux besoins importants de certaines applications telles que la surveillance du climat. L'accès aux données en temps réel et aux données brutes sera amélioré. Les systèmes d'observation seront de plus en plus nombreux à devoir produire des données à divers niveaux, depuis de grands volumes de données brutes jusqu'à des jeux de données hautement élaborées. Divers utilisateurs s'intéresseront à un ou plusieurs niveaux de post-traitement. Il importe que les divers progiciels de traitement des données soient conformes à un ensemble général de normes du SIO. Ce traitement sera hautement informatisé.

Un degré élevé d'automatisation est nécessaire en particulier pour les réseaux d'observation qui couvrent des zones très susceptibles de connaître des conditions météorologiques extrêmes. Il importe, pour effectuer des prévisions immédiates et réduire les risques dans ces zones, de disposer d'une infrastructure des télécommunications suffisamment robuste en cas d'occurrence de tels phénomènes.

Voir l'**Activité G31** connexe sur la compatibilité des données.

3.6. Interopérabilité et compatibilité, cohérence et homogénéité des données

La normalisation des instruments et des méthodes d'observation va se poursuivre. L'étalonnage des observations et la production de métadonnées seront améliorés afin d'assurer la cohérence des données et leur traçabilité par rapport à des étalons absolus. Les formes de présentation des données et les modes de diffusion par le SIO seront plus homogènes, tandis que les systèmes d'observation existants et ceux qui seront mis en place ultérieurement présenteront un plus haut degré d'interopérabilité. Les métadonnées étant essentielles pour garantir la qualité, la traçabilité et l'homogénéité des observations, il faut conserver rigoureusement les archives de métadonnées à l'appui de la normalisation, procéder à des évaluations de l'homogénéité et déterminer la provenance des données et leur adéquation.

Pour que la cohérence et l'homogénéité des jeux de données soient garanties, les principes de contrôle des données satellitaires cités dans le Plan de mise en œuvre du SMOC sont valables dans une certaine mesure pour d'autres applications de l'OMM, notamment en temps réel. Cela est vrai des recommandations concernant la continuité dans le temps, l'homogénéité et le chevauchement des observations, la stabilité des orbites, l'étalonnage des capteurs ainsi que l'interprétation, le traitement et l'archivage des données. Les analyses mondiales de la prévision du temps et d'autres applications dépendent de divers systèmes d'observation essentiels. Manifestement, la continuité temporelle à long terme de ces capteurs est très importante à des fins climatologiques, mais presque aussi importante pour les autres applications, notamment en temps réel. Tous ces capteurs sont utilisés en synergie, par exemple lorsqu'un capteur contribue à l'évaluation des biais et des dérives d'autres capteurs. Le rôle des observations *in situ* est également important dans ce processus dans la mesure où ces observations répondent aux besoins du SMOC en ce qui concerne son réseau aérologique de référence (GRUAN).

D'ici 2025, les techniques de contrôle de la qualité et la caractérisation des erreurs commises sur toutes les observations vont s'améliorer. Il faudra mettre en place des systèmes opérationnels susceptibles de repérer, d'identifier et de signaler aux administrateurs et aux opérateurs de réseaux les irrégularités présentes dans les observations, et notamment les biais dépendant de la météo, de façon aussi proche que possible du temps réel. De tels systèmes de rétroaction, qui garantissent une qualité globale des données, sont déjà courants dans divers centres de prévision numérique du temps, pour les données assimilées par des modèles opérationnels de prévision numérique et dans les centres de surveillance du climat. Il convient toutefois d'élargir ces activités de surveillance à d'autres applications et d'établir des procédures de rétroaction pour les quantités observées qui ne peuvent être rapprochées d'aucun modèle opérationnel. En outre, même dans le cadre des activités régulières actuelles de surveillance, il est essentiel de rendre plus rapides et plus efficaces les rétroactions vers les opérateurs et les mesures correctrices.

Activité C10

Activité: Suivre le parcours de toutes les données essentielles jusqu'aux centres de traitement et aux utilisateurs et garantir l'acheminement en temps voulu des informations en retour émanant des centres de surveillance jusqu'aux administrateurs de réseaux d'observation.

Agents d'exécution: Centres de traitement de données coordonnés par les commissions techniques compétentes et au titre de programmes internationaux (la CSB devant diriger le processus et le lancer au moment voulu).

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Critères habituels de surveillance¹⁷.

Activité C11

Activité: Améliorer l'homogénéité des formats de données destinées à des échanges internationaux en réduisant le nombre de normes coordonnées sur le plan international.

¹⁷ <http://www.wmo.int/pages/prog/www/ois/monitor/introduction.html>

Agents d'exécution: Conduite de la CSB, en collaboration avec d'autres commissions techniques.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de formats de données par type de données.

3.7. Besoins en matière de fréquences radioélectriques

Pour les composantes du WIGOS, on fait appel à diverses applications radioélectriques.

La télédétection spatiale passive s'effectue dans des bandes attribuées aux services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie satellitaire. La télédétection passive repose sur les mesures de rayonnements naturels, généralement de très faible puissance, qui permettent d'obtenir des informations essentielles sur les processus physiques à l'étude.

Les bandes de fréquences concernées sont déterminées par des propriétés physiques immuables (résonance moléculaire) qui ne peuvent être ni modifiées ni ignorées. Ces bandes constituent donc une ressource naturelle importante. Or, même de faibles niveaux d'interférence risquent de dégrader les données transmises par des capteurs passifs et, dans la plupart des cas, ces types de détecteurs ne savent pas différencier les rayonnements naturels des rayonnements artificiels. À ce propos, le Règlement des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications (UIT) permet aux services passifs de déployer et d'exploiter leurs systèmes dans les bandes de fréquences les plus importantes.

Plusieurs variables géophysiques contribuent, à divers niveaux, aux rayonnements naturels qu'on peut observer à une fréquence donnée, sachant que chaque fréquence possède des propriétés spécifiques. Il est donc nécessaire, pour extraire les paramètres présentant un intérêt d'un ensemble donné de mesures, d'effectuer des mesures simultanées dans plusieurs fréquences du spectre des hyperfréquences. Il faut ainsi considérer les bandes de fréquences passives comme un système complet. La charge utile d'un satellite scientifique et météorologique moderne n'est pas dédiée à une bande de fréquences particulière, mais comprend de nombreux instruments distincts qui réalisent des mesures sur la totalité des bandes passives. En outre, une couverture numérique totale de la planète est essentielle pour la plupart des applications et des services météorologiques, hydrologiques et climatologiques.

Un autre facteur crucial est la mise à disposition d'un spectre de fréquences suffisant et bien protégé pour les services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie satellitaire à des fins de télémessure et de télécommande ainsi que de transmission de données recueillies par liaison descendante.

Le service de radiocommunication MetAids (service des auxiliaires de la météorologie), qui sert aux observations et à l'exploration météorologiques et hydrologiques, assure une liaison entre un système de détection *in situ* de variables météorologiques (comme une radiosonde) et une station de base éloignée. La station de base peut être fixe ou mobile. En outre, les radars météorologiques et les radars profileurs de vent font des observations importantes. Il existe actuellement de par le monde une centaine de radars profileurs de vent et plusieurs centaines de radars météorologiques qui donnent des informations sur les précipitations et le vent et qui jouent un rôle essentiel lors des alertes météorologiques et hydrologiques.

Les questions relatives aux exigences et à l'exploitation du spectre des fréquences radioélectriques sont prises en charge à l'OMM par le Groupe directeur pour la coordination des fréquences radioélectriques. En Europe, plus de 20 Services météorologiques nationaux et autres organisations compétentes ont créé le programme EUMETFREQ pour coordonner leurs activités de protection de ces fréquences. La gestion et la protection des fréquences radioélectriques sont particulièrement importantes pour le Programme spatial de l'OMM et des agences spatiales ont

créé le Groupe de coordination des fréquences spatiales¹⁸, chargé de coordonner leurs activités dans ce domaine.

Activité C12

Activité: Assurer un contrôle permanent des fréquences radioélectriques dont ont besoin les diverses composantes du WIGOS pour veiller à ce qu'elles soient disponibles et bénéficient du degré voulu de protection.

Agents d'exécution: Conduite du Groupe directeur pour la coordination des fréquences radioélectriques, en coordination avec les SMN, les SMHN et les organismes nationaux, régionaux et internationaux chargés de la gestion des fréquences radioélectriques.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Observation des bandes de fréquences radioélectriques disponibles ou non avec le degré de protection voulu.

4. CONSIDÉRATIONS CONCERNANT L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES D'OBSERVATION DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

De nombreux pays en développement ou dont l'économie est en transition ne disposent pas des capacités ou des ressources nécessaires pour produire des observations *in situ* essentielles. Cela pose un problème pour la cohérence et l'homogénéité des observations, surtout à l'échelle mondiale. Le soutien dont ont besoin ces pays et les mécanismes d'un tel soutien sont les mêmes que ceux présentés dans le Plan de mise en œuvre du SMOC (voir la section de celui-ci sur les pays en développement). Ces pays ont aussi souvent besoin d'un soutien pour transmettre en temps réel au SIO des observations déjà effectuées, dans la présentation voulue.

Il faut faire davantage d'efforts pour soutenir ces pays, et notamment les moins avancés d'entre eux (PMA) ainsi que les petits États insulaires en développement (PÉID), en élaborant des directives et en organisant des séances de formation et de renforcement des capacités dans les Régions. À de nombreux endroits, et notamment dans de grandes parties d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine (Régions I, II et III et certaines zones tropicales situées entre 25° N et 25° S), la composante de surface du SMO produit actuellement un nombre insuffisant d'observations. Pour ce qui est de l'évolution des systèmes d'observation dans les pays en développement, il faut considérer divers types de problèmes: a) le manque d'infrastructures publiques (électricité, télécommunications, transports, etc.); b) le manque de qualification du personnel, de formation, etc.; et c) le financement insuffisant de l'équipement, des consommables, des pièces de rechange, de la main-d'œuvre, etc. Les problèmes d'infrastructure et de compétence sont parfois dus à un manque de fonds.

Pour l'évolution des systèmes d'observation, il faut prendre en considération les questions liées à la modernisation, à la remise en état, au remplacement et au renforcement des capacités (surtout en ce qui concerne l'utilisation des nouvelles technologies), selon deux optiques différentes: la production de données et l'utilisation de données. En effet, il arrive que certains pays utilisent des données sans avoir la capacité d'en produire. Il convient d'étudier soigneusement les trois types de problèmes cités ci-dessus, soit l'infrastructure publique, les qualifications et le financement, en vue d'aider les pays en développement à produire des données destinées à un échange international.

Il existe diverses approches possibles de l'évolution des systèmes d'observation dans ces conditions. La première étape consisterait à déterminer quels systèmes d'observation dépendent le moins des infrastructures locales. Lorsque celles-ci sont suffisantes, que des compétences correctes sont disponibles et que l'entretien peut être financé, il est parfois possible de compléter les observations *in situ* par d'autres techniques concernant par exemple les données satellitaires,

¹⁸ Voir <http://www.sfcgonline.org/home.aspx>

le programme AMDAR, les radiosondes parachutées et les stations météorologiques automatiques. En général, les systèmes automatiques exigent de vastes compétences techniques et d'importantes ressources pour entretenir, réparer et remplacer le matériel en cas de besoin. La capacité de produire des observations manuelles grâce à un système mondial fondé sur Internet pourrait être une autre solution pour certains PMA et PÉID.

Un ensemble minimum de radiosondes fiables doit constituer le pivot du Réseau de stations d'observation en altitude pour le SMOC (GUAN). Les Membres devraient faire de leur mieux pour respecter leurs engagements opérationnels concernant les stations acceptées au sein du Réseau. Des études d'impact¹⁹ de la prévision numérique du temps ont démontré l'importance des observations isolées de radiosondes pour cette prévision, qu'elle soit mondiale ou à haute résolution.

La production de profils verticaux – du vent, de la température et bientôt de l'humidité – au titre du programme AMDAR dans de nombreuses zones où les données sont rares apparaît comme une façon naturelle d'obtenir des observations de variables atmosphériques de base dans certains pays équipés d'aéroports importants mais disposant de très peu d'observations traditionnelles de l'atmosphère.

Dans certains pays, le renforcement des capacités continue à demander de l'attention. Les responsabilités internationales concernant l'échange de données peuvent être prises en charge grâce au passage aux codes déterminés par des tables (BUFR²⁰ ou CREX²¹) pour assurer une représentation fiable des données. Chose plus importante, il sera nécessaire de concevoir et de mettre en œuvre des systèmes de production automatique de messages – comme les messages CLIMAT – et de garantir un flux rapide, efficace et de qualité contrôlée de données essentielles, conformément à la stratégie de mise en œuvre du SIO.

Certains pays possèdent des stations de réception de données provenant de satellites ou reçoivent ces données par le biais du Système mondial de télécommunications (SMT), mais ne disposent pas des compétences voulues pour en tirer parti. D'autres acquièrent des radars Doppler mais ont besoin d'une formation sur la manière de traiter et d'interpréter les informations qui en émanent. La Région I, par exemple, a bénéficié d'un plus large accès à des données traditionnelles et à des images satellitaires grâce au projet PUMA (préparation à l'utilisation de Météosat seconde génération en Afrique). Ce genre d'initiative devrait également porter sur des catégories de données destinées à des applications courantes (météorologie synoptique, météorologie aéronautique et prévisions immédiates).

Les principes directeurs suivants sont proposés pour l'affectation de priorités aux activités de coopération technique concernant les systèmes d'observation météorologique (par ordre de priorité):

- a) Conception de projets visant à remettre en état ou à améliorer les moyens actuels d'observation en altitude des réseaux synoptiques de base régionaux (RSBR)²² et des réseaux climatologiques de base régionaux (RCBR) et à en créer de nouveaux, l'accent étant mis sur la remise en service des stations d'observation en altitude inactives et sur l'amélioration de la couverture dans les zones où les données sont rares (en particulier en ce qui concerne l'acquisition de matériel et de consommables, les télécommunications et la formation du personnel);

¹⁹ See http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Reports/NWP-4_Geneva2008_index.html

²⁰ Forme déterminée par la table FM 94 BUFR du Système mondial de télécommunications (SMT) – Forme universelle de représentation binaire des données météorologiques.

²¹ FM 95 CREX format SMT: code à caractères pour la représentation et l'échange de données.

²² Les stations du réseau de surface du SMOC (GSN) et du GUAN font partie des RSBR.

- b) Élargissement du programme AMDAR aux pays en développement, aux PMA et aux PÉID pour compléter les rares observations en altitude existantes ou accorder un accès à moindres frais aux pays qui n'ont pas les moyens de se procurer des systèmes coûteux d'observation en altitude;
- c) Conception de projets visant l'amélioration de la qualité des données, de la régularité et de la couverture des observations en surface des RSBR et des RCBR, l'accent étant mis sur la remise en service des stations inactives et sur l'amélioration de la couverture dans les zones où les données sont rares;
- d) Conception de projets visant à mettre en place et/ou en service de nouveaux instruments et systèmes d'observation tels que des stations météorologiques automatiques, les systèmes AMDAR et ASAP et des bouées dérivantes.

Une coopération technique en vue d'obtenir des communications fiables contribuerait à garantir que les données d'observation, une fois recueillies, puissent être largement échangées.

Enfin, les recommandations suivantes devraient être prises en considération lors de l'examen de l'évolution des systèmes d'observation dans les pays en développement:

- Délimiter des zones géographiques auxquelles devrait être accordée une priorité pour les observations supplémentaires si davantage de fonds étaient disponibles;
- Établir des priorités lorsque les besoins concernant le Programme de coopération volontaire de l'OMM ou d'autres financements sont les plus urgents;
- Accorder une priorité élevée aux Régions pour qu'elles entretiennent un réseau minimum de radiosondage ayant des performances acceptables;
- Lancer des activités de sauvetage de données pour préserver des relevés d'observations d'archives dans les pays en développement et pour produire des jeux de données à long terme en vue d'activités telles que la réanalyse, la recherche, l'adaptation, le contrôle et d'autres services climatologiques;
- Exhorter les conseils régionaux, de concert avec la CSB, à définir des expériences de courte durée sur le terrain dans des zones où les données sont rares, afin de déterminer dans quelle mesure des données supplémentaires contribueraient à améliorer les performances sur le plan régional et mondial, en suivant l'exemple de l'expérience sur le terrain de l'analyse multidisciplinaire de la mousson africaine (AMMA)²³;
- Déterminer la mesure dans laquelle les stations automatiques pourraient, à l'avenir, devenir une solution viable et économique de remplacement des stations surveillées du réseau de surface et chercher à améliorer la configuration des stations automatiques et manuelles;
- Suivre les principes définis par le SMOC pour la surveillance du climat et les pratiques voulues de gestion lorsque des modifications sont apportées aux systèmes d'observation du climat au titre d'une collaboration étroite entre gestionnaires d'observations et climatologues²⁴;
- La mise en place d'une infrastructure robuste des télécommunications est problématique dans le cas des prévisions immédiates et de l'atténuation des risques dans des zones vulnérables (infrastructure robuste par rapport à des conditions météorologiques extrêmes); utiliser des réseaux robustes de télécommunications;
- Faire appel au principe des centres climatologiques régionaux pour accueillir des spécialistes susceptibles d'assurer une formation et l'entretien des systèmes les plus complexes, y compris les stations météorologiques automatiques.

Activité C13

²³ Voir <http://amma-international.org/>

²⁴ Voir WMO-TD No. 1378 à l'adresse <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMPNo62.pdf>

Activité: Définir des stratégies de renforcement des capacités des systèmes d'observation des pays en développement par l'intermédiaire de projets financés par des organisations internationales, au titre de partenariats bilatéraux et par la facilitation de la coopération régionale.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, avec les conseils régionaux, la CSB et d'autres commissions techniques, en collaboration avec des programmes internationaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Amélioration sensible de la production de données d'observation par des pays en développement.

5. SYSTÈMES D'OBSERVATION EN SURFACE

5.1. Introduction

À l'origine, la composante de surface du SMO a été créée pour répondre aux besoins de la météorologie d'exploitation sans tenir compte des applications nouvelles et en cours d'élaboration relevant désormais des programmes de l'OMM. En général, les systèmes d'observation en surface produisent des observations traçables et cohérentes dans le temps qui constituent une base importante et historiquement homogène pour de nombreux systèmes d'observation. On a commencé à tenir compte de la complémentarité avec la composante spatiale du SMO au cours de la décennie 1970-1980.

Au départ, les stations synoptiques en altitude, composées de radiosondes-radiovent, de radiosondes, de matériel de radiovent et de stations d'observation par ballon-pilote²⁵, étaient les seuls systèmes d'observation de la haute atmosphère depuis le sol jusqu'à ce qu'on leur adjoigne des instruments météorologiques embarqués dans des aéronefs et, plus tard, des systèmes d'observation par télédétection (profileurs et radars météorologiques). La densité des stations de radiosondage a toujours été insuffisante par rapport aux besoins météorologiques des zones reculées, y compris les océans et les déserts, et une mise en œuvre complète de la VMM a toujours été un problème pour l'OMM, même sur les terres émergées.

Le réseau de stations d'observation de l'atmosphère à proximité de la surface est plus dense que le réseau d'observation en altitude. Sur terre, il se compose principalement de stations au sol surveillées ou automatiques. Sur mer, il est constitué essentiellement de navires d'observation bénévoles et de bouées ancrées et dérivantes. De nombreuses stations qui, à l'origine, n'avaient qu'une seule fonction – météorologie synoptique ou agricole, climatologie ou aéronautique – ont évolué pour devenir des stations polyvalentes destinées à de multiples programmes et utilisateurs.

Les réseaux synoptiques et climatologiques mondiaux se composent des réseaux synoptiques de base régionaux (RSBR) et des réseaux climatologiques de base régionaux (RCBR). Les RSBR et les RCBR devraient être conformes à des prescriptions régionales minimales pour que les Membres de l'OMM puissent s'acquitter de leurs responsabilités au sein de la Veille météorologique mondiale et en ce qui concerne la surveillance du climat.

Des pratiques normalisées en matière d'observation sont présentées dans le *Manuel du Système mondial d'observation* (OMM-N° 544) et dans d'autres manuels. Des pratiques recommandées sont citées dans le *Guide du Système mondial d'observation* (OMM-N° 488), le *Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologique* (OMM-N° 8) et d'autres guides. Des mesures individuelles évoquées dans le présent Plan d'action pourraient conduire à des modifications des pratiques exemplaires et à la nécessité d'actualiser les textes réglementaires de l'OMM indiqués ci-dessus. Il va falloir tenir compte dans ces textes de l'évolution des besoins en matière d'intégration, d'automatisation, d'interopérabilité et de compatibilité ainsi que de cohérence

²⁵ Message d'observation du vent en altitude provenant d'une station terrestre fixe

et d'homogénéité des données, grâce à la mise en œuvre du WIGOS et à la rédaction du manuel et du guide de celui-ci.

Il reste difficile d'observer les océans en profondeur: on ne peut pas le faire depuis l'espace et les systèmes *in situ* sont rares (bathythermographes non récupérables, instruments embarqués à bord de navires, flotteurs profilants). L'observation des océans en surface est moins difficile: les satellites peuvent y contribuer dans une grande mesure et les systèmes d'observation employés en météorologie (navires et bouées) peuvent aussi comporter des instruments de mesure de variables de surface telles que la température de la mer en surface.

Les stations synoptiques de surface peuvent effectuer certaines mesures pour observer les sols (température du sol à diverses profondeurs, état du sol, épaisseur de la couche de neige, humidité du sol, etc.). Il existe une grande variété de stations et de réseaux conçus indépendamment pour diverses applications telles que l'hydrologie, la météorologie urbaine, l'agriculture, la surveillance de la pollution de l'air et la production d'électricité. Ces stations et ces réseaux produisent diverses variables pouvant être utiles à plusieurs disciplines et devant être intégrées.

Les instruments doivent être suffisamment robustes pour échantillonner des conditions extrêmes selon la climatologie de la région dans laquelle ils sont déployés. Pour aboutir à une amélioration des prévisions et de la climatologie, il faut pouvoir résister à de grands vents et à la foudre et mesurer correctement des températures et des précipitations extrêmes.

D'ici 2025, nous allons constater une tendance de plus en plus nette à l'intégration des systèmes d'observation en surface des trois composantes du climat: l'atmosphère, les océans et les terres émergées. Cette tendance est naturelle dans le contexte de la surveillance et de la prévision du climat, qui exigent des observations des composantes en question. L'intégration signifie aussi qu'il y aura davantage d'instruments, de stations et de réseaux polyvalents ainsi que de nouveaux progrès en matière d'interopérabilité, d'échange et de traitement des données.

Pour certains systèmes d'observation tels que les radiosondes et les stations de surface, les volumes de données vont rester relativement modestes. Par contre, pour les systèmes de télédétection tels que les radars, on s'attend à ce que ces volumes croissent rapidement – de façon semblable aux données satellitaires – et les volumes de données échangées devraient croître encore plus vite.

Dans la section 5.2 ci-après, nous abordons des questions générales concernant les systèmes mondiaux d'observation en surface ainsi que les recommandations correspondantes pour leur mise en œuvre de 2012 à 2025. La section 5.3 porte sur les activités recommandées pour divers systèmes d'observation qui devraient être opérationnelles d'ici 2025 et inclure éventuellement des activités de recherche-développement à réaliser pour les améliorer.

5.2. Questions d'ordre général: représentativité, traçabilité, étalonnage des instruments, échange de données

Afin que la qualité des données soit garantie, en particulier pour les applications climatologiques, les mesures effectuées par des instruments doivent pouvoir être rapportées au Système international d'unités (SI) par le biais d'une chaîne ininterrompue de comparaisons, d'évaluations de la qualité – y compris en ce qui concerne la représentativité des sites – et d'étalonnages d'instruments au moyen d'étalons internationaux d'usage courant. Vu la multiplication des organismes qui exploitent des réseaux d'observation – et notamment des stations météorologiques automatiques – et la contribution qu'ils peuvent apporter aux systèmes d'observation de l'OMM, il convient de conserver des preuves de traçabilité ou de gestion de la qualité dans le temps. S'il n'est pas possible de garantir la traçabilité de certaines observations manuelles, comme les types de nuages, par rapport au SI, il faudrait faire référence aux normes publiées de l'OMM.

Activité G1

Activité: Assurer la traçabilité de l'ensemble des observations et des mesures météorologiques par rapport au SI ou aux normes de l'OMM.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite et la supervision de la CSB et des conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de stations effectuant des mesures qui se rapportent au SI ou aux normes de l'OMM.

Pour certains systèmes d'observation tels que les radars et les profileurs de vent, l'augmentation du volume de données doit s'accompagner de mesures assurant la capacité du SIO de faire face à l'augmentation correspondante du volume de données échangées. Cette augmentation sera due en partie à la fréquence accrue des observations, en raison par exemple de l'automatisation ou de l'échange d'observations qui ne sont actuellement pas échangées sur le plan international.

Selon des expériences sur les systèmes d'observation réalisées avec des modèles de prévision numérique du temps, il est possible d'améliorer sensiblement les prévisions mondiales en assimilant des données horaires, même si celles-ci ne sont disponibles que pour une faible partie du globe, comme dans le cas des observations horaires de la pression atmosphérique émanant de stations synoptiques, des données radar et des données issues de stations de réception passant par un système mondial de navigation par satellite (GNSS). De même, pour d'autres applications se rapportant notamment au climat et à l'aéronautique, on utilise de plus en plus des données d'une fréquence inférieure à une heure. Un accès libre et illimité à l'ensemble des données disponibles et leur échange seraient nécessaires pour accroître la portée et la qualité des services que les SMN et les SMHN offrent à leurs usagers.

Activité G2

Activité: Veiller autant que possible à l'échange mondial de données horaires utilisées dans des applications mondiales, données optimisées pour adapter les besoins des usagers aux limites techniques et financières existantes.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et conseils régionaux, en coordination avec la CSB et des programmes et organismes internationaux, sous la conduite de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer pour chaque système d'observation.

Indicateurs de résultats: Indicateurs standard de contrôle employés pour la prévision numérique du temps (voir la note 17 en bas de page à la section 3.6).

Activité G3

Activité: Promouvoir l'échange mondial de données d'une fréquence inférieure à une heure dans les secteurs d'application voulus.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer pour chaque système d'observation.

Indicateur de résultats: Nombre de types de données d'une fréquence inférieure à une heure échangées au sein du SIO.

La modélisation du climat et les prévisions saisonnières exigent un échange de données entre divers centres qui surveillent l'atmosphère, les océans et les terres émergées. Bien que dans ce cas, les contraintes en temps réel soient moins sévères que pour la prévision numérique du temps, il importe d'intégrer les divers systèmes d'observation, avec des règles communes pour le prétraitement et l'échange, en respectant les normes du SIO et du WIGOS. Cela permettrait

d'accroître considérablement les avantages pour les utilisateurs sans créer de nouveaux systèmes d'observation. Comme les usagers ont diverses contraintes opérationnelles et différentes exigences en matière de résolution des données, cela pourrait impliquer, pour certains systèmes d'observation qui produisent de grands volumes de données, qu'on organise le traitement avec divers niveaux de données, comme cela se fait déjà pour de nombreuses missions satellitaires. On pourrait également répondre au besoin de valider des produits satellitaires à partir d'observations de surface en facilitant l'accès aux données.

Activité G4

Activité: Assurer l'échange d'observations depuis des systèmes d'observation atmosphérique, océanique et terrestre, conformément aux normes du WIGOS et du SIO; au besoin, mettre en place divers niveaux d'observations prétraitées afin de répondre aux besoins de différents usagers.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer pour chaque système d'observation.

Indicateur de résultats: Statistiques sur les données publiées pour chaque application.

Activité G5

Activité: Les opérateurs de réseaux d'observation en surface devraient faciliter l'accès aux observations permettant de valider la production dans l'espace de paramètres de surface.

Agents d'exécution: Conduite de la CSB, en collaboration avec les SMN et les SMHN.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Quantité de données de surface produites pour la validation de produits satellitaires.

Il importe, principalement pour la surveillance du climat, mais aussi pour d'autres applications:

- De garder en service des stations possédant des relevés d'observation ininterrompus de longue date;
- D'étalonner régulièrement les instruments;
- De respecter autant que possible les directives de la CIMO concernant la classification pour choisir le site des stations et pour entretenir celles-ci;
- De tester et de comparer entre eux divers instruments et systèmes d'observation, par exemple des systèmes de radiosondage et de télédétection produisant différents types de profils verticaux, en vue d'établir la compatibilité des données qui en émanent;
- De recueillir et d'archiver un nombre de données suffisant à en déterminer l'homogénéité ainsi que la provenance et l'adéquation;
- Pour tous les pays, d'entretenir leurs stations du SMOC (GSN, GUAN et RCBR), qui doivent produire des observations en continu le plus longtemps possible.

On trouvera de plus amples renseignements dans la section 2.1 ci-dessus.

Activité G6

Activité: Les opérateurs de réseaux d'observation en surface devraient envisager d'utiliser des observations et des produits spatiaux pour contrôler la qualité des données émanant de réseaux de surface.

Agents d'exécution: Conduite de la CSB, en collaboration avec les SMN et les SMHN.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de systèmes d'observation en surface qui font appel à des données satellitaires pour le contrôle de la qualité.

5.3. Questions particulières à chaque composante des systèmes d'observation

5.3.1. Systèmes terrestres d'observation en altitude

On détermine depuis longtemps les profils en altitude en utilisant des ballons. À ces méthodes vient désormais s'ajouter toute une gamme d'autres sources terrestres, océaniques et spatiales. L'OMM adopte actuellement une approche composite en cherchant à optimiser l'emploi de diverses techniques pour respecter les conditions des observations en altitude. La section ci-après concerne l'apport des stations en altitude faisant appel à des ballons, des stations de profilage par télédétection, des observations à partir d'aéronefs, des stations de la VAG et des stations de réception GNSS. Les stations d'observation au-dessus des océans sont abordées dans la section 5.3.5 et les stations d'observation depuis l'espace dans le chapitre 6.

5.3.1.1. Stations d'observation en altitude²⁶

5.3.1.1.1. Optimisation des réseaux de radiosondage et de la couverture en données

Les études sur les incidences de la prévision numérique du temps prouvent constamment l'importance des données sur les profils verticaux, et notamment des données de radiosondage émanant de sites isolés (voir la section 4 du compte rendu du quatrième Atelier OMM sur l'impact des observations sur la prévision numérique du temps), un réseau de mesure en altitude doté d'une couverture suffisante étant nécessaire pour la surveillance du climat. Certaines grandes zones continentales ne sont surveillées par aucune radiosonde. Il est essentiel de réduire ces vastes lacunes dans la couverture de données par radiosondage ou, du moins, d'éviter que ces lacunes ne prennent de l'importance.

Il importe de conserver des stations opérationnelles de lancement de radiosondes et de ballons-pilotes dans les zones les moins observées des Régions I, II et III, sachant qu'on ne peut optimiser la couverture en radiosondes indépendamment des aéronefs et d'autres systèmes d'observation.

Activité G7

Activité: Multiplier les stations de radiosondage ou remettre en service les stations de radiosondage muettes dans les zones des Régions I, II et III où les données sont les plus rares. Éviter au maximum la fermeture des stations existant dans ces zones, où même un très petit nombre de stations de radiosondage peut avoir de grands avantages pour tous les utilisateurs.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Indicateurs standard de contrôle utilisés pour la prévision numérique du temps (voir la note 17 en bas de page de la section 3.6).

L'une des grandes priorités en matière d'observation est d'obtenir davantage de profils dans de nombreuses régions où les données sont rares. Toutes les possibilités offertes par le programme AMDAR (voir la section 5.3.1.3) doivent être mises à profit pour élargir la couverture en données sur le vent et la température, en particulier dans les zones où le réseau est peu dense, comme la zone intertropicale et l'Afrique centrale et australe. Il faut donc relever le profil du vent et de la température dans certains aéroports en équipant certains aéronefs qui s'y rendent régulièrement, mais aussi recueillir des données aux altitudes de croisière dans ces régions.

²⁶ Y compris les radiosondes, les ballons-pilotes et les sondes parachutées

Activité G8

Activité: Revoir la conception des réseaux de radiosondage – par exemple en faisant appel à des stations isolées – en tenant compte d'autres sources de données telles que les données AMDAR et celles qui émanent des profileurs de vent.

Agents d'exécution: La CSB, par le biais d'études sur les incidences de la prévision numérique du temps et sur la conception de réseaux, en coordination avec les SMN, les SMHN, des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, d'autres commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.

Échéance: 2015 (ou plus tôt) pour une première restructuration.

Indicateur de résultats: Conception élaborée et mise en application.

Plusieurs études et campagnes (voir la référence au programme AMMA dans le compte rendu du quatrième Atelier OMM sur l'impact de divers systèmes d'observation sur la prévision numérique du temps²⁷) ont démontré que dans certains cas, on peut améliorer sensiblement la prévision numérique du temps en ajoutant des mesures ciblées dans des secteurs sensibles où les calculs sont faits à l'avance (à partir de passages opérationnels de modèles de prévision numérique). Bien qu'un réseau de radiosondage soit exploité à partir de points fixes, il est également démontré qu'on peut en accroître l'efficacité en faisant varier le moment des observations ou la fréquence des lâchers sur certains sites, comme le confirment des essais effectués par le Système d'observation composite (EUCOS²⁸) du Réseau des Services météorologiques européens (EUMETNET). Au cours des années à venir, on pourra adapter davantage ou du moins optimiser le réseau existant de radiosondage du point de vue de la couverture temporelle et spatiale.

Le réseau de radiosondage pourrait avoir les caractéristiques suivantes: i) le moment des observations par des radiosondes (qui pourrait par exemple passer de 00 et de 12 UTC à d'autres moments pour tenir compte de la météorologie locale); ii) la distance entre les sites de radiosondage et les aéroports (où il est facile d'obtenir des données AMDAR); iii) les séries chronologiques de données de radiosondage nécessaires à des applications climatologiques sur des sites fixes et à des heures régulières.

Activité G9

Activité: Poursuivre les études et les essais concernant l'utilité des observations obtenues en augmentant la fréquence des lâchers de radiosondes sur certains sites d'observation, compte tenu de la situation météorologique de la région.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, établissements de recherche et organisations qui exploitent des réseaux de radiosondage ou qui organisent des expériences sur le terrain avec des centres de prévision numérique du temps, sous la conduite de la CSB et de la CSA.

Échéance: Mise en œuvre continue, l'échéancier dépendant des campagnes régionales.

Indicateurs de résultats: Nombre de sites de radiosondage susceptibles d'être adaptés et nombre d'observations réalisées (contrôle standard).

Activité G10

Activité: Déterminer s'il est possible d'optimiser le réseau de radiosondage pour rendre plus uniforme la couverture traditionnelle en observations en altitude, compte tenu des besoins des utilisateurs en matière de répartition spatiale et temporelle, et soumettre à la CSB des recommandations appropriées concernant la mise à jour du *Règlement technique* de l'OMM.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.

²⁷ http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Meetings/NWP-4-Geneva2008/Abridged_Version.pdf

²⁸ Voir <http://www.eucos.net/>

Échéance: 2015, puis mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Indicateurs standard de contrôle.

5.3.1.1.2. Stations du GUAN et du GRUAN

Des stations sélectionnées d'observation en altitude appartenant aux RSBR et aux RCBR, importantes à des fins tant synoptiques que climatologiques, constituent un réseau de base appelé Réseau de stations d'observation en altitude pour le SMOC (GUAN). Les stations du GUAN – au nombre de 173 à ce jour – servent aussi à valider les données émanant de satellites. Le SMOC coordonne actuellement le déploiement d'un réseau aérologique de référence (GRUAN) pour les observations climatologiques en altitude qui produit des relevés de haute précision des profils atmosphériques à long terme et qui sera complété ultérieurement par des installations de pointe basées au sol en vue de cerner toutes les propriétés de la colonne atmosphérique et leurs variations. Il est prévu que le GRUAN constitue un réseau de 30 à 40 stations d'observation à long terme de haute qualité fondé sur des réseaux d'observation existants tels que le GUAN, la VMM, les RSBR et le GSN et qu'il produise des métadonnées complètes pour déterminer la traçabilité des mesures. Comme il n'existe pas d'autre système d'observation en altitude susceptible de produire des références en des points fixes – les données issues de satellites et d'aéronefs étant relevées en des points différents d'un jour à l'autre –, il est très important de conserver le GUAN et de développer le GRUAN (voir aussi la section 5.3.8.3).

Activité G11

Activité: Améliorer la qualité, la disponibilité et la viabilité du GUAN en assurant l'entretien du réseau existant et la qualité des données qui en émanent.

Agents d'exécution: Conduite de la CSB, en coordination avec le SMOC, les SMN, les SMHN, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Indicateurs de contrôle standard utilisés pour la prévision numérique du temps.

Activité G12

Activité: Poursuivre la mise en place du GRUAN en finançant et en construisant les 15 stations initiales et en complétant ultérieurement le réseau qui, à terme, comprendra 30 à 40 stations.

Agents d'exécution: Conduite de la CSB, en collaboration avec le SMOC, les SMN, les SMHN, les commissions techniques, les conseils régionaux et des organisations compétentes.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Indicateurs de contrôle standard employés pour la prévision numérique du temps et indicateurs définis dans les exigences du GRUAN en matière d'observations.

5.3.1.1.3. Amélioration de la diffusion des données

Les données de certaines stations de radiosondage ne sont jamais échangées en temps réel sur le SMT au niveau international, bien qu'elles puissent être échangées et archivées localement et consultées à des fins climatologiques. Dans certains cas, l'échange de données sur le SMT a plusieurs heures de retard, ce qui réduit considérablement l'utilité de ces données dans un contexte opérationnel. Souvent, les données ne sont pas transmises en raison de problèmes de matériel de télécommunication ou de codage logiciel.

Activité G13

Activité: Recenser les stations de radiosondage qui effectuent des mesures régulièrement (y compris les radiosondes fonctionnant lors de campagnes uniquement), mais dont les

données ne sont pas transmises en temps réel; prendre des mesures pour rendre ces données disponibles.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre de stations de radiosondage indiquées ci-dessus qui transmettent des données via le SMT, plus indicateurs standard de contrôle de la disponibilité et de la rapidité d'acheminement des données.

5.3.1.1.4. Transmission de données d'observation haute résolution

De nombreuses observations effectuées par des radiosondes sont réduites (réduction de la résolution verticale des profils mesurés) avant leur échange sur le plan international et leur assimilation en temps réel. C'est pourquoi les utilisateurs de prévisions numériques du temps et d'autres applications n'ont pas accès à des données de radiosondage ayant une résolution verticale élevée, ce qui les prive d'avantages importants. En outre, ils n'ont pas accès à la position et à l'heure exactes de chaque donnée. On a mis au point le code BUFR pour les données de radiosondage surtout du fait de la nécessité de résoudre ces questions, la plupart des problèmes de diffusion pouvant être réglés grâce à ce code.

Activité G14

Activité: Veiller à une diffusion en temps voulu des mesures de haute résolution verticale émanant de radiosondes, ainsi que de la position et de l'heure de chaque donnée et des métadonnées associées.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de sites de radiosondage produisant des profils haute résolution.

Cette activité se divise en deux activités subsidiaires: i) codage des observations de radiosondes en code BUFR haute résolution (plutôt qu'en code BUFR faible résolution ou en code TEMP²⁹); ii) transmission de la position et de l'heure de chaque donnée.

5.3.1.1.5. Observation de la stratosphère

Seuls 10 à 20 % des profils opérationnels issus de radiosondes atteignent 10 hPa (altitude de 30 km environ). À l'exception de certaines stations du réseau GRUAN, qui présentent aussi des observations de référence dans la basse stratosphère, il risque de ne pas être rentable de lancer des radiosondes pour effectuer des mesures dans la stratosphère en raison du prix à payer pour atteindre une telle altitude.

Des études sur les incidences de la prévision numérique du temps indiquent que les données de radiosondage recueillies au-dessus de 100 hPa ont un impact positif sur l'assimilation des données lors de prévisions numériques, et notamment sur la prévision de champs troposphériques. Toutefois, ces études ont été réalisées dans un contexte où ni les données issues des capteurs satellitaires actuels ni les données d'occultation radio recueillies par un système de navigation par satellite n'ont été assimilées. C'est pourquoi il convient de réévaluer l'utilité des données émanant de radiosondes au-dessus de 100 hPa tout en reconnaissant qu'il convient d'assurer la continuité des données au-dessus de 100 hPa à des fins de surveillance du climat.

²⁹ FM-35 TEMP format SMT: pression en altitude, température, humidité et vent provenant d'une station terrestre

Activité G15

Activité: Réaliser des études sur les incidences de la prévision numérique du temps pour évaluer l'impact des données de radiosondage au-dessus de 100 hPa en cas de prévision numérique mondiale, dans le contexte des systèmes d'observation actuels (en 2012).

Agents d'exécution: Centres de prévision numérique du temps, coordonnés par l'Équipe d'expert pour l'évolution du SMO relevant de la CSB, en collaboration avec la CSA.

Échéance: Avant fin 2013.

Indicateur de résultats: Nombre d'études indépendantes réalisées.

Des expériences de simulation de systèmes d'observation (OSSE) sont nécessaires pour évaluer l'impact d'une atmosphère «parfaite» au-dessus de 100 hPa lors de prévisions sur la troposphère. L'idée est de produire une évaluation quantitative de l'avantage maximal pouvant être tiré de la prévision numérique du temps en améliorant l'observation de la stratosphère. On peut rapprocher de cette limite supérieure les expériences de ce type réalisées à partir d'un nombre variable de sites de radiosondage produisant des données au-dessus de 100 hPa.

Activité G16

Activité: Réaliser des expériences de simulation de systèmes d'observation pour évaluer l'impact de l'amélioration des informations au-dessus de 100 hPa sur les prévisions relatives à la troposphère.

Agents d'exécution: Centres de prévision numérique du temps coordonnés par l'Équipe d'experts de la CSB pour l'évolution du SMO, en collaboration avec la CSA.

Échéance: Avant fin 2013.

Indicateur de résultats: Nombre d'expériences indépendantes de ce type réalisées.

5.3.1.2. Stations de profilage par télédétection en altitude

Diverses techniques de télédétection font leur apparition pour la mesure de certaines parties du profil atmosphérique du vent, de la température et de l'humidité. Des profileurs de vent par radar sont utilisés en exploitation dans de nombreuses régions. On obtient aussi un peu partout le profil vertical du vent à partir de radars météorologiques Doppler alors que des lidars Doppler et des radiomètres hyperfréquences sont installés dans certaines régions. Certains appareils peuvent être utilisés pour mesurer les aérosols, les propriétés des nuages et des éléments à l'état de traces dans l'atmosphère. Les données issues de célomètres servent à déterminer l'altitude de la couche limite planétaire et des centres volcaniques. GALION est un réseau de réseaux régionaux d'observation lidar des aérosols atmosphériques relevant de la VAG (voir <http://alg.umbc.edu/galion/>).

Les observations par télédétection produisent des données avec une fréquence beaucoup plus élevée que les mesures par radiosondage. Actuellement, toutefois, ces observations sont très limitées du point de vue de la couverture en données. Seuls quelques rares systèmes sont susceptibles, techniquement, de mesurer des profils atmosphériques depuis la couche limite jusqu'à la stratosphère. La plupart des profileurs ne mesurent qu'une seule variable dans une partie de l'atmosphère, comme le vent dans la couche limite. À l'avenir, des profileurs très divers pourraient être conçus et utilisés pour un nombre croissant d'applications. Cela est important pour compléter les profils émanant de radiosondes et d'aéronefs dans la basse et haute troposphère. Il serait avantageux de créer un réseau régional homogène de stations de profilage par télédétection avec quelques sites intégrant une vaste gamme d'instruments et mesurant simultanément, par exemple, le vent, la température et l'humidité.

On pourrait, en vue d'un futur système d'observation intégré tenant compte de facteurs temporels et spatiaux, réaliser des expériences de simulation de systèmes d'observation en vue d'évaluer l'impact de diverses stations de profilage par télédétection, d'optimiser les profils d'observation en altitude et, en particulier, de donner une orientation sur la conception d'un réseau intégré.

Activité G17

Activité: Créer des réseaux régionaux de stations de profilage par télédétection complémentaires des systèmes d'observation par radiosondage et à partir d'aéronefs, selon les besoins des utilisateurs régionaux, nationaux et locaux (bien qu'une partie des données mesurées doive avoir des applications mondiales).

Agents d'exécution: Organisations exploitant des stations de profilage de façon régulière ou à des fins de recherche, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux, les commissions techniques – essentiellement la CSA, la CSB et la CIMO – et d'autres organismes régionaux tels qu'EUMETNET en Europe, sous la conduite de la CSB et en collaboration avec la CIMO, la CSA et les conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue, les conseils régionaux devant fixer des échéanciers détaillés sur le plan régional.

Indicateur de résultats: Nombre de stations de profilage transmettant en temps réel au SIO, en passant par le SMT, des données dont la qualité a été évaluée.

Les systèmes mondiaux d'assimilation de données sont à même d'assimiler des observations produites toutes les heures ou même plus fréquemment et de tirer profit de ces observations même si elles n'émanent que de quelques stations de profilage dans le monde. Il est utile d'échanger sur le plan mondial des profils de données produits toutes les heures, ou du moins une partie de ceux-ci. Des représentations correctes de données en code BUFR devraient être disponibles dans ce but.

Activité G18

Activité: Veiller autant que possible au traitement et à l'échange de données issues de profileurs en vue d'un usage local, régional et mondial. Lorsque de telles données peuvent être produites à une fréquence supérieure à une heure, un jeu de données ne contenant que des observations horaires peut être échangé sur le plan mondial selon les principes du SIO.

Agents d'exécution: Organisations exploitant des stations de profilage de façon régulière ou à des fins de recherche, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux, les commissions techniques – essentiellement la CSA, la CSB et la CIMO – et d'autres organismes régionaux tels qu'EUMETNET en Europe, sous la conduite de la CSB et en collaboration avec les conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue, les conseils régionaux devant fixer des échéanciers détaillés sur le plan régional.

Indicateur de résultats: Nombre de stations de profilage transmettant des données sur le plan mondial.

5.3.1.3. Stations météorologiques d'aéronefs

Dans l'hémisphère Nord, les données météorologiques issues de stations embarquées sur des aéronefs, et notamment les données produites automatiquement par le système AMDAR, constituent un excellent complément des données provenant d'un réseau de radiosondage. Ce système produit des profils verticaux au voisinage d'aéroports et des données pour un seul niveau lorsque les appareils volent à l'altitude de croisière. Des études d'impact de la prévision numérique du temps ont démontré que leurs incidences sur les prévisions numériques ont une importance semblable à celle des incidences des réseaux de radiosondage. Dans l'hémisphère Sud et les tropiques, la couverture en données des aéronefs est très faible malgré le potentiel d'élargissement de celle-ci, de préférence en complément des réseaux AMDAR et des réseaux de radiosondage existants.

Il importe d'accroître la couverture en données d'observation des aéronefs, ce qui peut se faire en élargissant le programme à de nouvelles compagnies aériennes et à d'autres appareils qui opèrent dans des régions où les données sont rares. On peut aussi améliorer considérablement la

couverture au moyen d'un processus d'optimisation. Cela peut se faire grâce à deux activités d'ordre général. D'abord, on peut élargir les programmes existants de façon que les appareils qui opèrent sur le plan international soient conçus pour faire des relevés en dehors des zones ou des régions nationales qui ont tendance à être restreintes par les contraintes des programmes nationaux. Ensuite, on peut accroître la capacité des programmes de contrôler la production de données grâce à une conception et à une mise en œuvre plus vastes de systèmes automatiques d'optimisation des données. Ces systèmes, qui permettent un développement efficace des programmes au-delà des frontières internationales en vertu d'accords appropriés, offriront également la possibilité d'utiliser le système AMDAR en tant que réseau d'observation adaptable, susceptible de modifier le mode de transmission des données pour répondre aux objectifs en évolution des secteurs de programmes.

Activité G19

Activité: Améliorer la couverture en données AMDAR des zones où les données sont rares, surtout dans les Régions I et III, en privilégiant la production de données dans les aéroports des tropiques et de l'hémisphère Sud où des profils verticaux sont les plus nécessaires en complément de la couverture actuelle en données de radiosondage et de son évolution probable.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes commerciales et autres et les conseils régionaux, sous la conduite de l'administration du programme AMDAR.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre d'aéroports où des mesures AMDAR sont effectuées; nombre de profils verticaux et de données AMDAR en général, mesuré par les indicateurs habituels du programme AMDAR actuel.

Activité G20

Activité: Développer le programme AMDAR de façon à équiper et à mobiliser davantage de flottes et d'appareils internationaux – flottes et appareils volant vers et entre des aéroports internationaux situés en dehors de leur pays d'origine – et à accroître l'emploi de systèmes d'optimisation des données en vue d'améliorer la couverture et l'efficacité des observations en altitude et la fonction d'adaptation des systèmes.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes commerciales et autres, les conseils régionaux, la CSB et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre d'aéroports où des mesures AMDAR sont effectuées et nombre de profils verticaux établis par jour dans chaque aéroport; nombre de compagnies aériennes internationales et d'appareils équipés pour produire des observations AMDAR; adaptabilité du programme AMDAR.

Activité G21

Activité: Étant donné la nature du système d'observation par aéronefs, élément de plus en plus important et fondamental du SMO, chercher à conclure des accords avec des compagnies aériennes et l'industrie aéronautique pour que le système, l'infrastructure, les données et les protocoles de transmission soient pris en charge et normalisés dans les cadres appropriés de l'industrie en vue de garantir la continuité et la fiabilité du système.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes nationales et autres, l'industrie aéronautique, les conseils régionaux, la CSB et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'accords conclus avec des partenaires et des organisations de l'industrie aéronautique.

Les données produites par des capteurs d'humidité étant utilisées désormais sur le plan opérationnel dans un nombre croissant d'aéronefs américains et européens, il est important et même stratégique de poursuivre ce mouvement pour se concentrer sur des systèmes mesurant tant l'humidité que la pression de l'air (altitude-pression), la température et le vent, comme les radiosondes. Un tel développement permettra de mieux restructurer les systèmes d'observation en altitude afin d'en accroître l'efficacité et la couverture.

Activité G22

Activité: Poursuivre la conception et la mise en œuvre opérationnelle de capteurs d'humidité en tant qu'éléments intégrés du système AMDAR afin que les données sur l'humidité soient traitées et transmises de la même façon que celles sur le vent et la température.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes commerciales et autres, les commissions techniques (CSB, CIMO) et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'aéronefs produisant des données en temps réel sur l'humidité.

Le faible coût des observations d'aéronefs par rapport aux données de radiosondage et la dépendance moindre vis-à-vis des systèmes et de l'infrastructure terrestres rendent ce système idéal en vue d'un développement rapide et fiable des observations en altitude dans les pays en développement pour les utilisateurs de données locales, régionales et mondiales. Un tel développement devrait être entrepris parallèlement aux mesures nécessaires pour faciliter la production et l'utilisation de données.

Comme on réalise également des observations des turbulences atmosphériques et du givrage sur certains appareils, il est souhaitable d'élargir cette capacité au système AMDAR en utilisant ces paramètres à l'appui des opérations et de la sécurité aériennes et d'autres applications météorologiques.

Activité G23

Activité: Renforcer et accroître la capacité de transmettre des observations sur les turbulences atmosphériques et le givrage en tant que composantes intégrées du système AMDAR, selon les besoins des programmes pertinents et des utilisateurs de données.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes, les commissions techniques (CSB, CIMO), les conseils régionaux et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'aéronefs transmettant en temps réel des données sur les turbulences atmosphériques et le givrage.

Les activités de recherche-développement associées aux systèmes AMDAR destinés aux petits aéronefs, généralement désignés comme relevant de l'aviation générale, sont une autre source de progrès possibles. Ces appareils ont tendance à voler et à produire des données sur leur altitude dans la moyenne troposphère lors de parcours régionaux relativement courts. Des observations de ce type, qui seraient très utiles dans un contexte régional et local, pourraient aussi contribuer à une couverture mondiale en données. Il faudrait équiper en priorité les appareils en provenance et à destination d'îles isolées et de sites reculés où les observations par radiosondage sont inexistantes, comme les déserts, les îles et l'Arctique. Les incidences des jeux de données existants – issus du développement des communications commerciales et des capteurs – sur les modèles haute résolution de prévision numérique du temps ont été évaluées et comparées à celles d'autres systèmes d'observation tels que les profileurs et les radars. Les résultats sont encourageants: voir par exemple Moninger *et al.* (2010) et Benjamin *et al.* (2010). Malgré divers problèmes techniques, les systèmes AMDAR destinés aux appareils de l'aviation générale peuvent

contribuer à l'amélioration de la couverture en données concernant le profil vertical des mesures AMDAR – vent, température, humidité, turbulences et givrage – dans la basse troposphère, ce qu'on devrait poursuivre tout en tenant compte du potentiel de techniques nouvelles et en cours d'élaboration telles que l'ADS-B ou le mode S.

Activité G24

Activité: Concevoir et mettre en œuvre des systèmes AMDAR opérationnels adaptés aux petits avions opérant à l'échelle régionale et évoluant dans la basse troposphère.

Agents d'exécution: Compagnies aériennes exploitant de petits avions, SMN et SMHN, en collaboration avec les conseils régionaux, la CSB et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de petits avions transmettant des observations AMDAR en temps réel sur le plan opérationnel.

Certains appareils mesurent la composition de l'atmosphère pour plusieurs éléments et aérosols et pour les cendres volcaniques, mais davantage à des fins de recherche qu'en mode opérationnel. Les activités concernant la chimie de l'atmosphère sont présentées à la section 5.3.8.4.

5.3.1.4. Stations de la Veille de l'atmosphère globale

Les observations en surface de la composition de l'atmosphère, complétées par des mesures effectuées par des avions (voir 5.3.8.4), vont contribuer à établir un réseau tridimensionnel intégré d'étude de la chimie de l'atmosphère du globe, allié à une composante spatiale. Il existe des réseaux au sein desquels on mesure régulièrement l'ozone (profil et ozone total) ainsi que de nombreux autres gaz et aérosols. (On trouvera la liste complète des variables dans le Plan stratégique de la VAG³⁰ et son additif³¹.) Les tâches proposées en vue d'entretenir et d'améliorer les réseaux et d'en élargir la couverture dans les tropiques et l'hémisphère Sud seraient également prises en charge pour d'autres applications. En outre, le cas échéant, il serait recommandé de traiter et de diffuser en temps quasi réel les observations sur la composition de l'atmosphère, qui pourraient servir à diverses applications.

Activité G25

Activité: Exhorter les administrateurs de programmes nationaux d'observation météorologique à élargir la portée des stations aux observations relatives à la chimie de l'atmosphère.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, organisations et établissements de recherche qui réalisent des observations sur la composition de l'atmosphère, en coordination avec les commissions techniques – en particulier la CSA et la CSB – et les conseils régionaux, sous la conduite de la CSA et de la CSB, avec les conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer pour chaque conseil régional.

Indicateur de résultats: Nombre de stations qui observent la composition de l'atmosphère.

5.3.1.5. Stations de réception passant par un système mondial de navigation par satellite (GNSS)

De même que les profileurs atmosphériques, certains réseaux de stations de réception au sol passant par un GNSS sont opérationnels dans quelques régions du monde. En général, la principale application de ces réseaux n'est pas météorologique. Bien que la qualité et les pratiques en matière d'observation de ces réseaux soient très diverses, les informations météorologiques en sont extraites et recueillies en temps réel dans certaines stations. Depuis 2006, les données

³⁰ <ftp://ftp.wmo.int/Documents/PublicWeb/arep/gaw/gaw172-26sept07.pdf>

³¹ http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/FINAL_GAW_197.pdf

météorologiques sont assimilées dans la prévision numérique opérationnelle du temps sur le plan mondial et régional, soit sous forme de vapeur d'eau intégrée (vapeur d'eau totale intégrée dans le plan vertical), soit sous forme de délai zénithal total. Ce délai comprend le «délai humide», dû à la vapeur d'eau, et le «délai sec», lié directement à la densité de l'air, elle-même fonction directe de la pression en surface. Les incidences positives des observations météorologiques au sol par GNSS sur la prévision numérique des champs de la vapeur d'eau, des précipitations et de la pression atmosphérique ont été démontrées. Voir la note en bas de page de la section 4 concernant l'atelier consacré aux études d'impact pour obtenir une synthèse des expériences sur les systèmes d'observation.

Dans la plupart des pays, les stations de réception au sol relèvent d'organismes autres que les SMHN, qui les exploitent. Ainsi, l'accès aux données, le traitement visant à produire des données météorologiques et l'autorisation d'utiliser et de redistribuer ces données dépendent d'une collaboration des SMHN – pris individuellement ou par groupements multilatéraux – avec les propriétaires et les exploitants des données en question. Dans de nombreux cas, les SMHN, pris individuellement ou par groupements multilatéraux, ne sont pas autorisés à échanger ces données avec d'autres Membres de l'OMM.

En ce qui concerne ce système d'observation, relativement nouveau en météorologie, une activité importante consiste à exploiter davantage le contenu météorologique des stations de réception existantes passant par un GNSS, sous forme de vapeur d'eau intégrée ou de délai zénithal total. Cette activité n'exige pas la mise en place d'une nouvelle infrastructure. En outre, il serait très intéressant d'améliorer l'observation de l'humidité en altitude grâce à des réseaux de réception plus denses, en tirant profit de tous les autres instruments qui servent à la mesure de l'humidité en altitude et en considérant en particulier les secteurs dans lesquels la climatologie est soumise à des variations spatiales et temporelles rapides de la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau.

La teneur totale en électrons le long d'une voie de propagation donnée peut se mesurer en déterminant le délai et le déplacement de phase des signaux radio GNSS reçus par un récepteur au sol en vue d'une surveillance de l'ionosphère. Par exemple, les observations au sol à haut débit passant par le GPS ou par le système GLONASS, qui relève de l'International GNSS Service (IGS), sont effectuées toutes les 15 minutes avec un délai caractéristique de 2 à 3 minutes. Ces informations sont utiles pour déterminer la météo dans l'espace (voir la section 7).

Activité G26

Activité: Obtenir plus d'avantages des stations existantes de réception GNSS en passant des accords de collaboration avec les propriétaires et les exploitants de ces stations en vue d'accéder à des données en temps réel, de les traiter et de les partager afin de recueillir des informations météorologiques ou ionosphériques (délai zénithal total ou vapeur d'eau intégrée, teneur totale en électrons).

Agents d'exécution: Les SMN et les SMHN, à titre individuel ou par groupements multilatéraux, dirigeront cette activité et devront collaborer avec les propriétaires ou les exploitants des stations, avec les conseils régionaux (pour déterminer les besoins en matière d'échanges) et les commissions techniques (pour obtenir des directives).

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre de stations de réception GNSS qui affichent leurs données en temps réel; nombre de stations pouvant servir à la prévision numérique du temps tout en se conformant aux critères habituels de contrôle (voir la note 17 en bas de page à la section 3.6).

Activité G27

Activité: Organiser un échange mondial de données provenant d'une partie des stations de réception GNSS en vue d'obtenir une fréquence d'une heure environ (pour satisfaire aux conditions d'applications mondiales).

Agents d'exécution: Organisations et établissements de recherche exploitant des stations de réception GNSS, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux, les commissions techniques – principalement la CSA et la CSB – et d'autres organisations internationales telles qu'EUMETNET, sous la conduite de la CSB, avec les conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de stations de réception GNSS dont les données sont échangées en temps réel sur le plan mondial.

Activité G28

Activité: Optimiser l'observation de la vapeur d'eau en altitude au-dessus des terres émergées en envisageant la création en collaboration de nouvelles stations de réception GNSS et d'autres systèmes d'observation de l'humidité.

Agents d'exécution: Organisations et établissements de recherche exploitant des stations de réception GNSS, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux, les commissions techniques – principalement la CSA et la CSB – et d'autres organisations internationales telles qu'EUMETNET, sous la conduite des SMN et des SMHN, avec les conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre de stations de réception GNSS diffusant des données en temps réel; nombre de stations pouvant être utilisées pour la prévision numérique du temps en respectant les critères de contrôle habituels (voir la note 17 en bas de page à la section 3.6).

5.3.2. Systèmes d'observation en surface sur la terre ferme

5.3.2.1. Stations synoptiques et climatologiques de surface

Les stations «synoptiques» sont des stations d'observation conçues à l'origine pour répondre aux besoins de la météorologie synoptique et d'autres applications (comme la météorologie aéronautique, la surveillance du climat et des conditions météorologiques extrêmes et l'atténuation des risques de catastrophes), «synoptiques» signifiant qu'elles font partie d'un ensemble de stations réalisant des observations simultanément, ce qui permet d'effectuer des analyses du temps à un moment donné dans une vaste zone géographique.

Les observations effectuées sur la terre ferme, qui proviennent d'une vaste gamme de réseaux *in situ*, répondent aux besoins de nombreux secteurs d'application. Les stations synoptiques et climatologiques réalisent des mesures à la limite entre l'atmosphère et le sol ainsi que d'autres observations qualitatives ou quantitatives concernant des facteurs atmosphériques ou environnementaux tels que la visibilité, le temps présent, la hauteur des nuages, les orages, la foudre et le type de précipitations, facteurs de plus en plus cruciaux pour les nouvelles applications environnementales destinées à la société. Les variables importantes pour l'initialisation des modèles de prévision numérique du temps sont la pression en surface, le vent en surface, la température et l'humidité de l'air, les précipitations et l'état du sol, y compris l'épaisseur de la neige et l'humidité du sol. Comme la plupart de ces variables peuvent être assimilées par des modèles de prévision numérique avec une fréquence d'une heure, leur échange mondial devrait être adapté en conséquence. En outre, de nombreuses variables répondent à l'ensemble des besoins des services climatologiques et l'on note une demande croissante de mesures à haute fréquence et de collecte et de transmission de données en temps quasi réel. Ces variables comprennent les variables climatologiques essentielles citées dans le Plan de mise en œuvre du SMOC, mais pas uniquement. Des stations climatologiques de référence en cours de création doivent produire des observations de la plus haute qualité pour la surveillance du climat tout en prenant en charge les prévisions par la transmission de données toutes les heures. Le suivi du bilan radiatif en surface dépend dans une large mesure des stations de surface du Réseau de référence pour la mesure du

rayonnement en surface (BSRN)³². Ce réseau devrait être élargi et protégé. La mesure du rayonnement et du flux énergétique (par ex. par Fluxnet) doit également être envisagée.

Activité G29

Activité: Élargir le Réseau de référence pour la mesure du rayonnement en surface afin d'obtenir une couverture mondiale.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, établissements de recherche, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de stations du Réseau de référence.

Activité G30

Activité: Veiller, dans la mesure du possible, à l'échange mondial en temps réel de variables mesurées par des stations d'observation en surface, y compris des stations climatologiques, avec une fréquence d'au moins une heure.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Pourcentage d'observations échangées sur le plan mondial avec une fréquence d'une heure par rapport au nombre de stations qui procèdent à des observations toutes les heures.

Un nombre croissant de variables sont mesurées automatiquement avec la qualité voulue. La tendance à l'automatisation est encouragée, car elle est susceptible d'améliorer la compatibilité des données et la couverture en données, surtout en provenance de zones reculées, ainsi que la fréquence et la disponibilité des données transmises en temps réel. Actuellement, de nombreuses observations effectuées régulièrement ne sont pas diffusées en temps réel, bien que cette exigence soit stipulée dans l'étude continue des besoins, et l'automatisation ne donne pas de nouvelles possibilités de diffuser des variables recueillies par le passé mais non partagées en temps réel.

Afin de réagir face à la tendance croissante à l'automatisation des observations, la CSB et la CIMO ont établi des directives et des procédures pour le passage de stations manuelles à des stations météorologiques automatiques sur terre et sur mer. Une fois qu'elles auront été publiées, ces directives et ces procédures seront disponibles sur le site Web de l'OMM³³.

Activité G31

Activité: Améliorer la compatibilité des données, leur disponibilité – également à une fréquence plus élevée – et la couverture en données, notamment climatologiques, d'observation en surface grâce à la gestion de la qualité, à l'automatisation et à l'échange en temps réel de données provenant de préférence de toutes les stations opérationnelles.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Pourcentage de stations qui distribuent en temps réel sur le SIO et le SMT des observations dont la qualité a été contrôlée par rapport au nombre de stations qui produisent des observations.

Diverses observations sont réalisées et transmises régulièrement, mais elles sont échangées sous une forme qui ne convient pas à l'inclusion des métadonnées nécessaires à un usage approprié en vue d'une assimilation des données et pour d'autres outils. Cela est particulièrement le cas pour la pression atmosphérique, généralement mesurée avec une très bonne précision mais qui ne peut

³² <http://www.bsrn.awi.de/>

³³ <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications-IOM-series.html>

pas être utilisée sans informations précises sur l'altitude du baromètre. Un autre exemple des métadonnées nécessaires est la hauteur par rapport à la surface du sol où le vent est mesuré. D'autres variables, dont la température, les précipitations et d'autres éléments nécessaires aux services climatologiques sont parfois transmises sans métadonnées adéquates.

Les activités visant à améliorer la qualité, la cohérence et la disponibilité des observations de surface, notamment climatologiques, sont particulièrement importantes pour les applications climatologiques et vont contribuer à la constitution sur de longues périodes de séries chronologiques d'observations et de réanalyses. Toutes les activités réalisées dans le cadre du Plan de mise en œuvre du SMOC – section sur les observations de surface de l'atmosphère – doivent également être prises en charge pour des applications non climatologiques.

Activité G32

Activité: Veiller à ce que les variables mesurées par des stations au sol, notamment climatologiques, soient échangées ensemble, avec accès aux métadonnées pertinentes, conformément aux normes du WIGOS et du SIO. Il faudrait porter une attention particulière à l'incertitude quant à l'altitude barométrique.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Indicateurs de contrôle habituels (voir la note 17 en bas de page à la section 3.6).

Activité G33

Activité: Améliorer la conception des réseaux synoptiques de base régionaux et des réseaux climatologiques de base régionaux en faisant tout pour conserver des stations importantes sur le plan climatologique.

Agents d'exécution: Conduite de la CSB par le biais d'études d'impact de la prévision numérique du temps et d'études de conception des réseaux, en coordination avec les SMN, les SMHN, des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, d'autres commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations pertinentes.

Échéance: 2015.

Indicateur de résultats: Conception et mise en œuvre de réseaux.

5.3.2.2. Stations de la Veille de l'atmosphère globale (VAG)

Les observations depuis le sol de la composition de l'atmosphère contribuent à un réseau intégré d'observation tridimensionnelle de la chimie de l'atmosphère ainsi qu'à des stations de mesure en altitude (depuis le sol, par des aéronefs et par des ballons; voir 5.3.1.4 et 5.3.8.4), avec une composante spatiale. Les observations depuis le sol du CO₂ et du CH₄, par exemple, sont très importantes pour déterminer les sources et les puits de ces éléments et pour comprendre l'influence du rayonnement sur le climat (voir les références aux documents de la VAG dans la section 5.3.1.4 ainsi que le Plan de mise en œuvre du SMOC). Le réseau d'observation en surface des variables se rapportant à la chimie de l'atmosphère est manifestement insuffisant par rapport aux exigences mondiales en matière d'observation. Les priorités concernant diverses tâches relatives à l'observation depuis le sol des gaz à l'état de traces et des aérosols sont présentées dans le Plan stratégique de la VAG et dans son additif (voir aussi les références à la section 5.3.1.4).

D'ici 2025, les modèles utilisés pour la prévision numérique du temps et la modélisation du climat et de la composition de l'atmosphère vont prendre de l'importance pour les projections climatologiques et les prévisions relatives à la chimie de l'atmosphère. Il sera important, à ce propos, d'intégrer progressivement les réseaux d'observation concernés afin que les observations sur la composition de l'atmosphère soient présentées en temps quasi réel.

Activité G34

Activité: Mettre en place dès que possible un échange en temps quasi réel d'observations sur la composition de l'atmosphère effectuées par des stations au sol. Suivre les recommandations de la VAG et les pratiques du WIGOS et du SIO pour lancer cette diffusion, ainsi que les pratiques standard d'évaluation de la qualité.

Agents d'exécution: Organisations et établissements de recherche effectuant des observations sur la composition de l'atmosphère, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux et les commissions techniques, sous la conduite de la CSA et de la CSB, avec les conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer pour chaque conseil régional.

Indicateur de résultats: Nombre de stations au sol observant la composition de l'atmosphère qui diffusent en temps réel des données dont elles ont contrôlé la qualité.

5.3.2.3. Stations de la Veille mondiale de la cryosphère

La Veille mondiale de la cryosphère (VMC), récemment créée, va établir un réseau d'observation de la cryosphère de grande ampleur, appelé CryoNet, constitué de stations ou «supersites» de référence implantés dans des régions au climat froid et appliquant un programme standard et continu d'observation et de surveillance de l'évolution du plus grand nombre possible de composantes de la cryosphère. Partant de programmes existants d'observation de la cryosphère ou se dotant de programmes d'observation standard supplémentaires exécutés à partir d'installations existantes, CryoNet créera ainsi des supersites d'observation environnementale. À l'instigation du SMOC, la VMC facilitera la mise en place de supersites aux latitudes élevées, ce qui permettra la mesure, d'après un lieu unique, de variables clefs, et notamment le pergélisol et la couverture neigeuse, améliorant ainsi les réseaux SMOC/GTOS pour le pergélisol, les glaciers et l'hydrologie. Les stations de la VAG implantées dans des régions au climat froid pourraient être retenues à cette fin. Les sites de référence de CryoNet vont produire des jeux de données de longue durée pour suivre la variabilité et l'évolution du climat, améliorer le paramétrage par des modèles des processus de la cryosphère et soutenir la conception et la validation de produits satellitaires et de modèles prévisionnels, climatologiques, hydrologiques et cryosphériques. L'équipe du Groupe de travail de la Veille mondiale de la cryosphère pour les systèmes d'observation chargée de CryoNet va définir des procédures officielles pour créer le réseau de la Veille, évaluer les supersites envisageables et établir la disponibilité de données.

Activité G35

Activité: Mettre en place dès que possible un réseau d'observation de la cryosphère de grande ampleur composé de sites de référence, appelé CryoNet.

Agents d'exécution: Organisations, institutions et établissements de recherche assurant l'observation et la surveillance de la cryosphère en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux et les commissions techniques, selon les besoins, sous la conduite de l'équipe chargée de CryoNet et sous la supervision du Comité consultatif et du Comité de gestion de la Veille mondiale de la cryosphère.

Échéance: 2014.

Indicateur de résultats: Nombre de sites de référence appartenant au réseau Cryonet.

Activité G36

Activité: Procéder autant que possible à un échange en temps réel ou quasi réel de données sur la cryosphère émanant de CryoNet; adopter les pratiques de la Veille mondiale de la cryosphère, du WIGOS et du SIO pour lancer cette diffusion ainsi que les pratiques standard d'évaluation de la qualité des données et de leur archivage.

Agents d'exécution: Organisations, institutions et établissements de recherche assurant l'observation et la surveillance de la cryosphère en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux et les commissions techniques, selon les besoins, sous la conduite

de l'équipe chargée de CryoNet et sous la supervision du Comité consultatif et du Comité de gestion de la Veille mondiale de la cryosphère.

Échéance: 2014.

Indicateur de résultats: Nombre de stations CryoNet qui produisent des données dont la qualité est contrôlée.

5.3.2.4. Systèmes de détection de la foudre

La valeur des systèmes de détection et de surveillance en temps réel de la foudre (totale ou uniquement «des nuages au sol») à partir du sol a été démontrée en tant qu'indicateur précoce de l'endroit et de l'intensité de la convection en développement et du déplacement des orages. Ces systèmes d'observation, destinés en particulier aux prévisions immédiates, aux avis de conditions météorologiques extrêmes et aux applications aéronautiques, sont susceptibles d'accroître le délai d'alerte à des orages importants. Pour l'aéronautique, la couverture en données est presque mondiale. Des systèmes perfectionnés d'avis d'éclairs présentent la structure tridimensionnelle de l'activité électrique pour l'aéronautique.

On prévoit qu'en 2025, les systèmes de détection de la foudre à long terme comprendront des systèmes de grande portée qui produiront avec un bon rapport coût-efficacité des données mondiales homogènes et très précises sur l'emplacement des décharges, ce qui améliorera sensiblement la couverture dans les régions où les données sont rares. Des systèmes haute résolution de détection de la foudre devraient également être déployés à certains endroits précis en vue d'applications particulières, avec une plus grande précision et en faisant la distinction entre les décharges de nuage à nuage et des nuages au sol.

Activité G37

Activité: Améliorer, sur le plan mondial, l'efficacité de la détection de la foudre en élargissant la couverture des systèmes de détection longue distance et en mettant en place de nouveaux systèmes. Le comblement des lacunes dans les zones peuplées et sur l'itinéraire des aéronefs commerciaux devrait être prioritaire.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, organismes exploitant des systèmes de détection de la foudre à longue distance, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB et de la CIMO, qui dirigeront l'opération de concert.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Couverture en données pour ce type d'observations.

Activité G38

Activité: Concevoir et mettre en œuvre des techniques d'intégration de données sur la détection de la foudre émanant de divers systèmes, notamment terrestres et spatiaux, afin d'obtenir des produits composites.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, organismes exploitant des systèmes de détection de la foudre, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB et de la CIMO, qui dirigeront l'opération de concert.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Degré d'intégration des systèmes de détection de la foudre.

Activité G39

Activité: Améliorer l'échange de données sur la détection de la foudre en temps réel en concevant et en appliquant des protocoles convenus pour l'échange de données.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, organismes exploitant des systèmes de détection de la foudre, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB et de la CIMO.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Pourcentage des observations échangées sur le plan régional et mondial.

5.3.2.5. Stations de surface servant à des applications particulières

De nombreux réseaux d'observation spécifiques ont été conçus – et sont toujours conçus – pour prendre en charge des applications locales telles que les variables météorologiques le long des routes, des autoroutes et des voies de chemin de fer, à l'intérieur et autour des villes et des aéroports, pour les cultures agricoles et horticoles et pour la production d'électricité. Cet ensemble de réseaux est très hétérogène du point de vue des variables observées, des pratiques en matière d'observation, des normes et de la fréquence des observations. Toutefois, ces données, essentielles pour répondre aux exigences des services climatologiques, sont très utiles non seulement pour leur application principale, mais aussi pour de nombreuses autres applications à grande échelle présentées dans l'étude continue des besoins, et notamment pour les modèles mondiaux et à haute résolution.

Au cours des années à venir, il faudra porter une attention particulière aux mesures effectuées en milieu urbain, pour au moins deux raisons: i) le suivi de la variabilité et de l'évolution du climat est important dans les secteurs où se posent des problèmes précis d'adaptation; et ii) il faudra vérifier et valider des modèles locaux de prévision numérique du temps et de détermination de la qualité de l'air susceptibles de tourner de façon opérationnelle dans des zones limitées centrées sur de grandes villes. Ces modèles pourront sans doute devenir des outils importants de surveillance de la variabilité et de l'évolution du climat en plus d'avoir un rôle dans la prévision de la météo et de la pollution de l'air à courte échéance.

Ces observations et ces modèles particuliers devraient être nécessaires au voisinage non seulement des grandes agglomérations urbaines, mais aussi des aéroports importants, où les exigences de l'aéronautique peuvent impliquer la conception de réseaux haute résolution spécifiques pour la surveillance et la prévision immédiate des phénomènes extrêmes.

La plupart de ces systèmes d'observation particuliers sont entièrement automatiques. Ils font appel à des techniques de pointe et produisent souvent des observations avec une fréquence élevée. Pour que ces systèmes servent à une plus vaste gamme d'utilisateurs, il faudrait établir une planification coordonnée pour la représentation correcte des données, les codes, les pratiques en matière de déclaration et les normes de gestion et d'évaluation de la qualité des données et des métadonnées. En outre, il faudrait définir des normes pour le traitement des données afin de produire des ensembles dérivés d'observations dont ont besoin divers utilisateurs sur le plan local, national, régional et mondial.

La mise en place d'une collaboration avec le secteur des énergies renouvelables, qui exige le contrôle de son environnement, pourrait avoir des avantages mutuels. Pour les sources d'énergie propres – énergie éolienne, solaire, hydroélectrique, géothermique –, les informations sur le temps et le climat sont un élément essentiel du développement et des activités opérationnelles, qui exige une évaluation constante de l'efficacité et de l'impact écologique de ces énergies.

Activité G40

Activité: Assurer, en temps réel autant que possible, l'échange d'observations et de métadonnées pertinentes, notamment en déterminant la représentativité des stations de surface servant à des applications particulières (transports routiers, aéronautique, météorologie agricole, météorologie urbaine, etc.).

Agents d'exécution: Organismes exploitant des stations servant à des applications particulières, SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Pourcentage d'observations émanant des stations indiquées ci-dessus échangées en temps réel sur le plan régional et mondial.

Activité G41

Activité: Améliorer les observations dans des zones déterminées à l'appui d'études sur la conception et l'exploitation d'installations consacrées aux énergies renouvelables, notamment en vue de comprendre l'influence de ces installations sur les phénomènes météorologiques et climatologiques locaux liés à l'utilisation de ces énergies.

Agents d'exécution: Organismes exploitant des stations consacrées aux énergies renouvelables, SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'observations concernant les énergies renouvelables.

5.3.3. Systèmes terrestres d'observation hydrologique

5.3.3.1. Stations hydrologiques de référence

Pour ce qui est de l'échange mondial de variables hydrologiques, le SMOC, par le biais du Groupe d'experts des observations terrestres pour l'étude du climat qu'il coparraine, a créé le Réseau terrestre mondial – hydrologie dans le but de concevoir et de mettre en place des réseaux de base et de prouver la valeur des produits hydrologiques mondiaux intégrés. Les activités du Réseau et de la CHy incluent la surveillance sur le plan mondial des cours d'eau, des lacs, des eaux souterraines et de l'exploitation des ressources en eau. Les exigences du programme de surveillance ont conduit à la création des réseaux de base du SMOC et du SMOT pour le contrôle du débit des cours d'eau et du niveau des lacs.

Le Centre mondial de données sur l'écoulement (GRDC) a pour mission de recueillir des données sur le débit des cours d'eau, mais il peut se passer beaucoup de temps avant que les données soient effectivement recueillies et distribuées. En outre, on note une tendance à réduire le nombre de stations des réseaux d'observation existants, le déclin continu des réseaux hydrologiques, et en particulier la fermeture de stations climatologiques, étant très préoccupants³⁴.

Activité G42

Activité: Conserver, à des fins climatologiques, les stations hydrologiques existantes du réseau de base du SMOC et du SMOT et faciliter l'échange mondial des données qui en émanent.

Agents d'exécution: Tous les services hydrologiques qui exploitent ces stations de référence, commissions techniques (CHy et CSB) et SMOC, sous la conduite de la CSB et du SMOC.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Pourcentage des stations hydrologiques de référence qui échangent sur le plan mondial des données dont la qualité a été contrôlée.

On trouvera de plus amples renseignements sur les activités précises concernant les stations hydrologiques de référence dans les sections pertinentes du Plan de mise en œuvre du SMOC. On trouvera par ailleurs dans le document du WHYCOS³⁵ une présentation générale des éléments qui contribuent à l'hydrologie, aux ressources en eau et au cycle hydrologique.

5.3.3.2. Stations des réseaux hydrologiques nationaux

Pour surveiller le cycle hydrologique de la Terre, les réseaux hydrologiques nationaux et des stations appartenant à des réseaux hétérogènes mesurent de nombreuses variables: précipitations liquides et solides, épaisseur de la neige, équivalent en eau de la neige, épaisseur de la glace des lacs et des cours d'eau, dates du gel et du dégel, hauteur d'eau, écoulement de l'eau, qualité de

³⁴ Voir le paragraphe sur l'échange de données hydrologiques dans le Plan de mise en œuvre du SMOC.

³⁵ http://www.whycos.org/IMG/pdf/WHYCOSGuidelines_E.pdf

l'eau, humidité des sols, température des sols, charge solide. Certaines de ces variables ne se prêtent à aucune application en temps réel, mais d'autres exigent un échange rapide de données (par ex. précipitations et débit des cours d'eau en cas de crue). Quelques variables exigent un échange mondial, mais la plupart d'entre elles ne sont à échanger qu'au niveau national et local.

Le Groupe d'experts des observations terrestres pour l'étude du climat a identifié des variables hydrométéorologiques dont l'observation est hautement prioritaire³⁶. Plusieurs de ces variables comprennent une composante d'observation *in situ*, complémentaire d'un élément satellitaire. On a néanmoins repéré dans divers réseaux hydrologiques des lacunes importantes qu'il convient de combler. En général, l'accès aux variables hydrologiques est insuffisant.

L'observation continue et cohérente de variables hydrologiques à l'échelle mondiale et régionale va exiger des systèmes intégrés d'observation *in situ* et par satellite, à l'appui de divers secteurs d'application. Les observations incluent celles de variables hydrologiques telles que l'évaporation, l'humidité des sols, la neige et les eaux de surface et souterraines, comme les définissent les activités terrestres relevant du Plan de mise en œuvre du SMOC.

Activité G43

Activité: Inclure les observations de variables hydrologiques essentielles (précipitations liquides et solides, évaporation, épaisseur de la neige, équivalent en eau de la neige, épaisseur de la glace des lacs et des cours d'eau, hauteur d'eau, écoulement de l'eau, humidité des sols) dans un système intégré et cohérent d'observation, de traitement et d'échange, conformément aux normes du WIGOS.

Agents d'exécution: Services hydrologiques et SMOC, sous la conduite de commissions techniques (CHy et CSB).

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Pourcentage de données hydrologiques intégrées dans ce système.

5.3.3.3. Stations d'observation des eaux souterraines

Les eaux souterraines ont un rôle important à jouer dans l'environnement et sa gestion, bien qu'elles aient peu d'importance pour de nombreuses applications relevant de l'étude continue des besoins (en particulier les applications de prévision). Ces ressources, principale source d'eau potable, servent aussi aux activités agricoles et industrielles. Elles doivent être protégées, car, dans de nombreuses régions, le prélèvement est supérieur à l'alimentation. Si des eaux souterraines sont altérées ou contaminées, il risque d'être très coûteux de les remettre en état.

La surveillance des eaux souterraines est un processus continu standardisé faisant appel à des observations *in situ*, satellitaires et aériennes. Cette surveillance comporte un aspect quantitatif et qualitatif (analyse de variables physiques et chimiques choisies).

Selon un bilan mondial de la surveillance des eaux souterraines dressé par le Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC), dans de nombreux pays, le contrôle systématique de la quantité et de la qualité des eaux souterraines est minimal ou inexistant.

Activité G44

Activité: Poursuivre et développer les programmes actuels d'observation et de surveillance des eaux souterraines, et notamment celui de l'IGRAC.

Agents d'exécution: Services hydrologiques, en collaboration avec la CHy, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et le SMOT (et en particulier son réseau terrestre mondial pour les eaux souterraines), sous la conduite de la CHy et du SMOT.

³⁶ Voir la déclaration d'orientation concernant l'hydrologie.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de stations d'observation des eaux souterraines en service.

Il convient de soutenir les activités relatives aux eaux souterraines présentées dans le Plan de mise en œuvre du SMOC, et surtout celles qui visent à créer le prototype d'un système mondial d'information sur la surveillance des eaux souterraines avec le réseau terrestre mondial pour les eaux souterraines

5.3.4. Stations radar météorologiques

Les radars météorologiques sont de plus en plus importants pour les prévisions et les avis météorologiques, l'hydrologie et de nombreuses applications qui dépendent de prévisions météorologiques relevant par exemple de la météorologie aéronautique (cisaillement du vent). S'il en est ainsi, c'est en partie du fait du développement de modèles de prévision numérique du temps à l'échelle kilométrique (qui acquièrent progressivement la capacité d'assimiler les données des radars météorologiques) et d'autres outils ad hoc de prévision immédiate et à courte échéance. Les radars météorologiques sont en mesure d'observer plusieurs variables concernant les précipitations: intensité et répartition géographique des précipitations, classement des hydrométéores selon leur taille, phase et type des précipitations. Ils peuvent également localiser les tempêtes de sable et de poussière et mesurer les composantes du vent grâce à la technique Doppler ainsi que l'humidité par le biais de la réfractivité. La mise en service de radars météorologiques polarimétriques permet d'affiner l'estimation quantitative des précipitations, de mieux détecter les tempêtes de grêle importantes et d'améliorer la détection du passage de la pluie à la neige lors de tempêtes hivernales. On a testé des radars VHF, qui peuvent produire des observations avec une résolution élevée, mais uniquement à courte distance. Tous ces phénomènes météorologiques sont particulièrement importants pour l'aéronautique, la prévision de conditions météorologiques extrêmes et les avis destinés au public.

Les progrès de la prévision numérique du temps, de la modélisation du climat, des avis de conditions météorologiques extrêmes et de la prévention des catastrophes ont conduit à de nouvelles exigences concernant des produits de haute qualité relatifs aux précipitations élaborés à partir de données émanant d'un ou de plusieurs réseaux de radars. En outre, grâce à des avancées récentes de la technique des radars et du traitement des signaux et des données, ces produits, à utiliser quantitativement pour diverses applications en exploitation, sont presque prêts sur le plan opérationnel. Par le passé, on pensait que les radars n'avaient que des applications régionales et locales, mais cette opinion évolue rapidement depuis que les réseaux de télécommunication permettent le transfert et l'archivage de vastes quantités de données.

Depuis quelques dizaines d'années, la couverture des radars météorologiques s'améliore considérablement dans certaines régions du monde et certaines données – ou du moins certains produits composites – sont échangées sur le plan transnational.

Beaucoup de progrès devraient être accomplis d'ici 2025 grâce à l'amélioration de la technique, à la normalisation des procédures d'observation et à l'accroissement de l'échange de données, notamment sur le plan mondial. Actuellement – en 2012 –, on note une forte hétérogénéité des technologies mises en œuvre, des pratiques en matière d'observation, des techniques d'étalonnage et de traitement et de la forme de présentation et d'échange des données dans des secteurs correctement couverts par les radars météorologiques. Dans les pays en développement, la couverture radar est faible ou inexistante, notamment dans les zones où la prévision immédiate et à très courte échéance des tempêtes est très importante. Il faut faire un effort particulier dans ces zones, non seulement en vue du déploiement de radars météorologiques, mais aussi en matière d'outils de prévision immédiate associant un nombre limité de radars météorologiques à d'autres sources d'information (produits satellitaires, propagation des signaux émanant de systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) ou d'autres signaux électromagnétiques).

Activité G45

Activité: Accroître le déploiement, l'étalonnage et l'exploitation de radars à double polarisation dans les régions où cela est bénéfique.

Agents d'exécution: Conduite de la CSB, avec la CIMO, les conseils régionaux, les SMN et les SMHN.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Couverture en données des radars de ce type dans chaque Région.

Activité G46

Activité: Procéder à une comparaison des logiciels des radars météorologiques en vue d'améliorer la qualité de l'évaluation quantitative des précipitations.

Agents d'exécution: CIMO, en collaboration avec les SMN, les SMHN et les organismes qui exploitent des radars météorologiques.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Orientation donnée aux exploitants et aux Membres.

Activité G47

Activité: Un effort particulier doit être fait dans les zones des pays en développement sujettes aux tempêtes et aux inondations afin de mettre en place et d'entretenir des stations radar météorologiques.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et organismes exploitant des radars météorologiques, en collaboration avec les conseils régionaux et les commissions techniques (CSB, CIMO et CHy), sous la conduite de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de stations radar météorologiques en service dans les zones indiquées.

En ce qui concerne l'emploi et les incidences des observations en matière de prévision numérique du temps, le compte rendu de l'atelier 2008 de l'OMM (voir la référence dans la note 19 en bas de page de la section 4) indique qu'il est démontré que les données radar ont un impact positif sur les systèmes régionaux et parfois même mondiaux d'assimilation des données. On prévoit que d'ici 2025, la plupart des systèmes opérationnels mondiaux d'assimilation des données pour la prévision numérique du temps et les réanalyses assimileront certaines données radar, du moins sous la forme de vents Doppler. C'est pourquoi il conviendrait de lancer un échange mondial de données radar sélectionnées.

Les informations sur les radars sont également importantes pour les applications climatologiques. Celles-ci seront utilisées à l'avenir, par exemple pour les réanalyses régionales et la surveillance du cycle hydrologique (voir le résumé du Plan de mise en œuvre du SMOC).

Activité G48

Activité: Définir les données issues de radars météorologiques à échanger sur le plan régional et mondial, proposer une fréquence d'échange de ces données et établir un cadre pour le traitement des données en question parallèlement à la conception de produits conformes aux exigences nationales, régionales et mondiales.

Agents d'exécution: Sous la conduite de la CSB, CIMO et CHy en coordination avec les SMN, les SMHN et les organismes exploitant des radars météorologiques, en collaboration avec les conseils régionaux.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Quantité de données radar échangées sur le plan mondial et régional.

5.3.5. Système d'observation en altitude au-dessus des océans et Programme de mesures automatiques en altitude à bord de navires (ASAP)

Toutes les activités présentées dans la section 5.3.1.1 à propos des observations de radiosondage sur terre, sauf celles du Réseau aérologique de référence du SMOC (GRUAN) (5.3.1.1.2), ont un rapport avec le programme ASAP. Ces activités ont trait:

- À l'importance des données de radiosondage isolées pour combler les lacunes les plus importantes en matière de couverture en données;
- Au codage correct des informations globales dans le plan vertical émanant de radiosondes, suivi d'une diffusion rapide en temps réel;
- À la possibilité d'optimiser la couverture en données en adaptant le moment du lâcher, compte tenu de l'ensemble du réseau de radiosondage, mais aussi d'autres systèmes d'observation donnant des profils verticaux (AMDAR, par ex.).

Dans la zone de l'Atlantique Nord, qui comprend très peu d'îles susceptibles d'accueillir des sites fixes de radiosondage, EUMETNET³⁷ a mis en place une composante européenne du Programme de mesures automatiques en altitude à bord de navires (ASAP), appelée E-ASAP (EUMETNET – ASAP). On trouvera des informations sur cette composante en affichant la page d'accueil d'EUMETNET. Quinze à vingt navires lâchent régulièrement des radiosondes dans l'Atlantique Nord, sur des lignes commerciales reliant l'Europe de l'Ouest à l'Amérique du Nord et à l'Amérique centrale. Les navires du programme ASAP effectuent 10 à 15 observations par radiosondage par jour en moyenne (situation en 2012), la plupart de ces observations étant effectuées à 00 ou 12 UTC (sachant qu'il est possible de les réaliser à des moments différents pour optimiser la couverture spatiotemporelle). En 2011, 4 500 lâchers de radiosondes ont eu lieu au-dessus de l'Atlantique au titre du programme E-ASAP. Pour ce qui est des incidences des navires du programme ASAP sur les prévisions numériques, il est indiqué dans le compte rendu de l'atelier 2008 de l'OMM (voir référence dans la note en bas de page de la section 4) que même la réalisation d'un nombre très limité de radiosondages dans des zones océaniques où les données sont rares peut avoir des incidences notables sur les prévisions. Le réseau ASAP de l'Atlantique Nord, outre qu'il a un impact sur les prévisions, contribue à l'exploitation de données satellitaires en produisant des observations de référence *in situ* avec beaucoup de détails dans le plan vertical. En 2011, plus de 80 % des lâchers effectués dans le cadre du programme ASAP ont eu lieu au-dessus de l'Atlantique. Pour d'autres zones océaniques, en particulier le Pacifique Nord et l'océan Indien, il existe une possibilité d'améliorer considérablement la qualité globale du système d'observation composite en créant un nombre très limité de stations d'observation (de 10 à 20). Les radiosondes parachutées depuis des avions de reconnaissance constituent un système équivalent, employé dans le Pacifique et l'Atlantique, mais très irrégulièrement, à l'appui de prévisions d'orages importants.

Activité G49

Activité: Entretenir et optimiser le réseau ASAP existant dans l'Atlantique Nord et créer des programmes semblables dans le Pacifique Nord et l'océan Indien.

Agents d'exécution: SMN et SMHN, en collaboration avec des entreprises exploitant des navires commerciaux, avec les conseils régionaux, la CMOM, la CSB et la CSA, sous la conduite de la CMOM.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Quantité de données ASAP disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps).

5.3.6. Systèmes d'observation en surface sur les océans

³⁷ <http://www.eumetnet.eu/>

Les variables océaniques importantes à mesurer à la limite entre les océans et l'atmosphère incluent la pression de surface, la température de la mer en surface, la hauteur de la surface de la mer, la salinité de surface de la mer, le vent en surface, les caractéristiques des vagues, les courants à la surface des océans et la visibilité. D'autres variables sont à mesurer à proximité des côtes et lorsque les océans sont couverts de glace. Les variables concernant l'acidité des océans, leur couleur, les éléments nutritifs et le phytoplancton sont des variables climatologiques essentielles citées dans le Plan de mise en œuvre du SMOC.

La couverture géographique irrégulière des réseaux d'observation *in situ* des océans pose un problème constant pour les applications océaniques. Si l'on considère la variabilité régionale des exigences, la logistique variée de déploiement – y compris dans les zones reculées et sujettes à l'insécurité – et la difficulté à garantir une planification optimisée des réseaux d'observation au moyen de ressources limitées, les Membres de l'OMM devraient reconnaître la nécessité d'études sur la variabilité géographique de la résolution spatiotemporelle des observations océaniques.

La plupart des activités présentées ci-après visent à améliorer la couverture géographique des systèmes d'observation des océans, et en particulier la mesure de la pression de surface, de la température de la mer en surface, de la hauteur de la surface de la mer, de la salinité de surface de la mer, de la visibilité et de la géométrie haute résolution des océans. Cela peut se faire en élargissant les réseaux d'observation de la haute mer et des zones côtières ou en développant des sites d'observation existants pour en faire des stations polyvalentes, ou alors en faisant appel à de nouvelles techniques d'observation télécommandée *in situ* pour couvrir les zones inaccessibles.

5.3.6.1. Radars côtiers haute fréquence

Les radars côtiers haute fréquence sont des outils très puissants permettant d'observer l'état de la mer et les courants de surface dans un rayon de quelques centaines de kilomètres des côtes. Ils peuvent mesurer les vagues (hauteur significative) et les courants avec une résolution horizontale de l'ordre du kilomètre. Pour nombre des systèmes radar haute fréquence actuellement en service, une technique de triangulation faisant appel à deux radars est nécessaire pour éliminer les ambiguïtés directionnelles des vagues et des courants.

Ce système d'observation par radar a pour objet non pas d'obtenir une bonne couverture mondiale des côtes, mais d'améliorer la résolution horizontale et la qualité des autres observations océaniques des zones côtières, très sensibles aux phénomènes météorologiques et océaniques, pour des raisons écologiques ou économiques: zones peuplées à proximité des côtes, ports connaissant un fort trafic maritime et des risques de pollution pour les espèces terrestres et marines. Il est probable que d'ici 2025, des modèles à domaine limité de l'atmosphère et des océans seront exploités dans de nombreuses zones côtières avec une résolution horizontale de 100 à 1 000 m, en vue de surveiller ces régions sensibles en temps réel. Les radars côtiers haute fréquence devraient alors devenir une source importante d'informations qu'assimileront ces modèles. Ils constituent déjà une source importante d'informations pour la production en temps réel de cartes des courants de surface et de la hauteur significative des vagues destinées au trafic maritime et aux opérations de recherche et de sauvetage.

5.3.6.2. Stations maritimes (îles, côtes et plates-formes fixes)

Les stations d'observation maritimes produisent les mêmes variables de surface que les stations terrestres d'observation en surface (voir 5.3.2.1): pression en surface, température, humidité, vent, visibilité, nébulosité, type et hauteur de la base des nuages, précipitations, temps passé et présent. Le rôle des stations terrestres de surface s'est élargi pour deux raisons:

- Elles observent aussi un ensemble de variables maritimes: température de la mer en surface, direction, période et hauteur des vagues, glaces de mer, etc.;

- Elles sont généralement situées dans des zones côtières sensibles ou dans des sites isolés tels que des îles et des plates-formes pétrolières, ce qui leur donne de l'importance par leur apport à la couverture mondiale en données.

Les recommandations formulées dans la section 5.3.2.1, valables pour les stations terrestres en surface, s'appliquent également aux stations maritimes. Il est particulièrement important d'entretenir les stations situées sur des îles isolées qui possèdent des relevés climatologiques de longue date en vue de surveiller le climat.

Les réseaux de stations maritimes ne suffisent pas pour respecter les diverses exigences maritimes et océaniques, surtout en ce qui concerne la hauteur de la surface de la mer, la température de la mer en surface, la salinité de surface de la mer et les mesures relatives aux vagues³⁸. Il convient d'améliorer de façon générale la capacité de mesure et l'accessibilité aux données en faisant appel non seulement à des stations maritimes, mais aussi à des navires, à des bouées, à des stations marégraphiques et à des flotteurs profilants.

Activité G50

Activité: Veiller à l'emploi de techniques de pointe pour accroître la précision de l'ensemble des mesures effectuées dans des stations maritimes. Augmenter la capacité de mesure de la visibilité dans les océans.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et organismes nationaux partenaires, en collaboration avec des organisations internationales et des agences spatiales, sous la conduite de la CMOM, de la CSB et de la CIMO.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Indicateurs de contrôle habituels concernant la disponibilité et la qualité des observations maritimes.

5.3.6.3. Programme de navires d'observation bénévoles

Les variables météorologiques et maritimes normalement observées par des navires d'observation bénévoles sont les mêmes que celles observées par les stations maritimes (5.3.6.2). La principale différence pratique est que les navires sont mobiles, ce qui est parfois un avantage pour améliorer la couverture spatiotemporelle en données, mais un inconvénient pour les usagers de la climatologie s'intéressant à de longues séries chronologiques.

³⁸ Voir la déclaration d'orientation concernant les applications maritimes.

De nombreuses recommandations formulées pour les stations synoptiques terrestres de surface sont également valables pour les navires d'observation bénévoles, surtout pour l'échange mondial de données horaires (**Activité G30**) et pour le codage et la transmission de métadonnées (**Activité G32**). En ce qui concerne la mesure de la pression atmosphérique à bord de navires, il faudrait porter une attention particulière à la hauteur barométrique ainsi qu'à la précision de sa valeur, de son codage et de sa transmission. En effet, la pression atmosphérique, souvent réduite au niveau de la mer dans ce cas, est l'observation effectuée par un navire la plus importante pour la prévision numérique du temps. Elle est aussi très importante pour les applications maritimes et aéronautiques ainsi que pour la météorologie synoptique et les prévisions immédiates. Dans le cadre de la prévision numérique du temps, le contrôle mondial des observations effectuées par des navires montre que certaines de celles-ci sont affectées par des biais importants dans la mesure de la pression atmosphérique, manifestement dus à des mesures incorrectes de la hauteur barométrique et/ou à des erreurs dans la réduction au niveau de la mer. On note des améliorations sensibles de la qualité des mesures de la température de l'air, de la température de la mer en surface et du vent, qu'on peut obtenir grâce à des rapports plus réguliers entre les responsables des observations et les centres de contrôle de la prévision numérique du temps. Voir par exemple le site Web du Met Office britannique³⁹.

Activité G51

Activité: Améliorer la qualité des observations de navires grâce à des rapports plus réguliers avec les centres de contrôle de la prévision numérique du temps et à des vérifications plus régulières des instruments embarqués.

Agents d'exécution: Agents météorologiques de port, SMN, SMHN et autres centres de contrôle, en collaboration avec des entreprises exploitant des navires commerciaux, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps.

5.3.6.4. Bouées ancrées et dérivantes

Normalement, les bouées ancrées et dérivantes produisent des observations pour une partie des variables suivantes: pression en surface, température, humidité, vent, visibilité, température de la mer en surface, courants océaniques, spectre tridimensionnel des vagues, direction, période et hauteur des vagues et précipitations. Comme ces systèmes sont entièrement automatiques, le sous-ensemble observé est réduit par rapport à ce que peuvent observer les navires et les stations maritimes synoptiques (les nuages et le temps présent et passé n'étant par exemple pas observés par les bouées). Une grande variété de bouées sont employées sur le plan opérationnel, et parfois, le sous-ensemble observé se réduit à une ou deux variables dans les bouées du type le plus simple. L'avantage des systèmes entièrement automatiques, c'est que la fréquence d'observation peut être très élevée pour certaines bouées (données observées toutes les 10 minutes, par exemple). Les bouées dérivantes se déplacent par rapport à leur point de départ peu après avoir été mises à l'eau. Elles ont une durée de vie opérationnelle limitée pour des motifs tels que la durée de vie de leur batterie, les pannes de capteurs, les pannes d'émetteur, l'échouement, etc. Le Groupe de coopération pour les programmes de bouées de mesure (DBCP) relevant de la CMOM entretient un réseau mondial de 1 250 bouées dérivantes déployées pour correspondre à une maille de 5 x 5 degrés. De nouvelles bouées doivent être mouillées régulièrement pour maintenir la couverture en données océaniques, complétée par la couverture en données émanant de navires (lignes de navigation commerciales). Dans les latitudes moyennes de l'Atlantique Nord, on a obtenu une bonne couverture en données et une bonne complémentarité avec les navires dans les années 2000-2010, surtout grâce au programme EUMETNET d'observations maritimes en surface (E-SURFMAR)⁴⁰. Cependant, des efforts constants sont nécessaires pour préserver cette

³⁹ <http://www.metoffice.gov.uk/research/monitoring/observations/marine>

⁴⁰ <http://www.eumetnet.eu/e-surfmar>

couverture, qui est toujours inférieure aux exigences dans certaines petites zones de l'Atlantique Nord où le déploiement est difficile. En outre, dans de nombreuses autres régions du globe, la couverture en données émanant de bouées n'est pas aussi bonne et présente des lacunes importantes, par exemple dans les océans austraux et le Pacifique Nord. On peut vérifier la couverture en données opérationnelles des bouées et autres systèmes d'observation de façon quotidienne, par exemple sur le réseau du CEPMMT⁴¹. Il est possible de consulter des cartes indiquant la couverture mensuelle en bouées pour divers types d'instruments et diverses variables observées sur le réseau du DBCP⁴².

En matière de prévision numérique du temps, la variable la plus importante parmi celles observées par des bouées est la pression de surface, dont il importe d'améliorer la couverture. Pour l'assimilation des données, on s'en sert en synergie avec des mesures du vent en surface émanant de satellites équipés de diffusiomètres et d'instruments hyperfréquences. Une bonne couverture mondiale de la température de la mer en surface est importante tant pour la prévision numérique du temps que pour les applications océaniques. Les informations sur les courants océaniques sont précieuses pour l'analyse et la prévision océanographiques. Les données sur les vagues sont très importantes pour les services et les applications maritimes.

Les bouées ancrées produisent des ensembles de données plus riches et plus stables sur le plan géographique que les bouées dérivantes pour des séries chronologiques climatologiques difficiles à recueillir avec des plates-formes mobiles. Toutefois, même pour la surveillance du climat, les bouées dérivantes ont un apport indirect grâce à leur emploi en vue de l'assimilation de données météorologiques et océaniques et de réanalyses.

Les recommandations G30, G31 et G32 formulées pour les stations synoptiques maritimes s'appliquent aussi aux bouées ancrées et dérivantes. La collecte et l'échange mondiaux d'observations de bouées devraient se faire au moins toutes les heures. Il est reconnu que les limites des télécommunications par satellite restreignent le délai de collecte de données pour un nombre significatif de bouées dérivantes.

Étant donné l'importance d'une bonne couverture en données sur la pression atmosphérique et de la capacité technique de mesurer cette pression, la recommandation du Plan de mise en œuvre du SMOC concernant les bouées devrait être bien soutenue. Celle-ci appelle à l'installation de capteurs de pression sur toutes les bouées d'ici 2014. Une autre recommandation du SMOC qui doit être soutenue appelle à l'installation d'instruments de mesure des précipitations sur toutes les bouées du Réseau océanique de bouées ancrées de référence (sous-ensemble de bouées de mesure du Projet interdisciplinaire pour la mise en place d'un système pérenne d'observation eulérienne de l'océan (OceanSITES)⁴³). L'observation des précipitations est particulièrement importante pour l'interprétation des données satellitaires au-dessus des océans. La recommandation du SMOC concernant la mise en œuvre d'une composante de mesure des vagues au sein du réseau de bouées ancrées de référence en surface est importante en raison du nombre limité de sites maritimes de référence produisant des données sur les vagues et du fait du caractère limité de la mesure des vagues à partir de satellites.

Pour résumer, les données émanant de bouées océaniques, utiles pour les prévisions météorologiques et océaniques et pour la surveillance du climat, permettent de compléter ou de valider des données de télédétection et des modèles opérationnels.

Activité G52

Activité: Soutenir le DBCP dans sa mission d'entretien et de coordination de toutes les composantes du réseau mondial de plus de 1 250 bouées dérivantes et de 400 bouées

⁴¹ <http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/monitoring/coverage/dcover/>

⁴² <http://www.jcommops.org/dbcp/>

⁴³ <http://www.oceansites.org/>

ancrées qui permet de mesurer, par exemple, la température de la mer en surface, la vitesse des courants en surface, la température de l'air et la vitesse et la direction du vent.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et services océanographiques nationaux, en collaboration avec la CMOM, organisations internationales, organismes exploitant des bouées océaniques, CSB et CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Quantité de données dont la qualité a été contrôlée qui émanent de bouées ancrées et dérivantes et qui sont disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps).

Activité G53

Activité: Installer des baromètres sur toutes les bouées dérivantes nouvellement déployées.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et services océanographiques nationaux, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des bouées océaniques, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Disponibilité d'observations de la pression en surface émanant de bouées dérivantes.

Activité G54

Activité: Développer le réseau existant de bouées ancrées dans la partie tropicale de l'océan Indien pour obtenir une couverture en données semblable à celle de la partie tropicale de l'Atlantique et du Pacifique.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et services océanographiques nationaux, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des bouées océaniques, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre de bouées ancrées disponibles dans la partie tropicale de l'océan Indien et couverture en données émanant de celles-ci (indicateurs habituels de contrôle).

5.3.6.5. Bouées mouillées dans des zones de glace

Les bouées mouillées dans des zones de glace observent certaines des variables suivantes: température, vent, épaisseur de la glace et température et salinité des couches supérieures des océans. Les déplacements des glaces de mer sont observés à partir de leurs mouvements. Certaines bouées ne mesurent que la température de l'air, la pression en surface et la position (donc les déplacements). Des mesures plus complètes sont effectuées par des bouées de mesure du bilan massique des glaces, qui peuvent observer l'épaisseur de la neige, l'épaisseur de la glace, le profil de température de la glace, les mouvements de la glace et certaines variables météorologiques. En 2012, un minimum d'une cinquantaine de bouées était en service à tout moment dans l'océan Arctique, mais moins de 10 d'entre elles mesuraient l'épaisseur de la glace et de la neige. Comme pour les bouées déployées au large, la pression de surface est une variable très importante pour la prévision numérique du temps, en particulier sur la calotte polaire septentrionale, caractérisée autrement par une lacune dans la couverture en données. L'épaisseur de la glace, l'épaisseur de la neige et la température sont également des variables essentielles à observer dans le contexte du changement climatique et pour de nombreuses applications maritimes.

Activité G55

Activité: Élargir la couverture en données émanant de bouées mouillées dans des zones de glace de la calotte polaire septentrionale grâce à un déploiement régulier de nouvelles bouées dérivantes.

Agents d'exécution: SMN, SMHN et services océanographiques et établissements polaires nationaux, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des bouées océaniques, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Quantité de données émanant de bouées déployées dans des zones de glace disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps).

5.3.6.6. Stations marégraphiques

Ces stations mesurent la hauteur d'eau. Dans certains cas, elles mesurent également d'autres variables telles que la pression en surface, le vent ainsi que la température et la salinité de l'eau. Le Système mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS) a pour principal objectif de superviser et de coordonner les réseaux mondiaux et régionaux de mesure du niveau de la mer à l'appui de la recherche océanographique et climatologique concernant les marées et les applications relatives au niveau moyen de la mer, en temps réel et en différé. La principale composante du Système est le réseau de base du GLOSS, ensemble régulièrement réparti d'environ 300 stations marégraphiques côtières et insulaires qui servent de réseau fédérateur du réseau mondial.

Il convient de compléter et de soutenir le réseau de base de stations marégraphiques du GLOSS pour suivre l'évolution du niveau de la mer à proximité des côtes. Les stations marégraphiques devraient être rattachées autant que possible à des stations GNSS permanentes, soit directement soit au niveau des stations GNSS, pour que puisse être déterminé le déplacement vertical des sols à proximité des stations marégraphiques, donc l'évolution absolue du niveau de la mer. Cela est important dans le contexte du changement climatique pour soutenir la planification de l'adaptation. Dans ce contexte, il faudrait appuyer la recommandation du Plan de mise en œuvre du SMOC concernant le réseau de base du GLOSS.

Ce réseau reste un élément important du programme GLOSS. Les stations situées à des intervalles d'un millier de kilomètres le long de la marge continentale et sur tous les grands groupes d'îles ont une couverture mondiale suffisante pour toute une gamme d'applications océanographiques. En général, un réseau plus dense de stations est nécessaire pour les applications régionales et locales. Lorsqu'on renouvelle ou qu'on améliore les instruments, on devrait envisager autant que possible un usage multiple des stations mesurant le niveau de la mer (par ex. en vue d'une surveillance des tsunamis, des ondes de tempête et des vagues).

Activité G56

Activité: Veiller à la disponibilité sur le plan mondial de données *in situ* sur le niveau de la mer (marégraphes, tsunamètres).

Agents d'exécution: SMN, SMHN et partenaires nationaux, en collaboration avec des organisations internationales et des agences spatiales, sous la conduite de la CMOM, de la CSB et de la CIMO.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Quantité de données émanant de marégraphes disponibles sur le plan mondial.

5.3.7 Systèmes d'observation océanique sous la surface de la mer

5.3.7.1 Flotteurs profilants

Sous la surface des océans, les flotteurs profilants mesurent certaines variables: température, salinité, oxygène dissous, acidité de l'eau et pCO₂. Les flotteurs profilants Argo⁴⁴ assurent une couverture mondiale des profils de température et de salinité jusqu'à une profondeur de 2 000 m. Des flotteurs «Deep-Argo», en cours de mise au point, pourront descendre jusqu'à 3 000 m environ. Les données, assimilées dans des modèles océaniques, servent à des prévisions saisonnières à interannuelles, à la surveillance sous la surface des océans et à d'autres applications maritimes. Le réseau d'observation devrait avoir une résolution plus élevée dans certaines zones océaniques actives. Certaines des données émanant de flotteurs profilants sont transmises avec des délais inacceptables pour les applications en temps réel. Bien qu'ils soient conçus pour produire de longs relevés, la plupart des programmes nationaux contribuant au programme Argo sont financés actuellement à des fins de recherche. Il serait donc intéressant qu'ils passent à un mode opérationnel.

Il faudrait soutenir résolument les activités importantes du Plan de mise en œuvre du SMOC concernant les flotteurs profilants: i) obtention du nombre de flotteurs nécessaire pour améliorer et soutenir un réseau adéquat; ii) lancement d'un projet pilote pour installer des capteurs d'oxygène sur certains flotteurs. Ces activités ont pour principal objet de mesurer soigneusement la quantité d'oxygène dissous dans les océans par rapport à l'évolution du climat et à son incidence sur la biochimie des océans et les espèces maritimes.

Activité G57

Activité: Faire passer le réseau de flotteurs profilants Argo du mode recherche au mode exploitation à des fins de prévision océanique et météorologique et veiller à la production et à la diffusion en temps voulu de données sur la température et la salinité sous la surface des océans ayant une haute résolution verticale.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, services océanographiques nationaux, en collaboration avec le programme Argo, la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des flotteurs profilants, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CMOM et de la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Quantité de données émanant de profileurs profilants disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle).

5.3.7.2 Plates-formes captives en zone de glace

Les plates-formes captives en zone de glace se déplacent lentement, à la vitesse de la glace des océans, tout en observant la température, la salinité et les courants sous-jacents. Comme on ne dispose pas d'autres techniques pour mesurer les océans polaires gelés en surface, ces plates-formes ont un rôle important à jouer pour la couverture mondiale en données océaniques.

Dans le contexte des projets de recherche consacrés à l'océan Arctique, des capteurs de pCO₂ (acidité des océans) et de CH₄ sont également utilisés sur des plates-formes captives en zone de glace⁴⁵.

⁴⁴ <http://www.argo.net>

⁴⁵ http://www.whoi.edu/science/PO/arcticgroup/projects/ipworkshop_report.html

5.3.7.3 Navires occasionnels

Dotés de bathythermographes non récupérables (XBT), les navires occasionnels peuvent fournir des profils de la température océanique avec une bonne résolution verticale (environ 1 m) jusqu'à 1 000 m. Ils sont utilisés pour diverses applications tout comme les flotteurs profilants (voir 5.3.7.1), et il existe également de bonnes possibilités d'améliorer la rapidité de transmission des données en temps réel.

Activité G58

Activité: Pour les besoins de la prévision océanique et météorologique, accélérer la transmission de l'information et distribuer les données à résolution verticale élevée sur la température de l'eau sous la surface à partir de navires/XBT.

Agents d'exécution: SMN, SMHN, institutions océanographiques nationales, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales et des entreprises exploitant des navires occasionnels, la CSB et la CIMO. La CMOM est responsable de l'activité, en collaboration avec la CSB.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Volume de données XBT en temps réel (indicateurs de suivi habituels).

L'activité du Plan de mise en œuvre du Système mondial d'observation du climat visant à améliorer et à maintenir le réseau actuel et la couverture offerte par les navires occasionnels devrait être appuyée.

5.3.8 Instruments exploratoires – Recherche-développement et exploitation

La recherche se poursuit en vue de perfectionner l'observation de la couche limite de l'atmosphère, et ces efforts devraient être nécessaires pour plusieurs années encore. Dans le domaine de l'observation, on a surtout besoin de profils du vent, de la température et de l'humidité. Les efforts doivent aussi se concentrer sur les aérosols, certaines espèces chimiques et les propriétés des nuages. En fait, le manque de profils verticaux détaillés dans la couche limite (en particulier les profils du vent) constitue l'une des grandes faiblesses du SMO actuel. Il s'agit même probablement de la plus grande lacune que l'on peut observer lorsque l'on compare l'étude continue des besoins avec les installations d'observation existantes (voir par exemple la déclaration d'orientation pour la PNT mondiale). Pour ce qui est de la température, de la vapeur d'eau et d'autres gaz atmosphériques, les sondeurs à bord de satellite sont incapables d'observer les profils de la couche limite car la résolution verticale est inadéquate et souvent aussi (dans le cas des sondeurs dans l'infrarouge) en raison de la présence de nuages. (Voir, par exemple, les besoins des utilisateurs et la déclaration d'orientation concernant la PNT haute résolution, la prévision immédiate et l'aviation). Le seul système d'observation courante au sol capable actuellement de mesurer le profil de la couche limite est le réseau de radiosondage, lequel est toutefois très limité sur le plan de la couverture en données et de la fréquence d'observation (aux 12 heures la plupart du temps). Les profileurs de vent et les stations de profilage au sol intégrant les mesures du vent, de la température et de l'humidité constituent le plus grand espoir dans le domaine de l'observation haute fréquence de la couche limite, au moins à l'échelle locale et peut-être également à l'échelle régionale; il faut toutefois poursuivre les recherches avant de mettre en place des réseaux d'exploitation. L'évolution des techniques de profilage repose par ailleurs sur l'existence d'un nombre réduit de stations d'observation de référence, tel que suggéré par le SMOC avec le Réseau aérologique de référence du SMOC (GRUAN). De longues périodes de comparaison entre les stations de référence et les nouveaux types de profileurs sont parfois nécessaires pour étalonner correctement les instruments (voir 5.3.1.2). Les centres d'expérimentation et les centres directeurs de la CIMO contribueront à améliorer la performance des profileurs en ce qui a trait à la couche limite atmosphérique (voir <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/Testbeds-and-LC.html>).

Il y a au moins deux autres domaines où les observations sont insuffisantes selon l'étude continue des besoins et où des avancées technologiques sont nécessaires pour parvenir à des progrès déterminants:

- Dans l'atmosphère, observation améliorée des nuages (avec leur grande diversité de particules d'eau et de glace – en particulier pour l'aviation), des aérosols et des espèces chimiques. Il importe de poursuivre l'observation manuelle des nuages à des stations représentatives. Les observations manuelles doivent être maintenues au moins jusqu'à ce que la technologie ait suffisamment progressé pour permettre leur remplacement par les mesures automatisées.
- Sous la surface de l'océan, où il est difficile de procéder à des observations, les planeurs sous-marins et les animaux marins équipés d'instruments constituent deux options en cours de développement (voir 5.3.8.5 et 5.3.8.6 plus loin). La recommandation du SMOC concernant la promotion de nouvelles technologies améliorées, à l'appui du GOOS pour les applications climatologiques, serait la plus importante à appliquer.

Une autre tendance générale touchant les observations météorologiques et environnementales est l'évolution vers des systèmes de plus en plus automatisés et informatisés. Cela conduit à la production d'un volume plus élevé de données brutes à une fréquence accrue. Le prétraitement des observations tend également à devenir entièrement automatisé. On a ainsi besoin d'une plus grande intégration entre l'observation et le traitement des données. Afin de satisfaire les besoins de différents types d'utilisateurs, le prétraitement des observations deviendra de plus en plus complexe et souple, comme dans le cas des données satellitales, afin de produire deux ou trois niveaux de données pour différents utilisateurs. Les niveaux varieront selon la quantité de prétraitement appliqué et le volume de données.

L'accélération de l'automatisation est un facteur qui contribue à la tendance à recourir à des systèmes d'observation occasionnelle. En météorologie, le meilleur exemple de ce concept (qui est apparu dans les années 1990 et la première décennie du présent siècle) est de faire traverser des signaux GNSS dans l'atmosphère afin d'extraire de l'information météorologique. Si l'on mène de la recherche sur les nouvelles perspectives, on peut s'attendre à la mise au point d'autres systèmes d'observation en surface fondés sur des technologies et des capacités conçues surtout pour des besoins non météorologiques. Fondamentalement, de nombreux signaux de télécommunication circulant dans l'atmosphère peuvent nous donner des renseignements indirects sur l'état de l'atmosphère. Cela a déjà été démontré dans le cas de l'estimation de l'intensité des précipitations en mesurant l'atténuation des signaux GSM pour la téléphonie mobile (voir Messer (2007)). Les éoliennes employées pour produire de l'électricité offrent une autre possibilité d'obtenir des données sur les vents. La production d'électricité dépend évidemment du vent, et cette dépendance peut être exploitée de manière à dériver de l'information concernant le vent. De plus, un groupe d'éoliennes permet de disposer d'un mât de 100 m sur lequel il est possible de placer des capteurs météorologiques à différentes hauteurs, en vue d'obtenir des profils à haute résolution verticale du premier 100 m de la couche limite de l'atmosphère. Une telle entreprise nécessite la collaboration entre les exploitants d'éoliennes et les experts des SMN et SMHN en matière d'instruments.

Une troisième tendance pour la période 2010-2025, qui touche de nombreuses disciplines, consiste à vouloir recueillir, transmettre et utiliser de plus en plus de données sous forme d'images. On échange déjà de l'information sur les phénomènes météorologiques intenses, les nuages, les quantités et types de précipitations au sol (pluie, neige, grêle), la visibilité, l'état de la mer, etc. sur le réseau Internet par le biais d'images numériques ou de vidéos. Ces dernières peuvent potentiellement fournir la même information que l'information qualitative figurant dans les

messages SYNOP⁴⁶ (avec plus de détails). Des efforts considérables en matière de recherche-développement doivent encore être déployés si l'on veut exploiter objectivement ce type de renseignement qui n'est généralement pas présenté dans un format standard et qui est difficile à quantifier en variables environnementales. Cela requiert de disposer de capacités manuelles à un nombre suffisant de stations, à la fois comme référence de base pour les stations représentatives et aux fins d'étalonnage.

Les technologies récapitulées ci-après correspondent à des systèmes d'observation qui en sont encore au stade de la recherche-développement et qui pourraient faire partie intégrante de systèmes mondiaux d'observation d'ici 2025. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive.

5.3.8.1 Aéronefs téléguidés

Les aéronefs téléguidés ont été employés lors de plusieurs campagnes d'observation météorologique en vue d'obtenir des informations détaillées sur la température, l'humidité et les vents dans la basse troposphère, au-dessus de zones géographiques restreintes. Voir Mayer *et al.* (2010). Ils sont davantage conçus pour voler dans le plan vertical que les aéronefs normaux, ce qui leur permet de fournir des profils verticaux de variables météorologiques. Comme la couche limite de l'atmosphère constitue une lacune importante sur le plan des profils météorologiques, les aéronefs téléguidés peuvent combler ce besoin à l'échelle locale, mais il n'est pas aisé de les utiliser de manière courante.

Les aéronefs téléguidés pourraient devenir un élément adaptatif d'un système d'observation composite d'ici 2025. Il convient de poursuivre la recherche à la fois sur les aspects technologiques et sur la mise au point de moyens rentables de les exploiter sur une base régulière. Les aéronefs téléguidés fournissent aussi une excellente occasion d'intégrer les mesures de la chimie de l'atmosphère et les mesures météorologiques standard sur une même plate-forme. Il faudra par ailleurs accorder une attention particulière aux règlements aéronautiques avant de passer à un mode d'exploitation courante.

5.3.8.2 Nacelles

La technique «driftsonde» consiste à lancer un ballon à niveau constant à destination de la stratosphère, lequel dispose de plusieurs radiosondes à bord d'une nacelle pouvant être parachutées sur demande et fournir des profils verticaux de la température, de l'humidité et du vent (comme les radiosondes normales ou parachutées d'un aéronef). Cette technique a été employée lors de plusieurs campagnes météorologiques, notamment la campagne AMMA (Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine) (voir la note de bas de page se rapportant à AMMA dans la section 4) et l'expérience THORPEX/Concordiasi⁴⁷ en Antarctique: voir Rabier *et al.* (2010).

Les nacelles semblent très bien adaptées aux campagnes météorologiques de courte durée (quelques semaines), mais moins convenir à un usage régulier en tant que composante clé d'un système d'observation composite (également en raison des règlements aéronautiques, comme les aéronefs téléguidés). Il n'est pas possible à l'heure actuelle de recommander un plan de mise en œuvre opérationnelle de ce système.

5.3.8.3 Stations du réseau GRUAN

Le réseau GRUAN n'est ni une nouvelle technologie, ni un nouveau système d'observation. Il s'agit d'un concept lancé par le SMOC (voir la section 5.3.1.1.2 du présent rapport) qui consiste à

⁴⁶ FM-12 SYNOP, code employé sur le SMT – Message d'observation provenant d'une station terrestre fixe.

⁴⁷ Concordiasi est un projet international mené dans le cadre du programme THORPEX-API visant à procurer des données de validation en vue d'améliorer l'utilisation des données provenant de satellites à défilement au-dessus de l'Antarctique.

maintenir en service un nombre réduit de sites d'observation (jusqu'à 40) exploitant des radiosondes de qualité dans la moyenne stratosphère (hauteur maximale d'environ 30 ou 40 km). Outre leur fonction au niveau de la surveillance du climat et à titre d'éléments de référence pour les stations GUAN, ces sites d'observation devraient faire office de «petits laboratoires d'observation» permettant de mesurer et comparer les profils verticaux de l'atmosphère par le biais de différentes techniques (radars profileurs, lidars, sondeurs de surface, etc.). Ces profils atmosphériques devraient être les plus complets possible et intégrer un grand nombre de variables (en comparaison avec les radiosondes ordinaires), y compris les mesures des nuages, des aérosols et des concentrations d'espèces chimiques. Mettre en œuvre des sites GRUAN est un moyen simple et pratique de stimuler la recherche sur les nouvelles technologies d'observation.

5.3.8.4 Mesures de l'atmosphère depuis des aéronefs

La mesure automatique des vents et des températures à partir d'aéronefs est une méthode d'observation météorologique courante depuis plus de deux décennies. La mesure de l'humidité depuis des stations d'aéronefs a commencé aux environs de 2010 (voir la section 5.3.1.3).

On a amorcé les mesures de la chimie de l'atmosphère il y a deux décennies, mais celles-ci se limitent à un nombre réduit d'aéronefs et ne sont pas intégrées aux autres mesures météorologiques: voir par exemple la documentation concernant le projet IAGOS (aéronefs en service pour le système mondial d'observation). Différents programmes de surveillance de la chimie de l'atmosphère ont été mis au point (p.ex. CARIBIC, CONTRAIL). On mesure depuis certains aéronefs la composition de l'atmosphère (espèces de gaz, aérosols, y compris cendres volcaniques), mais davantage aux fins de la recherche qu'en mode d'exploitation. Il sera important à l'avenir de viser à mettre en place un système d'exploitation plus intégré capable de mesurer toutes ces variables sur un certain nombre d'aéronefs, de les traiter de manière cohérente et de les mettre à disposition en temps quasi réel dans la mesure du possible, en particulier pour les modèles où la chimie est simulée, la météorologie aéronautique et la PNT mondiale et haute résolution.

Activité G59

Activité: Dans la mesure du possible et selon qu'il convient, intégrer les mesures automatiques de la composition de l'atmosphère à partir d'aéronefs aux mesures du vent, de la température et de l'humidité, assorties du traitement et de la diffusion voulus, selon les normes de la VAG et autres normes pertinentes.

Agents d'exécution: Organisations qui effectuent des mesures atmosphériques depuis des plates-formes d'aéronefs, SMN, SMHN en collaboration avec des compagnies d'aviation commerciale et autres, commissions techniques de l'OMM (CSB, CIMO, CSA) et groupe d'experts AMDAR. La CSB, la CSA et le groupe d'experts AMDAR sont responsables de l'activité.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultat: Nombre d'aéronefs engagés dans la réalisation d'observations météorologiques et de mesures de la composition de l'atmosphère en temps réel.

5.3.8.5 Animaux marins équipés d'instruments

Les animaux marins peuvent aider les océanographes à effectuer des observations, c'est-à-dire que l'ensemble des capteurs fixés à un animal qui circule dans la mer peut servir d'abord à l'observation de l'animal lui-même puis de son environnement. Boehlert *et al* (2001) ont déclaré que: «les systèmes d'échantillonnage autonomes biologiques offrent d'immenses possibilités de recueillir des données océanographiques avec un bon rapport coût-efficacité». Dix années plus tard, aux environs de 2010, seuls des progrès modestes avaient été réalisés au niveau de cette technique, caractérisée pour le moment par son manque de continuité temporelle et une faible couverture en données (limitée à certaines zones côtières). On devrait poursuivre les efforts,

notamment en vue d'améliorer l'échange des données avec tous les utilisateurs de mesures océanographiques, pour accélérer et uniformiser cette application.

5.3.8.6 Planeurs sous-marins

Le rôle joué par les aéronefs téléguidés dans l'atmosphère est semblable à celui des planeurs sous-marins dans l'océan. Ce type d'observation a déjà été effectué lors de campagnes océanographiques: voir Rudnick *et al* (2004) et Davis *et al* (2002). Elle offre les mêmes capacités et la même souplesse pour cibler une zone spécifique de l'océan et l'observer en trois dimensions. Les planeurs d'observation des vagues et les planeurs sous-marins ont été employés au cours de plusieurs expériences de terrain. On pourrait avoir recours de manière courante aux planeurs d'observation des vagues dans certaines parties du monde d'ici 2015.

La recherche-développement devrait se centrer sur au moins deux axes: nouveaux instruments capables d'observer un plus grand nombre de variables océanographiques; et normalisation de l'échange des données.

6. SYSTÈME D'OBSERVATION À PARTIR DE L'ESPACE

6.1. Introduction

Depuis plusieurs décennies, deux types de satellites sont utilisés en météorologie: les satellites géostationnaires (GEO) et les satellites en orbite basse (LEO). Les satellites GEO sont déployés le long de l'équateur, selon des longitudes choisies en vue d'optimiser la couverture en données. Le principal avantage qu'ils présentent est la fréquence élevée des observations: aux 15 ou 30 minutes. Leur gros inconvénient est qu'ils ne peuvent observer les calottes polaires (au delà d'environ 60 degrés de latitude). Les satellites LEO sont généralement déployés sur une orbite héliosynchrone polaire, mais d'autres orbites sont également utilisées pour des applications spécifiques. Les orbites héliosynchrones sont surtout intéressantes pour la couverture mondiale qu'elles procurent en 12 heures, avec de nombreux instruments de balayage. La couverture en données est assez bonne près des pôles, où de nouvelles observations peuvent être produites à chaque orbite (c'est-à-dire toutes les 100 minutes). Leur point faible est la fréquence d'observation dans les régions de basse latitude: généralement aux 12 heures pour une plate-forme donnée. Il est également plus difficile d'organiser une collecte de données rapide et continue par les composantes au sol comparativement avec les satellites géostationnaires.

Certaines séries de satellites sont exploitées depuis plusieurs décennies, notamment les satellites GOES américains (satellites géostationnaires d'exploitation pour l'étude de l'environnement), les satellites géostationnaires européens METEOSAT et la série NOAA⁴⁸ de satellites américains à défilement. Les principaux instruments montés à bord de ces satellites d'exploitation sont les imageurs (dans le visible et l'infrarouge) et les sondeurs atmosphériques (dans l'infrarouge ou à hyperfréquence). Les satellites de recherche ont contribué de manière notable à compléter les activités des satellites d'exploitation, et ils continueront de le faire à l'avenir, même s'ils ne peuvent garantir la continuité des observations. Certaines plates-formes utilisent différents instruments servant diverses applications, et la tendance à établir des plates-formes multi-utilisateurs devrait se poursuivre. Certains besoins des utilisateurs seront satisfaits par le biais de constellations de satellites (p.ex. la constellation COSMIC⁴⁹ pour les sondages par radio-occultation). Les volumes de données générées et le nombre d'instruments utilisés couramment pour de nombreuses applications ont augmenté de manière considérable au cours des vingt dernières années. De nos jours, de nombreux systèmes d'observation par satellite (y compris les satellites de recherche) contribuent de manière sensible à la surveillance opérationnelle du temps et du climat. La

⁴⁸ Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (États-Unis d'Amérique).

⁴⁹ Système d'observation par une constellation de satellites pour l'étude du temps, du climat et de l'ionosphère.

continuité des données, indispensable à la surveillance du climat et aux applications opérationnelles, est menacée par l'arrêt potentiel de missions satellitaires avant le lancement des plates-formes suivantes. Les agences spatiales sont encouragées à prolonger la durée de vie des instruments à bord des satellites.

Pour obtenir une description détaillée des satellites et instruments utilisés actuellement dans les systèmes mondiaux d'observation (ou susceptibles d'être utilisés au cours de la période 2012-2025), on peut consulter la base de données sur les capacités d'observation par satellite contenue sur le site Web de l'OMM⁵⁰. Ce jeu de données contient une analyse des lacunes, c'est-à-dire des points faibles les plus gênants ayant conduit à l'élaboration de recommandations concernant la mise au point et l'amélioration des systèmes d'observation par satellite. Pour les 15 prochaines années, on peut s'attendre au renforcement des capacités d'observation à partir de l'espace, à l'augmentation du nombre d'agences spatiales contribuant aux programmes de l'OMM et au resserrement de la collaboration entre eux. Il devrait également y avoir la tendance à lancer de plus en plus de satellites servant plusieurs applications.

La section suivante (6.2) traite de questions générales portant sur la composante spatiale des systèmes mondiaux d'observation, assorties de recommandations relatives aux activités de mise en œuvre au cours de la période 2012-2025. Quant à la section 6.3, elle décrit les activités recommandées pour les différents systèmes d'observation classés dans les composantes suivantes (figurant dans la Perspective d'avenir 2025):

- Satellites d'exploitation géostationnaires (sous-section 6.3.1);
- Satellites d'exploitation héliosynchrones à défilement (6.3.2);
- Missions d'exploitation additionnelles aux orbites voulues, avec divers instruments (6.3.3), qui complètent les deux composantes précédentes, l'ensemble constituant l'élément central des systèmes d'observation à partir de l'espace;
- Missions de satellite de recherche-développement, instruments exploratoires d'exploitation et prototypes (6.3.4), dont le rôle au sein des systèmes d'observation composites en 2025 est incertain, mais qui devraient avoir contribué d'ici là.

Soulignons que les observations relatives à la météorologie de l'espace sont traitées séparément dans la section 7.

6.2. Questions générales: étalonnage et échange de données, élaboration de produits, archivage de données, enseignement et formation

On notera une tendance à augmenter la résolution spatiale, temporelle et spectrale de l'ensemble des systèmes d'observation par satellite, ce qui améliorera la qualité de l'information disponible, surtout pour prévoir et suivre les phénomènes de petite échelle qui évoluent rapidement, tout en exigeant de plus grandes capacités pour l'échange et le traitement des données. La résolution spatiale, temporelle et spectrale des données satellitaires utilisées pour la prévision d'exploitation est généralement moins élevée que celle des instruments, en raison des contraintes associées aux ressources informatiques et aux méthodes d'assimilation de l'information. D'ici 2025, la résolution des données satellitaires actuellement assimilées dans les modèles météorologiques et océaniques devrait s'affiner plus rapidement que la résolution offerte par les instruments, grâce au perfectionnement des techniques d'assimilation.

6.2.1. Disponibilité et rapidité de transmission des données

Le renforcement des capacités des instruments et l'amélioration de l'utilisation de l'information satellitaire ne seront utiles que s'ils s'accompagnent de mesures visant à accroître la disponibilité de l'information et à accélérer la communication des données aux différents utilisateurs pour les

⁵⁰ <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/RRR-DB.html>: cette page Web de l'OMM affiche une base de données détaillée sur les satellites passés, actuels et futurs avec leurs instruments.

différentes applications, de l'assimilation mondiale au sein de modèles météorologiques ou océaniques à l'utilisation locale dans la prévision immédiate. Cela est plus critique pour les satellites LEO que pour les satellites GEO. Dans le cas des satellites LEO, les capacités de lecture directe devraient être assurées dans la mesure du possible. En combinaison avec la lecture directe, la mise en place des systèmes RARS (Service régional de retransmission des données ATOVS⁵¹) a permis d'accélérer la transmission des données. Ce type de retransmission rapide (luminance énergétique mesurée par des sondeurs à bord de satellites à défilement) a considérablement bien servi la prévision numérique du temps (PNT) dans les dernières années, et aidera de plus en plus les systèmes de prévision régionaux et locaux à l'avenir. Appliquer ces concepts à d'autres données, par exemple les images, serait bénéfique pour de nombreux champs d'application. En ce qui a trait aux satellites GEO, il est plus facile de transmettre les données dans la zone géographique correspondant au disque terrestre observé directement par chaque satellite. Le principal problème consiste à traiter rapidement les données et à les échanger dans les meilleurs délais possibles à l'échelle mondiale (comme les vecteurs de mouvement atmosphérique (AMV)), données dont la PNT a besoin au moins à la fréquence horaire. Les exigences en matière de délai de communication des données varient selon les applications.

Il faudrait assurer, selon qu'il convient, la mise à disposition de techniques conviviales de diffusion des données (Internet, diffusion vidéo numérique). Toutes ces techniques contribuent au Système d'information de l'OMM (SIO) et devront aussi servir à transmettre des produits et ressources didactiques.

6.2.2. Information et formation des utilisateurs et archivage de données

Il faudra prendre les dispositions nécessaires pour permettre l'exploitation utile des capacités offertes par la composante spatiale du SMO, et préparer les utilisateurs aux nouvelles ressources satellitaires bien avant le déploiement des systèmes. Cela comprend des directives concernant l'infrastructure de réception, traitement et analyse des données, y compris les logiciels.

Les utilisateurs qui comptent sur les jeux de données et produits satellitaires nécessitent une quantité suffisante d'information sur leur qualité (p.ex. exactitude), les algorithmes employés et leur utilité. Les exploitants de satellites devraient entièrement décrire toutes les étapes suivies pour préparer les produits satellitaires, notamment les algorithmes et les jeux de données, ainsi que les caractéristiques et les résultats des activités de validation. Tout le processus devra respecter la procédure du cadre de référence pour la gestion de la qualité (voir la section 2.1). Les métadonnées devront être conformes au profil de base de l'OMM et aux formats reconnus à l'échelle internationale et par l'OMM (voir les directives de l'OMM concernant l'utilisation des métadonnées pour le SIO, 2010⁵²).

Pour la surveillance du climat et les études d'autres phénomènes à longue échéance, on a besoin de séries chronologiques étendues de données satellitaires (p.ex. données climatologiques fondamentales). Il est nécessaire d'archiver les données à long terme en suivant une méthode scientifique si l'on veut obtenir une information homogène, laquelle méthode devrait comporter un retraitement régulier (en gros tous les cinq ans). Il faudrait mettre en place des arrangements conviviaux pour l'accès aux archives de données.

Dans le cadre du renforcement continu des capacités des Membres, les activités de préparation devraient obligatoirement comprendre l'éducation et la formation des utilisateurs, par exemple par le biais du Laboratoire virtuel pour l'enseignement et la formation dans le domaine de la météorologie satellitaire (VLab) et de ses centres d'excellence. Il faudra évaluer régulièrement à l'échelle mondiale et régionale, selon qu'il convient, les besoins des utilisateurs en matière de

⁵¹ Sondeur vertical opérationnel perfectionné de TIROS

⁵² http://wis.wmo.int/2010/metadata/version_1-2/WMO%20Core%20Metadata%20Profile%20v1-2%20Guidance%20Documentation%20v0.1%20%28DRAFT%29.pdf

données, produits, infrastructure et formation, dans le but de suivre l'efficacité des activités proposées.

Activité S1

Activité: Permettre aux Membres, selon qu'il convient, de mettre pleinement à profit l'évolution des capacités d'observation par satellite grâce à des lignes directrices concernant les systèmes de réception et de diffusion de données, y compris les améliorations à apporter à l'infrastructure.

Agents d'exécution: CSB responsable de l'activité, en consultation avec le CGMS et des exploitants de satellites.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Degré de réponse positive à l'enquête sur les besoins des utilisateurs de services des Membres.

Activité S2

Activité: Les exploitants de satellites fournissent une description complète de toutes les étapes nécessaires à la préparation de produits satellitaires, notamment les algorithmes et jeux de données utilisés, ainsi que les caractéristiques et résultats des activités de validation.

Agents d'exécution: Exploitants de satellites appartenant au CGMS et au CSOT.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de produits entièrement documentés, en conformité avec la procédure du cadre de référence pour la gestion de la qualité.

Activité S3

Activité: Les exploitants de satellites garantissent la préservation et l'archivage scientifique des données à long terme, assortis d'un retraitement régulier (en gros tous les cinq ans).

Agents d'exécution: Exploitants de satellites, en coordination avec le SMOC.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Mise en place d'archives de données satellitaires à long terme, assorties d'un retraitement régulier.

Activité S4

Activité: Les Membres sont en mesure de mettre à profit l'évolution des capacités d'observation par satellite grâce à des activités adéquates d'enseignement et de formation orientées vers les applications (y compris le télé-enseignement).

Agents d'exécution: CGMS par le biais de son Laboratoire virtuel (VLab), y compris les centres d'excellence, et les partenaires.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Degré de réponse positive à l'enquête sur les besoins des Membres en matière de formation.

Activité S5

Activité: Les Régions déterminent et mettent à jour leurs besoins en matière de jeux de données et produits satellitaires.

Agents d'exécution: Conseils régionaux et exploitants de satellites par le biais de leurs équipes spéciales régionales et des centres d'excellence du VLab.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Établissement d'une liste complète et actualisée de besoins régionaux.

6.2.3. Questions relatives à l'étalonnage

Étant donné que presque tous les instruments montés à bord des satellites requièrent d'autres instruments ou mesures pour affiner leur étalonnage, le rôle joué par le Système mondial

d'interétalonnage des instruments satellitaires (GSICS) devient de plus en plus déterminant avec l'augmentation du nombre de systèmes d'observation et de leur diversité. Il est par ailleurs essentiel d'intégrer des observations *in situ* dans le processus d'étalonnage, de réglage et de validation. Ces activités seront menées par les agences spatiales, les laboratoires nationaux et les grands centres de PNT, avec le concours de l'OMM, du CGMS et du CSOT. Elles couvrent:

- Les sites de référence terrestres (comme les sites au sol spécialement équipés et les campagnes de terrain spécialisées) chargés de surveiller la performance des instruments satellitaires;
- Les sources d'étalonnage extraterrestres (Soleil, Lune, étoiles), qui constituent des cibles d'étalonnage stables pour le suivi du processus;
- Les simulations par modèle, qui permettent la comparaison standard «valeurs observées par rapport aux valeurs de modèle»;
- Les mesures repères de la plus haute précision effectuées par des instruments satellitaires et terrestres spéciaux.

Il devrait y avoir des bandes spectrales communes sur les capteurs placés à bord de satellites géostationnaires (GEO) et de satellites sur orbite basse (LEO) afin de faciliter les comparaisons et les ajustements d'étalonnage; les capteurs GEO répartis autour du globe devraient être régulièrement étalonnés au moyen d'un capteur LEO, tandis que les séries de capteurs LEO sur une orbite donnée devraient être régulièrement étalonnées à l'aide d'un capteur GEO.

Activité S6

Activité: Maintenir et mettre au point en mode d'exploitation les comparaisons et les interétalonnages du GSICS entre les capteurs GEO et les capteurs LEO.

Agent d'exécution: GSICS.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'instruments étalonnés conformément aux normes du GSICS.

Les instruments devraient être étalonnés de manière régulière par rapport à des instruments de référence ou des cibles d'étalonnage, en ayant recours à des méthodes communes. Au moins deux instruments dans l'infrarouge et deux instruments de qualité dans le visible, et si possible des instruments hyperfréquence et dans l'ultraviolet devraient être maintenus sur orbite basse en vue de fournir des mesures de référence pour l'étalonnage des instruments d'exploitation sur orbite géostationnaire ou orbite basse.

Pour la plupart des applications, en particulier pour la surveillance du climat, la continuité temporelle des principaux capteurs de satellite doit être planifiée et organisée à l'échelon international. Afin de garantir la continuité et la cohérence des relevés de données, il convient de viser: i) la continuité des observations; ii) et le recouvrement des principaux capteurs de référence nécessaires pour assurer la traçabilité, selon les principes du SMOC pour la surveillance du climat (GCMP)⁵³.

Activité S7

Activité: Assurer la continuité et le recouvrement des principaux capteurs satellitaires, en tenant compte du traitement en temps réel et en différé pour la cohérence des archives climatologiques, les réanalyses, la recherche, le réétalonnage ou les études de cas.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données satellitaires.

⁵³ Voir: http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/aopcXVI/8.9_RecognitionDatasets.pdf

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Continuité et cohérence des relevés de données.

6.3. Questions propres à chaque composante du système d'observation

6.3.1. Satellites d'exploitation géostationnaires

Pour les satellites météorologiques géostationnaires, l'un des éléments déterminants est de les répartir à peu près uniformément le long de l'équateur, afin qu'il n'y ait pas de discontinuité dans leurs disques d'observation respectifs des régions tropicales et de latitude moyenne et d'assurer ainsi une couverture en données mondiale fréquente (15-30 minutes) et continue, à l'exception des calottes polaires (à peu près au delà de 60° de latitude). Afin de satisfaire les divers besoins (actuels et futurs), il faut disposer d'au moins six satellites d'exploitation géostationnaires, séparés idéalement de 70 degrés de longitude maximum le long de l'équateur. Dans les dernières décennies, on s'est surtout concentré sur la continuité de la couverture de l'océan Indien. À l'heure actuelle, la séparation le long de l'équateur entre GOES-W et MTSAT (80-85°) est supérieure à celle recommandée.

Activité S8

Activité: Assurer et maintenir le déploiement d'au moins six satellites d'exploitation géostationnaires le long de l'équateur, séparés idéalement de 70 degrés de longitude maximum. Améliorer la couverture spatiale et temporelle au moyen de satellites GEO au-dessus du Pacifique.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données satellitaires.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Qualité de la couverture mondiale assurée par les différents instruments installés à bord de satellites d'exploitation géostationnaires.

6.3.1.1. Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible et l'infrarouge

Tous les satellites géostationnaires sont actuellement dotés d'imageurs dans le visible et l'infrarouge. Le nombre de canaux et la résolution des images varient d'un satellite à l'autre. Les imageurs GEO servent plusieurs applications, surtout la prévision immédiate et la prévision à très courte échéance. Ils sont très utiles pour la détection des phénomènes météorologiques dangereux et la surveillance de leur évolution et de leurs déplacements rapides. Ils permettent d'observer les nuages (nébulosité et genre des nuages, température au sommet). En suivant les nuages et les caractéristiques de la vapeur d'eau sur des séries temporelles d'images, on peut dériver des observations du vent: vecteurs de mouvement atmosphérique. La température de surface est dérivée au-dessus de la mer et des terres émergées, ainsi que les indices de stabilité atmosphérique. On se sert également des images GEO pour détecter les précipitations, les aérosols, la couverture de neige, la couverture végétale, y compris l'indice de surface foliaire (LAI) et la fraction de rayonnement photosynthétiquement actif absorbé (FAPAR), les incendies et les cendres volcaniques.

D'ici 2025, la résolution spatio-temporelle devrait être améliorée pour la plupart des imageurs de satellite GEO, et il importe de perfectionner en conséquence le recueil et l'échange de données.

Activité S9

Activité: À bord de chaque satellite d'exploitation géostationnaire, installer et maintenir au moins un imageur dans le visible/infrarouge, avec 16 canaux minimum couvrant le disque complet et une résolution temporelle minimale de 15 minutes et une résolution horizontale minimale de 2 km (au point sous-satellite).

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques et des agences spatiales.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de satellites géostationnaires dotés d'imageurs haute résolution.

Activité S10

Activité: Pour chaque satellite géostationnaire, établir une stratégie de balayage et organiser le traitement des images (avec d'autres instruments ou sources d'information), afin de produire des vecteurs de mouvement atmosphérique à une fréquence d'au moins une heure.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de satellites géostationnaires qui produisent des vecteurs de mouvement atmosphérique.

6.3.1.2. Sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge

On utilise depuis longtemps des sondeurs dans l'infrarouge à bord de satellites LEO. Des sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge sont maintenant employés de manière opérationnelle sur certains satellites LEO (p. ex. IASI sur le satellite Metop), mais non sur des satellites GEO. On a évalué le potentiel des sondeurs hyperspectraux avec ces satellites pour la mission GIFTS, envisagée par les États-Unis d'Amérique.

Plusieurs exploitants de satellites géostationnaires sont vivement intéressés à avoir recours à des sondeurs de ce type avec la prochaine série de satellites. Les plans détaillés des différentes séries de satellites GEO figurent dans la base de données OMM sur les besoins des utilisateurs en matière d'observation et les capacités des systèmes d'observation (voir la note de bas de page dans la section 6.1 du présent rapport).

Ces sondeurs privilégient une résolution horizontale élevée (meilleure que 10 km) et une résolution verticale élevée (environ 1 km). L'objectif principal visé est de fournir des données fréquentes sur la structure tridimensionnelle de la température et de l'humidité atmosphériques, pour la totalité du disque terrestre vu par les satellites (sauf dans et sous les nuages). En combinaison avec des imageurs, ils serviront à produire des informations haute résolution sur les vents (AMV obtenus par suivi des nuages et de la vapeur d'eau), en vue de surveiller les phénomènes à évolution rapide et de déterminer la température de surface (de la mer et des terres). Ils sont aussi conçus pour jouer un rôle déterminant dans l'observation fréquente de la composition chimique de l'atmosphère.

Activité S11

Activité: Tous les satellites météorologiques géostationnaires devraient être dotés de capteurs hyperspectraux dans l'infrarouge capables d'effectuer de fréquents sondages de la température et de l'humidité, ainsi que des profilages du vent à l'aide de traceurs, avec une résolution assez élevée (horizontale, verticale et temporelle).

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue pour la planification et la préparation des missions; 2015-2025 pour la mise en service des instruments.

Indicateur de résultats: Nombre de satellites géostationnaires équipés de sondeurs hyperspectraux.

6.3.1.3. Imageurs d'éclairs

Une mission satellitale d'imagerie d'éclairs ne peut mettre à profit l'expérience d'aucune autre mission géostationnaire actuelle ou passée. Elle vise à offrir une capacité de détection et de localisation des éclairs en temps réel (avec une précision de 5 à 10 km), à l'appui de la prévision immédiate et de la prévision à très courte échéance. Son objectif principal consiste à détecter sans discrimination les impacts nuage-nuage et nuage-sol.

Comme les éclairs sont fortement corrélés avec les orages et les précipitations intenses, une mission de ce type vise également à donner des indications indirectes sur les phénomènes de convection intenses et les pluies de convection. Elle peut également fournir des informations indirectes sur la chaleur diabatique et latente à assimiler dans des modèles PNT. Elle contribuera également à établir une climatologie complète des éclairs, avec des systèmes d'observation des éclairs depuis le sol (voir 5.3.2.4). Enfin, comme les éclairs influent notablement sur la production d'oxyde d'azote, ce type d'observation pourrait devenir une importante source de données pour les modèles de chimie de l'atmosphère.

Une mission d'imagerie d'éclairs est prévue avant 2025 dans la plupart des programmes de satellites géostationnaires: MTG – Europe (LI: imageur d'éclairs), GOES – États-Unis d'Amérique, à partir de GOES-R (GLM: Geostationary Lightning Mapper), GOMS⁵⁴ – Fédération de Russie et FY-4⁵⁵ – Chine.

Activité S12

Activité: Tous les satellites météorologiques géostationnaires devraient être dotés d'un imageur d'éclairs capable de détecter les impacts nuage-nuage et nuage-sol.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue pour la planification et la préparation des missions; 2015-2025 pour la mise en service des instruments.

Indicateur de résultats: Nombre de satellites géostationnaires équipés d'un imageur d'éclairs.

6.3.2. Satellites d'exploitation héliosynchrones à défilement

Afin d'obtenir une bonne couverture mondiale en données, la Perspective d'avenir 2025 propose au moins trois satellites d'exploitation à défilement (avec un ensemble minimum d'instruments), plus d'autres satellites sur diverses orbites. Les heures de passage au-dessus de l'équateur envisagées seraient 13 h 30, 17 h 30 et 21 h 30 (heure solaire locale). Les heures de passage choisies pour les trois satellites d'exploitation (et pour tous les autres satellites à défilement) doivent être suivies en permanence par le biais d'activités de coopération internationale.

Activité S13

Activité: Assurer la coordination orbitale pour toutes les missions météorologiques essentielles en orbite basse, afin d'optimiser la couverture temporelle et spatiale, tout en maintenant une certaine redondance des orbites. Les missions LEO devraient comporter au moins trois satellites d'exploitation héliosynchrones à défilement, avec des heures de passage au-dessus de l'équateur de 13 h 30, 17 h 30 et 21 h 30 (heure locale).

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques et des agences spatiales.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre de missions satellitales LEO avec la répartition de leurs orbites.

⁵⁴ Satellite météorologique d'exploitation géostationnaire.

⁵⁵ Satellite météorologique FengYun 4.

Ces plates-formes orbitales, dont les heures de passage au-dessus de l'équateur sont de 13 h 30, 17 h 30 et 21 h 30, devraient être dotées d'au moins un sondeur hyperspectral dans l'infrarouge, d'un sondeur hyperfréquence et d'un imageur multibandes à haute résolution dans le visible et l'infrarouge.

Comparativement aux satellites géostationnaires, il est plus difficile avec les plates-formes en orbite polaire d'assurer une collecte rapide des données (de la plate-forme vers la station au sol), et de satisfaire ensuite les besoins en matière de rapidité de transmission de l'information pour diverses applications.

Activité S14

Activité: Accroître la rapidité de transmission des données satellitales LEO, en particulier pour les missions météorologiques essentielles sur les trois plans orbitaux, en mettant en place des systèmes de communication et de traitement en mesure d'acheminer les données en moins de 30 minutes (comme c'est le cas avec le réseau RARS pour certains jeux de données).

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Rapidité de transmission des données satellitales LEO, évaluée au moyen de cotes standard.

Activité S15

Activité: Améliorer l'accès local en temps réel aux données satellitales LEO, en particulier pour les missions météorologiques essentielles sur les trois plans orbitaux, en mettant en place et maintenant des systèmes de communication et de traitement à lecture directe.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Volumes de données satellitales LEO accessibles par lecture directe.

6.3.2.1. Sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge

L'actuelle expérience (2012) sur les sondeurs hyperspectraux se fonde sur l'utilisation d'un appareil IASI sur le satellite Metop⁵⁶, et d'un système AIRS sur AQUA⁵⁷. Si on les compare aux précédents sondeurs dans l'infrarouge, ces appareils fournissent des informations plus détaillées dans le plan vertical sur la structure des températures et de l'humidité. Leur principal inconvénient est que l'échantillonnage obtenu doit se limiter à l'atmosphère par temps clair et à la partie située au-dessus des nuages. Mais ils constituent par ailleurs une importante source de données concernant la température de surface de la mer et des terres, la composition de l'atmosphère et les variables relatives aux nuages. Des études d'impact ont montré qu'ils contribuaient très positivement à la PNT à l'échelle mondiale. Ces sondeurs devraient aussi compléter très efficacement les instruments hyperfréquence dans la préparation des relevés de données climatologiques (voir la section suivante 6.3.3.2 sur les sondeurs hyperfréquence).

Un problème lié à l'utilisation des sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge est le volume considérable de données redondantes à traiter. Chaque utilisateur s'intéresse à un sous-ensemble de données spécifique, et ce sous-ensemble varie d'une application à une autre. Par exemple, la PNT à l'échelle mondiale requiert une représentation de données fournissant le plus d'informations possible sur les profils de température et d'humidité, alors que le secteur de l'étude de la composition de l'atmosphère recherche des données sur certains constituants. Le défi pour les

⁵⁶ Satellite météorologique d'exploitation à défilement EUMETSAT.

⁵⁷ <http://aqua.nasa.gov/>

centres qui prétraitent ces observations consiste à transmettre les données en mode d'exploitation à l'ensemble des utilisateurs dans des délais satisfaisants.

Activité S16

Activité: Concevoir les composantes terrestres pour les sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge, afin de définir et mettre en œuvre une stratégie de réduction des données qui optimise l'information accessible, compte tenu des contraintes de temps et de coût, tout en répondant aux besoins des différents groupes d'utilisateurs.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Volume et rapidité de transmission de jeux de données aux différents utilisateurs de sondeurs hyperspectraux.

6.3.2.2. Sondeurs hyperfréquence

Les sondeurs hyperfréquence sont utilisés en météorologie depuis la période 1970-1980, principalement avec la série de satellites de la NOAA, d'abord dotés du sondeur à hyperfréquences (MSU), puis du sondeur amélioré à hyperfréquences (AMSU). Ils peuvent transmettre de l'information concernant les profils verticaux de température et d'humidité dans l'atmosphère, mais avec une résolution verticale plus faible que celle des capteurs hyperspectraux dans l'infrarouge. Leur point fort par rapport aux sondeurs dans l'infrarouge est leur capacité à observer dans et sous les nuages. À l'heure actuelle (2012), ils sont disponibles pour les activités météorologiques à bord de plusieurs satellites (cinq), et constituent l'élément principal des systèmes d'assimilation mondiaux à grande échelle. Des études d'impact sur la PNT ont montré que ces observations sont très utiles.

Outre la fonction clé assurée dans l'observation des températures et de l'humidité atmosphériques, les sondeurs hyperfréquence fournissent de l'information sur la teneur en eau des nuages et les précipitations.

Les données sur la luminance énergétique en hyperfréquence communiquées par les satellites, en particulier à partir des instruments MSU et AMSU, sont devenues des éléments déterminants des relevés climatologiques historiques, et il convient de poursuivre ce service à l'avenir en vue de disposer de données à long terme. Une activité du Plan de mise en œuvre du Système mondial d'observation du climat vise à garantir la dérivation continue des données sur la luminance énergétique en hyperfréquence pour les relevés de données climatologiques. Cette recommandation relative au climat est renforcée par la contribution fondamentale des sondeurs hyperfréquence aux réanalyses mondiales.

Activité S17

Activité: Comblent les lacunes au niveau de la couverture prévue offerte par les sondeurs hyperfréquence en orbite du petit matin.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques et des agences spatiales.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de sondeurs hyperfréquence prévus à bord de satellites en orbite du petit matin.

6.3.2.3. Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible et l'infrarouge

Les imageurs dans le visible et l'infrarouge sont utilisés depuis le début de la météorologie satellitale, soit au cours de la décennie 1960-1970. Ils fournissaient à l'époque de l'information qualitative très utile aux météorologistes, en particulier sur les types de nuages et de systèmes météorologiques et leur position. Ces appareils ont beaucoup évolué depuis lors, en ce qui a trait

notamment à leur résolution horizontale et au nombre de canaux. Les imageurs à bord de satellites LEO complètent très bien l'équipement GEO, par l'observation des moyennes et hautes latitudes, même si la fréquence des observations est limitée en raison de leurs configurations orbitales.

Les capacités observationnelles des imageurs à bord de satellites LEO sont très semblables à celles des appareils dont sont dotés les satellites géostationnaires. Ils observent les nuages (nébulosité, genre, température au sommet). La température de surface de la mer et des terres est dérivée. On se sert également de l'imagerie LEO pour détecter les précipitations, les aérosols, la couverture de neige, la couverture végétale (y compris l'indice de surface foliaire et la fraction de rayonnement photosynthétiquement actif absorbé), les incendies et la cendre volcanique. Elle est très utile pour la prévision immédiate et la prévision à très courte échéance dans les régions polaires. Ces appareils peuvent également être exploités pour produire des vecteurs de mouvement atmosphérique (vents par suivi des nuages et de la vapeur d'eau). On a recours depuis plusieurs années aux instruments MODIS⁵⁸ pour la PNT d'exploitation, et il a été démontré que leur contribution était considérable, probablement en raison du manque d'autres types d'observation des vents en altitude au-dessus des calottes polaires.

Activité S18

Activité: Se servir des imageurs de toutes les plates-formes d'exploitation en orbite polaire en vue de produire des vecteurs de mouvement atmosphérique à partir du suivi des nuages (ou de la vapeur d'eau).

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Volume et rapidité de transmission des différents jeux de données obtenus en mode d'exploitation sur les calottes polaires.

Activité S19

Activité: Prévoir un canal consacré à la vapeur d'eau (p. ex. 6,7 μm) sur les imageurs de tous les satellites météorologiques à défilement essentiels, en vue de faciliter la dérivation des vents polaires à partir des mouvements de la vapeur d'eau.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de satellites météorologiques à défilement essentiels dotés d'un imageur pouvant exploiter le canal de la vapeur d'eau.

6.3.2.4. Imageurs hyperfréquence

Les imageurs hyperfréquence sont semblables aux sondeurs hyperfréquence passifs traités dans la section 6.3.2.2, sauf que leurs caractéristiques diffèrent sur le plan des longueurs d'onde et de la résolution spatiale, lesquels les rendent mieux adaptés à l'observation de la surface de la mer et des terres. Au-dessus de l'océan, ils fournissent de l'information sur la glace de mer, la vitesse des vents en surface et la température de surface. Au-dessus des terres, ils permettent d'observer la température de surface, l'humidité du sol et l'équivalent en eau de la neige. Ces appareils procurent également des données concernant les précipitations et la colonne totale de vapeur d'eau atmosphérique. Les imageurs polarimétriques observent par ailleurs la direction des vents à la surface de la mer.

Depuis la décennie 1990-2000, l'information relative à la colonne totale de vapeur d'eau et à la vitesse des vents de surface fournie par l'imageur en hyperfréquence spécialisé (SSM-I) à bord

⁵⁸ MODIS: Spectroradiomètre imageur à moyenne résolution (à bord de satellites AQUA et TERRA).

des satellites américains DMSP⁵⁹ a été largement utilisée pour des applications météorologiques et climatologiques. Au départ, l'emploi de ces données était limité aux océans, mais on a beaucoup progressé récemment dans l'utilisation des données satellitaires hyperfréquence au-dessus des terres émergées. Ce type de capteur contribue également beaucoup à la surveillance des limites de glace de mer autour des calottes polaires. Grâce aux observations continues effectuées dans les 20 dernières années, ces capteurs sont considérés très utiles pour la surveillance du climat et les réanalyses mondiales.

Afin de répondre aux besoins des différents utilisateurs, il faut au moins disposer de trois satellites en orbites bien séparés dotés d'imageurs hyperfréquence. Selon les plans actuels, on s'attend à ce que la plupart des exigences soient satisfaites, à l'exception peut-être de la température de la mer en surface dans toutes les conditions atmosphériques.

Activité S20

Activité: Mettre à disposition les imageurs hyperfréquence voulus utilisables sur tous les canaux nécessaires pour suivre la température de la mer en surface.

Agents d'exécution: CGMS, en collaboration avec des exploitants de satellites.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de satellites LEO dotés d'un capteur hyperfréquence de température de la mer en surface.

6.3.3. Missions d'exploitation additionnelles aux orbites voulues

Outre les imageurs et les sondeurs mentionnés plus haut et exploités en orbite GEO et LEO, plusieurs autres instruments satellitaires sont utilisés pour des applications météorologiques, océanographiques, climatologiques et autres. Nombre d'entre eux (mais non la totalité) sont installés à bord de satellites héliosynchrones à défilement. Plusieurs servent les besoins associés à plus d'une application.

6.3.3.1. Diffusiomètres

Contrairement aux imageurs hyperfréquence qui sont des instruments passifs, les diffusiomètres à bord de satellites sont des systèmes d'observation actifs. Ils fournissent de l'information portant surtout sur les surfaces océaniques (vitesse des vents à la surface de la mer, couverture de glace) et les surfaces terrestres (humidité du sol).

Les premières données diffusiométriques à être assimilées dans des modèles mondiaux de PNT d'exploitation ont été les observations des vents océaniques réalisées par le satellite européen ERS-1⁶⁰ au cours de la décennie de 1990-2000. Depuis lors, les diffusiomètres ont été utilisés pour la PNT et d'autres applications, sur des satellites comme ERS-2, QuikScat⁶¹ et Metop (et son instrument ASCAT⁶²) – voir la base de données OMM sur les besoins des utilisateurs en matière d'observation et les capacités des systèmes d'observation, afin d'obtenir une liste des instruments et missions. Ils procurent habituellement une très bonne couverture mondiale en données (avec certaines limites concernant la vitesse maximale des vents, ou au-dessus de la glace de mer), ce qui aide considérablement à répondre aux besoins météorologiques et océanographiques pour ce qui est des vents de surface. Le recours aux données diffusiométriques pour l'observation des surfaces terrestres n'est pas aussi développé, mais on a beaucoup progressé récemment dans le domaine de l'humidité du sol.

⁵⁹ DMSP: Programme des satellites météorologiques de défense (des États-Unis d'Amérique); parmi les différents instruments dont sont dotés les satellites DMSP, soulignons l'imageur en hyperfréquence spécialisé (SSM-I) (utilisé en météorologie d'exploitation).

⁶⁰ ERS = Satellite d'observation des ressources terrestres; mission de l'ESA (ERS-1 a commencé ses activités en 1991 et a été suivi par ERS-2).

⁶¹ Diffusiomètre rapide (NASA).

⁶² Diffusiomètre perfectionné pour le vent du satellite Metop.

Il faudrait disposer à l'avenir d'au moins deux satellites en orbites suffisamment séparées équipés d'un diffusionmètre. Selon les plans actuels, les besoins devraient être comblés.

6.3.3.2. Constellation de radio-occultation

Le recours à la radio-occultation en météorologie constitue un bon exemple de système d'observation fondé sur les opportunités: i) la disponibilité constante des signaux radio GNSS (système mondial de navigation par satellite) émis par environ 30 satellites GNSS (probablement environ 60 dans les années 2015-2025) en orbite à une altitude d'à peu près 22 000 km; ii) l'effet perturbateur de l'atmosphère qui ralentit la propagation des signaux et génère une réfraction atmosphérique. En installant des récepteurs GNSS à bord d'autres satellites (constellation spéciale ou satellites météorologiques d'exploitation, généralement en orbite basse), il devient possible de mesurer le retard dans la transmission des signaux lors de leur propagation dans l'atmosphère. Ces retards dépendent surtout de la densité de l'air et procurent des renseignements utiles sur la température, en particulier dans la stratosphère et la haute troposphère, ainsi que sur l'humidité dans la basse troposphère.

Les mesures de radio-occultation sont assimilées dans les modèles opérationnels de PNT depuis environ 2005, à partir de plusieurs satellites: CHAMP⁶³, GRACE-A⁶⁴, Metop (avec son instrument GRAS⁶⁵), et constellation COSMIC⁶⁶ (voir Poli *et al.*, 2009). Leur impact sur les analyses et prévisions a été évalué par plusieurs centres PNT, et les principaux résultats ont été examinés lors du quatrième Atelier de l'OMM sur les études d'impact (voir la note de bas de page à la section 4). Compte tenu de la nature très indirecte du système d'observation à partir d'instruments non destinés au départ aux mesures météorologiques, l'effet positif a été surprenamment important. De plus, la couverture en données obtenue avec une constellation de satellites récepteurs est mondiale et assez uniforme. Le système offre des mesures absolues (auto-étalonnées), non contaminées par les nuages, ce qui constitue un grand avantage par rapport à: i) l'interétalonnage général des données satellitaires; ii) la création de relevés de données climatologiques.

La plupart des satellites qui transmettent à l'heure actuelle des mesures de radio-occultation à des fins d'application opérationnelle ne sont pas des satellites d'exploitation et n'appartiennent à aucun programme dont la poursuite est assurée. Pour la période 2012-2025, il importe de planifier la mise en service continue d'un nombre suffisant de satellites récepteurs, afin d'éviter de perdre les avantages procurés par les investissements considérables consacrés à la production de mesures de radio-occultation et leur utilisation en météorologie opérationnelle. Il convient de souligner que le volume d'information communiquée par un capteur de radio-occultation est fonction du nombre d'antennes à bord et du nombre de systèmes GNSS avec lesquels il est compatible (p. ex. GPS, GLONASS, Galileo).

Activité S21

Activité: Mettre en service et maintenir une constellation de récepteurs GNSS de radio-occultation placés à bord de plates-formes à différentes orbites, afin de produire au moins 10 000 occultations par jour (ordre de grandeur à affiner par l'activité suivante). Organiser la transmission des données en temps réel aux centres de traitement.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'occultations GNSS par jour traitées en temps quasi réel.

⁶³ CHALLENGING Minisatellite Payload.

⁶⁴ GRACE: Expérience relative au champ de gravité terrestre et au climat.

⁶⁵ Récepteur GNSS pour les sondages atmosphériques.

⁶⁶ <http://www.cosmic.ucar.edu/>

Activité S22

Activité: Réaliser une Expérience de simulation des systèmes d'observation (OSSE), en vue d'évaluer l'impact de différents nombres d'occultations par jour, et d'estimer ainsi le nombre optimal d'occultations quotidiennes requises.

Agents d'exécution: Centres de PNT, en coordination avec la CSB (responsable de l'activité) et la CSA.

Échéance: Avant la fin de 2013.

Indicateur de résultats: Nombre d'expériences OSSE menées.

Une autre application des signaux GNSS et de la radio-occultation est la mesure de la densité électronique dans l'ionosphère. Les futures constellations de radio-occultation contribueront donc également aux applications spatiales de la météorologie (voir la section 7).

6.3.3.3. Constellation d'altimètres

La topographie de la surface de la mer est l'une des principales variables à observer pour les analyses et prévisions océanographiques et pour la modélisation couplée océan-atmosphère. Elle a fait l'objet d'observations à partir d'une série d'altimètres satellitaires depuis le début de la décennie 1990-2000: ERS-1 et 2, JASON-1⁶⁷ et 2, ENVISAT⁶⁸, GEOSAT⁶⁹, etc. – voir la base de données OMM sur les besoins des utilisateurs en matière d'observation et les capacités des systèmes d'observation, pour avoir accès à des documents portant sur ces satellites et les caractéristiques de leurs instruments. Les altimètres satellitaires fournissent des mesures de la topographie des océans et de la hauteur significative des vagues, avec une couverture mondiale et une bonne exactitude. L'intérêt présenté par les altimètres à large couloir pourrait être mis en évidence. Les vents de surface peuvent également être estimés à partir des observations des vagues, même si les résolutions horizontale et temporelle sont limitées en raison du fait que les observations ne peuvent être effectuées qu'au nadir du satellite (pour la plupart des instruments). La résolution horizontale peut être bonne le long de la trajectoire au sol, la principale contrainte étant «transversalement à la trajectoire» dans les latitudes moyennes: il existe généralement un «trou» de 300 km entre les mesures de deux orbites consécutives.

Certains altimètres sont par ailleurs capables de procurer des mesures de la topographie des glaces de mer et de terre et des niveaux des lacs (applications de la surveillance des glaciers et de l'hydrologie). On note malheureusement un écart en altimétrie laser entre les premiers satellites de la NASA et les satellites ICESat suivants. Alors que l'altimètre radar sur Cryosat-2 permet également d'effectuer des mesures de la glace de mer et de terre, la constellation d'altimètres idéale comporterait à la fois des altimètres lasers et des altimètres radars. Cette combinaison offrirait une meilleure exactitude dans les estimations de l'épaisseur des glaces de mer et pourrait fournir de l'information concernant l'épaisseur de la neige sur la glace.

Plusieurs instruments altimétriques (prévus ou déjà lancés) continueront à l'avenir d'appuyer ces applications: ALT sur HY-2A⁷⁰, AltiKa⁷¹ sur SARAL⁷² – voir la base de données OMM sur les besoins des utilisateurs en matière d'observation et les capacités des systèmes d'observation. Au cours de la période 1990-2010, le nombre d'altimètres d'exploitation a varié de 1 à 4. Il est reconnu généralement qu'un nombre minimal de deux satellites sur orbite héliosynchrone, plus une mission de référence, sera nécessaire pour répondre aux besoins en matière d'océanographie opérationnelle.

⁶⁷ Mission sur la topographie de la surface de l'océan (États-Unis d'Amérique/France).

⁶⁸ Mission de satellite d'étude de l'environnement de ESA.

⁶⁹ Satellite de géodésie.

⁷⁰ Mission de satellite d'observation de l'océan HaiYang (Chine).

⁷¹ Altimètre océanographique haute précision.

⁷² Mission de surveillance de l'environnement (Inde/France).

Activité S23

Activité: Mettre en service une constellation d'altimètres comportant une mission de référence sur orbite inclinée non héliosynchrone haute précision et deux instruments sur orbites héliosynchrones bien séparées.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, la CMOM, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateurs de résultats: Nombre de satellites qui fournissent des données altimétriques en temps réel, avec leur géométrie orbitale.

6.3.3.4. Imageur à double angle de visée dans l'infrarouge

Pour la surveillance du climat, il importe de disposer de relevés continus de mesures très précises de la température de surface de la mer. Dans le Plan de mise en œuvre du Système mondial d'observation du climat, l'une des activités consiste à poursuivre la fourniture des meilleurs champs de température de surface de la mer possibles grâce à un ensemble de mesures infrarouge à partir de satellites géostationnaires et à défilement, allié à une couverture hyperfréquence passive et à des réseaux in situ adéquats. Pour que les données sur les champs de température de surface de la mer soient de la qualité voulue, il importe de disposer d'au moins un instrument à double angle de visée dans l'infrarouge, afin d'obtenir des corrections atmosphériques exactes. Ces instruments ont déjà été utilisés: ATSR⁷³ sur ERS, AATSR⁷⁴ sur ENVISAT – voir la base de données OMM sur les besoins des utilisateurs en matière d'observation et les capacités des systèmes d'observation. Un autre instrument est prévu pour la mission Sentinel 3: le SLSTR (radiomètre de la température de la mer et des terres en surface).

Activité S24

Activité: Mettre et maintenir en service au moins un imageur à double angle de visée dans l'infrarouge à bord d'un satellite à défilement, afin de fournir des mesures de la température de la mer en surface pour les applications de la surveillance du climat.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, la CMOM, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Disponibilité opérationnelle d'imageurs à double angle de visée.

Les champs de température de la mer en surface de qualité obtenus grâce à ces imageurs dans l'infrarouge seront également utiles pour d'autres applications que la surveillance du climat, soit la météorologie opérationnelle et l'océanographie. Ces instruments contribueront également aux observations des aérosols, des nuages et des incendies.

6.3.3.5. Imageurs à bande étroite et haute résolution spectrale et hyperspectrale dans le visible/proche infrarouge

La téléobservation de la couleur des océans et des variables géophysiques connexes (p.ex. phytoplancton et nutriments) est utile pour la détection de plusieurs types de pollution marine; on peut obtenir des images de variables biologiques de la vie marine à une résolution horizontale élevée (quelques centaines de mètres). L'observation de la couleur des océans sert plusieurs applications océanographiques, ainsi que la validation des modèles de l'océan.

⁷³ Radiomètre à balayage le long de la trace.

⁷⁴ Radiomètre de pointe à balayage le long de la trace.

Pour ce type d'observation, on a besoin d'imageurs passifs à bande étroite dans le visible et le proche infrarouge. Plusieurs instruments de ce type ont déjà été utilisés, notamment le COCTS⁷⁵ sur la série de satellites chinois HY, le GOCI⁷⁶ sur le satellite coréen COMS⁷⁷, le MERIS⁷⁸ sur le satellite européen ENVISAT, ou l'OCM sur les satellites Oceansat-1 et Oceansat-2 de l'Agence indienne de recherche spatiale (ISRO). D'autres instruments sont prévus à l'avenir, comme l'OCS⁷⁹, ou l'OLCI⁸⁰ pour la mission Sentinel-3⁸¹.

Les imageurs à bande étroite dans le visible et le proche infrarouge sont également utiles pour l'observation de la végétation (y compris l'indice de surface foliaire, la fraction de rayonnement photosynthétiquement actif absorbé et la surveillance des zones ravagées par un incendie), de l'albédo à la surface, des aérosols et des nuages.

Cette mission à bande étroite est actuellement bien couverte par les satellites LEO.

6.3.3.6. Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible/l'infrarouge

Pour les besoins de la classification de la végétation, de la surveillance de l'affectation des terres et le suivi des crues, il faut avoir recours à des imageurs dans le visible et l'infrarouge possédant notamment une résolution horizontale élevée. Ces instruments haute résolution sont normalement exploités uniquement à bord de satellites LEO. L'indice de surface foliaire est l'une des principales données satellitaires employées en météorologie agricole pour les modèles de simulation des cultures. Même si cette variable peut être obtenue à l'aide de plusieurs imageurs, les instruments des séries LANDSAT⁸² et SPOT⁸³ donnent la meilleure résolution. La surface de la Terre est observée à une résolution horizontale de l'ordre d'un barrage. Avec des instruments comme le CHRIS à bord du satellite PROBA-2⁸⁴, la résolution peut atteindre 2,5 mètres sur certaines cibles spécifiques.

Il est essentiel de poursuivre ce type de mission satellitaire à l'avenir, afin de garantir la continuité des séries de données existantes. Cela est particulièrement important pour la météorologie agricole, l'hydrologie, l'utilisation des terres et le suivi attentif des catastrophes (crues, incendies), et les imageurs à résolution très élevée serviront plusieurs autres applications spécifiques.

6.3.3.7. Radars de détection des précipitations associés à des imageurs passifs hyperfréquence

Estimer le champ mondial de la hauteur des précipitations (ainsi que le type de précipitations) à différentes échelles temporelles est l'une des tâches les plus exigeantes dans le domaine des applications météorologiques et climatologiques. L'une des raisons de cet état de fait est la forte variabilité des précipitations dans le temps et dans l'espace: dans le cas de phénomènes de convection par exemple, des pluies génératrices de crues peuvent affecter une zone quelques kilomètres plus loin n'ayant connu aucune précipitation; les hauteurs accumulées de pluie (à l'échelle d'une heure, d'une journée, d'un mois ou d'une année) varient de 10 à 100 fois entre l'équateur et les pôles. Une deuxième raison est qu'il n'existe aucun espoir d'obtenir une couverture mondiale des précipitations par le biais de pluviomètres et de radars au sol: en dépit des efforts déployés pour élargir et améliorer les réseaux de radars au sol (voir la section 5.3.4.),

⁷⁵ Scanner chinois de la couleur et de la température de l'océan.

⁷⁶ Imageur géostationnaire de la couleur de l'océan.

⁷⁷ Satellite de télécommunication et d'observation océanographique et météorologique.

⁷⁸ Spectromètre d'imagerie à résolution moyenne.

⁷⁹ Scanner de la couleur de l'océan à bord du satellite russe Meteor.

⁸⁰ Imageur de la couleur de l'océan et des terres.

⁸¹ Mission satellitaire multi-instrument de l'ESA contribuant à la Surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité (GMES).

⁸² Mission satellitaire d'observation de la Terre (NASA/USGS).

⁸³ Satellite pour l'observation de la Terre.

⁸⁴ CHRIS = Spectromètre imageur compact de haute résolution, à bord du satellite PROBA-2 (projet d'autonomie de bord). PROBA-2 (après PROBA) est une mission de démonstration de l'ESA, qui attire de plus en plus d'utilisateurs réguliers.

la couverture sera toujours limitée. Il est toutefois essentiel d'estimer de manière adéquate les champs de précipitations à toutes les échelles temporelles, allant des estimations requises pour la surveillance du climat (plusieurs années, échelle mondiale) à l'estimation locale des accumulations de pluie sur une heure ou moins (surveillance des crues). Se doter d'un système spécialisé d'observation des précipitations à partir de l'espace est très important pour atteindre cet objectif.

Le concept des missions GPM (mesure des précipitations à l'échelle du globe) combine les mesures actives effectuées depuis des radars spatiaux et le recours à une constellation d'imageurs passifs hyperfréquence (traités dans la section 6.3.2.4). La constellation GPM devrait comporter une mission essentielle sur une orbite inclinée à 65° (par rapport à l'équateur), à laquelle s'ajouteront plusieurs satellites mis au point par plusieurs agences nationales ou internationales. Son objectif consiste à assurer une couverture mondiale des précipitations à intervalle de trois heures, avec le concours de huit satellites. Les satellites seront dotés de radars actifs de détection des précipitations, ou d'instruments hyperfréquence passifs, ou généralement les deux. On peut obtenir les caractéristiques des radars actuels et prévus sur la base de données OMM sur les besoins des utilisateurs en matière d'observation et les capacités des systèmes d'observation. On peut chercher par exemple CPR (radar de détection des nuages et des précipitations) ou DPR (radar de détection des précipitations à double fréquence).

Ce type de mesure a déjà démontré son utilité, d'abord lors de la mission TRMM⁸⁵ (satellite lancé en 1997) puis de la mission CLOUDSAT⁸⁶ amorcée en 2006 par les États-Unis d'Amérique, dans le cadre du programme «A-Train»⁸⁷, afin de suivre le cycle de l'eau sur Terre, ainsi que les nuages et les aérosols. La mission MEGHA-Tropiques (MTM⁸⁸), préparée en collaboration par la France et l'Inde et lancée en 2011, contribue également à ce projet qui met l'accent sur les précipitations et le cycle de l'eau. Plusieurs satellites (prévus ou déjà en service) auront une inclinaison orbitale faible par rapport à l'équateur. Par exemple, l'orbite du satellite MTM se situera entre 20°S et 20°N. Ils pourront ainsi fournir plus fréquemment des données près de l'équateur, par rapport aux satellites à défilement usuels, dont l'inclinaison se situe près de 90°. Cela est important pour mieux comprendre et modéliser le cycle diurne dans les régions tropicales. La disponibilité des données en temps réel est par ailleurs déterminante pour la prévision immédiate et l'hydrologie opérationnelle.

Activité S25

Activité: Mettre en service au moins une mission de radar de détection des précipitations sur une orbite inclinée, ainsi qu'une mission d'exploitation pour assurer le suivi.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: 2014 (mission initiale) et mise en œuvre continue (suivi).

Indicateur de résultats: Mise en œuvre d'une mission.

Activité S26

Activité: À l'appui du programme GPM, mettre en œuvre au moins une mission passive hyperfréquence sur une orbite à faible inclinaison.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Mise en œuvre d'une mission satellitale passive hyperfréquence sur une orbite à faible inclinaison.

⁸⁵ Mission pour la mesure des pluies tropicales.

⁸⁶ Mission d'observation des nuages à l'aide d'un satellite d'observation de la Terre(NASA).

⁸⁷ Le programme A-Train comporte plusieurs satellites exploités en formation: AQUA, AURA, CLOUDSAT, CALIPSO, PARASOL (Le lancement du satellite OCO a échoué en février 2009).

⁸⁸ Mission Megha-Tropiques CNES/ISRO pour l'observation du cycle de l'eau et du bilan énergétique dans les régions tropicales.

Activité S27

Activité: Organiser la fourniture de données GPM en temps réel au service de la prévision immédiate et de l'hydrologie opérationnelle.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Mesure dans laquelle les besoins relatifs à la prévision immédiate et à l'hydrologie opérationnelle sont satisfaits.

6.3.3.8. Radiomètres à large bande dans le visible/l'infrarouge pour le bilan radiatif de la Terre

Le bilan radiatif de la Terre établit la différence entre l'énergie entrante en provenance du Soleil et l'énergie sortante à caractère thermique (grandes longueurs d'onde) et réfléchi (courtes longueurs d'onde) dégagée par la Terre. Cette mesure ne peut être faite que depuis l'espace. La continuité des observations est donc un élément essentiel pour les applications climatologiques (voir le Plan de mise en œuvre du Système mondial d'observation du climat, section concernant le bilan radiatif de la Terre).

Outre les imageurs et les sondeurs à bord de satellites LEO et GEO et les mesures des propriétés des aérosols et des nuages (voir les sections plus haut à partir de 6.3.2), l'établissement du bilan radiatif de la Terre nécessite au moins un satellite à défilement équipé d'un radiomètre à large bande dans le visible/l'infrarouge et d'un capteur d'éclairement énergétique total du Soleil.

Dans le passé, les radiomètres à large bande étaient installés à bord du satellite ERBS (satellite de mesure du bilan radiatif de la Terre); on les retrouve maintenant sur les satellites TERRA et AQUA. L'instrument SCARAB⁸⁹ dont est doté le satellite MTM contribue également à la mission de mesure du bilan radiatif de la Terre.

Activité S28

Activité: Assurer la continuité des mesures du bilan radiatif de la Terre à l'échelle mondiale en maintenant en service des radiomètres à large bande et des capteurs de l'éclairement énergétique total du Soleil à bord d'au moins un satellite LEO à défilement.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de satellites à défilement contribuant à la mission de mesure du bilan radiatif de la Terre.

6.3.3.9. Constellation d'instruments d'analyse de la composition de l'atmosphère

La mesure des variables liées à la composition de l'atmosphère est importante pour diverses applications, notamment la surveillance de la couche d'ozone stratosphérique, la surveillance et la prévision de la qualité de l'air, y compris le transport à grande distance des polluants, l'étude des interactions entre les constituants atmosphériques et les changements climatiques, ainsi que la surveillance d'événements épisodiques, comme les éruptions volcaniques et la combustion de la biomasse. Comme cela a été mentionné plus haut (5.3.1.4), un certain nombre de constituants atmosphériques jouent un rôle déterminant dans les forçages et rétroactions climatiques, notamment l'ozone, le méthane et le CO₂. On peut obtenir plus d'informations à ce sujet dans le Plan stratégique de la VAG (voir les notes de bas de page se rapportant aux documents de la VAG dans la section 5.3.1.4) et le Plan de mise en œuvre du Système mondial d'observation du climat. Certains de ces constituants deviendront des variables clé pour la PNT et les modèles de la chimie

⁸⁹ Instrument de surveillance du bilan radiatif de la Terre.

de l'atmosphère (ou le sont déjà, comme l'ozone). L'observation de ces variables devrait être entièrement intégrée dans le WIGOS, puis échangée en temps réel en vue de répondre aux exigences se rapportant à l'éventail complet d'applications de la chimie de l'atmosphère, notamment la surveillance de la qualité de l'air et la PNT.

La surveillance de l'ozone stratosphérique à partir de l'espace s'effectue régulièrement depuis la décennie 1970, époque où l'on a découvert le trou dans la couche d'ozone. De nombreux instruments satellitaires ont contribué depuis lors aux mesures de l'ozone atmosphérique, des gaz réactifs à l'état de trace, des aérosols et, plus récemment, des gaz à effet de serre, comme le CO₂ et le CH₄. Le satellite japonais GOSAT est spécialisé dans l'observation des gaz à effet de serre pour l'étude des changements climatiques.

Les principaux instruments voués ou contribuant largement à l'analyse de la chimie de l'atmosphère sont les suivants: TOMS (à bord de Nimbus 7, Meteor 3, Earthprobe), SAGE I (à bord d'AEM-B), SAGE II (à bord d'ERBS), SBUV/2 (à bord de six satellites de la NOAA, y compris le satellite actuel NOAA-19), GOME (à bord d'ERS-2), SMR et OSIRIS (à bord d'ODIN), SCIAMACHY, MIPAS et MERIS (à bord d'Envisat), MLS (à bord d'UARS et d'EOS-Aura), OMI et TES (à bord d'EOS-Aura), MODIS (à bord d'EOS-Terra et d'EOS-Aqua), MISR et MOPITT (à bord d'EOS-Terra), AIRS (à bord d'EOS-Aqua), GOME-2 et IASI (à bord de trois satellites Metop), AIRS (à bord d'EOS-Aqua), CrIS, OMPS et VIIRS (à bord de Suomi NPP), CALIOP (à bord de CALIPSO), TANSO-FTS (à bord de GOSAT). Par ailleurs, on peut avoir recours aux imageurs multibandes décrits dans les sections 6.3.1.1 et 6.3.2.3 pour la surveillance des aérosols.

Pour ce qui est de la prochaine génération de missions d'exploitation, OMPS-nadir⁹⁰ est installé sur Suomi-NPP et prévu pour le satellite suivant JPSS-1. Il mesurera l'ozone, mais également le NO₂, le SO₂ et d'autres gaz à l'état de trace. L'instrument OMPS-limb, également présent à bord de Suomi-NPP, effectue des sondages à haute résolution verticale dans la stratosphère. Dans le cadre du programme européen GMES⁹¹, les missions appelées Sentinel-4 et Sentinel-5 comportent des sondeurs dans l'ultraviolet et le visible (et dans le cas de Sentinel-5, le proche infrarouge), à l'appui de l'analyse de la chimie de l'atmosphère, qui seront installés respectivement à bord du satellite MTG (GEO) et du satellite EPS-SG (LEO). Pour de plus amples informations, consulter la base de données OMM sur les besoins des utilisateurs en matière d'observation et les capacités des systèmes d'observation.

Activité S29

Activité: Pour les applications de l'analyse de la chimie de l'atmosphère, y compris la surveillance de l'ozone, les espèces réactives intéressant la qualité de l'air et la pollution atmosphérique, et la surveillance des gaz à effet de serre, assurer la mise en service continue de sondeurs dans l'ultraviolet/le visible/le proche infrarouge, notamment des sondeurs à haute résolution spectrale dans l'ultraviolet/le visible à bord d'un satellite GEO, ainsi qu'au moins un sondeur dans l'ultraviolet/le visible sur trois orbites polaires bien séparées. Garantir par ailleurs la continuité des capacités en matière de sondage du limbe.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de sondeurs GEO et LEO dans l'ultraviolet/le visible/l'infrarouge contribuant à l'analyse de la chimie atmosphérique.

Afin d'obtenir de plus amples informations au sujet de la continuité opérationnelle de certains sondeurs de la composition de l'atmosphère, consulter la section concernant la chimie de l'atmosphère dans le plan de mise en œuvre du SMOC.

⁹⁰ OMPS: Ozone Mapping and Profiler Suite.

⁹¹ GMES: Surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité.

6.3.3.10. Radar à synthèse d'ouverture (SAR)

Par rapport aux radars conventionnels, le radar à synthèse d'ouverture permet de traiter les séries d'images de manière à accroître considérablement la résolution spatiale locale, ce qui entraîne certains compromis au niveau d'autres variables géométriques de la technologie de mesure radar: angle de balayage, taille du couloir, etc. Grâce aux systèmes d'observation SAR à bord de satellites LEO, on peut obtenir des observations de la surface terrestre à résolution très élevée à l'échelle locale (y compris la biomasse au-dessus du sol), ainsi que de la hauteur des vagues (direction et spectre), du niveau de la mer (en particulier près des côtes), du niveau d'eau dans des zones inondées, des glaces de mer, des nappes de glace et des icebergs.

La technologie SAR a été employée sur plusieurs satellites: ERS-1, ERS-2, ENVISAT (avec son radar à synthèse d'ouverture de pointe), ALOS⁹² (satellite JAXA⁹³ doté d'un instrument PALSAR⁹⁴). Le satellite CRYOSAT-2⁹⁵ de l'ESA a été lancé en 2010, avec son instrument SAR appelé SIRAL⁹⁶. Ces instruments SAR ont été utilisés à la fois pour la recherche et les applications opérationnelles. Plusieurs missions SAR sont prévues; par exemple, la planification et l'élaboration de l'instrument SAR-C (radar à bande C) pour la mission Sentinel-1 du programme GMES constituerait une très bonne étape vers l'intégration du système d'observation SAR dans les systèmes d'observation opérationnels. La future mission de constellation Radarsat (RCM) prévue pour 2015-2023 comportera trois satellites en phase sur la même orbite, avec une fréquence de passage de quatre jours.

Il n'est pas possible d'obtenir en temps réel une couverture mondiale en données SAR. De plus, les délais de traitement sont importants, ce qui empêche souvent d'assurer une transmission rapide des données. Il faut toutefois mettre en œuvre au moins une mission satellitaire SAR intégrée dans le WIGOS dont la continuité est assurée, assortie des mécanismes voulus pour assurer la communication rapide des données à l'échelon régional et local, si l'on veut gérer efficacement les phénomènes à haut risque et les catastrophes. Vu le caractère local des zones visées et le volume élevé de données à traiter, il est en fait souhaitable de prévoir plusieurs missions satellitaires possédant ces caractéristiques opérationnelles.

6.3.4. Instruments exploratoires d'exploitation et prototypes

Il importe de poursuivre la recherche concernant certains nouveaux instruments satellitaires et certaines nouvelles technologies spatiales, même si le succès opérationnel définitif n'est pas garanti, à condition que ces nouveaux systèmes soient censés aider considérablement à satisfaire les besoins des utilisateurs. Dans le passé, plusieurs missions de recherche ou de démonstration ont donné des résultats positifs beaucoup plus rapidement que ce que prévoyaient à l'origine les utilisateurs potentiels. Plusieurs instruments exploratoires et prototypes sont présentés ci-après. Ils constituent tous un défi réalisable d'ici 2025, avec une bonne possibilité de devenir une composante opérationnelle des systèmes mondiaux d'observation d'ici là pour certains, une possibilité limitée pour d'autres.

⁹² Satellite d'observation de la Terre de pointe «Daichi».

⁹³ Agence japonaise d'exploration aérospatiale.

⁹⁴ Radar à synthèse d'ouverture à bande L et à déploiement de phase.

⁹⁵ Mission d'observation de la glace de l'ESA.

⁹⁶ Altimètre radar interférométrique à synthèse d'ouverture.

6.3.4.1. Lidars à bord de satellites sur orbite basse

Les lidars à bord de satellites ont été utilisés en météorologie ou sont prévus d'être utilisés lors de missions satellitaires de démonstration. Ces instruments peuvent être conçus pour observer certains des éléments atmosphériques suivants: profils des composantes du vent (à partir des décalages Doppler), aérosols, hauteur du sommet et de la base des nuages, et profil de la vapeur d'eau. Les lidars spatiaux sont aussi employés en altimétrie (voir 6.3.3.3).

a) Lidars Doppler de mesure du vent

Les lidars Doppler de mesure du vent depuis l'espace représentent le plus grand espoir de combler une grande lacune dans la couverture mondiale en données: le manque de mesures du profil du vent, qui repose trop à l'heure actuelle sur un système d'observation unique, c'est-à-dire le réseau de radiosondage.

La mission de démonstration ADM-AEOLUS de l'ESA, prévue pour la période 2013-2015, vise à vérifier les mesures du profil du vent effectuées par le lidar dans l'ultraviolet ALADIN⁹⁷. ADM-AEOLUS⁹⁸ sera exploité à partir d'un satellite à défilement et fournira des observations mondiales du profil du vent. Ce type de données doivent impérativement être communiquées en temps réel aux principaux centres de PNT, en vue de vérifier rapidement (la durée de vie estimée d'ADM-AEOLUS n'est que de trois ans) dans quelle mesure elles peuvent améliorer les prévisions du temps.

Après la mise en œuvre réussie de la mission de démonstration, il deviendra prioritaire de planifier et concevoir un système d'exploitation fondé sur les lidars de mesure du vent et l'expérience acquise lors de la mission, et d'arrêter le nombre voulu de satellites ainsi que les caractéristiques des instruments.

Activité S30

Activité: Se fonder sur l'expérience acquise lors de missions de démonstration (comme ADM-AEOLUS) en vue de planifier et concevoir un système d'observation d'exploitation fondé sur les mesures du vent Doppler (assurant une couverture mondiale des profils du vent).

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, l'ESA et d'autres agences spatiales, ainsi que des centres de traitement de données et de PNT.

Échéance: Dès que possible après le recueil des données issues des missions de démonstration.

Indicateurs de résultats: Nombre et qualité des profils du vent fournis par les lidars Doppler (depuis l'espace) accessibles par les utilisateurs.

b) Lidars d'observation des nuages et des aérosols

Les systèmes lidars d'observation des nuages et des aérosols sont capables de fournir des mesures précises de la hauteur du sommet des nuages et de mesurer aussi la hauteur de la base des nuages dans certains cas (p.ex.: stratocumulus). Ils permettent par ailleurs d'observer de manière exacte les couches d'aérosol dans l'atmosphère.

L'instrument CALIOP⁹⁹ est en service sur CALIPSO depuis 2006, et l'instrument ATLID¹⁰⁰ devrait faire partie de la mission EARTH-CARE¹⁰¹ préparée par l'ESA et le Japon et prévue pour 2013¹⁰².

⁹⁷ Voir <http://www.esa.int/esaLP/LPadmaeolus.html>; voir également Stoffelen *et al.* (2005).

⁹⁸ Mission d'étude de la dynamique de l'atmosphère.

⁹⁹ Lidar d'observation des nuages et des aérosols à polarisation orthogonale.

¹⁰⁰ Lidar atmosphérique.

Vu le potentiel de ces lidars, les données devraient être communiquées aux centres d'exploitation (surtout pour les applications relatives à la prévision et à la chimie de l'atmosphère) aux fins d'évaluation. Quant à la conception d'un éventuel système d'exploitation fondé sur les lidars d'observation des nuages et des aérosols, il importe de souligner qu'un lidar Doppler de mesure du vent comme ADM-AEOLUS est également capable d'observer les nuages et les aérosols, ce qui ouvre la possibilité de mettre en place un système d'exploitation intégrant les mesures du vent, des nuages et des aérosols.

Pour une évaluation efficace des données lidars (dès que l'instrument est exploité), il convient de les distribuer en temps réel de manière à ce qu'elles soient utilisées (ou au moins évaluées) dans des modèles numériques d'exploitation concernant la chimie de l'atmosphère et la prévision du temps.

Activité S31

Activité: Transmettre les données lidar d'observation des nuages/aérosols produites par des missions satellitales à des centres de traitement de données et aux utilisateurs. Se servir de cette expérience pour arrêter une éventuelle mission d'observation des nuages/aérosols (intégrée ou non dans une mission lidar Doppler de mesure du vent).

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des utilisateurs de prévisions et de données concernant la chimie de l'atmosphère.

Échéance: Mise en œuvre continue, avec des efforts en phase avec la mission EARTH-CARE.

Indicateur de résultats: Volume de données produites par les lidars d'observation des nuages et des aérosols depuis l'espace et employées pour des applications opérationnelles.

c) Lidars d'observation de la vapeur d'eau

Des études de faisabilité ont été menées sur la mesure des profils de la vapeur d'eau dans l'atmosphère effectuée par des lidars à bord de satellites LEO. L'objectif s'est avéré très ambitieux, et aucune mission de démonstration n'est actuellement prévue pour un lidar de ce genre. Il demeure intéressant de conserver une activité de recherche concernant un tel système d'observation et de planifier une mission de démonstration en temps utile.

6.3.4.2. Radiomètre hyperfréquence à basse fréquence sur orbite basse

Les radiomètres hyperfréquence installés à bord de satellites LEO sont capables d'observer la salinité des océans et l'humidité du sol, mais avec une résolution horizontale limitée. À grande échelle, l'information sur la salinité sera utile pour les applications océanographiques, la prévision saisonnière et interannuelle et la surveillance du climat. Les données sur l'humidité du sol produites par ces instruments devraient également servir à bon escient la PNT, la prévision saisonnière et interannuelle, l'hydrologie et la surveillance du climat. La résolution horizontale offerte pourrait être insuffisante pour répondre aux besoins des utilisateurs dans les zones côtières et à ceux relatifs aux applications maritimes à haute résolution.

Le satellite SMOS¹⁰³, lancé en janvier 2009, devrait transmettre des données jusqu'en 2014. La mission Argentine/NASA¹⁰⁴ SAC-D est censée fournir des données semblables de 2012 à 2016.

¹⁰¹ Mission exploratoire d'observation de la Terre, des nuages, des aérosols et du rayonnement; voir <http://www.esa.int/esaLP/LPearthcare.html>

¹⁰² Pour de plus amples informations sur CALIPSO, CALIOP, EARTH-CARE et ATLAS, voir la base de données de l'OMM mentionnée dans la section 6.1. http://www.wmo.int/pages/prog/sat/gos-intro_en.php

¹⁰³ SMOS: Humidité des sols et salinité des océans; mission de démonstration satellitale menée par l'ESA; voir: http://www.esa.int/esaLP/ESAMBA2VMOC_LPsmos_0.html

¹⁰⁴ Voir <http://aquarius.nasa.gov/>

Ces jeux de données de recherche devraient être communiqués à des centres météorologiques, hydrologiques et océanographiques aux fins d'évaluation en temps quasi réel. Si les avantages sont jugés suffisamment intéressants, on devrait prévoir une mission d'exploitation.

Activité S32

Activité: Étudier les avantages procurés par les missions de démonstration satellitaires comme SMOS (missions fondées sur des radiomètres hyperfréquence à basse fréquence) pour les modèles atmosphériques, hydrologiques et océaniques, dans un contexte quasi opérationnel, et décider s'il convient de concevoir une mission d'exploitation de ce type.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, la CMOM, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres de modélisation météorologique, hydrologique et océanique.

Échéance: Dès que possible pour les études d'impact, à partir de 2013 pour arrêter les nouvelles missions.

Indicateur de résultats: Améliorations apportées par le recours à ces données hyperfréquence dans différents modèles.

La salinité des océans et l'humidité du sol sont des variables déterminantes à considérer à l'échelle du climat. L'archivage de séries de données est important; voir les recommandations dans la section sur les océans figurant dans le Plan de mise en œuvre du Système mondial d'observation du climat.

6.3.4.3. Imageurs/sondeurs hyperfréquence sur orbite géostationnaire

Installés à bord de satellites géostationnaires, les imageurs/sondeurs hyperfréquence peuvent fournir de très fréquentes observations des précipitations, ainsi que des propriétés des nuages (teneur en eau liquide et en glace) et des profils de l'humidité et de la température de l'atmosphère. Ces instruments sont toutefois très exigeants pour plusieurs raisons techniques. L'une d'elles est la nécessité de mettre de très grandes antennes sur orbite géostationnaire.

Les avantages potentiels seraient très élevés sur le plan de l'estimation mondiale des champs de précipitations (à toutes les échelles temporelles). Ces instruments complèteraient très bien le même type d'instruments installés à bord de satellites LEO (voir les sections 6.3.2.4 et 6.3.3.7 au sujet des imageurs hyperfréquence, de la mesure des précipitations à l'échelle du globe et des champs de précipitations). Il serait donc souhaitable de prévoir une mission de démonstration comportant des instruments hyperfréquence à bord d'un satellite géostationnaire.

Activité S33

Activité: Planifier et concevoir une mission de démonstration avec des instruments hyperfréquence à bord d'un satellite géostationnaire, dans le but d'améliorer sensiblement l'observation en temps réel des nuages et des précipitations.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres de modélisation météorologique et hydrologique.

Échéance: Dès que possible, en tenant compte de la maturité de la technologie.

Indicateurs de résultats: Réussite de la mise en service d'un instrument hyperfréquence à bord d'un satellite GEO, puis améliorations apportées à la prévision météorologique et hydrologique par les données fournies.

6.3.4.4. Imageurs multibandes dans le visible/proche infrarouge à bande étroite et haute résolution sur orbite géostationnaire

L'utilisation de tels instruments à bord de satellites GEO complèterait de manière naturelle les instruments dans le visible/proche infrarouge installés sur des satellites LEO (présentés dans la section 6.3.3.5). Ces instruments contribueraient à l'observation de la couleur des océans, de la

végétation, des nuages et des aérosols, ainsi qu'à la surveillance des catastrophes, avec l'avantage habituel procuré par les orbites géostationnaires par rapport aux orbites basses: fréquence des images qui permet une observation presque continue du disque terrestre vu par le satellite. Leur exploitation est toutefois plus exigeante en raison de l'altitude plus élevée de l'orbite géostationnaire.

Activité S34

Activité: Planifier et concevoir une mission de démonstration comportant des instruments dans le visible/proche infrarouge à haute résolution à bord d'un satellite géostationnaire, dans le but d'améliorer sensiblement l'observation de la couleur des océans, de la végétation, des nuages et des aérosols grâce au recours à des capteurs multibandes à bande étroite.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres météorologiques, océanographiques et environnementaux.

Échéance: Dès que possible, en tenant compte de la maturité de la technologie.

Indicateurs de résultats: Réussite de ce type d'instrument à bord d'un satellite GEO, puis améliorations apportées aux sciences de la météorologie, de l'océanographie et de l'environnement par les données fournies.

6.3.4.5. Imageurs dans le visible/l'infrarouge sur satellites à orbite très elliptique et à forte inclinaison

L'orbite très elliptique n'a jamais été employée en météorologie et en océanographie. Son principal avantage réside dans le fait que le satellite peut demeurer près de la verticale par rapport à une région donnée de la Terre (à haute altitude) pendant plusieurs heures, tout en passant peu de temps de l'autre côté du globe. Lorsque l'inclinaison orbitale sur l'équateur est élevée, on peut presque obtenir une continuité d'observation semblable à celle offerte par un satellite géostationnaire, mais dans une région polaire. Doté de capteurs dans le visible/l'infrarouge, un satellite HEO assure une observation quasi continue d'un grand nombre de variables météorologiques et océanographiques normalement observées par ce type de capteurs: nuages (et vecteurs de mouvement atmosphérique) à haute latitude, température de surface, glace de mer, panache de cendres, végétation, incendies et couverture de neige.

Activité S35

Activité: Planifier et concevoir une mission de démonstration comportant des instruments dans le visible/l'infrarouge à bord d'un satellite à orbite très elliptique et à forte inclinaison au-dessus de l'équateur, en vue de cibler une zone polaire. L'objectif visé est d'obtenir les mêmes observations environnementales d'une qualité semblable à celle offerte par les satellites GEO.

Agents d'exécution: CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres météorologiques et environnementaux.

Échéance: Dès que possible, en tenant compte de la maturité de la technologie.

Indicateurs de résultats: Réussite d'un instrument dans le visible/l'infrarouge à bord d'un satellite HEO, puis améliorations apportées aux sciences de la météorologie et de l'environnement par les données fournies.

6.3.4.6. Capteurs gravimétriques

On se sert de satellites depuis des décennies pour mesurer le champ gravitationnel. Plusieurs capteurs gravimétriques sont actuellement en service, notamment pour la mission GRACE¹⁰⁵ des États-Unis d'Amérique et la mission GOCE¹⁰⁶ de l'ESA.

¹⁰⁵ Expérience relative au champ de gravité terrestre et au climat – <http://www.csr.utexas.edu/grace/>

Ces instruments peuvent mesurer le champ gravitationnel de la Terre et suivre ses variations dans l'espace et le temps. De ces variations, il est possible de dériver l'information sur la masse d'eau au sol ou la masse d'eau dans certains lacs et cours d'eau. Ils contribuent ainsi à la surveillance des eaux souterraines, avec un ensemble de systèmes d'observation *in situ* décrits dans la section 5.3.3.3.

Soulignons que les instruments gravimétriques sont souvent mis en service sur des plates-formes multiutilisateurs: par exemple, des récepteurs GNSS embarqués sur une plate-forme de mesure du champ gravitationnel peuvent, s'ils sont correctement réglés, être utilisés pour la radio-occultation de l'atmosphère, à l'appui des applications prévisionnelles et climatologiques, comme cela est décrit dans la section 6.3.3.2.

7. MÉTÉOROLOGIE DE L'ESPACE

La météorologie de l'espace s'intéresse aux processus physiques qui interviennent dans l'espace, sous l'effet du Soleil et des conditions dans la haute atmosphère de la Terre, et qui influent sur les activités humaines sur notre planète et dans l'espace. Outre le rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge continu responsable du forçage radiatif des conditions météorologiques et du climat au sommet de l'atmosphère et du maintien de l'ionosphère, le Soleil émet un flux continu de particules chargées (vent solaire) porteur d'un champ magnétique, et dégage de l'énergie sous forme éruptive: rayonnement électromagnétique (ondes radio, rayonnement infrarouge, visible, ultraviolet, rayons X), particules énergétiques (électrons, protons et ions lourds) et plasma haute vitesse par éjections de matière coronale. Le vent et les perturbations solaires (à savoir tempêtes solaires) traversent le milieu interplanétaire et parviennent en partie dans l'environnement terrestre.

Le rayonnement électromagnétique se déplace à la vitesse de la lumière et prend environ huit minutes pour atteindre la Terre à partir du Soleil, tandis que les particules énergétiques sont plus lentes, le trajet Soleil-Terre pouvant se prolonger jusqu'à quelques dizaines de minutes et même des heures. À des vitesses types, le plasma de fond du vent solaire parvient à notre planète en approximativement quatre jours; les éjections de matières coronales les plus rapides peuvent parcourir la même distance en moins d'une journée. Le vent et les perturbations solaires interagissent avec notre champ magnétique et la haute atmosphère de manière complexe, propulsant des particules haute énergie et des courants électriques fortement variables dans la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère. Le milieu peut devenir très dangereux pour les satellites et les humains à haute altitude, causant des perturbations ionosphériques, des variations du champ géomagnétique et des aurores, susceptibles d'affecter un certain nombre de services et d'infrastructures à la surface du globe, dans les airs ou dans l'espace sur orbite terrestre. Les menaces liées à la météorologie de l'espace devraient certainement s'amplifier, à la fois dans le court terme avec l'approche du maximum de l'activité solaire et dans le long terme à mesure que notre dépendance vis-à-vis des technologies sensibles aux conditions météorologiques dans l'espace continue de s'accroître.

Les observations du temps spatial servent les fins suivantes: prévoir les probabilités de perturbation; déclencher des alertes lorsque certains seuils de perturbation sont dépassés; demeurer vigilant face aux conditions environnementales courantes; déterminer les conditions climatologiques en vue de concevoir des systèmes spatiaux (c'est-à-dire satellites et procédures de sécurité pour les astronautes) et des systèmes au sol (c'est-à-dire protection des réseaux électriques et gestion du trafic aérien); élaborer et valider des modèles numériques; et mener des recherches afin d'enrichir nos connaissances. L'immensité de l'espace et le large éventail

¹⁰⁶ Mission d'étude du champ gravitationnel et des paramètres permanents de la circulation océanique – <http://www.esa.int/esaLP/LPgoce.html>

d'échelles physiques qui régissent la dynamique de la météorologie de l'espace exigent l'emploi de modèles numériques pour caractériser les conditions dans l'espace et prévoir la survenue des perturbations et leurs conséquences. Afin de tirer le maximum des rares mesures effectuées, il faut avoir recours à l'observation du temps spatial et l'assimiler dans des modèles empiriques ou à fondement physique. Un réseau complet d'observation des conditions météorologiques dans l'espace devrait comporter des observatoires au sol et dans l'espace. Ces deux composantes devraient offrir une combinaison de mesures à distance et *in situ*.

De nos jours, les services qui se fondent à la fois sur des observations d'exploitation et des observations de recherche peuvent aider tous les Membres de l'OMM à suivre les perturbations et à émettre des alertes de tempête. Le milieu spatial est toutefois très sous-échantillonné. De grandes lacunes dans les capacités d'observation limitent notre aptitude à caractériser de manière détaillée les paramètres physiques importants et réduisent l'exactitude de nos modèles de prévision. Les ressources terrestres et spatiales existantes ne sont pas toutes intégrées dans un réseau d'observation coordonné. Elles comprennent notamment un certain nombre de sites de réception GNSS (système mondial de navigation par satellite), ainsi que des systèmes de mesure au sol du champ magnétique terrestre et de mesure satellitale des particules énergétiques et du champ magnétique spatial. Par ailleurs, la continuité de certaines missions essentielles de surveillance depuis l'espace n'est pas prévue.

Dans le cadre du Système d'information de l'OMM (SIO) et du Système mondial intégré de systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS), on pourra élargir et mieux intégrer les systèmes d'observation et centres de services actuels, renforçant ainsi les capacités de prestation d'une large gamme de services. La météorologie de l'espace constitue un défi pour la communauté mondiale et exige de grands efforts de préparation et de coordination. Tous les Membres ont la possibilité de contribuer aux capacités futures, et sont encouragés à améliorer la collecte et la libre diffusion des données transmises depuis le sol et l'espace. En travaillant de concert, nous pourrions mettre en place un système mondial intégré de prévention et d'intervention concernant les risques d'origine spatiale.

Activité W1

Activité: Élaborer et mettre en œuvre un plan coordonné visant à assurer la continuité des mesures solaires, notamment les mesures du vent solaire, ainsi que des observations du champ magnétique interplanétaire et de l'héliosphère au moyen d'images, y compris les mesures à différents emplacements, comme le point de Lagrange L1, la ligne Soleil-Terre en amont du point L1, le point de Lagrange L5, et élaborer et mettre en place le réseau mondial requis d'antennes terrestres pour la réception et le traitement des données.

Agents d'exécution: ICTSW¹⁰⁷, CGMS et agences spatiales.

Échéance: Fin 2014.

Indicateur de résultats: Mise en place de plans coordonnés de continuité jusqu'en 2030.

Activité W2

Activité: Coordonner et normaliser les données actuelles d'observation solaire depuis le sol et les étendre au besoin pour assurer la redondance, et mettre en place un portail de données commun ou un observatoire virtuel au sein du SIO.

Agents d'exécution: ICTSW et tous les Membres qui effectuent des observations solaires depuis le sol.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Établissement d'un modèle de données pour les observations solaires depuis le sol.

Activité W3

¹⁰⁷ Équipe de coordination inter-programmes pour la météorologie de l'espace

Activité: Accroître la résolution spatiale des observations ionosphériques GNSS à partir du sol (teneur totale en électrons (TEC) et scintillation), soit en déployant des récepteurs supplémentaires dans les régions mal couvertes (p.ex. Afrique), de manière à rendre accessibles les données recueillies par les récepteurs existants, soit en ayant recours à différentes techniques de réception de données GNSS, comme les récepteurs à bord d'aéronefs, afin de réduire le manque de couverture au-dessus des océans.

Agents d'exécution: ICTSW et tous les Membres qui exploitent ou planifient des réseaux GNSS terrestres.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de récepteurs GNSS terrestres en mesure de transmettre des données en temps réel.

Activité W4

Activité: Augmenter la rapidité de transmission des mesures GNSS en provenance de satellites LEO, afin d'obtenir de l'information en temps quasi réel au sujet de la distribution tridimensionnelle de la densité électronique du système ionosphère/plasmasphère (p.ex. par l'application d'un concept RARS ou l'utilisation d'un autre réseau de stations satellitaires au sol aux fins de transmission rapide).

Agents d'exécution: ICTSW, CGMS, agences spatiales concernées et Membres de l'OMM qui appuient des stations terrestres.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'occultations par jour avec une rapidité de transmission pouvant satisfaire les besoins des utilisateurs.

Activité W5

Activité: Favoriser le partage des données GNSS terrestres et de l'information de radio-occultation GNSS entre les secteurs de la météorologie et de la météorologie de l'espace, et faciliter l'accès à ces données en temps quasi réel par l'intermédiaire du SIO.

Agents d'exécution: ICTSW, IROWG¹⁰⁸ et bureau de projet OMM/WIGOS.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Accord concernant le partage des données.

Activité W6

Activité: Coordonner l'utilisation des observations effectuées à l'aide d'altimètres radars à double fréquence par le secteur de la météorologie de l'espace, en vue d'améliorer ou de valider les modèles de l'ionosphère ou pour assurer la surveillance TEC au-dessus des océans.

Agents d'exécution: ICTSW, Programme spatial de l'OMM et exploitants de satellites altimétriques.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre d'altimètres à bord de satellites qui fournissent des données concernant la météorologie de l'espace.

Activité W7

Activité: Accroître la disponibilité des données magnétométriques terrestres à une haute vitesse de transmission. On peut y parvenir en: i) déployant des magnétomètres dans des régions peu couvertes; ii) diffusant les données provenant des magnétomètres existants dans le SIO; et iii) concluant un accord avec les fournisseurs de données pour l'utilisation de ces dernières dans les produits de météorologie de l'espace.

Agents d'exécution: ICTSW et observatoires magnétométriques.

Échéance: Mise en œuvre continue.

Indicateur de résultats: Nombre de sources de données magnétométriques accessibles en mesure de satisfaire les besoins des utilisateurs en matière de rapidité de transmission.

¹⁰⁸ Groupe de travail international pour la radio-occultation (IROWG)

Activité W8

Activité: Établir un plan pour maintenir et améliorer les observations du plasma et des particules énergétiques pour les besoins de la météorologie de l'espace, selon les priorités ci-après: 1) maintenir la continuité à long terme et, si possible, améliorer la résolution spatiale des mesures à toutes les altitudes sur orbite LEO et GEO; 2) consolider le partage des mesures existantes et prévues du plasma et des particules énergétiques; 3) Mettre en service des capteurs de particules énergétiques à bord de satellites HEO; 4) mener des recherches en vue d'intégrer les données relatives au plasma et aux particules énergétiques dans des modèles numériques, afin de fournir des estimations des flux à tous les emplacements où nos satellites sont en orbite.

Agents d'exécution: ICTSW, CGMS et agences spatiales.

Échéance: Fin 2014.

Indicateur de résultats: Établissement d'un plan d'observation du plasma et des particules énergétiques pour les besoins de la météorologie de l'espace.

ANNEXE I – BIBLIOGRAPHIE

- Benjamin, S.G., B.D. Jamison, W.R. Moninger, S.R. Sahn, B.E. Schwartz, et T.W. Schlatter, 2010: Relative short-range forecast impact from aircraft, profiler, rawinsonde, VAD, GPS-PW, METAR and mesonet observations via the RUC hourly assimilation cycle. *Mon. Wea. Rev.*, 138, pp.1319–1343.
- Boehlert, G.W., D.P. Costa, D.E. Crocker, P. Green, T.O'Brien, S. Levitus, B.J. Le Boeuf, 2001: Autonomous Pinniped Environmental Samplers: Using Instrumented Animals as Oceanographic Data Collectors. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 1882–1893.
- Davis, R.E., C.E. Eriksen et C.P. Jones, 2002. Autonomous buoyancy-driven underwater gliders. *The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles*. G. Griffiths (Sous la direction de), Taylor et Francis, London. 324 pp.
- Mayer, S., A. Sandvik, M. Jonassen et J. Reuder, 2010: Atmospheric profiling with the UAS SUMO: A new perspective for the evaluation of fine-scale atmospheric models. *Meteorology and Atmospheric Physics*, DOI 10.1007/s00703-010-0063-2.
- Messer, H., 2007: Rainfall monitoring using cellular networks. *IEEE Signal Proc. Mag.*, 24, 142–144.
- Moninger, W.R., S.G. Benjamin, B.D. Jamison, T.W. Schlatter, T.L. Smith, et E.J. Szoke, 2010: Evaluation of Regional Aircraft Observations using TAMDAR . *Weather and Forecasting*, vol.25, N° 2, pp. 627-645.
- Poli P., S.B. Healy, F. Rabier, et J. Pailleux, 2009 : Preliminary Assessment of the Scalability of GPS Radio Occultation Impact in Numerical Weather Prediction. *Geophysical Research Letters*, 35.
- Rabier F., A. Bouchard, E. Brun, A. Doerenbecher, S. Guedj, V. Guidard, F. Karbou, V.-H. Peuch, L. El Amraoui, D. Puech, C. Genthon, G. Picard, M. Town, A. Hertzog, F. Vial, P. Cocquerez, S. Cohn, T. Hock, H. Cole, J. Fox, D. Parsons, J. Powers, K. Romberg, J. Van Andel, T. Deshler, J. Mercer, J. Haase, L. Avallone, L. Kalnajs, C. R. Mechoso, A. Tangborn, A. Pellegrini, Y. Frenot, J.-N. Thépaut, A. McNally, G. Balsamo et P. Steinle, 2010 : The Concordiasi project in Antarctica. *Bull. Amer. Meteor. Soc. (BAMS)*, vol. 91, 1, 69-86.
- Rudnick, D. L., R. E. Davis, C. C. Eriksen, D. M. Fratantoni, et M. J. Perry, 2004: Underwater gliders for Ocean Research. *J. Mar. Tech. Soc.*, 38, 73-84.
- Stoffelen, A., J. Pailleux, E. Källen, J.M. Vaughan, L. Isaksen, P. Flamant, W. Wergen, E. Andersson, H. Schyberg, A. Culoma, R. Meynart, M. Endemann et P. Ingmann, 2005 : The atmospheric dynamics mission for global wind field measurement *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Janvier 2005, 73-87.
-

ANNEXE II – RÉSUMÉ DES ACTIVITÉS

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
C1	Répondre aux besoins des usagers en matière d'informations climatologiques en favorisant et en secondant le développement des plates-formes traditionnelles d'observation du temps et des observations climatologiques.	Conduite du SMOC et de la CSB, avec des centres régionaux représentant les usagers et les organisations qui exploitent des systèmes d'observation connexes.	Mise en œuvre continue.	Mesure dans laquelle les besoins des usagers sont satisfaits.
C2	Une fois qu'il est démontré que les systèmes d'observation expérimentaux voulus sont suffisamment mûrs et économiques, adopter une méthode de migration appropriée pour en faire des systèmes opérationnels pérennes.	La CSB, en collaboration avec la CIMO et la CSA, doit lancer et diriger l'évolution avec toutes les organisations qui exploitent des systèmes d'observation connexes.	Mise en œuvre continue; échancier à déterminer au cas par cas.	Nombre de systèmes pérennes par rapport aux objectifs.
C3	Veiller à ce que tous les exploitants qui produisent des observations se conforment aux normes du SIO.	Organisations et organismes disposant de programmes d'observation, sous la supervision de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Mesure dans laquelle les normes du SIO sont appliquées.
C4	Une préparation soigneuse est nécessaire avant de lancer de nouveaux systèmes d'observation ou de modifier des systèmes d'observation existants. Il faut faire part aux utilisateurs de données des directives concernant la réception et l'acquisition de données, l'infrastructure de traitement et d'analyse, la production de données indirectes et la mise en place de programmes d'enseignement et de formation professionnelle.	Toutes les organisations qui exploitent des systèmes d'observation connexes en suivant les pratiques exemplaires de la CSB, de la CSA et d'autres commissions techniques ainsi que des programmes coparrainés.	Mise en œuvre continue.	Mesure dans laquelle les préoccupations des usagers sont prises en compte.
C5	Assurer un financement durable des principaux systèmes d'observation maritime et océanique (par ex. les bouées ancrées dans des mers tropicales, le réseau Argo, les bouées dérivantes de surface équipées de baromètres, les altimètres, les diffusiomètres, les radiomètres hyperfréquences mesurant la température de la mer en surface et les satellites de recherche mesurant les glaces de mer).	SMN, SMHN et organismes nationaux partenaires, en collaboration avec des organisations internationales, les commissions techniques chargées de la coordination des systèmes d'observation (par ex. la CMOM, la CSB et la CIMO) ainsi que des agences spatiales.	Mise en œuvre continue.	Pourcentage des réseaux d'observation financés par un mécanisme pérenne.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
C6	Pour chaque système d'observation dont on propose l'exploitation en mode adaptatif (processus faisant varier l'ensemble des données d'observation selon la situation météorologique), en déterminer la faisabilité, le caractère économique et les effets secondaires sur la continuité des relevés de données climatologiques.	Organisations exploitant des réseaux d'observation de façon régulière; processus à lancer et à coordonner par la CSB à partir de recommandations de la CSA, d'autres commissions techniques, des conseils régionaux et du SMOC.	Processus continu d'évaluation de la faisabilité et du caractère économique des systèmes d'observation.	Nombre de réseaux exploités avec un certain degré de ciblage.
C7	Assurer la continuité et le chevauchement dans le temps des composantes clés des systèmes d'observation et de leurs relevés de données, conformément aux exigences des usagers, grâce à des procédures appropriées de modification et de gestion.	Conduite de la CSB, en collaboration avec d'autres commissions techniques, la CMOM, les conseils régionaux, des agences spatiales, les SMN, les SMHN et des organisations exploitant des systèmes d'observation.	Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer au cas par cas.	Continuité et homogénéité des relevés de données.
C8	L'OMM et les systèmes d'observation coparrainés doivent garantir le respect constant des principes de l'Organisation en matière de partage de données indépendamment de l'origine des données, notamment pour les données fournies par des établissements commerciaux.	SMN, SMHN et agences spatiales; processus supervisé par la CSB.	Mise en œuvre continue.	Accès permanent de l'ensemble des Membres de l'OMM à toutes les données d'observation essentielles.
C9	Évaluer l'évolution à venir des volumes de données à échanger et à traiter sur la base des quantités de données dont la production à partir de sources spatiales et de surface est prévue.	Conduite du SIO, en collaboration avec les commissions techniques, la CMOM, les conseils régionaux, des agences spatiales, les SMN, les SMHN et des organisations qui exploitent des systèmes d'observation.	Mise en œuvre continue.	Évolution des volumes de données traitées et échangées.
C10	Suivre le parcours de toutes les données essentielles jusqu'aux centres de traitement et aux utilisateurs et garantir l'acheminement en temps voulu des informations en retour émanant des centres de surveillance jusqu'aux administrateurs de réseaux d'observation.	Centres de traitement de données coordonnés par les commissions techniques compétentes et au titre de programmes internationaux (la CSB devant diriger le processus et le lancer au moment voulu).	Mise en œuvre continue.	Critères habituels de surveillance.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
C11	Améliorer l'homogénéité des formats de données destinées à des échanges internationaux en réduisant le nombre de normes coordonnées sur le plan international.	Conduite de la CSB, en collaboration avec d'autres commissions techniques.	Mise en œuvre continue.	Nombre de formats de données par type de données.
C12	Assurer un contrôle permanent des fréquences radioélectriques dont ont besoin les diverses composantes du WIGOS pour veiller à ce qu'elles soient disponibles et bénéficient du degré voulu de protection.	Conduite du Groupe directeur pour la coordination des fréquences radioélectriques, en coordination avec les SMN, les SMHN et les organismes nationaux, régionaux et internationaux chargés de la gestion des fréquences radioélectriques.	Mise en œuvre continue.	Observation des bandes de fréquences radioélectriques disponibles ou non avec le degré de protection voulu.
C13	Définir des stratégies de renforcement des capacités des systèmes d'observation des pays en développement par l'intermédiaire de projets financés par des organisations internationales, au titre de partenariats bilatéraux et par la facilitation de la coopération régionale.	SMN et SMHN, avec les conseils régionaux, la CSB et d'autres commissions techniques, en collaboration avec des programmes internationaux.	Mise en œuvre continue.	Amélioration sensible de la production de données d'observation par des pays en développement.
G1	Assurer la traçabilité de l'ensemble des observations et des mesures météorologiques par rapport au SI ou aux normes de l'OMM.	SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite et la supervision de la CSB et des conseils régionaux.	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations effectuant des mesures qui se rapportent au SI ou aux normes de l'OMM.
G2	Veiller autant que possible à l'échange mondial de données horaires utilisées dans des applications mondiales, données optimisées pour adapter les besoins des usagers aux limites techniques et financières existantes.	SMN, SMHN et conseils régionaux, en coordination avec la CSB et des programmes et organismes internationaux, sous la conduite de la CSB.	Mise en œuvre continue; échancier à déterminer pour chaque système d'observation.	Indicateurs standard de contrôle employés pour la prévision numérique du temps.
G3	Promouvoir l'échange mondial de données d'une fréquence inférieure à une heure dans les secteurs d'application voulus.	SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par	Mise en œuvre continue; échancier à	Nombre de types de données d'une fréquence inférieure à une heure échangées au sein

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB.	déterminer pour chaque système d'observation.	du SIO.
G4	Assurer l'échange d'observations depuis des systèmes d'observation atmosphérique, océanique et terrestre, conformément aux normes du WIGOS et du SIO; au besoin, mettre en place divers niveaux d'observations prétraitées afin de répondre aux besoins de différents usagers.	SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB.	Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer pour chaque système d'observation.	Statistiques sur les données publiées pour chaque application.
G5	Les opérateurs de réseaux d'observation en surface devraient faciliter l'accès aux observations permettant de valider la production dans l'espace de paramètres de surface.	Conduite de la CSB, en collaboration avec les SMN et les SMHN.	Mise en œuvre continue.	Quantité de données de surface produites pour la validation de produits satellitaires.
G6	Les opérateurs de réseaux d'observation en surface devraient envisager d'utiliser des observations et des produits spatiaux pour contrôler la qualité des données émanant de réseaux de surface.	Conduite de la CSB, en collaboration avec les SMN et les SMHN.	Mise en œuvre continue.	Nombre de systèmes d'observation en surface qui font appel à des données satellitaires pour le contrôle de la qualité.
G7	Multiplier les stations de radiosondage ou remettre en service les stations de radiosondage muettes dans les zones des Régions I, II et III où les données sont les plus rares. Éviter au maximum la fermeture des stations existant dans ces zones, où même un très petit nombre de stations de radiosondage peut avoir de grands avantages pour tous les utilisateurs.	SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.	Mise en œuvre continue.	Indicateurs standard de contrôle utilisés pour la prévision numérique du temps.
G8	Revoir la conception des réseaux de radiosondage – par exemple en faisant appel à des stations isolées – en tenant compte d'autres sources de données telles que les données AMDAR et celles qui émanent des profileurs de vent.	La CSB, par le biais d'études sur les incidences de la prévision numérique du temps et sur la conception de réseaux, en coordination avec les SMN, les SMHN, des programmes relevant de l'OMM	2015 (ou plus tôt) pour une première restructuration.	Conception élaborée et mise en application.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		et coparrainés par l'OMM, d'autres commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.		
G9	Poursuivre les études et les essais concernant l'utilité des observations obtenues en augmentant la fréquence des lâchers de radiosondes sur certains sites d'observation, compte tenu de la situation météorologique de la région.	SMN, SMHN, établissements de recherche et organisations qui exploitent des réseaux de radiosondage ou qui organisent des expériences sur le terrain avec des centres de prévision numérique du temps, sous la conduite de la CSB et de la CSA.	Mise en œuvre continue, l'échéancier dépendant des campagnes régionales.	Nombre de sites de radiosondage susceptibles d'être adaptés et nombre d'observations réalisées (contrôle standard).
G10	Déterminer s'il est possible d'optimiser le réseau de radiosondage pour rendre plus uniforme la couverture traditionnelle en observations en altitude, compte tenu des besoins des utilisateurs en matière de répartition spatiale et temporelle, et soumettre à la CSB des recommandations appropriées concernant la mise à jour du <i>Règlement technique</i> de l'OMM.	SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.	2015, puis mise en œuvre continue.	Indicateurs standard de contrôle.
G11	Améliorer la qualité, la disponibilité et la viabilité du GUAN en assurant l'entretien du réseau existant et la qualité des données qui en émanent.	Conduite de la CSB, en coordination avec le SMOC, les SMN, les SMHN, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes.	Mise en œuvre continue.	Indicateurs de contrôle standard utilisés pour la prévision numérique du temps.
G12	Poursuivre la mise en place du GRUAN en finançant et en construisant les 15 stations initiales et en complétant ultérieurement le réseau qui, à terme, comprendra 30 à 40 stations.	Conduite de la CSB, en collaboration avec le SMOC, les SMN, les SMHN, les commissions techniques, les conseils régionaux et des organisations compétentes.	Mise en œuvre continue.	Indicateurs de contrôle standard employés pour la prévision numérique du temps et indicateurs définis dans les exigences du GRUAN en matière d'observations.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
G13	Recenser les stations de radiosondage qui effectuent des mesures régulièrement (y compris les radiosondes fonctionnant lors de campagnes uniquement), mais dont les données ne sont pas transmises en temps réel; prendre des mesures pour rendre ces données disponibles.	SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations de radiosondage indiquées qui transmettent des données via le SMT, plus indicateurs standard de contrôle de la disponibilité et de la rapidité d'acheminement des données.
G14	Veiller à une diffusion en temps voulu des mesures de haute résolution verticale émanant de radiosondes, ainsi que de la position et de l'heure de chaque donnée et des métadonnées associées.	SMN et SMHN, en coordination avec des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, les commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations compétentes, sous la conduite de la CSB et des conseils régionaux.	Mise en œuvre continue.	Nombre de sites de radiosondage produisant des profils haute résolution.
G15	Réaliser des études sur les incidences de la prévision numérique du temps pour évaluer l'impact des données de radiosondage au-dessus de 100 hPa en cas de prévision numérique mondiale, dans le contexte des systèmes d'observation actuels (en 2012).	Centres de prévision numérique du temps, coordonnés par l'Équipe d'expert pour l'évolution du SMO relevant de la CSB, en collaboration avec la CSA.	Avant fin 2013.	Nombre d'études indépendantes réalisées.
G16	Réaliser des expériences de simulation de systèmes d'observation pour évaluer l'impact de l'amélioration des informations au-dessus de 100 hPa sur les prévisions relatives à la troposphère.	Centres de prévision numérique du temps coordonnés par l'Équipe d'experts de la CSB pour l'évolution du SMO, en collaboration avec la CSA.	Avant fin 2013.	Nombre d'expériences indépendantes de ce type réalisées.
G17	Créer des réseaux régionaux de stations de profilage par télédétection complémentaires des systèmes d'observation par radiosondage et à partir d'aéronefs, selon les besoins des utilisateurs régionaux, nationaux et locaux (bien qu'une partie des données mesurées doive avoir des applications mondiales).	Organisations exploitant des stations de profilage de façon régulière ou à des fins de recherche, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux, les commissions techniques – essentiellement la CSA, la CSB	Mise en œuvre continue, les conseils régionaux devant fixer des échéanciers détaillés sur le plan régional.	Nombre de stations de profilage transmettant en temps réel au SIO, en passant par le SMT, des données dont la qualité a été évaluée.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		et la CIMO – et d'autres organismes régionaux tels qu'EUMETNET en Europe, sous la conduite de la CSB et en collaboration avec la CIMO, la CSA et les conseils régionaux.		
G18	Veiller autant que possible au traitement et à l'échange de données issues de profileurs en vue d'un usage local, régional et mondial. Lorsque de telles données peuvent être produites à une fréquence supérieure à une heure, un jeu de données ne contenant que des observations horaires peut être échangé sur le plan mondial selon les principes du SIO.	Organisations exploitant des stations de profilage de façon régulière ou à des fins de recherche, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux, les commissions techniques – essentiellement la CSA, la CSB et la CIMO – et d'autres organismes régionaux tels qu'EUMETNET en Europe, sous la conduite de la CSB et en collaboration avec les conseils régionaux.	Mise en œuvre continue, les conseils régionaux devant fixer des échéanciers détaillés sur le plan régional.	Nombre de stations de profilage transmettant des données sur le plan mondial.
G19	Améliorer la couverture en données AMDAR des zones où les données sont rares, surtout dans les Régions I et III, en privilégiant la production de données dans les aéroports des tropiques et de l'hémisphère Sud où des profils verticaux sont les plus nécessaires en complément de la couverture actuelle en données de radiosondage et de son évolution probable.	SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes commerciales et autres et les conseils régionaux, sous la conduite de l'administration du programme AMDAR.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'aéroports où des mesures AMDAR sont effectuées; nombre de profils verticaux et de données AMDAR en général, mesuré par les indicateurs habituels du programme AMDAR actuel.
G20	Développer le programme AMDAR de façon à équiper et à mobiliser davantage de flottes et d'appareils internationaux – flottes et appareils volant vers et entre des aéroports internationaux situés en dehors de leur pays d'origine – et à accroître l'emploi de systèmes d'optimisation des données en vue d'améliorer la couverture et l'efficacité des observations en altitude et la fonction d'adaptation des systèmes.	SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes commerciales et autres, les conseils régionaux, la CSB et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'aéroports où des mesures AMDAR sont effectuées et nombre de profils verticaux établis par jour dans chaque aéroport; nombre de compagnies aériennes internationales et d'appareils équipés pour produire des observations

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
				AMDAR; adaptabilité du programme AMDAR.
G21	Étant donné la nature du système d'observation par aéronefs, élément de plus en plus important et fondamental du SMO, chercher à conclure des accords avec des compagnies aériennes et l'industrie aéronautique pour que le système, l'infrastructure, les données et les protocoles de transmission soient pris en charge et normalisés dans les cadres appropriés de l'industrie en vue de garantir la continuité et la fiabilité du système.	SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes nationales et autres, l'industrie aéronautique, les conseils régionaux, la CSB et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'accords conclus avec des partenaires et des organisations de l'industrie aéronautique.
G22	Poursuivre la conception et la mise en œuvre opérationnelle de capteurs d'humidité en tant qu'éléments intégrés du système AMDAR afin que les données sur l'humidité soient traitées et transmises de la même façon que celles sur le vent et la température.	SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes commerciales et autres, les commissions techniques (CSB, CIMO) et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'aéronefs produisant des données en temps réel sur l'humidité.
G23	Renforcer et accroître la capacité de transmettre des observations sur les turbulences atmosphériques et le givrage en tant que composantes intégrées du système AMDAR, selon les besoins des programmes pertinents et des utilisateurs de données.	SMN et SMHN, en collaboration avec des compagnies aériennes, les commissions techniques (CSB, CIMO), les conseils régionaux et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'aéronefs transmettant en temps réel des données sur les turbulences atmosphériques et le givrage.
G24	Concevoir et mettre en œuvre des systèmes AMDAR opérationnels adaptés aux petits aéronefs opérant à l'échelle régionale et évoluant dans la basse troposphère.	Compagnies aériennes exploitant de petits aéronefs, SMN et SMHN, en collaboration avec les conseils régionaux, la CSB et l'administration du programme AMDAR, sous la conduite de cette dernière.	Mise en œuvre continue.	Nombre de petits aéronefs transmettant des observations AMDAR en temps réel sur le plan opérationnel.
G25	Exhorter les administrateurs de programmes nationaux d'observation météorologique à élargir la portée des stations aux observations relatives à la	SMN, SMHN, organisations et établissements de recherche qui réalisent des observations	Mise en œuvre continue; échéancier à	Nombre de stations qui observent la composition de l'atmosphère.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
	chimie de l'atmosphère.	sur la composition de l'atmosphère, en coordination avec les commissions techniques – en particulier la CSA et la CSB – et les conseils régionaux, sous la conduite de la CSA et de la CSB, avec les conseils régionaux.	déterminer pour chaque conseil régional.	
G26	Obtenir plus d'avantages des stations existantes de réception GNSS en passant des accords de collaboration avec les propriétaires et les exploitants de ces stations en vue d'accéder à des données en temps réel, de les traiter et de les partager afin de recueillir des informations météorologiques ou ionosphériques (délai zénithal total ou vapeur d'eau intégrée, teneur totale en électrons).	Les SMN et les SMHN, à titre individuel ou par groupements multilatéraux, dirigeront cette activité et devront collaborer avec les propriétaires ou les exploitants des stations, avec les conseils régionaux (pour déterminer les besoins en matière d'échanges) et les commissions techniques (pour obtenir des directives).	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations de réception GNSS qui affichent leurs données en temps réel; nombre de stations pouvant servir à la prévision numérique du temps tout en se conformant aux critères habituels de contrôle.
G27	Organiser un échange mondial de données provenant d'une partie des stations de réception GNSS en vue d'obtenir une fréquence d'une heure environ (pour satisfaire aux conditions d'applications mondiales).	Organisations et établissements de recherche exploitant des stations de réception GNSS, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux, les commissions techniques – principalement la CSA et la CSB – et d'autres organisations internationales telles qu'EUMETNET, sous la conduite de la CSB, avec les conseils régionaux.	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations de réception GNSS dont les données sont échangées en temps réel sur le plan mondial.
G28	Optimiser l'observation de la vapeur d'eau en altitude au-dessus des terres émergées en envisageant la création en collaboration de nouvelles stations de réception GNSS et d'autres systèmes d'observation de l'humidité.	Organisations et établissements de recherche exploitant des stations de réception GNSS, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux,	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations de réception GNSS diffusant des données en temps réel; nombre de stations pouvant être utilisées pour la prévision numérique du temps en

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		les commissions techniques – principalement la CSA et la CSB – et d'autres organisations internationales telles qu'EUMETNET, sous la conduite des SMN et des SMHN, avec les conseils régionaux.		respectant les critères de contrôle habituels.
G29	Élargir le Réseau de référence pour la mesure du rayonnement en surface afin d'obtenir une couverture mondiale.	SMN, SMHN, établissements de recherche, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations du Réseau de référence.
G30	Veiller, dans la mesure du possible, à l'échange mondial en temps réel de variables mesurées par des stations d'observation en surface, y compris des stations climatologiques, avec une fréquence d'au moins une heure.	SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Pourcentage d'observations échangées sur le plan mondial avec une fréquence d'une heure par rapport au nombre de stations qui procèdent à des observations toutes les heures.
G31	Améliorer la compatibilité des données, leur disponibilité – également à une fréquence plus élevée – et la couverture en données, notamment climatologiques, d'observation en surface grâce à la gestion de la qualité, à l'automatisation et à l'échange en temps réel de données provenant de préférence de toutes les stations opérationnelles.	SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Pourcentage de stations qui distribuent en temps réel sur le SIO et le SMT des observations dont la qualité a été contrôlée par rapport au nombre de stations qui produisent des observations.
G32	Veiller à ce que les variables mesurées par des stations au sol, notamment climatologiques, soient échangées ensemble, avec accès aux métadonnées pertinentes, conformément aux normes du WIGOS et du SIO. Il faudrait porter une attention particulière à l'incertitude quant à l'altitude barométrique.	SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Indicateurs de contrôle habituels.
G33	Améliorer la conception des réseaux synoptiques de base régionaux et des réseaux climatologiques de base régionaux en faisant tout pour conserver des stations importantes sur le plan climatologique.	Conduite de la CSB par le biais d'études d'impact de la prévision numérique du temps et d'études de conception des réseaux, en coordination avec	2015.	Conception et mise en œuvre de réseaux.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		les SMN, les SMHN, des programmes relevant de l'OMM et coparrainés par l'OMM, d'autres commissions techniques, les conseils régionaux et d'autres organisations pertinentes.		
G34	Mettre en place dès que possible un échange en temps quasi réel d'observations sur la composition de l'atmosphère effectuées par des stations au sol. Suivre les recommandations de la VAG et les pratiques du WIGOS et du SIO pour lancer cette diffusion, ainsi que les pratiques standard d'évaluation de la qualité.	Organisations et établissements de recherche effectuant des observations sur la composition de l'atmosphère, en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux et les commissions techniques, sous la conduite de la CSA et de la CSB, avec les conseils régionaux.	Mise en œuvre continue; échéancier à déterminer pour chaque conseil régional.	Nombre de stations au sol observant la composition de l'atmosphère qui diffusent en temps réel des données dont elles ont contrôlé la qualité.
G35	Mettre en place dès que possible un réseau d'observation de la cryosphère de grande ampleur composé de sites de référence, appelé CryoNet.	Organisations, institutions et établissements de recherche assurant l'observation et la surveillance de la cryosphère en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux et les commissions techniques, selon les besoins, sous la conduite de l'équipe chargée de CryoNet et sous la supervision du Comité consultatif et du Comité de gestion de la Veille mondiale de la cryosphère.	2014.	Nombre de sites de référence appartenant au réseau Cryonet.
G36	Procéder autant que possible à un échange en temps réel ou quasi réel de données sur la cryosphère émanant de CryoNet; adopter les pratiques de la Veille mondiale de la cryosphère, du WIGOS et du SIO pour lancer cette diffusion ainsi que les pratiques standard d'évaluation de la qualité des données et de leur archivage.	Organisations, institutions et établissements de recherche assurant l'observation et la surveillance de la cryosphère en coordination avec les SMN, les SMHN, les conseils régionaux et les commissions	2014.	Nombre de stations CryoNet qui produisent des données dont la qualité est contrôlée.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		techniques, selon les besoins, sous la conduite de l'équipe chargée de CryoNet et sous la supervision du Comité consultatif et du Comité de gestion de la Veille mondiale de la cryosphère.		
G37	Améliorer, sur le plan mondial, l'efficacité de la détection de la foudre en élargissant la couverture des systèmes de détection longue distance et en mettant en place de nouveaux systèmes. Le comblement des lacunes dans les zones peuplées et sur l'itinéraire des aéronefs commerciaux devrait être prioritaire.	SMN, SMHN, organismes exploitant des systèmes de détection de la foudre à longue distance, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB et de la CIMO, qui dirigeront l'opération de concert.	Mise en œuvre continue.	Couverture en données pour ce type d'observations.
G38	Concevoir et mettre en œuvre des techniques d'intégration de données sur la détection de la foudre émanant de divers systèmes, notamment terrestres et spatiaux, afin d'obtenir des produits composites.	SMN, SMHN, organismes exploitant des systèmes de détection de la foudre, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB et de la CIMO, qui dirigeront l'opération de concert.	Mise en œuvre continue.	Degré d'intégration des systèmes de détection de la foudre.
G39	Améliorer l'échange de données sur la détection de la foudre en temps réel en concevant et en appliquant des protocoles convenus pour l'échange de données.	SMN, SMHN, organismes exploitant des systèmes de détection de la foudre, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB et de la CIMO.	Mise en œuvre continue.	Pourcentage des observations échangées sur le plan régional et mondial.
G40	Assurer, en temps réel autant que possible, l'échange d'observations et de métadonnées pertinentes, notamment en déterminant la représentativité des stations de surface servant à des applications particulières (transports routiers, aéronautique, météorologie agricole, météorologie urbaine, etc.).	Organismes exploitant des stations servant à des applications particulières, SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Pourcentage d'observations émanant des stations indiquées échangées en temps réel sur le plan régional et mondial.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
G41	Améliorer les observations dans des zones déterminées à l'appui d'études sur la conception et l'exploitation d'installations consacrées aux énergies renouvelables, notamment en vue de comprendre l'influence de ces installations sur les phénomènes météorologiques et climatologiques locaux liés à l'utilisation de ces énergies.	Organismes exploitant des stations consacrées aux énergies renouvelables, SMN, SMHN, conseils régionaux et commissions techniques, sous la coordination de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'observations concernant les énergies renouvelables.
G42	Conserver, à des fins climatologiques, les stations hydrologiques existantes du réseau de base du SMOC et du SMOT et faciliter l'échange mondial des données qui en émanent.	Tous les services hydrologiques qui exploitent ces stations de référence, commissions techniques (CHy et CSB) et SMOC, sous la conduite de la CSB et du SMOC.	Mise en œuvre continue.	Pourcentage des stations hydrologiques de référence qui échangent sur le plan mondial des données dont la qualité a été contrôlée.
G43	Inclure les observations de variables hydrologiques essentielles (précipitations liquides et solides, évaporation, épaisseur de la neige, équivalent en eau de la neige, épaisseur de la glace des lacs et des cours d'eau, hauteur d'eau, écoulement de l'eau, humidité des sols) dans un système intégré et cohérent d'observation, de traitement et d'échange, conformément aux normes du WIGOS.	Services hydrologiques et SMOC, sous la conduite de commissions techniques (CHy et CSB).	Mise en œuvre continue.	Pourcentage de données hydrologiques intégrées dans ce système.
G44	Poursuivre et développer les programmes actuels d'observation et de surveillance des eaux souterraines, et notamment celui de l'IGRAC.	Services hydrologiques, en collaboration avec la CHy, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et le SMOT (et en particulier son réseau terrestre mondial pour les eaux souterraines), sous la conduite de la CHy et du SMOT.	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations d'observation des eaux souterraines en service.
G45	Accroître le déploiement, l'étalonnage et l'exploitation de radars à double polarisation dans les régions où cela est bénéfique.	Conduite de la CSB, avec la CIMO, les conseils régionaux, les SMN et les SMHN.	Mise en œuvre continue.	Couverture en données des radars de ce type dans chaque Région.
G46	Procéder à une comparaison des logiciels des radars météorologiques en vue d'améliorer la qualité de l'évaluation quantitative des précipitations.	CIMO, en collaboration avec les SMN, les SMHN et les organismes qui exploitent des radars météorologiques.	Mise en œuvre continue.	Orientation donnée aux exploitants et aux Membres.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
G47	Un effort particulier doit être fait dans les zones des pays en développement sujettes aux tempêtes et aux inondations afin de mettre en place et d'entretenir des stations radar météorologiques.	SMN, SMHN et organismes exploitant des radars météorologiques, en collaboration avec les conseils régionaux et les commissions techniques (CSB, CIMO et CHy), sous la conduite de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Nombre de stations radar météorologiques en service dans les zones indiquées.
G48	Définir les données issues de radars météorologiques à échanger sur le plan régional et mondial, proposer une fréquence d'échange de ces données et établir un cadre pour le traitement des données en question parallèlement à la conception de produits conformes aux exigences nationales, régionales et mondiales.	Sous la conduite de la CSB, CIMO et CHy en coordination avec les SMN, les SMHN et les organismes exploitant des radars météorologiques, en collaboration avec les conseils régionaux.	Mise en œuvre continue.	Quantité de données radar échangées sur le plan mondial et régional.
G49	Entretenir et optimiser le réseau ASAP existant dans l'Atlantique Nord et créer des programmes semblables dans le Pacifique Nord et l'océan Indien.	SMN et SMHN, en collaboration avec des entreprises exploitant des navires commerciaux, avec les conseils régionaux, la CMOM, la CSB et la CSA, sous la conduite de la CMOM.	Mise en œuvre continue.	Quantité de données ASAP disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps).
G50	Veiller à l'emploi de techniques de pointe pour accroître la précision de l'ensemble des mesures effectuées dans des stations maritimes. Augmenter la capacité de mesure de la visibilité dans les océans.	SMN, SMHN et organismes nationaux partenaires, en collaboration avec des organisations internationales et des agences spatiales, sous la conduite de la CMOM, de la CSB et de la CIMO.	Mise en œuvre continue.	Indicateurs de contrôle habituels concernant la disponibilité et la qualité des observations maritimes.
G51	Améliorer la qualité des observations de navires grâce à des rapports plus réguliers avec les centres de contrôle de la prévision numérique du temps et à des vérifications plus régulières des instruments embarqués.	Agents météorologiques de port, SMN, SMHN et autres centres de contrôle, en collaboration avec des entreprises exploitant des navires commerciaux, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.	Mise en œuvre continue.	Indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
G52	Soutenir le DBCP dans sa mission d'entretien et de coordination de toutes les composantes du réseau mondial de plus de 1 250 bouées dérivantes et de 400 bouées ancrées qui permet de mesurer, par exemple, la température de la mer en surface, la vitesse des courants en surface, la température de l'air et la vitesse et la direction du vent.	SMN, SMHN et services océanographiques nationaux, en collaboration avec la CMOM, organisations internationales, organismes exploitant des bouées océaniques, CSB et CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.	Mise en œuvre continue.	Quantité de données dont la qualité a été contrôlée qui émanent de bouées ancrées et dérivantes et qui sont disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps).
G53	Installer des baromètres sur toutes les bouées dérivantes nouvellement déployées.	SMN, SMHN et services océanographiques nationaux, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des bouées océaniques, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.	Mise en œuvre continue.	Disponibilité d'observations de la pression en surface émanant de bouées dérivantes.
G54	Développer le réseau existant de bouées ancrées dans la partie tropicale de l'océan Indien pour obtenir une couverture en données semblable à celle de la partie tropicale de l'Atlantique et du Pacifique.	SMN, SMHN et services océanographiques nationaux, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des bouées océaniques, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.	Mise en œuvre continue.	Nombre de bouées ancrées disponibles dans la partie tropicale de l'océan Indien et couverture en données émanant de celles-ci (indicateurs habituels de contrôle).
G55	Élargir la couverture en données émanant de bouées mouillées dans des zones de glace de la calotte polaire septentrionale grâce à un déploiement régulier de nouvelles bouées dérivantes.	SMN, SMHN et services océanographiques et établissements polaires nationaux, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des bouées océaniques, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CSB et de la CMOM.	Mise en œuvre continue.	Quantité de données émanant de bouées déployées dans des zones de glace disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle de la prévision numérique du temps).

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
G56	Veiller à la disponibilité sur le plan mondial de données <i>in situ</i> sur le niveau de la mer (marégraphes, tsunamètres).	SMN, SMHN et partenaires nationaux, en collaboration avec des organisations internationales et des agences spatiales, sous la conduite de la CMOM, de la CSB et de la CIMO.	Mise en œuvre continue.	Quantité de données émanant de marégraphes disponibles sur le plan mondial.
G57	Faire passer le réseau de flotteurs profilants Argo du mode recherche au mode exploitation à des fins de prévision océanique et météorologique et veiller à la production et à la diffusion en temps voulu de données sur la température et la salinité sous la surface des océans ayant une haute résolution verticale.	SMN, SMHN, services océanographiques nationaux, en collaboration avec le programme Argo, la CMOM, des organisations internationales, des organismes exploitant des flotteurs profilants, la CSB et la CIMO, sous la conduite de la CMOM et de la CSB.	Mise en œuvre continue.	Quantité de données émanant de profileurs profilants disponibles en temps réel (indicateurs habituels de contrôle).
G58	Pour les besoins de la prévision océanique et météorologique, accélérer la transmission de l'information et distribuer les données à résolution verticale élevée sur la température de l'eau sous la surface à partir de navires/XBT.	SMN, SMHN, institutions océanographiques nationales, en collaboration avec la CMOM, des organisations internationales et des entreprises exploitant des navires occasionnels, la CSB et la CIMO. La CMOM est responsable de l'activité, en collaboration avec la CSB.	Mise en œuvre continue.	Volume de données XBT en temps réel (indicateurs de suivi habituels).
G59	Dans la mesure du possible et selon qu'il convient, intégrer les mesures automatiques de la composition de l'atmosphère à partir d'aéronefs aux mesures du vent, de la température et de l'humidité, assorties du traitement et la diffusion voulus, selon les normes de la VAG et autres normes pertinentes.	Organisations qui effectuent des mesures atmosphériques depuis des plates-formes d'aéronefs, SMN, SMHN en collaboration avec des compagnies d'aviation commerciale et autres, commissions techniques de l'OMM (CSB, CIMO, CSA) et groupe d'experts AMDAR. La CSB, la CSA et le groupe	Mise en œuvre continue.	Nombre d'aéronefs engagés dans la réalisation d'observations météorologiques et de mesures de la composition de l'atmosphère en temps réel.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		d'experts AMDAR sont responsables de l'activité.		
S1	Permettre aux Membres, selon qu'il convient, de mettre pleinement à profit l'évolution des capacités d'observation par satellite grâce à des lignes directrices concernant les systèmes de réception et de diffusion de données, y compris les améliorations à apporter à l'infrastructure.	CSB responsable de l'activité, en consultation avec le CGMS et des exploitants de satellites.	Mise en œuvre continue.	Degré de réponse positive à l'enquête sur les besoins des utilisateurs de services des Membres.
S2	Les exploitants de satellites fournissent une description complète de toutes les étapes nécessaires à la préparation de produits satellitaires, notamment les algorithmes et jeux de données utilisés, ainsi que les caractéristiques et résultats des activités de validation.	Exploitants de satellites appartenant au CGMS et au CSOT.	Mise en œuvre continue.	Nombre de produits entièrement documentés, en conformité avec la procédure du cadre de référence pour la gestion de la qualité.
S3	Les exploitants de satellites garantissent la préservation et l'archivage scientifique des données à long terme, assortis d'un retraitement régulier (en gros tous les cinq ans).	Exploitants de satellites, en coordination avec le SMOC.	Mise en œuvre continue.	Mise en place d'archives de données satellitaires à long terme, assorties d'un retraitement régulier.
S4	Les Membres sont en mesure de mettre à profit l'évolution des capacités d'observation par satellite grâce à des activités adéquates d'enseignement et de formation orientées vers les applications (y compris le télé-enseignement).	CGMS par le biais de son Laboratoire virtuel (VLab), y compris les centres d'excellence, et les partenaires.	Mise en œuvre continue.	Degré de réponse positive à l'enquête sur les besoins des Membres en matière de formation.
S5	Les Régions déterminent et mettent à jour leurs besoins en matière de jeux de données et produits satellitaires.	Conseils régionaux et exploitants de satellites par le biais de leurs équipes spéciales régionales et des centres d'excellence du VLab.	Mise en œuvre continue.	Établissement d'une liste complète et actualisée de besoins régionaux.
S6	Maintenir et mettre au point en mode d'exploitation les comparaisons et les interétalonnages du GSICS entre les capteurs GEO et les capteurs LEO.	GSICS.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'instruments étalonnés conformément aux normes du GSICS.
S7	Assurer la continuité et le recouvrement des principaux capteurs satellitaires, en tenant compte du traitement en temps réel et en différé pour la cohérence des archives climatologiques, les réanalyses, la recherche, le réétalonnage ou les études de cas.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données satellitaires.	Mise en œuvre continue.	Continuité et cohérence des relevés de données.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
S8	Assurer et maintenir le déploiement d'au moins six satellites d'exploitation géostationnaires le long de l'équateur, séparés idéalement de 70 degrés de longitude maximum. Améliorer la couverture spatiale et temporelle au moyen de satellites GEO au-dessus du Pacifique.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données satellitaires.	Mise en œuvre continue.	Qualité de la couverture mondiale assurée par les différents instruments installés à bord de satellites d'exploitation géostationnaires.
S9	À bord de chaque satellite d'exploitation géostationnaire, installer et maintenir au moins un imageur dans le visible/infrarouge, avec 16 canaux minimum couvrant le disque complet et une résolution temporelle minimale de 15 minutes et une résolution horizontale minimale de 2 km (au point sous-satellite).	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques et des agences spatiales.	Mise en œuvre continue.	Nombre de satellites géostationnaires dotés d'imageurs haute résolution.
S10	Pour chaque satellite géostationnaire, établir une stratégie de balayage et organiser le traitement des images (avec d'autres instruments ou sources d'information), afin de produire des vecteurs de mouvement atmosphérique à une fréquence d'au moins une heure.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement des données.	Mise en œuvre continue.	Nombre de satellites géostationnaires qui produisent des vecteurs de mouvement atmosphérique.
S11	Tous les satellites météorologiques géostationnaires devraient être dotés de capteurs hyperspectraux dans l'infrarouge capables d'effectuer de fréquents sondages de la température et de l'humidité, ainsi que des profilages du vent à l'aide de traceurs, avec une résolution assez élevée (horizontale, verticale et temporelle).	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement des données.	Mise en œuvre continue pour la planification et la préparation des missions; 2015-2025 pour la mise en service des instruments.	Nombre de satellites géostationnaires équipés de sondeurs hyperspectraux.
S12	Tous les satellites météorologiques géostationnaires devraient être dotés d'un imageur d'éclairs capable de détecter les impacts nuage-nuage et nuage-sol.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue pour la planification et la préparation des missions; 2015-2025 pour la mise en service des instruments.	Nombre de satellites géostationnaires équipés d'un imageur d'éclairs.
S13	Assurer la coordination orbitale pour toutes les missions météorologiques essentielles en orbite basse, afin d'optimiser la couverture temporelle et	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques et	Mise en œuvre continue.	Nombre de missions satellitaires LEO avec la répartition de leurs orbites.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
	spatiale, tout en maintenant une certaine redondance des orbites. Les missions LEO devraient comporter au moins trois satellites d'exploitation héliosynchrones à défilement, avec des heures de passage au-dessus de l'équateur de 13 h 30, 17 h 30 et 21 h 30 (heure locale).	des agences spatiales.		
S14	Accroître la rapidité de transmission des données satellitaires LEO, en particulier pour les missions météorologiques essentielles sur les trois plans orbitaux, en mettant en place des systèmes de communication et de traitement en mesure d'acheminer les données en moins de 30 minutes (comme c'est le cas avec le réseau RARS pour certains jeux de données).	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Rapidité de transmission des données satellitaires LEO, évaluée au moyen de cotes standard.
S15	Améliorer l'accès local en temps réel aux données satellitaires LEO, en particulier pour les missions météorologiques essentielles sur les trois plans orbitaux, en mettant en place et maintenant des systèmes de communication et de traitement à lecture directe.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Volumes de données satellitaires LEO accessibles par lecture directe.
S16	Concevoir les composantes terrestres pour les sondes hyperspectrales dans l'infrarouge, afin de définir et mettre en œuvre une stratégie de réduction des données qui optimise l'information accessible, compte tenu des contraintes de temps et de coût, tout en répondant aux besoins des différents groupes d'utilisateurs.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Volume et rapidité de transmission de jeux de données aux différents utilisateurs de sondes hyperspectrales.
S17	Comblent les lacunes au niveau de la couverture prévue offerte par les sondes hyperfréquence en orbite du petit matin.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques et des agences spatiales.	Mise en œuvre continue.	Nombre de sondes hyperfréquence prévus à bord de satellites en orbite du petit matin.
S18	Se servir des imageurs de toutes les plates-formes d'exploitation en orbite polaire en vue de produire des vecteurs de mouvement atmosphérique à partir du suivi des nuages (ou de la vapeur d'eau).	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Volume et rapidité de transmission des différents jeux de données obtenus en mode d'exploitation sur les calottes polaires.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
S19	Prévoir un canal consacré à la vapeur d'eau (p. ex. 6,7 μm) sur les imageurs de tous les satellites météorologiques à défilement essentiels, en vue de faciliter la dérivation des vents polaires à partir des mouvements de la vapeur d'eau.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Nombre de satellites météorologiques à défilement essentiels dotés d'un imageur pouvant exploiter le canal de la vapeur d'eau.
S20	Mettre à disposition les imageurs hyperfréquence voulus utilisables sur tous les canaux nécessaires pour suivre la température de la mer en surface.	CGMS, en collaboration avec des exploitants de satellites.	Mise en œuvre continue.	Nombre de satellites LEO dotés d'un capteur hyperfréquence de température de la mer en surface.
S21	Mettre en service et maintenir une constellation de récepteurs GNSS de radio-occultation placés à bord de plates-formes à différentes orbites, afin de produire au moins 10 000 occultations par jour (ordre de grandeur à affiner lors de l'activité suivante). Organiser la transmission des données en temps réel aux centres de traitement.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'occultations GNSS par jour traitées en temps quasi réel.
S22	Réaliser une Expérience de simulation des systèmes d'observation (OSSE), en vue d'évaluer l'impact de différents nombres d'occultations par jour, et d'estimer ainsi le nombre optimal d'occultations quotidiennes requises.	Centres de PNT, en coordination avec la CSB (responsable de l'activité) et la CSA.	Avant la fin de 2013.	Nombre d'expériences OSSE menées.
S23	Mettre en service une constellation d'altimètres comportant une mission de référence sur orbite inclinée non héliosynchrone haute précision et deux instruments sur orbites héliosynchrones bien séparées.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, la CMOM, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Nombre de satellites qui fournissent des données altimétriques en temps réel, avec leur géométrie orbitale.
S24	Mettre et maintenir en service au moins un imageur à double angle de visée dans l'infrarouge à bord d'un satellite à défilement, afin de fournir des mesures de la température de la mer en surface pour les applications de la surveillance du climat.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, la CMOM, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Disponibilité opérationnelle d'imageurs à double angle de visée.
S25	Mettre en service au moins une mission de radar de détection des précipitations sur une orbite inclinée, ainsi qu'une mission d'exploitation pour assurer le suivi.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques,	2014 (mission initiale) et mise en œuvre continue (suivi).	Mise en œuvre d'une mission.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		des agences spatiales et des centres de traitement de données.		
S26	À l'appui du programme GPM, mettre en œuvre au moins une mission passive hyperfréquence sur une orbite à faible inclinaison.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Mise en œuvre d'une mission satellitale passive hyperfréquence sur une orbite à faible inclinaison.
S27	Organiser la fourniture de données GPM en temps réel au service de la prévision immédiate et de l'hydrologie opérationnelle.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Mesure dans laquelle les besoins relatifs à la prévision immédiate et à l'hydrologie opérationnelle sont satisfaits.
S28	Assurer la continuité des mesures du bilan radiatif de la Terre à l'échelle mondiale en maintenant en service des radiomètres à large bande et des capteurs de l'éclairement énergétique total du Soleil à bord d'au moins un satellite LEO à défilement.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Nombre de satellites à défilement contribuant à la mission de mesure du bilan radiatif de la Terre.
S29	Pour les applications de l'analyse de la chimie de l'atmosphère, y compris la surveillance de l'ozone, les espèces réactives intéressant la qualité de l'air et la pollution atmosphérique, et la surveillance des gaz à effet de serre, assurer la mise en service continue de sondeurs dans l'ultraviolet/le visible/le proche infrarouge, notamment des sondeurs à haute résolution spectrale dans l'ultraviolet/le visible à bord d'un satellite GEO, ainsi qu'au moins un sondeur dans l'ultraviolet/le visible sur trois orbites polaires bien séparées. Garantir par ailleurs la continuité des capacités en matière de sondage du limbe.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales et des centres de traitement de données.	Mise en œuvre continue.	Nombre de sondeurs GEO et LEO dans l'ultraviolet/le visible/l'infrarouge contribuant à l'analyse de la chimie atmosphérique.
S30	Se fonder sur l'expérience acquise lors de missions de démonstration (comme ADM-AEOLUS) en vue de planifier et concevoir un système d'observation d'exploitation fondé sur les mesures du vent Doppler (assurant une couverture mondiale des profils du vent).	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, l'ESA et d'autres agences spatiales, ainsi que des centres	Dès que possible après le recueil des données issues des missions de démonstration.	Nombre et qualité des profils du vent fournis par les lidars Doppler (depuis l'espace) accessibles par les utilisateurs.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
		de traitement de données et de PNT.		
S31	Transmettre les données lidar d'observation des nuages/aérosols produites par des missions satellitales à des centres de traitement de données et aux utilisateurs. Se servir de cette expérience pour arrêter une éventuelle mission d'observation des nuages/aérosols (intégrée ou non dans une mission lidar Doppler de mesure du vent).	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des utilisateurs de prévisions et de données concernant la chimie de l'atmosphère.	Mise en œuvre continue, avec efforts en phase avec la mission EARTH-CARE.	Volume de données produites par les lidars d'observation des nuages et des aérosols depuis l'espace et employées pour des applications opérationnelles.
S32	Étudier les avantages procurés par les missions de démonstration satellitales comme SMOS (missions fondées sur des radiomètres hyperfréquence à basse fréquence) pour les modèles atmosphériques, hydrologiques et océaniques, dans un contexte quasi opérationnel, et décider s'il convient de concevoir une mission d'exploitation de ce type.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, la CMOM, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres de modélisation météorologique, hydrologique et océanique.	Dès que possible pour les études d'impact, à partir de 2013 pour arrêter les nouvelles missions.	Améliorations apportées par le recours à ces données hyperfréquence dans différents modèles.
S33	Planifier et concevoir une mission de démonstration avec des instruments hyperfréquence à bord d'un satellite géostationnaire, dans le but d'améliorer sensiblement l'observation en temps réel des nuages et des précipitations.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres de modélisation météorologique et hydrologique.	Dès que possible, en tenant compte de la maturité de la technologie.	Réussite de la mise en service d'un instrument hyperfréquence à bord d'un satellite GEO, puis améliorations apportées à la prévision météorologique et hydrologique par les données fournies.
S34	Planifier et concevoir une mission de démonstration comportant des instruments dans le visible/proche infrarouge à haute résolution à bord d'un satellite géostationnaire, dans le but d'améliorer sensiblement l'observation de la couleur des océans, de la végétation, des nuages et des aérosols grâce au recours à des capteurs multibandes à bande étroite.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres météorologiques, océanographiques et environnementaux.	Dès que possible, en tenant compte de la maturité de la technologie.	Réussite de ce type d'instrument à bord d'un satellite GEO, puis améliorations apportées aux sciences de la météorologie, de l'océanographie et de l'environnement par les données fournies.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
S35	Planifier et concevoir une mission de démonstration comportant des instruments dans le visible/l'infrarouge à bord d'un satellite à orbite très elliptique et à forte inclinaison au-dessus de l'équateur, en vue de cibler une zone polaire. L'objectif visé est d'obtenir les mêmes observations environnementales d'une qualité semblable à celle offerte par les satellites GEO.	CGMS responsable de l'activité, en collaboration avec des commissions techniques, des agences spatiales, des centres de traitement de données et des centres météorologiques et environnementaux.	Dès que possible, en tenant compte de la maturité de la technologie.	Réussite d'un instrument dans le visible/l'infrarouge à bord d'un satellite HEO, puis améliorations apportées aux sciences de la météorologie et de l'environnement par les données fournies.
W1	Élaborer et mettre en œuvre un plan coordonné visant à assurer la continuité des mesures solaires, notamment les mesures du vent solaire, ainsi que des observations du champ magnétique interplanétaire et de l'héliosphère au moyen d'images, y compris les mesures à différents emplacements, comme le point de Lagrange L1, la ligne Soleil-Terre en amont du point L1, le point de Lagrange L5, et élaborer et mettre en place le réseau mondial requis d'antennes terrestres pour la réception et le traitement des données.	ICTSW, CGMS et agences spatiales.	Fin 2014.	Mise en place de plans coordonnés de continuité jusqu'en 2030.
W2	Coordonner et normaliser les données actuelles d'observation solaire depuis le sol et les étendre au besoin pour assurer la redondance, et mettre en place un portail de données commun ou un observatoire virtuel au sein du SIO.	ICTSW et tous les Membres qui effectuent des observations solaires depuis le sol.	Mise en œuvre continue.	Établissement d'un modèle de données pour les observations solaires depuis le sol.
W3	Accroître la résolution spatiale des observations ionosphériques GNSS à partir du sol (teneur totale en électrons (TEC) et scintillation), soit en déployant des récepteurs supplémentaires dans les régions mal couvertes (p.ex. Afrique), de manière à rendre accessibles les données recueillies par les récepteurs existants, soit en ayant recours à différentes techniques de réception de données GNSS, comme les récepteurs à bord d'aéronefs, afin de réduire le manque de couverture au-dessus des océans.	ICTSW et tous les Membres qui exploitent ou planifient des réseaux GNSS terrestres.	Mise en œuvre continue.	Nombre de récepteurs GNSS terrestres en mesure de transmettre des données en temps réel.
W4	Augmenter la rapidité de transmission des mesures GNSS en provenance de satellites LEO, afin d'obtenir de l'information en temps quasi réel au sujet	ICTSW, CGMS, agences spatiales concernées et Membres de l'OMM qui	Mise en œuvre continue.	Nombre d'occultations par jour avec une rapidité de transmission pouvant

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
	de la distribution tridimensionnelle de la densité électronique du système ionosphère/plasmasphère (p.ex. par l'application d'un concept RARS ou l'utilisation d'un autre réseau de stations satellitaires au sol aux fins de transmission rapide).	appui des stations terrestres.		satisfaire les besoins des utilisateurs.
W5	Favoriser le partage des données GNSS terrestres et de l'information de radio-occultation GNSS entre les secteurs de la météorologie et de la météorologie de l'espace, et faciliter l'accès à ces données en temps quasi réel par l'intermédiaire du SIO.	ICTSW, IROWG et bureau de projet OMM/WIGOS.	Mise en œuvre continue.	Accord concernant le partage des données.
W6	Coordonner l'utilisation des observations effectuées à l'aide d'altimètres radars à double fréquence par le secteur de la météorologie de l'espace, en vue d'améliorer ou de valider les modèles de l'ionosphère ou d'assurer la surveillance TEC au-dessus des océans.	ICTSW, Programme spatial de l'OMM et exploitants de satellites altimétriques.	Mise en œuvre continue.	Nombre d'altimètres à bord de satellites qui fournissent des données concernant la météorologie de l'espace.
W7	Accroître la disponibilité des données magnétométriques terrestres à une haute vitesse de transmission. On peut y parvenir en: i) déployant des magnétomètres dans des régions peu couvertes; ii) diffusant les données provenant des magnétomètres existants dans le SIO; et iii) concluant un accord avec les fournisseurs de données pour l'utilisation de ces dernières dans les produits de météorologie de l'espace.	ICTSW et observatoires magnétométriques.	Mise en œuvre continue.	Nombre de sources de données magnétométriques accessibles en mesure de satisfaire les besoins des utilisateurs en matière de rapidité de transmission.
W8	Établir un plan pour maintenir et améliorer les observations du plasma et des particules haute énergie pour les besoins de la météorologie de l'espace, selon les priorités ci-après: 1) maintenir la continuité à long terme et, si possible, améliorer la résolution spatiale des mesures à toutes les altitudes sur orbite LEO et GEO; 2) consolider le partage des mesures existantes et prévues du plasma et des particules haute énergie; 3) mettre en service des capteurs de particules haute énergie à bord de satellites HEO; 4) mener des recherches en vue d'intégrer les données relatives au plasma et aux particules haute énergie dans des modèles	ICTSW, CGMS et agences spatiales.	Fin 2014.	Établissement d'un plan pour les observations du plasma et des particules haute énergie pour les besoins de la météorologie de l'espace.

N°	Activité	Agents d'exécution	Échéance	Indicateur(s) de résultats
	numériques, afin de fournir des estimations des flux à tous les emplacements où nos satellites sont en orbite.			

ANNEXE III – ACRONYMES

3D	Tridimensionnel
AATSR	Radiomètre de pointe à balayage le long de la trace
ADM-Aeolus	Mission d'étude de la dynamique de l'atmosphère
AIRS	Spectromètre atmosphérique infrarouge
ALADIN	Instrument Laser à effet Doppler pour l'étude de l'atmosphère
ALOS	Satellite d'observation de la Terre de pointe «Daichi»
Altika	Altimètre océanographique haute précision à bord du satellite SARAL
AMDAR	Programme de retransmission des données météorologiques d'aéronefs
AMMA	Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine
AMSU	Sondeur amélioré à hyperfréquences
AMV	Vecteur de mouvement atmosphérique
AQUA	Mission satellitale Aqua – http://aqua.nasa.gov/
Argo	Réseau pour l'océanographie géostrophique en temps réel
ASAP	Programme de mesures automatiques en altitude à bord de navires
ASAR	Radar à synthèse d'ouverture de pointe
ASCAT	Diffusiomètre perfectionné pour le vent du satellite Metop
ATLID	Lidar atmosphérique
ATOVS	Sondeur vertical opérationnel perfectionné de TIROS
ATSR	Radiomètre à balayage le long de la trace
BSRN	Réseau de référence pour la mesure du rayonnement en surface
BUFR	FM 94 BUFR, code employé sur le SMT – Forme universelle de représentation binaire des données météorologiques
CALIOP	Lidar d'observation des nuages et des aérosols à polarisation orthogonale
CALIPSO	Mission satellitale exploratoire d'observation des nuages et des aérosols à l'aide d'un Lidar et d'un instrument dans l'infrarouge
CCD	Dispositif à charge couplée
CCI	Commission de climatologie (OMM)
CEOS	Comité sur les satellites d'observation de la Terre
CGMS	Groupe de coordination pour les satellites météorologiques
CHAMP	CHallenging Minisatellite Payload
CHRIS	Spectromètre imageur compact de haute résolution
CHy	Commission d'hydrologie (OMM)
CIMO	Commission des instruments et des méthodes d'observation (OMM)
CIUS	Conseil international pour la science
CLARREO	Climate Absolute Radiance and Refractivity Observatory
CLOUDSAT	Mission d'observation des nuages de la NASA à l'aide d'un satellite d'observation de la Terre
CMOM	Commission technique mixte OMM/COI d'océanographie et de météorologie maritime
CMSC	Cadre mondial pour les services climatologiques
CNES	Centre national d'études spatiales (France)
COCTS	Scanner chinois de la couleur et de la température de l'océan
COI	Commission océanographique intergouvernementale (UNESCO)
COMS	Satellite de télécommunication et d'observation océanographique et météorologique (République de Corée)
Concordiasi	Projet international mené dans le cadre du programme THORPEX-PI visant à procurer des données de validation en vue d'améliorer l'utilisation des données provenant de satellites à défilement au-dessus de l'Antarctique
COSMIC	Système d'observation par une constellation de satellites pour l'étude du temps, du climat et de l'ionosphère
CPR	Radar de détection des nuages et des précipitations

CR	Conseil régional (OMM)
CREX	FM 95 CREX, code employé sur le SMT – Code à caractères pour la représentation et l'échange des données
CRYOSAT	Mission d'observation de la glace de l'ESA
CSA	Commission des sciences de l'atmosphère (OMM)
CSB	Commission des systèmes de base (OMM)
CT	Commissions techniques (OMM)
DMSP	Programme de satellites météorologiques de défense (des États-Unis d'Amérique)
EARS	Service de retransmission des données ATOVS assuré par EUMETSAT
EARTH-CARE	Mission exploratoire d'observation de la Terre, des nuages, des aérosols et du rayonnement
E-ASAP	Composante EUMETNET du programme de mesures automatiques en altitude à bord de navires
EC	Conseil exécutif (OMM)
EGOS-IP	Plan d'action pour l'évolution des systèmes mondiaux d'observation
ENVISAT	Mission de satellite d'étude de l'environnement de l'ESA
EOS	Système d'observation de la Terre de la NASA
EPS-SG	Satellite d'observation du système polaire – Deuxième génération d'EUMETSAT
ERBS	Satellite de mesure du bilan radiatif de la Terre
ERS	Satellite d'observation des ressources terrestres (ESA)
ESA	Agence spatiale européenne
ET-EGOS	Équipe d'experts pour l'évolution des systèmes mondiaux d'observation
EUCOS	Système d'observation composite d'EUMETNET
EUMETNET	Réseau des Services météorologiques européens
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FAPAR	Fraction de rayonnement photosynthétiquement actif absorbé
FY-4	Satellite météorologique FengYun 4 (Chine)
GASO	Groupe d'action sectoriel ouvert
GASO-SOI	Groupe d'action sectoriel ouvert des systèmes d'observation intégrés
GCMP	Principes du SMOC pour la surveillance du climat
GCOS-IP	Plan de mise en œuvre du Système mondial d'observation du climat
GEO	Groupe sur l'observation de la Terre
GEO	Satellite géosynchrone
GEOS	Satellite géostationnaire d'exploitation pour l'étude de l'environnement (États-Unis d'Amérique)
GEOSAT	Satellite de géodésie
GEOSS	Système mondial des systèmes d'observation de la Terre
GES	Gaz à effet de serre
GLOSS	Système mondial d'observation du niveau de la mer
GMES	Surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité
GNSS	Système mondial de navigation par satellite
GOCE	Mission d'étude du champ gravitationnel et des paramètres permanents de la circulation océanique
GOCI	Imageur géostationnaire de la couleur de l'océan
GOME	Expérience de surveillance de l'ozone à l'échelle du globe
GOMOS	Surveillance mondiale de l'ozone par occultation d'étoiles
GOMS	Satellite météorologique d'exploitation géostationnaire (Fédération de Russie)
GOOS	Système mondial d'observation de l'océan OMM/COI/PNUE/CIUS
GOSAT	Satellite d'observation des gaz à effet de serre
GPM	Mesure des précipitations à l'échelle du globe
GRACE	Expérience relative au champ de gravité terrestre et au climat

GRAS	Récepteur GNSS pour les sondages atmosphériques à bord du satellite Metop
GRDC	Centre mondial de données sur l'écoulement
GRUAN	Réseau aérologique de référence du SMOC
GSICS	Système mondial d'interétalonnage des instruments satellitaires
GSM	Système mondial pour la communication mobile
GSN	Réseau de stations d'observation en surface pour le SMOC
GTN	Réseau terrestre mondial
GTN-G	Réseau terrestre mondial pour les glaciers
GTN-GW	Réseau terrestre mondial pour les eaux souterraines
GTN-H	Réseau terrestre mondial – Hydrologie
GTN-P	Réseau terrestre mondial pour le pergélisol
GUAN	Réseau de stations d'observation en altitude pour le SMOC
HEO	Satellite à orbite très elliptique
HF	Haute fréquence
HY-2A	Mission de satellite d'observation de l'océan HaiYang 2A (Chine)
IAGOS	Aéronefs en service pour le système mondial d'observation
IASI	Interféromètre atmosphérique de sondage dans l'infrarouge
ICTSW	Équipe de coordination inter-programmes pour la météorologie de l'espace
IGRAC	Centre international d'évaluation des ressources en eau souterraine
IROWG	Groupe de travail international pour la radio-occultation
IRS	Sondeur dans l'infrarouge
ISRO	Agence indienne de recherche spatiale
ISS	Station spatiale internationale
IWV	Vapeur d'eau intégrée
JASON	Mission sur la topographie de la surface de l'océan (États-Unis d'Amérique/France)
JAXA	Agence japonaise d'exploration aérospatiale
LAI	Indice de surface foliaire
LAM	Modèle à domaine limité
LANDSAT	Mission satellitaire d'observation de la Terre (NASA/USGS)
LEO	Satellite en orbite basse
MERIS	Spectromètre d'imagerie à résolution moyenne
METEOSAT	Série de satellites météorologiques géostationnaires de l'EUMETSAT
Metop	Satellite météorologique d'exploitation à défilement EUMETSAT
MODIS	Spectroradiomètre imageur à moyenne résolution (à bord des satellites AQUA et TERRA)
MSU	Sondeur à hyperfréquences
MTG	Meteosat troisième génération
MTM	Mission Megha-Tropiques CNES/ISRO pour l'observation du cycle de l'eau et du bilan énergétique dans les régions tropicales
NASA	Administration américaine pour l'aéronautique et l'espace
NPOESS	Système national de satellites sur orbite polaire pour l'étude de l'environnement (États-Unis d'Amérique)
OceanSites	Projet interdisciplinaire pour la mise en place d'un système pérenne d'observation eulérienne de l'océan
OCS	Scanner de la couleur de l'océan à bord du satellite russe Meteor
OLCI	Imageur de la couleur de l'océan et des terres
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMPS	Ozone Mapping and Profiler Suite
OPERA	Programme opérationnel d'échange d'informations obtenues par radar météorologique
OSE	Expériences sur les systèmes d'observation
OSSE	Expérience de simulation des systèmes d'observation
PALSAR	Radar à synthèse d'ouverture à bande L et à déploiement de phase

PCV	Programme de coopération volontaire (OMM)
PEID	Petits États insulaires en développement
PILOT	FM-32 PILOT, code employé sur le SMT – Message d'observation de vent en altitude provenant d'une station terrestre
PMA	Pays les moins avancés
PMO	Agent météorologique de port
PMRC	Programme mondial de recherche sur le climat
PNT	Prévision numérique du temps
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PROBA	Projet d'autonomie de bord
PUMA	Préparation à l'Utilisation de MSG en Afrique
QA	Assurance qualité
QM	Gestion de la qualité
QMF	Cadre de référence pour la gestion de la qualité
QMS	Systèmes de gestion de la qualité
QuickSCAT	Diffusiomètre rapide (NASA)
RCBR	Réseau climatologique de base régional
R-D	Recherche-développement
RRR	Étude continue des besoins
RSBR	Réseau synoptique de base régional
SAR	Radar à synthèse d'ouverture
SARAL	Mission de surveillance de l'environnement (Inde/France)
SBUV	Détecteur de rayonnements solaires rétrodiffusés
SCARAB	Instrument de surveillance du bilan radiatif de la Terre
SCIAMACHY	Spectromètre d'absorption imageur à balayage pour la cartographie de l'atmosphère
Sentinel-3	Mission satellitaire multi-instrument de l'ESA contribuant à la surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité (GMES)
SIO	Système d'information de l'OMM
SIRAL	Altimètre radar interférométrique à synthèse d'ouverture
SLSTR	Radiomètre de mesure de la température de la mer et des terres en surface
SMA	Station météorologique automatique
SMHN	Services météorologiques et hydrologiques nationaux
SMN	Services météorologiques nationaux
SMO	Système mondial d'observation de l'OMM
SMOC	Système mondial d'observation du climat
SMOS	Humidité des sols et salinité des océans
SMOT	Système mondial d'observation terrestre
SMT	Système mondial de télécommunications (OMM)
SoG	Déclaration d'orientation
SOS	Systèmes d'observation du SMISO
SPOT	Satellite pour l'observation de la Terre
SSH	Hauteur de surface de la mer
SSM-I	Imageur en hyperfréquence spécialisé
SSS	Salinité de surface de la mer
SST	Température de surface de la mer
SYNOP	FM-12 SYNOP, code employé sur le SMT – Message d'observation provenant d'une station terrestre fixe
TAMDAR	Système aéroporté de transmission de données météorologiques troposphériques
TEC	Teneur totale en électrons
TEMP	FM-35 TEMP, code employé sur le SMT – Message d'observation en altitude de pression, température, humidité et vent provenant d'une station terrestre fixe

TERRA	Mission satellitaire – http://terra.nasa.gov/
THORPEX	Expérience concernant la recherche sur les systèmes d'observation et la prévisibilité
TOMS	Spectromètre imageur d'ozone total
TOPC	Groupe d'experts des observations terrestres pour l'étude du climat
TRMM	Mission pour la mesure des pluies tropicales
UAV	Aéronefs téléguidés
UIT	Union internationale des télécommunications
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
USGS	Service géologique des États-Unis d'Amérique
UTC	Temps universel coordonné
UV	Ultraviolet
VAG	Programme de la Veille de l'atmosphère globale
VMM	Veille météorologique mondiale (OMM)
VOS	Navire d'observation bénévole
VSRF	Prévision à très courte échéance
WHYCOS	Système mondial d'observation du cycle hydrologique
WIGOS	Système mondial intégré d'observation de l'OMM
XBT	Bathythermographe non récupérable
ZTD	Délai zénithal total
