

# Perspectives pour le Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM à l'horizon 2040

Édition 2019

TEMPS CLIMAT EAU



ORGANISATION  
MÉTÉOROLOGIQUE  
MONDIALE

OMM-N° 1243



# Perspectives pour le Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM à l'horizon 2040

Édition 2019



ORGANISATION  
MÉTÉOROLOGIQUE  
MONDIALE

OMM-N° 1243

#### NOTE DE L'ÉDITEUR

La base de données terminologique de l'OMM, METEOTERM, peut être consultée à l'adresse <https://public.wmo.int/fr/meteoterm>.

Il convient d'informer le lecteur que lorsqu'il copie un hyperlien en le sélectionnant dans le texte, des espaces peuvent apparaître après <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, et après les barres obliques (/), les tirets (-), les points (.) et les séquences de caractères (lettres et chiffres). Il faut supprimer ces espaces de l'URL ainsi recopiée. L'URL correcte apparaît lorsque l'on place le curseur sur le lien. On peut aussi cliquer sur le lien et copier l'adresse qui s'affiche dans le ruban du navigateur.

OMM-N° 1243

© **Organisation météorologique mondiale, 2019**

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 (0) 22 730 84 03  
Fax: +41 (0) 22 730 81 17  
Courriel: [publications@wmo.int](mailto:publications@wmo.int)

ISBN 978-92-63-21243-6

NOTE

Les appellations employées dans les publications de l'OMM et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part 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.





## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objet et portée .....	1
1.2 Services météorologiques, hydrologiques et climatologiques: éléments moteurs principaux .....	2
1.3 Évolution des capacités et des besoins en matière de prestation de services. . .	3
1.4 Principes du WIGOS et moteurs de sa conception .....	4
1.5 Le rôle de l'intégration dans le WIGOS .....	6
1.5.1 Conception de réseaux intégrés .....	6
1.5.2 Réseaux d'observation intégrés à usages multiples .....	6
1.5.3 Exploitants de systèmes d'observation intégrés .....	7
1.5.4 Le WIGOS en tant que système de réseaux d'observation à niveaux multiples .....	7
1.5.5 Systèmes d'observation intégrés par satellite et en surface .....	8
1.6 Conclusion .....	8
<b>2. COMPOSANTE SPATIALE DU SYSTÈME D'OBSERVATION</b> .....	<b>9</b>
2.1 Introduction .....	9
2.2 Dynamiques et problématiques .....	9
2.2.1 Besoins des utilisateurs .....	9
2.2.2 Capacités du système .....	10
2.2.3 Évolution des programmes satellitaires .....	12
2.3 Description de la composante spatiale du système d'observation .....	13
<b>3. COMPOSANTE DE SURFACE DU SYSTÈME D'OBSERVATION</b> .....	<b>20</b>
3.1 Introduction .....	20
3.2 Tendances et enjeux .....	20
3.3 Évolution de la composante de surface du système d'observation .....	21
<b>ANNEXE A. PRINCIPES RÉGISSANT LA CONCEPTION D'UN RÉSEAU D'OBSERVATION</b> ..	<b>41</b>





## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Objet et portée

Le présent document énonce des objectifs ambitieux qui guideront l'évolution du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS) au cours des prochaines décennies. Ces perspectives (ci-après dénommées les «Perspectives pour le WIGOS à l'horizon 2040» ou simplement les «Perspectives») remplacent la «Perspective d'avenir du Système mondial d'observation à l'horizon 2025» adoptée par le Conseil exécutif à sa soixante et unième session, en juin 2009. La Perspective d'avenir à l'horizon 2025 préfigurait à bien des égards le développement du WIGOS tandis que le présent document table sur un cadre de WIGOS bien établi et mis en œuvre à l'appui de l'ensemble des activités menées par l'OMM et ses Membres dans les domaines du temps, du climat et de l'eau.

Le présent document a pour objet de présenter un scénario probable illustrant la manière dont les besoins des utilisateurs en données d'observation sont susceptibles d'évoluer dans le cadre de l'OMM au cours des prochaines décennies, ainsi que des perspectives, certes ambitieuses, mais réalisables sur le plan technique et économique, pour un système intégré d'observation capable de répondre à ces besoins. Cette information permettra aux Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN), aux agences spatiales et aux autres développeurs de systèmes d'observation d'adapter en conséquence leurs efforts de planification, et aux Membres de l'OMM bailleurs de fonds, de prendre les décisions voulues pour mettre en œuvre ce système d'observation. Les utilisateurs des observations météorologiques, climatologiques et hydrologiques et d'autres observations connexes trouveront aussi dans ce document des informations sur les changements auxquels ils peuvent s'attendre au cours des deux prochaines décennies et des indications qui les aideront à planifier le développement de leurs technologies et systèmes de communication, leurs efforts de recherche et de développement et leurs besoins en matière de personnel et de formation professionnelle. Le document contient par exemple des informations sur l'évolution prévue des systèmes dans les centres de modélisation et de prévision numérique ainsi qu'un ensemble de principes directeurs visant à encourager les secteurs public, privé et académique à prendre une part active au processus afin de mieux répondre aux besoins des pouvoirs publics, des entreprises et des citoyens.

En couvrant une période allant jusqu'à 2040, les Perspectives donnent une vision à long terme. Cette échéance s'explique, dans une large mesure, par les longs cycles d'élaboration et de mise en œuvre de programmes spécifiques tels que le remplacement des satellites et radars opérationnels. Cela étant, le WIGOS est un système intégré dont les composantes spatiales et de surface sont complémentaires et c'est la raison pour laquelle les Perspectives ne seront vraiment utiles que si elles prennent en compte, dans la mesure du possible, ces deux types de composantes.

Dans le présent document, les composantes des systèmes d'observation par satellite et en surface sont traitées séparément en raison de la manière fondamentalement différente dont elles tendent à évoluer. Les programmes de satellites opérationnels se caractérisent par un degré élevé de planification centrale, de longs cycles de développement et des mécanismes formels bien structurés visant à faire participer la communauté des utilisateurs de l'OMM. À l'inverse, certains programmes d'observation en surface, notamment ceux des dernières décennies, ont été impulsés par un certain nombre d'innovations technologiques imprévues. Étant donné qu'une large communauté de parties prenantes mues par des motivations tout aussi diverses contribuent à ces programmes, ceux-ci subissent moins les effets d'une planification ou d'une coordination centralisée.

Le document comporte trois chapitres. Le premier chapitre présente les Perspectives et définit leur objet et leur portée. Les principaux éléments moteurs des services météorologiques, hydrologiques et climatologiques, l'évolution des capacités et les besoins en matière de prestation de service y sont examinés ainsi que les principes du WIGOS et les moteurs de sa conception. Le deuxième chapitre décrit la composante spatiale du système d'observation et le troisième, la composante de surface du système d'observation.

## 1.2 Services météorologiques, hydrologiques et climatologiques: éléments moteurs principaux

Conformément à la philosophie du WIGOS selon laquelle les systèmes d'observation doivent répondre aux besoins des utilisateurs, l'évolution prévue de ces besoins sert de point de départ à la formulation des Perspectives. On trouvera donc dans cette première partie une analyse des tendances actuelles et prévues des besoins de la société en matière de services météorologiques, climatologiques et hydrologiques.

En général, l'OMM décompose la chaîne de valeur météorologique en quatre maillons: i) les observations, ii) l'échange d'informations et la diffusion des données, iii) le traitement des données, et iv) la prestation de services. Les observations et les systèmes d'observation utilisés pour acquérir ces données sont généralement dictés par les besoins de l'utilisateur final en matière de prestation de services. La définition des exigences s'agissant des systèmes d'observation repose sur un certain nombre d'hypothèses concernant les deux maillons intermédiaires de la chaîne. Ces hypothèses sont, autant que possible, énoncées explicitement.

Les éléments moteurs de la prestation de services météorologiques et environnementaux connexes sont pour beaucoup liés à l'activité humaine. La population mondiale continue de croître et le Département des Nations Unies pour les affaires économiques et sociales prévoit que celle-ci atteindra le chiffre de 9 milliards d'ici 2045<sup>1</sup>. Il en résultera une pression supplémentaire sur les ressources de notre planète et les enjeux à long terme tels que la sécurité alimentaire, l'alimentation en énergie et l'accès à l'eau potable vont probablement devenir des éléments moteurs encore plus puissants qu'ils ne le sont aujourd'hui pour les services météorologiques et climatologiques. L'accroissement de la population est également susceptible de contribuer à sa vulnérabilité globale face aux phénomènes météorologiques à court terme, étant donné qu'une proportion croissante de la population choisit d'habiter ou est contrainte de vivre dans des régions exposées à des phénomènes tels que les inondations fluviales et côtières, les glissements de terrain, etc.

L'accroissement de la population s'accompagne généralement d'une tendance à l'urbanisation. En 1900, environ 10 % de la population mondiale vivait dans les villes. Aujourd'hui, plus de 50 % de la population vit en zones urbaines et on estime que ce chiffre atteindra 66 %<sup>2</sup>, voire 75 %<sup>3</sup> d'ici 2050. Face à cette migration massive, les régions métropolitaines devront absorber un surplus de près de 3 milliards d'individus au cours des 30 prochaines années<sup>4</sup>. Les grandes agglomérations, en particulier ce que l'on appelle les « mégapoles » de plus de 10 millions d'habitants, sont intrinsèquement vulnérables, tout comme leurs infrastructures. L'accès à l'eau, la nourriture et l'énergie devra être sécurisé et la planification préalable visant à répondre à un grand nombre de scénarios potentiels de catastrophes naturelles ou causées en partie par l'homme orientera fortement la prestation des services météorologiques et environnementaux et la résolution spatio-temporelle des produits de données requis.

Le changement climatique est un autre facteur clé lié aux activités anthropiques; les preuves scientifiques qui suggèrent que le réchauffement climatique à l'échelle du globe va se poursuivre (avec pour conséquences, entre autres, l'élévation du niveau de la mer, l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et le déplacement des principales zones agricoles) sont écrasantes. Les directives et les décisions stratégiques relatives à la résilience et à l'adaptation aux changements climatiques et/ou à l'atténuation de leurs effets nécessiteront de mieux comprendre les processus climatiques et de renforcer les capacités de prévision à long terme. L'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes accentuera la vulnérabilité des populations aux conditions météorologiques et imposera des exigences supplémentaires auxquelles les prévisions météorologiques et systèmes d'alerte traditionnels devront répondre. L'utilité des prévisions météorologiques à échéance prolongée de plus en plus manifeste se traduira par une augmentation de la demande pour ces

<sup>1</sup> <https://www.un.org/development/desa/fr/key-issues/population.html>

<sup>2</sup> <https://www.unfpa.org/fr/tendances-démographiques>

<sup>3</sup> <https://www.sipri.org/events/2016/stockholm-security-conference-secure-cities/urbanization-trends> (citation tirée de The Urban Age Project, London School of Economics)

<sup>4</sup> <https://www.unfpa.org/fr/urbanisation>

produits et services, notamment dans le contexte du changement climatique, étant donné que les attentes habituelles concernant le «temps de saison» devront céder le pas à des prévisions ou projections saisonnières quantitatives.

Certains enjeux et dangers parmi les plus graves qui pèsent sur la population mondiale sont liés à l'eau. Selon le Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019, quelque 106 millions de personnes sont chaque année victimes d'inondations dont les dommages économiques sont estimés à environ 31,4 milliards de dollars É.-U.<sup>5</sup> Les crues fluviales, en particulier, touchent en moyenne 39 millions de personnes chaque année et selon les estimations les plus extrêmes, ce chiffre pourrait s'élever à 134 millions par an d'ici 2050<sup>6</sup>. Parallèlement, les sécheresses touchent chaque année près de 55 millions de personnes et causent environ 5,4 milliards de dollars É.-U. de dommages<sup>7</sup>. Le changement climatique et la croissance démographique ne feront qu'aggraver ces problématiques. L'eau occupe une place prééminente dans les nouveaux **objectifs de développement durable des Nations Unies**, non seulement dans le but explicite de garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et d'assurer une gestion durable des ressources en eau (objectif de développement durable 6), mais aussi en raison de la nature sous-jacente des questions liées à l'eau dans de nombreux domaines de développement.

Pour gérer et contrôler la résilience et l'adaptation au changement climatique ainsi que l'atténuation de ses effets conformément à l'Accord de Paris (2015), il faudra disposer de données d'observation sur les concentrations de gaz à effet de serre et de mesures supplémentaires liées au cycle mondial du carbone. Selon les **récentes estimations de l'Organisation mondiale de la Santé**, sept millions de décès prématurés sont liés à une exposition à la pollution de l'air chaque année. Il convient de renforcer les volets du WIGOS qui concernent la composition chimique de l'atmosphère, y compris les observations en surface et à partir de l'espace.

### 1.3 **Évolution des capacités et des besoins en matière de prestation de services**

Au début des années 1990 encore, les prévisions météorologiques reposaient en grande partie sur la capacité des prévisionnistes à produire et à interpréter des analyses faites à la main et à en extrapoler des conclusions. L'échéance des prévisions était limitée. En dépit du fait que quelques centres mondiaux de prévision numérique du temps émettaient déjà régulièrement des prévisions sur 10 jours, seul un nombre relativement restreint d'utilisateurs prenaient des décisions aux répercussions économiques importantes en se basant sur des prévisions de plus de deux ou trois jours. Depuis lors, nos capacités se sont considérablement améliorées grâce aux progrès scientifiques réalisés dans des domaines tels que la prévision d'ensemble (ou probabiliste), la physique des modèles et l'assimilation des données, au perfectionnement des capacités de calcul et à de nouvelles sources d'observations, notamment satellitaires. Tout changement majeur des conditions météorologiques est généralement prévu 7 à 10 jours à l'avance. L'arrivée des cyclones tropicaux est prévue plusieurs jours à l'avance et les alertes aux phénomènes météorologiques violents et localisés, à fort impact, sont souvent données dans un délai qui permet d'éviter ou de limiter les pertes en vies humaines.

En conséquence, la demande d'informations météorologiques et environnementales connexes de la part de la communauté d'utilisateurs (à savoir les secteurs public et privé et les citoyens) a considérablement évolué. Une demande latente existait déjà, mais celle-ci ne pouvait pas s'exprimer clairement avant que n'existe la capacité d'y répondre. Un large éventail d'utilisateurs issus de tous les secteurs économiques et des pouvoirs publics à tous les niveaux prend désormais régulièrement des décisions aux conséquences très importantes, en se basant

<sup>5</sup> Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019: *Ne laisser personne pour compte*. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367305>

<sup>6</sup> Ward, P.J. et H. Winsemius, 2018: *River Flood Risk*. Institut national d'études environnementales, Vrije Universiteit Amsterdam, [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-the-geography-of-future-water-challenges-river-flood-risk\\_3147.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-the-geography-of-future-water-challenges-river-flood-risk_3147.pdf)

<sup>7</sup> Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019: *Ne laisser personne pour compte*. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367305>

entièrement sur des prévisions météorologiques et des informations portant sur l'évolution probable des conditions climatiques et hydrologiques. Les utilisateurs sont non seulement plus exigeants sur le contenu et la qualité des informations environnementales fournies, mais ils sont aussi plus exigeants sur la question de savoir comment, quand et où ils reçoivent ces informations et sous quel format.

Tout porte à croire que les besoins en matière d'informations météorologiques vont continuer à augmenter. À mesure que les capacités de prévision du système Terre continuent de s'améliorer, de nouveaux domaines d'application émergeront et de nouveaux marchés s'ouvriront pour des produits et services, ce qui signifie que les systèmes d'observation du WIGOS devront évoluer pour répondre aux besoins d'une communauté d'utilisateurs toujours plus exigeants et informés.

Les composantes des systèmes d'observation ont toutes comme point commun la recherche de nouveaux modèles économiques, en particulier en ce qui concerne le rôle du secteur privé. Face à la demande accrue d'informations météorologiques et environnementales connexes et à l'appréciation croissante de la valeur économique de ces informations, le secteur privé se montre de plus en plus intéressé à participer à toutes les étapes de la chaîne de valeur météorologique. Le présent document ne prend aucune position spécifique sur cette question, et n'avance aucune hypothèse sur la manière dont les limites entre les responsabilités respectives des entités des secteurs public et privé pourraient évoluer. Les Perspectives présentées ici contiennent un certain nombre d'éléments essentiels qui devraient se concrétiser, quelle que soit l'entité responsable en dernier ressort de la mise en œuvre et de l'exploitation des systèmes.

Même si une grande incertitude entoure les extrapolations détaillées émises pour le long terme sur la base de ces grandes tendances, ces dernières sont elles-mêmes bien établies et largement incontestées. Il est donc raisonnable d'envisager les futurs besoins en matière d'observation et les futurs systèmes d'observation en se fondant sur l'hypothèse selon laquelle ces tendances se poursuivront.

#### 1.4 **Principes du WIGOS et moteurs de sa conception**

Le WIGOS est conçu de façon à garantir que la prestation des services météorologiques et autres services environnementaux répondant aux besoins de la société évoqués ci-dessus repose sur une base solide constituée de données d'observation de densité et de qualité adéquate, acquises d'une manière efficace, rentable et durable.

Le WIGOS a notamment pour objectif de concevoir et mettre en œuvre des systèmes d'observation en réponse à des besoins spécifiques. Il se base en premier lieu sur l'[Étude continue des besoins de l'OMM](#), qui consiste à regrouper, approuver et enregistrer les besoins en matière d'observation dans tous les domaines d'application de l'OMM (voir tableau 1) puis à les examiner par rapport aux capacités d'observation. Les directives qui en résultent sont formulées à la fois sur le plan tactique et stratégique. Les directives tactiques données pour chaque domaine d'application figurent dans les déclarations d'orientation de l'OMM, accessibles sur la page Web de l'[Étude continue des besoins](#). Le présent document contient les directives stratégiques à long terme.

Les systèmes d'observation doivent être conçus de façon à être suffisamment résilients face aux risques naturels et anthropiques. Par exemple, la dépendance quasi universelle à l'électronique des activités de détection, des télécommunications et du traitement des données accroît considérablement la vulnérabilité de ces systèmes aux phénomènes naturels comme les tempêtes solaires. C'est pourquoi la météorologie spatiale, qui étudie les effets de l'activité solaire sur l'environnement terrestre, est devenue un domaine d'application de l'OMM à part entière. Les données d'observation, notamment les données satellitaires, sont nécessaires pour surveiller les conditions météorologiques dans l'espace, et les phénomènes spatiométéorologiques peuvent aussi potentiellement avoir un impact sur les composantes du WIGOS.

**Tableau 1. Domaines d'application de l'OMM**

N°	Domaines d'application de l'OMM
1	<a href="#">Prévision numérique du temps à l'échelle mondiale</a>
2	<a href="#">Prévision numérique du temps haute résolution</a>
3	<a href="#">Prévision immédiate et à très courte échéance</a> (voir note 1 ci-dessous)
4	<a href="#">Prévisions infrasaisonnnières et à plus longue échéance</a>
5	<a href="#">Météorologie aéronautique</a>
6	Prévision de la composition de l'atmosphère (voir note 2 ci-dessous)
7	Surveillance de la composition de l'atmosphère (voir note 2 ci-dessous)
8	Fourniture d'informations sur la composition de l'atmosphère à l'appui des services en zones urbaines et peuplées (voir note 2 ci-dessous)
9	<a href="#">Applications océaniques</a>
10	<a href="#">Météorologie agricole</a>
11	<a href="#">Hydrologie</a>
12	Surveillance du climat (Système mondial d'observation du climat (SMOC)) Les rapports suivants du SMOC sont considérés comme des déclarations d'orientation: - Status of the Global Observing System for Climate - <a href="#">GCOS-195</a> - Le Système mondial d'observation à des fins climatologiques: besoins de mise en oeuvre - <a href="#">SMOC-200</a>
13	<a href="#">Météorologie spatiale</a>
14	Climatologie
s/o	<a href="#">Applications climatologiques</a> (Autres aspects, traités par la Commission de climatologie) (voir note 3 ci-dessous)

## Notes:

1 Le domaine d'application de la météorologie synoptique a été intégré dans celui de la prévision immédiate et à très courte échéance.

2 Le domaine d'application de la chimie de l'atmosphère a été remplacé et divisé en trois nouveaux domaines d'application: i) prévision de la composition de l'atmosphère, ii) surveillance de la composition de l'atmosphère, et iii) fourniture d'informations sur la composition de l'atmosphère à l'appui des services en zones urbaines et peuplées. Les déclarations d'orientation pour les trois nouveaux domaines d'application sont en cours d'élaboration. L'ancienne version de la déclaration d'orientation pour la chimie de l'atmosphère est disponible [ici](#).

3 À sa troisième réunion (janvier 2018), l'Équipe d'experts interprogrammes pour la conception et l'évolution des systèmes d'observation, qui relève de la Commission des systèmes de base, a décidé qu'il serait mis fin au domaine d'application des applications climatologiques (autres aspects, traités par la Commission de climatologie), mais que la mise à jour de la déclaration d'orientation se poursuivrait et qu'elle serait accessible à partir de cette page Web. La Commission de climatologie est chargée d'actualiser la déclaration d'orientation et veille à ce que les spécifications importantes de son point de vue et du point de vue des applications climatologiques soient mentionnées. Cependant, il n'est pas question de noter les besoins quantitatifs des utilisateurs en matière d'observation dans la déclaration d'orientation étant donné qu'ils sont pris en compte principalement dans le cadre de la Surveillance du climat du SMOC et dans d'autres domaines d'application existants.

L'Étude continue des besoins repose sur le principe fondamental selon lequel les spécifications sont exprimées en variables géophysiques et ne sont pas propres à des systèmes d'observation particuliers. L'Étude continue des besoins citera par exemple des spécifications à respecter pour la mesure de la température atmosphérique, mais ne donnera pas de spécifications pour la mesure des différentes températures par les radiomètres embarqués à bord des satellites ou les capteurs de température *in situ*. Les spécifications des systèmes d'observation peuvent et devraient découler de l'ensemble des exigences énumérées dans l'Étude continue des besoins. Il appartient toutefois aux organisations et organismes de mise en œuvre de les évaluer. Même si les directives contenues dans l'Étude continue des besoins font référence aux technologies disponibles, elles restent impartiales et ne mentionnent aucune technologie particulière à utiliser pour satisfaire les besoins des utilisateurs.

Il ne suffit pas de mettre en œuvre un système qui réponde aux besoins en termes de portée et de qualité. Pour être utiles, les observations du WIGOS doivent également être accessibles aux utilisateurs. Les observations considérées comme essentielles doivent être mises à la disposition des utilisateurs dans les délais requis. C'est pourquoi la poursuite du développement

du Système d'information de l'OMM (SIO) et le rôle des SMHN dans sa mise en œuvre seront d'une importance capitale pour la réussite du WIGOS, et les deux systèmes devront évoluer en parallèle.

Le recours généralisé à la technologie de l'information accroît également la vulnérabilité du système aux actes de malveillance ou «cyberattaques». Le SIO devrait fournir d'importantes directives sur la question de la résilience du réseau, notamment eu égard à la sécurité des technologies de l'information. Le SIO aura également pour objectif de poursuivre ses travaux visant à protéger une partie importante du spectre électromagnétique afin de sauvegarder les capacités de communication et de télédétection essentielles.

Les données d'observation fournies par le WIGOS devraient être disponibles gratuitement et sans restriction pour tous les Membres de l'OMM au niveau international conformément aux politiques établies dans les résolutions 25 (Cg-XIII) – Échange de données et de produits hydrologiques, 40 (Cg-XII) – Politique et pratique adoptées par l'OMM pour l'échange de données et de produits météorologiques et connexes et principes directeurs applicables aux relations entre partenaires en matière de commercialisation des services météorologiques, et 60 (Cg-17) – Politique de l'OMM pour l'échange international des données et des produits climatologiques nécessaires à la mise en œuvre du Cadre mondial pour les services climatologiques et dans les documents réglementaires pertinents du WIGOS. Selon les directives du WIGOS, le partage des données multiplie leurs avantages pour la société. Plus les données sont largement partagées, plus la communauté susceptible de les exploiter sera étendue et plus les investissements dans la fourniture des observations seront rentables. Grâce au long succès du Système d'observation mondial de la Veille météorologique mondiale, l'utilité du partage au niveau international des données et observations météorologiques est largement reconnue par la communauté météorologique. En outre, il a été établi que l'échange international des données est également très utile aux autres disciplines des sciences de la Terre, et plusieurs études de cas ont démontré les avantages économiques de l'échange libre de données au niveau international<sup>8</sup>.

## 1.5 Le rôle de l'intégration dans le WIGOS

La notion d'intégration est un élément central du WIGOS. Elle renvoie à l'intégration des réseaux d'observation et non à l'intégration des observations proprement dites – l'intégration des observations, par exemple par le biais de l'assimilation des données ou l'élaboration de produits destinés à l'utilisateur final, ne relève pas du champ d'application du WIGOS. Cinq aspects spécifiques de l'intégration du WIGOS sont à mentionner.

### 1.5.1 Conception de réseaux intégrés

Lorsque l'on conçoit un réseau d'observation, il est impératif de prendre en compte non seulement les besoins auxquels ce réseau va répondre mais aussi les observations produites par les autres composantes du WIGOS et la question de savoir comment compléter au mieux ces observations. Ceci est formulé dans les [principes régissant la conception d'un réseau d'observation](#), qui figurent dans le [Manuel du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM](#) (OMM-N° 1160).

### 1.5.2 Réseaux d'observation intégrés à usages multiples

De nombreux domaines d'application partagent les mêmes besoins s'agissant de l'observation de certaines variables géophysiques comme la température atmosphérique ou la pression en surface. Le WIGOS vise, dans la mesure du possible, à mettre en place des réseaux d'observation intégrés et polyvalents, desservant plusieurs domaines d'application, au lieu de créer des réseaux

<sup>8</sup> Voir la publication *Déterminer la valeur du temps et du climat: L'évaluation économique des services météorologiques et hydrologiques* (OMM-N° 1153), disponible à l'adresse [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=19780#.XoslbgzY2w](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=19780#.XoslbgzY2w).

distincts pour la surveillance du climat, la prévision immédiate et la prévision numérique du temps ou la prévision des inondations et des sécheresses, par exemple. En effet, bon nombre des variables à observer sont les mêmes, même si les exigences diffèrent quelque peu.

### 1.5.3 **Exploitants de systèmes d'observation intégrés**

Le WIGOS s'emploie, dans la mesure du possible, à intégrer les observations des SMHN et des partenaires dans un système global. Dans la plupart des pays, les SMHN ne sont plus les seuls prestataires de données d'observation. Aujourd'hui, diverses organisations, tels les organismes gouvernementaux relevant des ministères de l'agriculture, de l'énergie, des transports, du tourisme, de l'environnement, de la foresterie, des ressources en eau ou autres, exploitent des systèmes d'observation utiles aux domaines d'application de l'OMM. Dans les pays en développement notamment, il peut s'agir d'organisations sans but lucratif ou d'entités commerciales. Les SMHN ont tout intérêt à s'associer avec ces exploitants externes pour pouvoir fonder leurs services sur un ensemble de données d'observation aussi exhaustif que possible, en partant du principe que toute question technique liée à la qualité et au format des données, aux lignes de communication et à l'archivage des données peut être résolue et que des accords relatifs à la politique en matière de données peuvent être conclus.

### 1.5.4 **Le WIGOS en tant que système de réseaux d'observation à niveaux multiples**

Le WIGOS se compose de réseaux d'observation à plusieurs niveaux intégrant différents niveaux de performance. La répartition spécifique des niveaux peut varier selon les disciplines ou les domaines d'application, mais on peut considérer l'ensemble du réseau comme un système à trois niveaux: global, de base et de référence<sup>9</sup>.

Le réseau global se caractérise par l'ubiquité des données dans le temps et l'espace, et par son auto-organisation, avec une gestion et un contrôle centralisés très limités. Ses métadonnées peuvent être incomplètes, notamment en ce qui concerne la qualité des données. Le réseau global d'observation du temps, par exemple, peut inclure des données d'observation issues de la production participative, relevées par des capteurs produits en masse et marchandisés, tels que ceux que l'on retrouve dans les téléphones intelligents et les voitures.

Le réseau de base correspond au Système mondial d'observation tel que nous le connaissons aujourd'hui. Même si sa portée dans le temps et l'espace est moins dense, grâce à un certain niveau de gestion et de coordinations actives, il peut cibler des régions qui ne sont pas couvertes par le réseau global. Ses métadonnées sont censées être conformes aux normes du WIGOS et la qualité des données est contrôlée.

Les réseaux de référence comprennent des stations d'observation ultra performantes, mais leur couverture est en général limitée dans le temps et l'espace et les instruments doivent être étalonnés comme il convient et fournir des données de haute qualité. Une estimation du degré d'incertitude est incluse dans les observations et le système assure la traçabilité des mesures par rapport aux normes du Système international d'unités (SI). Les métadonnées doivent également être totalement conformes aux normes du WIGOS. Les réseaux de référence du WIGOS sont par exemple les réseaux de référence exploités dans le cadre du Système mondial d'observation du climat.

Les utilisateurs peuvent décider s'ils veulent ou non utiliser les observations et comment les utiliser dans un domaine d'application donné, en fonction du niveau auquel appartient la plateforme d'observation. Par exemple, si l'on veut surveiller l'arrivée d'un phénomène météorologique violent, il vaut mieux opter pour un réseau global car les délais et la résolution spatio-temporelle sont plus importants que le degré d'incertitude des mesures. Par contre, si

<sup>9</sup> Voir le *Guide du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM* (OMM-N° 1165), section 5.2 – Indications quant aux principes régissant la conception de réseaux d'observation, disponible à l'adresse [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=20136#.XosyQogzY2w](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20136#.XosyQogzY2w)

L'on veut suivre de près les tendances à long terme de la température ou de la composition de l'atmosphère, ce sont plutôt les observations provenant d'un réseau de référence qui seront requises.

#### 1.5.5 ***Systèmes d'observation intégrés par satellite et en surface***

Pour le WIGOS, les composantes spatiales et de surface font partie d'un système global qui permet de donner suite aux besoins des domaines d'application. Il est plus facile de répondre à certains besoins en matière d'observation depuis l'espace, par exemple si l'on veut une couverture globale avec une haute résolution spatiale au-dessus de vastes régions. En revanche, certaines variables peuvent être difficiles à mesurer depuis l'espace ou bien la technologie nécessaire n'est peut-être pas encore disponible, dans le cas de la pression en surface ou de la composition chimique de la couche limite atmosphérique par exemple. Dans ces cas précis, les mesures effectuées en surface continueront de jouer un rôle essentiel. Les observations en surface permettent d'obtenir plus facilement en général une résolution verticale à fine échelle, comme en témoignent les données recueillies par les aéronefs et les radiosondes qui restent très importantes en dépit de leur faible densité.

Dans le cadre de l'élaboration du système opérationnel de suivi du carbone, la composante spatiale devrait fournir des observations à haute résolution spatiale concernant les concentrations de gaz à effet de serre obtenues dans des régions sans nuages, tandis que la composante de surface fournira des données relevées dans des régions où la couverture nuageuse est constante et la nuit, ainsi que les informations supplémentaires requises pour établir une base solide permettant de surveiller les émissions anthropiques.

Même dans les régions où les capacités d'observation depuis l'espace sont solides, les observations en surface restent importantes pour l'étalonnage et la validation, en particulier si les systèmes à l'origine de ces observations peuvent être entretenus continuellement pendant toute la durée des missions spatiales. Fournir des observations de surface, c'est aussi permettre aux pays qui ne disposent pas de moyens spatiaux de participer activement aux programmes satellitaires. Par ailleurs, les réseaux de surface peuvent tirer parti des observations par satellite, lesquelles peuvent être utilisées comme référence.

#### 1.6 **Conclusion**

Les Perspectives pour le Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM à l'horizon 2040 donnent une description détaillée des composantes spatiale et de surface. La nature complémentaire de ces composantes et la reconnaissance de leurs forces et limites façonneront la mise en œuvre globale du WIGOS.

Le WIGOS fournit le cadre global ainsi que les outils de gestion et de conception requis pour permettre à tous ceux qui fournissent des observations météorologiques et environnementales connexes d'optimiser leurs investissements dans les capacités de mesures axées sur les utilisateurs. Combinées, ces capacités permettront de répondre aux besoins des utilisateurs aussi efficacement que possible.

Le WIGOS est un élément essentiel de l'infrastructure qui permet à l'OMM et à ses Membres d'accomplir leur mission commune visant à sauver des vies, protéger les biens, accroître la prospérité dans le monde entier et fournir les données et informations requises à l'appui de l'élaboration des politiques et de la prise de décisions en faveur du développement durable.

L'évolution du WIGOS telle qu'elle est décrite dans le présent document permettra de veiller à ce que le système d'observation continue de répondre aux besoins des utilisateurs dans les décennies à venir.



## 2. **COMPOSANTE SPATIALE DU SYSTÈME D'OBSERVATION**

### 2.1 **Introduction**

Le présent chapitre décrit la composante spatiale du WIGOS prévue pour 2040. Il passe en revue les besoins en constante évolution des utilisateurs en matière d'observation dans tous les domaines d'application de l'OMM et tient compte de l'évolution attendue des techniques d'observation satellitaire.

Même si elle s'adresse avant tout aux Membres qui participent activement à des programmes spatiaux, la composante spatiale est aussi importante pour les autres Membres. Tous les Membres se basent en effet sur les données satellitaires pour fournir des services essentiels à leurs collectivités; ceux d'entre eux qui ne participent pas directement aux programmes spatiaux peuvent néanmoins contribuer aux activités d'étalonnage et de validation, en assurant des services par l'intermédiaire de stations au sol ou en effectuant des observations en surface. Les informations données ici peuvent donc être utiles pour la planification des différents aspects de la composante de surface du WIGOS.

### 2.2 **Dynamiques et problématiques**

#### 2.2.1 **Besoins des utilisateurs**

Comparé à aujourd'hui, en 2040 les utilisateurs devraient avoir besoin:

- a) D'observations de plus haute résolution et de meilleures méthodes d'échantillonnage/ couvertures temporelles et spatiales;
- b) De données de meilleure qualité et de modes de caractérisation de l'incertitude cohérents;
- c) De nouveaux types de données, permettant de mieux analyser les processus du système Terre qui restent mal compris, notamment la météorologie de l'espace;
- d) De méthodes efficaces et interoperables pour la représentation et la diffusion des données, permettant de faire face à la croissance continue escomptée des volumes de données.

À court terme, les technologies existantes peuvent déjà permettre d'effectuer des observations supplémentaires qui sont nécessaires dans l'immédiat pour répondre à des besoins et combler des lacunes dans plusieurs domaines d'application spécifiques de l'OMM. Il s'agit notamment des domaines suivants:

- a) Composition atmosphérique: sondages au limbe pour la haute troposphère et la stratosphère/mésosphère, sondages au nadir avec la spectrométrie infrarouge à ondes courtes, détection et localisation par la lumière (lidar) des gaz à l'état de traces;
- b) Hydrologie et cryosphère: altimétrie laser et radar, radar à synthèse d'ouverture multifréquence dans le visible, imagerie hyperfréquence passive;
- c) Détection des phases des nuages pour la prévision numérique du temps: imagerie submillimétrique;
- d) Bilans des aérosols et bilans radiatifs: radiométrie multi-angle à multi-polarisation, lidar;
- e) Vent: lidar et imagerie hyperspectrale;
- f) Vent solaire/éruptions solaires: moniteurs de vents solaires, magnétomètres, capteurs de particules énergétiques, imagerie solaire UVE (rayonnement ultraviolet extrême), imagerie héliosphérique (au point L5) et flux de particules énergétiques *in situ* (au point L1).

L'observation des gaz à effet de serre et des autres éléments qui influent sur le bilan carbone doit être intégrée à un système mondial de suivi du carbone afin de surveiller l'évolution des changements climatiques et de contribuer aux efforts d'atténuation qui sont déployés à l'appui de l'Accord de Paris. Ce système comprendra plusieurs éléments, tels que les observations au sol, les observations satellitaires et les outils de modélisation permettant d'intégrer les données collectées dans les modèles de transport atmosphérique afin d'estimer les flux de gaz à effet de serre.

Il importera également d'obtenir de nouvelles informations de meilleure qualité, utiles à la production des énergies renouvelables, telles que l'énergie éolienne basée sur les vents soufflant près de la surface de la Terre et l'éclairage énergétique solaire.

Ces attentes, qui s'ajoutent à d'autres besoins récemment exprimés, notamment la surveillance de la pollution atmosphérique, qui est devenue de plus en plus importante en raison de son impact sur la santé humaine, et le suivi des précipitations à l'échelle du globe, exigeront de renforcer sensiblement les constellations de satellites opérationnels existantes.

### 2.2.2 **Capacités du système**

Les sections suivantes décrivent les dynamiques suivies par les systèmes et programmes satellitaires intéressant l'OMM. Ces dynamiques, ainsi que les besoins anticipés des utilisateurs énumérés ci-dessus, ont abouti à une conception de la composante spatiale du WIGOS en 2040 qui constitue un objectif certes ambitieux, mais réaliste et efficace en matière de coûts.

#### **Technologies des capteurs**

Les progrès rapides enregistrés au niveau des techniques de télédétection devraient déboucher sur la mise au point de capteurs ayant une plus grande sensibilité aux signaux, ce qui devrait permettre d'avoir de meilleures résolutions spatiales, temporelles, spectrales et radiométriques. Grâce à ces nouveaux types de capteurs, on pourra utiliser plus largement le spectre électromagnétique.

S'agissant des principaux aspects de l'évolution des technologies des capteurs, il convient de noter:

- a) Les capteurs dotés de fonctions géométriques/radiométriques améliorées;
- b) Une meilleure exploitation du spectre électromagnétique: ultraviolets (UV), rayons infrarouges lointains, hyperfréquences;
- c) Les capteurs hyperspectraux utilisés pour les UV, les canaux visibles et proches infrarouges, les rayons infrarouges et les hyperfréquences, situés en orbite géostationnaire et ailleurs;
- d) Les nouveaux capteurs spatiaux dotés de capacités de détection sensibles aux conditions climatiques;
- e) Les capteurs perfectionnés/missions établissant la traçabilité en orbite;
- f) Le lidar;
- g) La combinaison de techniques actives/passives;
- h) Les capacités de mesures polarimétriques élargies (incluant l'imagerie par radar à synthèse d'ouverture);
- i) Les dispositifs de polarisation ou de couplage angles-incidence;
- j) Les diverses techniques de radio-occultation;

- k) Le mesurage par infrarouge proche de l'oxygène moléculaire et de la vapeur d'eau, permettant de fournir des estimations de la pression en surface par ciel clair et de la hauteur du sommet des nuages avec une précision proche de 1 hectopascal, et de la vapeur d'eau dans la colonne, avec une précision proche de 1 millimètre.

Le champ couvert par les observations satellitaires et les informations qu'elles fournissent sont limités en raison des techniques d'observation existantes. Les spectres à haute résolution utilisés pour mesurer les rayonnements émis produisent par exemple des estimations sur les concentrations de gaz à l'état de traces présentes dans la moyenne troposphère et à des altitudes plus élevées pour les parties éclairée et non éclairée de la planète, mais fournissent peu d'informations sur les concentrations présentes près de la surface de la Terre. A contrario, les spectres à haute résolution utilisés pour mesurer les rayons solaires réfléchis fournissent un plus grand nombre d'informations sur les concentrations de gaz à l'état de traces présentes près de la surface de la Terre, mais se limitent à l'hémisphère éclairé et sont plus tributaires des nuages et des aérosols, ainsi que de la géométrie de l'éclairement et de la visée.

Selon toute probabilité, les satellites météorologiques opérationnels resteront les principaux éléments du système d'observation climatologique depuis l'espace, à même de suivre avec précision les indicateurs du changement climatique terrestre. Les agences spatiales sont donc encouragées à mettre au point de nouveaux instruments satellitaires, en gardant à l'esprit les applications climatologiques. Les observations effectuées sur l'ensemble du spectre électromagnétique, du rayonnement ultraviolet proche aux hyperfréquences, doivent en particulier être suffisamment fiables et porter sur une période suffisamment longue, être rattachées au Système international d'unités (SI) et être échantillonnées de façon à assurer une bonne représentation à l'échelle mondiale et à permettre la détection de tout changement dans les meilleurs délais. Des améliorations significatives, pouvant atteindre un facteur 10, devront être apportées dans certains domaines, tels que l'étalonnage et l'incertitude, afin d'assurer la fiabilité des observations climatologiques. Une caractérisation rigoureuse des instruments et une amélioration de l'étalonnage avant le vol sont en effet indispensables si l'on veut améliorer la caractérisation de l'incertitude des observations. Les normes de référence, basées sur le Système international d'unités et applicables aux observations effectuées au sol et en orbite, amélioreront la qualité des données de l'ensemble du système. La traçabilité des mesures sera essentielle dans la mesure où l'utilisation des observations pour la surveillance du climat peut exiger d'avoir accès aux données brutes. Il conviendra d'organiser des missions de référence visant spécifiquement à établir des normes adéquates du point de vue de la couverture spatio-temporelle, auxquelles on puisse rattacher des observations disparates. Ces missions exigeront des agences spatiales internationales qu'elles déploient des efforts coordonnés à l'appui de l'observation du système climatique mondial. Les principes élaborés par le SMOC pour la surveillance du climat doivent être suivis. Des variables climatologiques essentielles devraient être établies en application des principales exigences fixées pour le suivi du climat. Les agences spatiales devraient mettre au point des missions de recherche afin de combler les lacunes qui existent dans le suivi de ces variables.

Les capacités en matière d'observation et de suivi des cycles énergétique, hydrologique et biogéochimique de la Terre, ainsi que des flux qui leur sont associés, doivent être renforcées et complétées par de nouvelles techniques de mesure des aspects physiques et chimiques pertinents, comme le prévoit le Plan de mise en œuvre du SMOC (2016) ([SMOC-200 \(GOOS-214\)](#)).

### **Scénarios pour les observations en orbite**

Les observations satellitaires sont également limitées par le choix de l'orbite. Face au nombre croissant de pays dotés de programmes spatiaux qui contribuent à la composante spatiale du système d'observation, le Comité sur les satellites d'observation de la Terre et le Groupe de coordination pour les satellites météorologiques doivent intensifier leurs efforts de planification et de coordination, en tenant compte des exigences fixées par l'OMM, l'objectif étant d'accroître la complémentarité et l'interopérabilité des différents programmes satellitaires ainsi que la solidité du système dans son ensemble.

Tout futur système d'observation depuis l'espace reposera sur des constellations de satellites géostationnaires et héliosynchrones en orbite basse dont les capacités sont avérées, et inclura:

- a) Des orbites fortement elliptiques, couvrant les régions polaires de façon continue;
- b) Des satellites sur orbite basse, dont la forte ou la faible inclinaison permettent d'échantillonner intégralement l'atmosphère du globe;
- c) Des plateformes évoluant à faible altitude, par exemple des plateformes dotées de petits satellites susceptibles de combler des lacunes ou des plateformes spécialement conçues pour effectuer des missions particulières;
- d) Des constellations, notamment de CubeSats dont le coût est faible.

Il faudrait par exemple effectuer des mesures à partir d'une grande constellation (composée de 3 à 10 satellites en orbite basse, dont l'un d'entre eux au moins utilise un lidar pour le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub>, et d'au moins trois satellites géostationnaires), afin d'obtenir, pour le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub>, des données d'observation fiables, opérationnelles et sur toute la colonne, sur une base quotidienne à hebdomadaire, dans toutes les régions sauf celles où la couverture nuageuse est la plus constante. On pourrait réduire le nombre total de satellites nécessaires à ces observations en remplaçant certains satellites en orbite basse par des satellites en orbite très elliptique.

Les stations spatiales habitées, telles que la Station spatiale internationale, peuvent être utilisées à des fins de démonstration et pour comparer l'étalonnage/la validation des instruments embarqués à bord des satellites géostationnaires; ceci peut être complété par le vol suborbital de ballons ou d'aéronefs sans pilote dans les régions couvertes à la fois par le système d'observation satellitaire et le système d'observation en surface.

La très bonne aptitude des satellites géostationnaires à observer les cycles diurnes sera complétée par des observations plus fréquentes effectuées sur orbites basses. La diversification des orbites utilisées accroîtra la solidité du système, mais exigera d'accorder une attention particulière à l'interopérabilité (de la part du fournisseur) et à la souplesse (de la part de l'utilisateur). La diversification des types de missions devrait aller de pair avec la multiplication des approches programmatiques: le système dans son ensemble devrait être fondé sur une série de grands programmes satellitaires renouvelables assurant une base stable et durable et complétés par d'autres programmes satellitaires de moindre envergure, plus limités dans le temps et l'espace, mais dotés de charges utiles expérimentales et relevant de processus décisionnels plus rapides et plus souples.

Les exploitants de satellites devront déployer des efforts constants pour protéger les parties essentielles du spectre électromagnétique face à la pression permanente exercée par les entités commerciales qui souhaitent l'utiliser, notamment à des fins de communication.

La nécessité de disposer de relevés en continu à des fins d'analyse en temps réel ou de réanalyse implique que l'ensemble de la chaîne des données soit solide. Des plans en cas d'imprévu, fondés sur l'utilisation des capacités collectives des pays participants dotés de programmes spatiaux, sont indispensables si l'on veut assurer la continuité des relevés et limiter les risques d'interruption.

### 2.2.3 ***Évolution des programmes satellitaires***

Pour savoir comment la composante spatiale du système d'observation s'intégrera dans les Perspectives pour le WIGOS à l'horizon 2040, les hypothèses suivantes ont été formulées au sujet de l'évolution des programmes satellitaires:

- a) Le système d'observation spatiale continuera d'être fondé sur des missions opérationnelles et des missions de recherche et développement poursuivant différents objectifs et répondant à différentes priorités;

- b) Le nombre croissant de satellites et de pays disposant de programmes spatiaux aura pour conséquence une plus grande diversité des sources de données, ce qui nécessitera une meilleure documentation et des mécanismes de traitement et de diffusion des données en temps réel plus efficaces;
- c) Les instances internationales, telles que le Groupe de coordination pour les satellites météorologiques et le Comité sur les satellites d'observation de la Terre, fourniront régulièrement l'occasion d'examiner de façon formelle des questions communes relatives à la programmation, la coordination et la coopération.

### 2.3 Description de la composante spatiale du système d'observation

La composante spatiale proposée comprend quatre sous-composantes principales. Trois d'entre elles répondent aux Perspectives pour le WIGOS à l'horizon 2040. La quatrième inclut d'autres capacités, ainsi que des capacités susceptibles de voir le jour à l'avenir.

Au lieu de circonscrire chacune de ces sous-composantes, un équilibre a été trouvé en donnant suffisamment de détails pour décrire un système solide et résilient tout en laissant de la place pour de nouvelles capacités qui pourraient découler de circonstances imprévues.

#### **Sous-composante 1: Élément central du système avec configuration orbitale et méthodes de mesure définies**

- Cette sous-composante forme la base sur laquelle repose l'engagement des Membres et devrait satisfaire leurs besoins essentiels en matière de données;
- Basée sur l'actuel plan de référence du Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS) (*CGMS Baseline – Sustained contributions to the Global Observing System*, adopté par le CGMS à sa quarante-sixième réunion tenue à Bangalore en juin 2018, [CGMS/DOC/18/1028862](#), v.1, 20 décembre 2018), elle s'étend à l'ensemble du globe et présentera de nouvelles capacités qui sont en cours d'élaboration.

#### **Sous-composante 2: Élément central avec configuration orbitale libre et souplesse de la mise en œuvre pour en garantir l'optimisation**

- Cette sous-composante forme la base des contributions libres que les Membres de l'OMM peuvent apporter et répond aux objectifs fixés en matière de données.

#### **Sous-composante 3: Projets exploratoires opérationnels et de démonstrations technologiques et scientifiques**

- Cette sous-composante répond aux besoins en matière de recherche et développement.

#### **Sous-composante 4: Capacités supplémentaires**

- Cette sous-composante inclut des contributions supplémentaires des Membres de l'OMM, ainsi que du milieu universitaire et du secteur privé.

La division des capacités d'observation en quatre sous-composantes n'implique aucun ordre de priorité, autrement dit les systèmes de la sous-composante 1 ne doivent pas nécessairement être mis en place avant la concrétisation d'éléments d'autres sous-composantes.

La principale distinction faite entre les différentes sous-composantes concerne le niveau de consensus atteint au sujet de la méthode de mesure optimale, et en particulier de sa maturité démontrée. Il existe un plus grand consensus au sujet des capacités réunies dans la sous-composante 1 qu'au sujet des capacités figurant dans la sous-composante 2, par exemple. Il est probable que les limites existant entre les sous-composantes se déplacent au fil du temps, certaines capacités actuellement classées dans la sous-composante 2 pouvant par exemple passer dans la sous-composante 1.

Tableau 2. Élément central du système avec configuration orbitale et méthodes de mesure définies (sous-composante 1)

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
<b>Principale constellation de satellites géostationnaires composée d'au moins cinq satellites assurant une couverture complète de la Terre</b>	
Imagerie multibande dans le visible et l'infrarouge avec cycles de répétition rapides	Nébulosité, type de nuage, hauteur du sommet des nuages/température au sommet des nuages; vent (via le suivi des caractéristiques des nuages et de la vapeur d'eau); température de surface de la mer/des terres; précipitations; contenu et propriétés physiques des aérosols; couverture neigeuse; couverture végétale; albédo; stabilité atmosphérique; propriétés des feux; cendre volcanique; tempête de sable et de poussière; formation de cellules convectives (en combinant l'imagerie multibande et les données des sondeurs infrarouges)
Sondeurs infrarouges hyperspectraux	Température et humidité de l'atmosphère, vent (via le suivi des caractéristiques des nuages et de la vapeur d'eau), caractéristiques des systèmes de méso-échelle à évolution rapide, température de surface de la mer/des terres, nébulosité et hauteur du sommet des nuages/température au sommet des nuages, composition de l'atmosphère (aérosols, ozone, gaz à effet de serre, gaz à l'état de traces)
Imageurs d'éclairs	Nombre total d'éclairs (en particulier nuage-nuage), formation et intensité des cellules convectives, cycles de vie des systèmes convectifs, production d'oxydes d'azote
Sondeurs dans l'ultraviolet/le visible/le proche infrarouge	Ozone, gaz à l'état de traces, aérosols, humidité, hauteur du sommet des nuages
<b>Principale constellation de satellites héliosynchrones situés sur trois plans orbitaux (matin, après-midi, début de matinée)</b>	
Sondeurs infrarouges hyperspectraux	Température et humidité de l'atmosphère; température de surface de la mer/des terres; nébulosité, teneur en eau et hauteur du sommet des nuages/température au sommet des nuages; précipitations; composition de l'atmosphère (aérosols, ozone, gaz à effet de serre, gaz à l'état de traces)
Sondeurs hyperfréquence	
Imagerie dans le visible/l'infrarouge, réalisation d'une bande jour/nuit	Nébulosité, type de nuages, hauteur du sommet des nuages/température au sommet des nuages; vent (aux hautes latitudes, via le suivi des caractéristiques des nuages et de la vapeur d'eau); température de surface de la mer/des terres; précipitations; propriétés des aérosols; neige, manteau neigeux et couverture de glace; répartition des flux de glace; couverture végétale; albédo; stabilité atmosphérique; cendre volcanique; tempête de sable et de poussière; formation de cellules convectives
Imagerie hyperfréquence	Étendue et concentration des banquises et paramètres dérivés, tels que le mouvement des glaces; colonne totale de la vapeur d'eau; profil de la vapeur d'eau; précipitations; vitesse et direction des vents à la surface de la mer; eau liquide des nuages; température de surface de la mer/des terres; humidité du sol; neige terrestre
Diffusiomètres	Vitesse et direction des vents à la surface de la mer, tension de surface, banquise, humidité du sol, étendue de la couverture neigeuse et équivalent en eau de la neige

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
<b>Satellites héliosynchrones avec trois heures de passage supplémentaires au-dessus de l'équateur, en vue de renforcer la fiabilité et améliorer l'échantillonnage temporel, en particulier pour le suivi des précipitations</b>	
<b>Instruments embarqués à bord d'autres satellites à orbite terrestre basse</b>	
Altimètres radars à large fauchée et altimètres haute précision situés sur une orbite inclinée à haute altitude	Topographie de la surface de l'océan, niveau de la mer, hauteur des vagues océaniques, niveau des lacs, caractéristiques des glaces de mer et des glaces terrestres, couverture neigeuse des glaces de mer
Imageurs à double angle de visée dans l'infrarouge	Température de surface de la mer (qualité suffisante pour la surveillance du climat), aérosols, propriétés des nuages
Imagerie hyperfréquence pour la température de surface	Température de surface de la mer (par tout temps)
Imagerie en basses hyperfréquences	Humidité du sol, salinité de l'océan, vent à la surface de la mer, épaisseur de la glace de mer, étendue du manteau neigeux et équivalent en eau de la neige
Sondeurs stratosphériques et mésosphériques hyperfréquence à balayage transverse	Profils des températures atmosphériques dans la stratosphère et la mésosphère
Sondeurs au nadir et au limbe dans l'ultraviolet/le visible/le proche infrarouge	Composition atmosphérique (ozone, aérosol, gaz réactifs)
Radars des précipitations et des nuages	Précipitations (liquides et solides); phase des nuages; hauteur du sommet des nuages; répartition, volume et profils des particules des nuages; aérosols; poussière; cendre volcanique
Sondeurs et imageries hyperfréquence sur orbites inclinées	Colonne totale de la vapeur d'eau, précipitations, vitesse et direction des vents à la surface de la mer, eau liquide des nuages, température de surface de la mer/des terres, humidité du sol
Radiomètres à large bande, à étalonnage absolu et radiomètres pour la mesure de l'éclairement énergétique solaire total et spectral	Flux radiatif à large bande, bilans radiatifs de la Terre, éclairement énergétique solaire total, éclairement énergétique solaire spectral
Radio-occultation du Système mondial de navigation par satellite (GNSS) (constellation de base)	Température et humidité atmosphériques, densité des électrons de l'ionosphère, contenu total d'électrons de l'ionosphère, eau précipitable totale
Imageurs hyperspectraux ou à bandes étroites	Couleur de l'océan, végétation (incluant les zones brûlées), propriétés des aérosols, propriétés des nuages, albédo
Imageurs multibande haute résolution dans le visible et l'infrarouge	Utilisation des sols, végétation; suivi des inondations et des glissements de terrain; répartition des floes; étendue et concentration des glaces de mer; étendue et propriétés de la couverture neigeuse; pergélisol
Imageurs et altimètres radars à synthèse d'ouverture	État de la mer, hauteur de la surface de la mer, mouvement des glaces de mer, classification des glaces de mer, géométrie des floes, inlandsis, humidité des sols, inondations, pergélisol
Missions de gravimétrie	Eaux souterraines, océanographie, masse glaciaire et neigeuse

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
<b>Autres missions</b>	
Vent solaire, plasma <i>in situ</i> , particules énergétiques et champ magnétique au point L1	Flux de particules, spectre d'énergie et champ magnétique (tempêtes de rayonnement, orages géomagnétiques)
Coronographe solaire et spectrographe radio au point L1	Imagerie solaire et spectre d'ondes radioélectriques (détection des éjections de masse coronale et suivi de l'activité solaire)
Sondes du plasma <i>in situ</i> , spectromètres à particules énergétiques et magnétomètres sur orbites géostationnaires et orbites basses; mesure du champ magnétique en orbite géostationnaire	Flux de particules énergétiques et spectre d'énergie, champ géomagnétique (tempêtes de rayonnement, orages géomagnétiques)
Spectrographe à rayons X sur orbite géostationnaire	Rayonnement X solaire (éruption solaire)
Normes de référence pour les mesures en orbite dans le visible et le proche infrarouge et dans l'infrarouge; étalonnage absolu en hyperfréquence	



**Tableau 3. Élément central avec configuration orbitale libre et souple de la mise en œuvre pour en garantir l'optimisation (sous-composante 2)**

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
Missions de réflectométrie GNSS, hyperfréquence passive, radar à synthèse d'ouverture	Vents de surface et état de la mer, changement/fonte du pergélisol, variations du stockage d'eau terrestre, altimétrie de l'inlandsis, hauteur de la couche de neige, équivalent en eau de la neige, humidité du sol
Lidar (Doppler et rétrodiffusion à double/triple fréquence)	Profilage du vent et des aérosols
Lidar (à longueur d'onde unique) (en complément des missions radar mentionnées dans la sous-composante 1)	Épaisseur des glaces de mer, hauteur de la couche de neige (uniquement si le pointage est très précis)
Altimétrie radar interférométrique	Paramètres des glaces de mer, franc-bord/franc-bord pour les glaces de mer
Imagerie submillimétrique	Paramètres microphysiques des nuages, par exemple phases des nuages
Imagerie spectroscopique proche infrarouge et infrarouge à ondes courtes	Cartes bidimensionnelles localisées dans l'espace pour le CO <sub>2</sub> , le CH <sub>4</sub> et le CO dans l'hémisphère éclairé
Lidars – concentration des gaz à l'état de traces	Colonnes de CO <sub>2</sub> et de CH <sub>4</sub> la nuit et à haute latitude l'hiver
Radiomètres multi-angle à multi-polarisation	Propriétés des aérosols et bilans radiatifs
Radars à synthèse d'ouverture en multipolarisation, capteurs hyperspectraux dans le visible	Mesures à haute résolution – terres, océans, étendue des glaces de mer; types de glaces de mer
Constellation de sondeurs hyperfréquence à haute fréquence temporelle	Température de l'atmosphère, humidité et vents, température de surface de la mer/des terres, nébulosité, teneur en eau et hauteur du sommet des nuages/température au sommet des nuages, composition de l'atmosphère (aérosols, ozone, gaz à l'état de traces)
Sondeurs hyperspectraux au limbe dans l'ultraviolet/le visible/le proche infrarouge/l'infrarouge	Ozone, gaz réactifs et à l'état de traces, propriétés des aérosols, humidité, hauteur du sommet des nuages
Missions dans le visible/le proche infrarouge/l'infrarouge à ondes courtes/l'infrarouge pour une couverture constante des zones polaires (Arctique et Antarctique)	Mouvement des glaces de mer, types de glaces, nébulosité, hauteur du sommet des nuages/température au sommet des nuages, microphysique des nuages, vent (via le suivi des caractéristiques des nuages et de la vapeur d'eau), gaz à effet de serre et autres gaz à l'état de traces, température de surface de la mer/des terres, précipitations, aérosols, couverture neigeuse, couverture végétale, albédo, stabilité atmosphérique, feux, cendre volcanique
Magnétographe solaire, imagerie solaire UV extrême/rayons X et éclairage énergétique UV extrême/rayons X, sur la ligne Terre-Soleil et hors de celle-ci	Activité solaire (détection des éruptions solaires, des éjections de masse coronale et des phénomènes précurseurs), activité géomagnétique

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
Vent solaire, plasma <i>in situ</i> , particules énergétiques et champ magnétique en dehors de la ligne Terre-Soleil	Vent solaire, particules énergétiques, champ magnétique interplanétaire, activité géomagnétique
Coronographe solaire, imagerie héliosphérique sur la ligne Terre-Soleil et en dehors de celle-ci (par exemple au point L5)	Imagerie héliosphérique solaire (détection et suivi des éjections de masse coronale évoluant en direction de la Terre)
Particules énergétiques magnétosphériques et magnétomètres	Flux de particules énergétiques, spectre d'énergie et champ géomagnétique (tempêtes de rayonnement, orages géomagnétiques)

**Tableau 4. Projets exploratoires opérationnels et de démonstrations technologiques et scientifiques (sous-composante 3)**

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
Radio-occultation GNSS; nouvelle constellation permettant d'améliorer les sondages atmosphériques/ionosphériques (incluant la polarimétrie), y compris la radio-occultation en orbite basse, assurant l'ajout de fréquences optimisées à des fins de sondages atmosphériques	Température et humidité atmosphériques, détection des précipitations, densité des électrons de l'ionosphère, contenu total d'électrons de l'ionosphère, eau précipitable totale
Spectromètre dans le proche infrarouge	Pression en surface, hauteur du sommet des nuages, propriétés des aérosols (épaisseur, altitude)
Lidar à absorption différentielle	Établissement des profils de l'humidité atmosphérique
Radar et lidar permettant la cartographie de la végétation	Paramètres de la végétation, biomasse au-dessus du sol
Capteurs hyperspectraux à hyperfréquences	Température de l'atmosphère, humidité et vent; température de surface de la mer/des terres; nébulosité, teneur en eau des nuages et hauteur du sommet des nuages/température au sommet des nuages; composition de l'atmosphère (aérosols, ozone, gaz à l'état de traces)
	Courants océaniques de surface, épaisseur de la couche de mélange
	Mesures haute résolution de la topographie de surface de l'eau et de l'océan
Capteurs hyperspectraux dans l'ultraviolet/ le proche infrarouge	Qualité de l'eau
Imagerie du champ magnétique coronal solaire, vent solaire au-delà du point L1	Vent solaire, activité géomagnétique
Imagerie spectrale UV (par exemple GEO, HEO, MEO, LEO)	Ionosphère, thermosphère et aurores polaires

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
Spectromètre de masse – atomes neutres et ions	Constituants neutres de la thermosphère et composantes de l'ionosphère
Accéléromètres de la masse	Densité neutre
Instruments miniaturisés embarqués à bord de microsattelites	

**Tableau 5. Capacités supplémentaires (sous-composante 4)**

<i>Instruments</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>
Radio-occultation GNSS	Température et humidité atmosphériques, détection des précipitations, densité des électrons de l'ionosphère, contenu total d'électrons de l'ionosphère, eau précipitable totale

---

### 3. **COMPOSANTE DE SURFACE DU SYSTÈME D'OBSERVATION**

#### 3.1 **Introduction**

Le présent chapitre porte sur la composante de surface du WIGOS, soit tout système d'observation qui n'évolue pas dans l'espace. Il complète le chapitre relatif à la composante spatiale.

#### 3.2 **Tendances et enjeux**

Les applications et les variables géophysiques observées vont continuer à augmenter, notamment dans des domaines tels que la météorologie de l'espace, tout comme les observations qui renforcent la surveillance des variables climatologiques essentielles conformément aux principes définis par le SMOC pour la surveillance du climat. On devrait également observer les changements suivants:

- a) Les nouveaux éléments qui viendront s'ajouter à la composante de surface seront des éléments durables, certaines fonctions pouvant passer du stade de recherche-développement au stade opérationnel;
- b) La gamme et le volume des observations échangées à l'échelle mondiale (plutôt qu'à l'échelle locale) vont considérablement augmenter;
- c) Des réseaux régionaux d'observation seront mis au point pour améliorer la prévision des phénomènes à moyenne échelle;
- d) En fonction de la situation météorologique ou environnementale locale, des observations supplémentaires seront recherchées et des observations courantes seront délaissées pour mieux cibler les besoins;
- e) La miniaturisation des capteurs, les technologies dématérialisées, la production participative et l'«Internet des objets» permettront d'obtenir de nouvelles informations. Les liens seront resserrés entre les fournisseurs et les utilisateurs des données d'observation, par exemple, en faisant remonter les commentaires des centres d'assimilation des données sur la qualité des observations.

L'automatisation et l'évolution des technologies devraient permettre:

- a) De poursuivre la mise en place de systèmes d'observation entièrement automatiques, fondés sur de nouvelles techniques d'observation et d'information, à mesure que ces systèmes démontreront qu'ils sont d'un bon rapport coût-efficacité et qu'ils répondent à la demande des utilisateurs;
- b) D'améliorer l'accès aux données en temps réel et aux données brutes;
- c) De réaliser des essais en vue de comparer et d'évaluer les nouveaux systèmes d'observation et d'élaborer des directives touchant l'intégration et la mise en œuvre des plates-formes d'observation;
- d) De recueillir et transmettre les données sous forme numérique, avec un taux de compression élevé, selon que de besoin. La diffusion, le stockage et le traitement des observations s'appuieront sur les progrès de l'informatique, des télécommunications par satellite et sans fil, et des technologies de l'information;
- e) De mettre au point des technologies efficaces et compatibles pour gérer et présenter les données d'observation; d'adapter les produits aux besoins des utilisateurs;
- f) De compléter les systèmes conventionnels d'observation qui fournissent des données de haute qualité par des petits capteurs peu coûteux, qui sont produits en masse et

installés sur diverses plates-formes; les observations provenant de ces appareils seront automatiquement transmises à des serveurs centraux ou à des bases de données; pour certains de ces systèmes, des modules d'étalonnage automatique et automatisé seront élaborés;

- g) De mettre au point des capteurs peu coûteux pour élargir l'éventail des variables géophysiques observées;
- h) D'assurer la cohérence, la continuité et l'homogénéité des réseaux de base et des réseaux de référence;
- i) De renforcer la normalisation des instruments et des méthodes d'observation;
- j) D'avoir de plus en plus recours à des réseaux de référence pour élaborer et définir des normes qui serviront de référence;
- k) D'améliorer l'étalonnage et la réduction des incertitudes liées aux observations ainsi que la production de métadonnées pour garantir la cohérence des données et leur traçabilité par rapport au Système international d'unités et s'assurer qu'elles sont comprises;
- l) D'améliorer les méthodes utilisées pour le contrôle de la qualité et la caractérisation des erreurs et des incertitudes des observations;
- m) D'améliorer les procédures nécessaires pour garantir la fourniture fiable et ininterrompue d'observations, en particulier lors des périodes de transition vers de nouvelles technologies;
- n) D'accroître l'interopérabilité entre les systèmes d'observation en place et les nouveaux systèmes;
- o) De renforcer l'homogénéité des formes de présentation des données et de leurs modes de diffusion via le SIO.

### 3.3 **Évolution de la composante de surface du système d'observation**

La planification des systèmes d'observation en surface diffère largement de celle des systèmes d'observation par satellite, laquelle est plus centralisée et peut être organisée plusieurs décennies à l'avance. Le cycle de développement des systèmes d'observation depuis l'espace permet une approche solide et échelonnée, tandis que dans le cas des systèmes d'observation en surface, une stratégie à plusieurs niveaux est adoptée au cas par cas, selon les types d'instruments ou d'observations (par exemple, les observations météorologiques ou climatologiques en surface). Des informations concernant l'évolution future des systèmes d'observation en surface dans différents domaines (observations en altitude; observations à proximité de la surface au-dessus des terres, des cours d'eau, des lacs et des océans; observations sous-marines; observation de la cryosphère; observations spatiométéorologiques; et systèmes d'observation à des fins de recherche-développement et instruments exploratoires d'exploitation) ainsi que les tendances y afférentes figurent ci-après dans le tableau 6.

**Tableau 6. Évolution future et tendances prévues des types d'instruments et d'observations, et variables géophysiques mesurées**

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
<b>Observations en altitude</b>		
Observations météorologiques et climatologiques en altitude	Vent, température, humidité, pression	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réseaux de radiosondage seront optimisés, en diminuant notamment la densité horizontale dans certaines zones où les données sont nombreuses, et en tenant compte des besoins relatifs aux observations dans la stratosphère et des observations fournies par d'autres systèmes de profilage.</li> <li>• Les profils établis par toutes les radiosondes seront fournis avec une résolution verticale plus élevée ainsi qu'en phase de descente après l'éclatement du ballon et seront utilisés selon les besoins.</li> <li>• Le Réseau de stations d'observation en altitude pour le SMOC recevra plein appui en tant que composante du Réseau d'observation de base régional.</li> <li>• Le Réseau aérologique de référence du SMOC sera étendu et fournira des observations de grande qualité à l'appui des applications climatologiques et d'autres applications.</li> <li>• Le nombre de systèmes de radiosondage automatiques augmentera, en particulier dans des régions isolées.</li> <li>• Les catasondes permettant d'obtenir des données ciblées continueront d'être employées et le seront peut-être de plus en plus avec l'évolution des aéronefs téléguidés déployés dans les airs.</li> <li>• Les stations de radiosondage situées dans des zones reculées seront maintenues et protégées.</li> <li>• Les petits États insulaires et les pays en développement recevront un appui qui se traduira notamment par une amélioration des communications, un approvisionnement durable en électricité et des activités de formation sur les méthodes de mesure et l'entretien des instruments.</li> <li>• Des mesures de référence de l'humidité, par exemple à l'aide de l'hygromètre à point de rosée et des techniques Lyman-alpha, amélioreront la surveillance de la haute troposphère/basse stratosphère.</li> <li>• Des installations seront mises en place pour les observations par drone (terrestres, côtières et sur navire).</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observations d'aéronefs	Vent, température, pression, humidité, turbulence, givrage, précipitations, cendres et gaz volcaniques, et composition de l'atmosphère (nuages, propriétés physiques et composition chimique des aérosols, ozone, gaz à effet de serre, chimie des précipitations et gaz réactifs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De nombreux systèmes aéroportés automatiques, opérationnels, économiques et optimisés feront partie intégrante d'un système d'observation plus étendu fournissant des données mondiales d'observation en altitude de qualité et compléteront d'autres systèmes opérationnels d'observation aérologique.</li> <li>• Le système mondial d'observations à partir d'aéronefs sera un réseau intégré fondé sur les exigences des communautés météorologique et aéronautique, réglementé par leurs organisations internationales respectives et conjointement géré par l'OMM et ses partenaires internationaux.</li> <li>• Les données provenant de radars météorologiques embarqués à bord d'aéronefs seront transmises par liaison descendante aux systèmes d'observation d'aéronefs pour compléter celles fournies par les radars météorologiques fixes.</li> <li>• Les systèmes d'observation à bord d'aéronefs fourniront, en fonction des besoins des utilisateurs, des profils à haute résolution verticale notamment, qui pourront être sélectionnés au niveau géographique. Ces profils seront fournis via un dispositif optimisé à l'échelle régionale en collaboration avec l'industrie aéronautique.</li> <li>• Des profils étendus seront disponibles car certains aéronefs pourront voler à des altitudes plus élevées.</li> <li>• L'éventail des variables météorologiques et atmosphériques fournies par les systèmes d'observation d'aéronefs sera élargi. Par exemple, des programmes de recherche, tels que le programme IAGOS (<i>In-service Aircraft for a Global Observing System</i>), qui fournit également des observations d'aéronefs sur l'humidité, passeront du stade de la recherche à celui de l'exploitation.</li> <li>• Les systèmes d'observation d'aéronefs donneront de meilleures informations sur la vapeur d'eau à l'échelle mondiale.</li> <li>• Les systèmes d'observation d'aéronefs fourniront un nombre croissant de données standard sur les turbulences, en coopération avec les organisations internationales du secteur aéronautique concernées.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observations en altitude par télédétection	Vent, base et sommet des nuages, teneur en eau des nuages, température, humidité, aérosols, brouillard, visibilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des réseaux de radars profileurs de vent sont bien établis dans certains pays et seront étendus.</li> <li>• D'un bon rapport coût-efficacité, les mesures de vent par lidars Doppler seront de plus en plus appliquées à la couche limite.</li> <li>• Des lidars Raman fourniront des mesures très précises des propriétés des aérosols et des profils de l'humidité et de la température.</li> <li>• Des lidars à absorption différentielle fourniront des mesures haute résolution des propriétés des aérosols et des profils d'humidité à des fins opérationnelles.</li> <li>• Des radiomètres hyperfréquence fourniront des informations sur la température et l'humidité (avec une résolution verticale limitée), la colonne totale de la vapeur d'eau et la colonne d'eau liquide dans les nuages.</li> <li>• Des célomètres seront de plus en plus employés pour fournir des informations sur les profils de nuages et d'aérosols, et pourraient être partiellement remplacés par des lidars à absorption différentielle peu coûteux.</li> <li>• Des radars de détection des nuages (en bande Ka ou en bande W) seront utilisés pour améliorer le suivi quantitatif de la structure du brouillard, des nuages et des précipitations.</li> <li>• Des caméras vidéo seront de plus en plus utilisées (par exemple dans les aéroports) à l'appui des prévisions locales, notamment de la prévision immédiate et de la météorologie aéronautique.</li> <li>• Des caméras vidéo infrarouge seront de plus en plus utilisées pour faciliter l'identification des nuages et leur hauteur, ainsi que les prévisions locales et les prévisions immédiates. Ces caméras constitueront une autre source de mesures du rayonnement infrarouge descendant.</li> </ul>



<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observation en altitude de la composition de l'atmosphère	Composition de l'atmosphère (propriétés des aérosols, ozone, gaz à effet de serre, chimie des précipitations, gaz réactifs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un réseau mondial complet des sondes d'ozone opérationnelles sera rétabli, entretenu et étendu dans le cadre de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) et en coopération avec des partenaires internationaux.</li> <li>• Des drones automatisés seront plus largement utilisés pour mesurer la qualité de l'air.</li> <li>• Des systèmes d'échantillonnage de l'atmosphère (par exemple AirCore) seront utilisés pour mesurer les gaz à l'état de traces entre la stratosphère moyenne et le sol.</li> <li>• Des spectromètres à transformée de Fourier au sol seront utilisés pour obtenir la quantité moyennée sur une colonne de gaz à effet de serre. Un exemple de réseau de ce type est le réseau d'observation de la colonne totale de carbone (TCCON).</li> <li>• Un plus grand nombre de lidars seront utilisés pour obtenir les profils de variables relatives aux aérosols.</li> <li>• D'autres techniques de télédétection (comme la spectroscopie d'absorption optique différentielle) seront intégrées pour mesurer les profils des gaz réactifs dans la troposphère et la basse stratosphère.</li> </ul>
Données d'observation de récepteurs GNSS	Colonne totale de vapeur d'eau, humidité, hauteur de neige, humidité du sol, équivalent en eau de la neige	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réseaux de récepteurs GNSS au sol seront étendus à toutes les terres émergées pour obtenir une couverture mondiale des observations relatives à la colonne totale de vapeur d'eau et d'autres variables, et les données seront échangées au niveau international.</li> </ul>
Systèmes de détection de la foudre	Variables relatives à la foudre (emplacement, densité, fréquence de décharge, polarité, répartition volumétrique)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réseaux des systèmes au sol de détection de la foudre compléteront les nouveaux systèmes d'observation depuis l'espace.</li> <li>• Des systèmes de détection de la foudre de grande portée produiront avec un bon rapport coût-efficacité des données mondiales plus précises sur l'emplacement des décharges, améliorant considérablement la couverture dans les régions où les données sont rares, comme les océans ou les régions polaires.</li> <li>• Des systèmes de détection de la foudre offrant une plus grande précision géographique et distinguant les décharges nuage-nuage et nuage-sol faciliteront la prévision immédiate et d'autres applications dans des zones données.</li> <li>• Des formats communs seront élaborés et des archives relatives aux observations d'éclairs seront constituées.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Radars météorologiques	Variables relatives aux précipitations (classement des hydrométéores selon leurs dimensions, phase, type), au vent, à l'humidité (selon la réfractivité) et aux tempêtes de sable et de poussière, et certaines variables biologiques (par exemple densité d'oiseaux)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'utilisation des radars Doppler et des radars météorologiques polarimétriques va s'étendre aux pays en développement, ce qui s'accompagnera de formations sur le traitement et l'interprétation des données, et d'un renforcement des capacités pour la gestion de volumes de données extrêmement élevés.</li> <li>• L'utilisation de nouvelles technologies se généralisera: des radars adaptatifs à balayage électronique (à déploiement de phase) produiront des données par des moyens radicalement nouveaux, nécessitant une adaptation centrée sur les infrastructures d'échange et de traitement des données.</li> <li>• Un cadre d'échange pour les données émanant de radars météorologiques servira à tous les utilisateurs et permettra d'obtenir une présentation homogène des données dans la perspective d'échanges internationaux.</li> <li>• La technologie radar et les données de radars seront exploitées à diverses autres fins, par exemple la météorologie urbaine, l'environnement atmosphérique, la surveillance des panaches de cendres volcaniques, etc.</li> </ul>
Observations ASAP (Programme de mesures automatiques en altitude à bord de navires)	Vent, température, humidité, pression	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des navires commerciaux seront conçus pour faciliter le recueil de données d'observation météorologiques et océanographiques, avec notamment la mise en place et l'exploitation de systèmes ASAP.</li> </ul>
<b>Observations à proximité de la surface au-dessus des terres</b>		
Observations météorologiques et climatologiques de surface	Pression en surface, température de l'air, humidité, vent; visibilité; nuages; précipitations; type de précipitations; variables relatives au rayonnement en surface; température du sol; humidité du sol; épaisseur de la neige; chutes de neige; masse volumique de la neige	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des réseaux à plusieurs niveaux seront établis: des réseaux climatologiques de référence (y compris des ROBR), et des réseaux complets, y compris des réseaux qui ne relèvent pas des SMHN et des réseaux d'observateurs bénévoles/mésonets nationaux.</li> <li>• Des observations à proximité de la surface issues de la production participative seront recueillies, diffusées et jointes aux observations des SMHN et autres.</li> <li>• Des stations automatiques du réseau climatologique de référence (température et précipitations) seront déployées dans toutes les Régions de l'OMM pour améliorer la mesure de la variabilité et des tendances nationales.</li> <li>• Des données climatologiques de qualité seront recueillies tous les jours, toutes les heures ou à des fréquences inférieures à une heure (allant jusqu'à 5 minutes) et diffusées à l'échelle internationale.</li> <li>• Les observations manuelles et automatisées seront associées, en particulier pour les éléments tels que les précipitations, afin d'assurer une couverture spatiale suffisante.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réseaux automatisés seront plus largement utilisés pour améliorer la résolution temporelle des observations.</li> <li>• Les stations auront davantage recours aux technologies sans fil et satellitaires pour transmettre en temps réel leurs données aux installations centrales.</li> <li>• Les réseaux qui ne relèvent pas des SMHN, y compris les réseaux d'observateurs bénévoles et ceux gérés par le secteur privé, se développeront et automatiseront la collecte des données et leur diffusion aux centres d'archivage nationaux.</li> <li>• Un système de gestion sera mis en place pour préserver le cycle de vie des mesures, de la collecte à l'archivage des données et de leurs métadonnées, compte tenu de l'importance que revêt leur sauvegarde et conformément aux exigences en la matière.</li> <li>• Des caméras vidéo seront de plus en plus utilisées (par exemple dans les aéroports) à l'appui des prévisions locales.</li> <li>• Il sera davantage fait appel aux réseaux de surface du GNSS pour recueillir des informations sur l'humidité, l'épaisseur de la neige et l'équivalent en eau de la neige. Il est prévu par exemple d'utiliser davantage des véhicules pour effectuer des observations en surface.</li> </ul>
Observation en surface de la composition de l'atmosphère	Variables relatives à la composition de l'atmosphère <sup>10</sup> (propriétés des aérosols, gaz à effet de serre, ozone, dépôts atmosphériques totaux, gaz réactifs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un plus grand nombre de réseaux régionaux seront intégrés dans le réseau d'observation faisant l'objet d'un contrôle de qualité.</li> <li>• Il sera de plus en plus fait appel à des capteurs à faible coût pour la fourniture de données sur la pollution atmosphérique et de nouveaux dispositifs seront élaborés en vue de leur caractérisation et de leur étalonnage.</li> <li>• Les mesures météorologiques et climatologiques seront effectuées parallèlement aux mesures de la qualité de l'air.</li> <li>• Les mesures effectuées à l'échelle mondiale et régionale vont s'accroître, y compris dans le cadre de la VAG, en particulier dans les régions où les données sont rares et aux fins d'applications ayant une forte incidence sociétale (comme la santé humaine, la sécurité alimentaire et la protection de la biodiversité).</li> <li>• Un réseau de référence pour l'observation de la composition de l'atmosphère sera mis en place.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observations répondant aux besoins d'applications particulières (météorologie routière, stations météorologiques des aéroports/héliports, stations agrométéorologiques, météorologie urbaine, etc.)	Variables et phénomènes liés à des applications particulières	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des réseaux de référence seront établis en milieu urbain en vue de fournir des observations importantes pour la météorologie et la climatologie urbaines.</li> <li>• Les réseaux de météorologie routière transmettront en temps quasi réel les données, qui seront recueillies et conservées dans les centres d'archivage nationaux.</li> <li>• Les stations agrométéorologiques continueront et multiplieront les mesures de l'humidité et de la température du sol, à proximité de la surface et jusqu'à 1 mètre de hauteur.</li> <li>• Les systèmes d'observation des aéroports seront renforcés pour effectuer des observations de paramètres spécifiques à l'aviation, telles que le cisaillement du vent, la turbulence de sillage et la visibilité oblique.</li> </ul>
Observatoires terrestres de la banquise (côtière)	Étendue, formation de crêtes, déplacement, chenaux de la banquise (côtière)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des radars et des systèmes d'observation visuelle autonomes et abordables seront mis au point.</li> <li>• Des observatoires seront déployés pour constituer un réseau durable, en Arctique, en Antarctique et dans les mers adjacentes.</li> </ul>
Observation de la biosphère	Végétation, carbone (au-dessus du sol)	
<b>Observations à proximité de la surface au-dessus des cours d'eau et des lacs</b>		
Observations hydrologiques et observation de la cryosphère	Précipitations, épaisseur de la neige, manteau neigeux, équivalent en eau de la neige et glaciers, évaporation et évapotranspiration, tension de vapeur/humidité relative, épaisseur de la glace des lacs et des cours d'eau, date du gel et du dégel, début de la fonte, niveau de l'eau, écoulement de l'eau, stockage des eaux de surface, qualité de l'eau, utilisation de l'eau, type de végétation, humidité du sol, température du sol, transport solide (sédiments en suspension et charriages de fond), débit fluvial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'échange de données hydrologiques sera amélioré en vue d'optimiser la gestion opérationnelle des ressources en eau, en particulier à l'échelle des bassins, et notamment au niveau des bassins versants transfrontières.</li> <li>• Les mesures automatisées des chutes de neige/de l'épaisseur de la neige viendront compléter les mesures manuelles.</li> <li>• Les sites existants de surveillance de la neige seront entretenus, et les données recueillies échangées à l'échelle internationale.</li> <li>• Des capteurs seront installés sur les sites existants pour multiplier les mesures automatisées de l'humidité et de la température du sol.</li> <li>• Les observations bénévoles des dates de gel et de dégel des cours d'eau et des lacs seront diffusées à l'échelle internationale et archivées.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
	<p>Caractéristiques du bassin</p> <p>Précipitations, épaisseur de la neige, équivalent en eau de la neige, épaisseur de la glace des lacs et des cours d'eau, date du gel et du dégel, début de la fonte, niveau de l'eau, écoulement de l'eau, qualité de l'eau, humidité du sol, température du sol, sédiments en suspension, débit fluvial</p> <p>Concentration des glaces dans les lacs et les cours d'eau, catégorie (banquise, banquise côtière), stade d'évolution; superficie des glaces flottantes/échouées, température à la surface de la glace, trouées de glace (chenaux, polynies, fissures), déformation des glaces, crête de glace (hauteur, couverture), stratigraphie de la glace, embâcles et barrages de glace des cours d'eau, aufeis, niveau maximal</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des stations d'observation de référence seront mises en place et entretenues.</li> <li>• Des mesures simultanées de la géométrie des lits de cours d'eau seront effectuées; des données sur la qualité de l'eau (température, turbidité, algues, etc.) seront recueillies; des stations de jaugeage des débits de cours d'eau, des stations de surveillance du charriage de fond et des turbidimètres seront installés.</li> <li>• La production participative d'informations sur les inondations et l'assèchement des cours d'eau sera encouragée grâce au développement des réseaux d'observation publics et des médias sociaux (y compris l'établissement de rapports sur les impacts).</li> <li>• Les systèmes satellitaires multiplieront les données à résolution spatiale et temporelle élevée dans certaines régions données (par exemple les zones boisées).</li> <li>• Plusieurs méthodes satellitaires seront encore améliorées pour cartographier l'étendue des inondations dans les plaines inondables ou les grands systèmes riverains et enregistrer la durée des inondations.</li> <li>• L'amélioration des données d'altitude numériques permettra de multiplier les observations sur le stockage des eaux de surface pour les zones humides, les grandes plaines inondables et les estuaires.</li> <li>• La constellation virtuelle de satellites et de réseaux de mesure des précipitations fournira des données de qualité qui pourront être mises à profit pour la prévision des crues et des inondations.</li> <li>• On saura mieux tirer parti des informations radars fournies en temps réel sur les précipitations afin de prévoir avec plus de précision les crues éclair.</li> <li>• Un réseau mondial d'observation <i>in situ</i> pour la mesure de l'humidité du sol sera mis en place via la consolidation des infrastructures existantes, qui seront étendues et normalisées, l'organisation de missions spécialement consacrées à l'humidité du sol et une meilleure coordination en matière de planification des réseaux de données sur l'humidité du sol, de respect des normes et d'échange de données.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'adoption et la mise à jour de méthodes d'observation terrestre conventionnelles et de systèmes satellitaires permettront de disposer de davantage d'informations sur le manteau neigeux, l'épaisseur et l'équivalent en eau de la neige, et les glaciers.</li> <li>• Les informations sur l'utilisation de l'eau seront regroupées à l'échelle nationale et locale pour améliorer la gestion des ressources en eau et évaluer l'écoulement naturel possible des eaux fluviales.</li> </ul>
Observations relatives aux eaux souterraines	Niveau de la nappe, écoulements d'eaux souterraines, composition chimique des eaux souterraines, caractéristiques des aquifères	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des réseaux de surveillance des eaux souterraines seront établis au niveau national, et les données recueillies seront échangées à l'échelle internationale.</li> <li>• L'efficacité des techniques d'observation gravimétrique des grandes nappes d'eau souterraine sera démontrée dans un contexte opérationnel.</li> <li>• Les organismes de gestion de l'eau auront recours à la production participative d'informations sur la hauteur d'eau des puits actifs et sur les puits qui se sont asséchés.</li> <li>• Les résultats de la surveillance des aquifères seront mis en ligne pour faciliter la modélisation des écoulements d'eaux souterraines et la modélisation intégrée des écoulements d'eaux superficielles.</li> </ul>
<b>Observations à proximité de la surface au-dessus de l'océan</b>		
Stations maritimes d'observation en surface (emplacements des stations/plates-formes fixes, côtiers, insulaires et océaniques) et stations côtières, y compris radars des glaces	<p>Pression en surface, température, humidité, vent; visibilité; nébulosité, type de nuages et hauteur de la base des nuages; précipitations; température de surface de la mer; spectres directionnels et 2D des vagues; marée; glace de mer; variables de rayonnement en surface; courants de surface</p> <p>Épaisseur de la glace, type de glace, topographie et déplacements des glaces</p> <p>Variables de la composition atmosphérique liées aux échanges entre l'atmosphère et l'océan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les stations automatiques éloignées pourront compter sur un débit plus rapide et sur des télécommunications par satellite à moindre coût.</li> <li>• Des radars côtiers haute fréquence seront davantage utilisés, avec une meilleure normalisation des instruments et un partage des données à l'échelle internationale.</li> <li>• Arctique: des stations côtières seront probablement mises en place près de la banquise côtière et des glaces de mer dérivantes.</li> <li>• Antarctique: les sites du réseau AFIN (<i>Antarctic Fast Ice Network</i>) seront probablement maintenus grâce aux infrastructures déjà en place.</li> <li>• Les stations côtières mesureront les constituants atmosphériques (comme le CO<sub>2</sub> et le DMS) et contribueront ainsi à la description des échanges de gaz à l'état de traces entre l'atmosphère et l'océan.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observations à partir de navires	<p>Pression en surface, température, humidité, vent; visibilité; nébulosité, type de nuages et hauteur de la base des nuages; précipitations; temps; température de surface de la mer; direction, période et hauteur des vagues; salinité; courants; bathymétrie; concentration de CO<sub>2</sub>; variables de rayonnement en surface</p> <p>Épaisseur, concentration, type et topographie des glaces de mer, taille des floes</p> <p>Observations relatives aux icebergs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des navires commerciaux seront conçus et équipés pour faciliter la production d'observations météorologiques et océanographiques.</li> <li>• Des radars fonctionnant dans la bande X seront de plus en plus utilisés pour l'observation des vagues et des crêtes de glace de mer.</li> <li>• Des mesures de radiomètres à infrarouge seront plus systématiquement effectuées à partir de navires en vue d'une validation par satellite.</li> <li>• Les navires de recherche utiliseront de façon plus systématique des thermosalinographes et des profileurs de courant à effet Doppler (ADCP) (embarqués ou immergés) pour les profils de courants proches de la surface.</li> <li>• Les navires de tourisme qui font route dans les zones où les données sont rares (régions polaires et océan Austral par exemple) seront mis à contribution.</li> <li>• Il en sera de même pour les bateaux de pêche, si une politique adéquate en matière de données peut être négociée.</li> <li>• Il conviendra de veiller à la sécurité des navires (afin de pouvoir retirer le système de masquage de l'identité du navire pour les utilisateurs finals).</li> <li>• Les navires qui suivent des couloirs maritimes prédéfinis ou ciblés seront de plus en plus nombreux à être équipés de stations météorologiques automatiques autonomes.</li> <li>• Les données de grande résolution et de grande précision provenant de navires de recherche seront distribuées en temps réel.</li> <li>• Des capteurs autonomes ou semi-autonomes remplaceront les observations manuelles sur la glace de mer de type ASPeCt (<i>Antarctic Sea Ice Processes and Climate</i>)/ ASSIST (<i>Arctic Ship-based Sea Ice Standardization Tool</i>).</li> <li>• L'augmentation du trafic dans les régions polaires permettra d'obtenir des observations sur la glace en temps opportun.</li> <li>• Les observations des navires pourront être intégrées dans les cartes de glaces établies régulièrement à des fins opérationnelles en vue de valider chaque jour le type et la concentration des glaces de mer.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le recours à un protocole normalisé ASPeCt et ASSIST sur les glaces de mer facilitera l'exploitation des observations s'y rapportant. Des navires occasionnels peuvent participer à la fourniture de ces observations.</li> <li>• Avec la nouvelle génération de brise-glaces, il sera possible de mettre en œuvre un système automatique ou semi-automatique normalisé pour l'observation des glaces de mer et de la neige.</li> <li>• Un nombre croissant de navires seront équipés d'instruments destinés à mesurer simultanément le CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau de mer et dans l'atmosphère pour caractériser les échanges entre l'atmosphère et l'océan.</li> </ul>
Observations provenant de bouées – ancrées et dérivantes	Pression en surface, température de l'air, humidité, vent, visibilité, température de surface de la mer, salinité de surface de la mer, spectres directionnels et 2D des vagues, vitesse à proximité de la surface, variables de rayonnement en surface, précipitations, courants océaniques, concentration de CO <sub>2</sub> , pH, couleur de l'océan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une technologie intelligente sera mise au point pour réaliser un échantillonnage adaptatif qui tiendra compte des conditions environnementales et optimisera la résistance des bouées.</li> <li>• Des sources d'énergie renouvelables seront exploitées.</li> <li>• Les bouées ancrées et les bouées dérivantes seront optimisées, dotées d'instruments supplémentaires et équipées d'un dispositif de télécommunication par satellite en temps quasi réel et de portée mondiale, offrant de surcroît un débit plus élevé.</li> <li>• Les données seront fournies avec une résolution spatiale et temporelle plus élevée.</li> <li>• Un réseau mondial de bouées dérivantes produisant des données sur les vagues et l'état de la mer, fondé sur la technologie à degrés de liberté multiples GNSS et MEMS (Système microélectromécanique), sera déployé.</li> <li>• Des capteurs acoustiques seront utilisés pour mesurer le vent et les précipitations.</li> <li>• Les bouées ancrées exposées au vandalisme seront équipées d'outils vidéo et/ou de systèmes d'imagerie pour détecter les incidents et actes de vandalisme, et la législation sera appliquée plus strictement dans ce domaine.</li> <li>• Des observations relatives aux vagues, dont la traçabilité sera renforcée, provenant de bouées houlographes seront recueillies ainsi que des données d'observation mondiales sur les vagues provenant de bouées dérivantes.</li> </ul>



<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observations provenant des bouées sur glace	<p>Cinématique de la glace, pression en surface, température, vent, épaisseur de la glace, température de la glace et des couches supérieures de l'océan, épaisseur de la neige, température de la neige, déplacements des glaces de mer et autres</p> <p>Neige sur les glaces de mer et stratification de la neige, composition chimique et isotopique de la neige</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les bouées sur glace porteront des capteurs unifiés et seront intégrées dans un réseau durable (Programme international de bouées de l'Arctique et Programme international de bouées de l'Antarctique).</li> <li>• Des bouées plus petites, moins coûteuses et mieux équipées seront utilisées, le coût de la transmission des données par satellite sera réduit et le débit plus élevé.</li> <li>• Les bouées seront dotées d'une technologie plus pointue, avec un nombre accru de capteurs et possibilité de largage.</li> <li>• Les données de base sur les glaces de mer seront diffusées automatiquement via le SIO. Des données supplémentaires seront transmises à moindre coût au chercheur principal.</li> <li>• Des capteurs pourront être ajoutés aux bouées sur glace à l'aide des techniques du prêt à l'emploi (par exemple un système vidéo pour les mares de fonte) pour contribuer à des études scientifiques spécifiques (sur les glaces de mer).</li> </ul>
Observations relatives au niveau de la mer	Hauteur de la surface de la mer, pression de l'air en surface, vent, salinité, température de l'eau, mesures de la gravité (pour le géoïde de l'océan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le Système mondial de navigation par satellite sera systématiquement utilisé pour le géopositionnement et la transmission des données en temps réel.</li> </ul>
Véhicules autonomes à la surface de l'océan	Pression de l'air en surface, température, humidité, vent, visibilité, température en surface de la mer et spectres directionnels et 2D des vagues	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les véhicules autonomes de surface (par exemple, planeurs sur vagues, drones à voile) capables de se déplacer en utilisant des sources d'énergie renouvelable et de suivre des couloirs de circulation prédéfinis ou ciblés seront plus largement utilisés.</li> </ul>
Instruments fixés sur la glace	Observations relatives à la banquise côtière: épaisseur de la neige et de la glace, revanche, tirant de glace, profil vertical de température (air-neige-glace-océan), biomasse mer-glace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des observations relatives à la banquise côtière seront effectuées au moyen des stations situées sur la banquise côtière de l'Arctique et de l'Antarctique (du type de celles du réseau AFIN). Les sites du réseau AFIN seront probablement maintenus en Antarctique grâce aux infrastructures déjà en place.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observation de floes <i>in situ</i>	<p>Épaisseur de la neige et de la glace, revanche, stratigraphie de la neige et de la glace, composition chimique, profils de la surface inférieure et supérieure, biomasse, écosystèmes et paramètres biologiques</p> <p>Icebergs: position, forme, dimension, concentration, déplacement, hauteur/largeur/longueur, tirant d'eau, forme 3D sous l'eau</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des stations d'observation des glaces de mer seront opérationnelles sur une courte période ou sur plusieurs semaines (voire saisons) comme le camp NorthPole dans l'Arctique, et une tendance à effectuer des campagnes plus courtes mais plus intenses d'échantillonnage de glace avec l'aide de navires se dessinera.</li> <li>• La nouvelle génération de brise-glaces devrait contribuer davantage aux travaux effectués sur les glaces dérivantes.</li> </ul>
<b>Observations sous-marines</b>		
Flotteurs profilants	Température, salinité, courant, oxygène dissous, concentration de CO <sub>2</sub> et diverses variables de biogéochimie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les flotteurs passeront moins de temps à la surface, ce qui allongera leur durée de vie et permettra d'obtenir de plus longues séries chronologiques de mesures.</li> <li>• Des mesures seront systématiquement effectuées dans les mers bordières et sous la glace.</li> <li>• Les profils océaniques seront établis sur de plus grandes profondeurs (plus de 6 000 mètres).</li> <li>• Les mesures pluridisciplinaires seront plus nombreuses.</li> <li>• Davantage d'observations haute résolution proches de la surface seront effectuées.</li> <li>• Les flotteurs profilants seront déployés en essais, par exemple avant l'occurrence de tempêtes/ouragans. Les missions de profilage des essais pourront, dans certaines circonstances, être modifiées dans la région concernée.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Véhicules sous-marins autonomes (par exemple les planeurs)	Température, salinité, courant, oxygène dissous, concentration de CO <sub>2</sub> , diverses variables de biogéochimie, tirant d'eau des glaces de mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les véhicules sous-marins autonomes pourront recueillir des données de profils océaniques et effectuer des relevés le long de couloirs maritimes prédéfinis.</li> <li>• Des techniques de communication acoustique seront utilisées pour transférer des données issues d'équipements déployés dans des zones éloignées. Les véhicules sous-marins autonomes pourront fonctionner sous la glace et enregistrer des données à bord qu'ils transmettront à une station au sol dès qu'ils en auront la possibilité. (Dans la plupart des cas, les données ne seront disponibles qu'en différé.)</li> <li>• Des stations d'amarrage situées sous la surface seront mises en place pour les planeurs sous-marins et ceux-ci pourront fonctionner à distance.</li> <li>• Des équipements et du matériel de captage prêts à l'emploi et plus économiques permettront à un plus grand nombre de pays de participer aux observations océaniques, et le déploiement en essaim de capteurs permettra d'effectuer des observations haute résolution (dans le temps et dans l'espace).</li> <li>• Les nouveaux capteurs permettront de mesurer davantage de variables, et particulièrement des paramètres biogéochimiques et biologiques requis pour les recherches sur le système Terre.</li> </ul>
Observations sous la surface de l'océan provenant de bouées ancrées ou dérivantes	Température, salinité, courants, concentration de CO <sub>2</sub> , pH, tirant d'eau des glaces de mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des moulinets de profilage acoustique optimisés seront utilisés.</li> <li>• Les bouées ancrées exposées au vandalisme seront équipées d'outils vidéo et/ou de systèmes d'imagerie pour détecter les incidents et actes de vandalisme, et la législation sera appliquée plus strictement dans ce domaine.</li> </ul>
Navires occasionnels	Température, salinité, couleur de l'océan, courants	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les navires commerciaux seront mieux conçus et équipés pour faciliter la production d'observations météorologiques et océanographiques (par exemple avec l'installation de lanceurs automatiques XBT/XCTD).</li> <li>• Il sera plus systématiquement fait appel à des profileurs de courant à effet Doppler (embarqués ou immergés) pour les profils de courants.</li> </ul>
Observations de plates-formes transmises par des câbles de télécommunication sous-marins	Mesures pluridisciplinaires de fond et sous la surface, surveillance des tsunamis (tremblement de terre, vague de tsunami)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avec des débits de données plus élevés et des coûts de transmission plus bas, il ne sera pas utile de transférer les données à une bouée de surface (qui peut être exposée à des actes de vandalisme et qui coûte cher en termes de déploiement et de maintenance).</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observations de plates-formes captives en zone de glace	Température, salinité, courant, observation de la banquise côtière	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un débit de données plus élevé sera assuré, avec des coûts de transmission réduits.</li> <li>• Les profils océaniques seront établis sur de plus grandes profondeurs (6 000 mètres).</li> <li>• Les mesures pluridisciplinaires seront plus nombreuses.</li> <li>• Un ensemble de capteurs AFIN ancrés dans la glace sera utilisé.</li> </ul>
Animaux marins équipés d'instruments	Température, salinité, tirant d'eau des glaces de mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il sera plus systématiquement fait appel à des animaux marins équipés d'instruments (mammifères marins, espèces de poissons répertoriées, tortues).</li> </ul>
<b>Observation de la cryosphère: glaces de mer</b>		
Observations de bouées dans des zones de glace	<p>Pression en surface, température de l'air en surface, vent, épaisseur de la glace, température de la glace et température des couches supérieures de l'océan, épaisseur de la neige, température de la neige, déplacements des glaces de mer, et autres.</p> <p>Neige au-dessus des glaces de mer: stratification de la neige, composition chimique et isotopique de la neige</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des bouées plus petites, moins coûteuses et mieux équipées seront utilisées, tandis que le coût de la transmission des données par satellite sera plus faible, et le débit plus élevé.</li> <li>• Les bouées seront dotées d'une technologie plus pointue, avec un nombre accru de capteurs et possibilité de largage.</li> <li>• Les données de base sur les glaces de mer seront diffusées automatiquement via le SIO. Des données supplémentaires seront transmises à moindre coût au chercheur principal.</li> <li>• Des capteurs pourront être ajoutés aux bouées sur glace à l'aide des techniques du prêt à l'emploi (par exemple un système vidéo pour les mares de fonte) pour contribuer à des études scientifiques spécifiques (sur les glaces de mer).</li> </ul>
Observations à partir de navires	Épaisseur, concentration, type et topographie des glaces de mer, taille des floes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'augmentation du trafic dans les régions polaires permettra d'obtenir des observations sur la glace en temps opportun.</li> <li>• Les observations des navires pourront être prises en compte dans l'élaboration des cartes de glaces établies régulièrement à des fins opérationnelles pour une vérification quotidienne du type et de la concentration des glaces de mer.</li> <li>• Le recours au protocole normalisé ASSIST ou ASPeCt sur la glace de mer facilitera l'exploitation des observations s'y rapportant.</li> </ul>
Stations côtières	Épaisseur de la glace, type de glace et topographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arctique: des stations côtières seront probablement mises en place près de la banquise côtière et des glaces de mer dérivantes.</li> <li>• Antarctique: les sites AFIN seront probablement maintenus grâce aux infrastructures déjà en place.</li> </ul>

Type d'instrument/ d'observation	Variables et phénomènes géophysiques	Évolution et tendances
<b>Observation de la cryosphère: nappes glaciaires ou glaciers, pergélisol</b>		
	<p>Accumulation et ablation superficielles, température en surface, albédo de la surface, limites de la nappe glaciaire, épaisseur de la nappe glaciaire, vitesse des glaces, profil de la température des névés et de la glace, manteau neigeux, profil de la neige</p> <p>Mesures directes et indirectes du déplacement de la nappe glaciaire, surveillance de la migration de la ligne d'échouage, ruissellement d'eau de fonte, pression de l'eau due au poids de la nappe glaciaire, transfert d'eau entre la nappe glaciaire et les zones en-dessous de la surface de la glace, et interactions entre l'eau de fonte et les eaux souterraines sous-jacentes</p> <p>Glaciers: bilan de masse (accumulation, ablation), altitude de la ligne d'équilibre, épaisseur des glaciers, vitesse des floes, flux de vèlage, écoulement des glaciers, profil de la température de la neige, des névés et de la glace, albédo de la surface, neige sur les glaciers (stratification, et composition chimique et isotopique)</p> <p>Pergélisol: température du sol, épaisseur de la couche active, vitesse de fluage des glaciers rocheux, écoulement des glaciers rocheux, température printanière des glaciers rocheux, soulèvement par le gel/subsidence saisonnières, élévation du niveau de surface, quantité de glace souterraine, recul côtier, humidité du sol</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des stations météorologiques automatiques alimentées de façon indépendante, installées au niveau de la surface de la nappe glaciaire, mesureront tous les paramètres pertinents, notamment les flux de rayonnement, de façon suffisamment précise pour réaliser le bilan énergétique de surface.</li> <li>• La variabilité de l'albédo sera déterminée au moyen de la télédétection optique par satellite et d'observations au sol, avec les corrections d'erreurs appropriées.</li> <li>• Des aéronefs téléguidés ayant un petit périmètre d'observation peuvent être déployés pour combler les lacunes de la couverture spatiale de l'observation <i>in situ</i> de l'albédo.</li> <li>• La couverture des radars de neige sera combinée à celle de nouveaux modèles altimétriques numériques des surfaces de glaciers (provenant de lidars aéroportés ou de plates-formes satellitaires) extrêmement précis.</li> <li>• Une surveillance systématique des glaciers et du pergélisol sera établie sur le plan national et régional, en partenariat avec les organismes de recherche et des services d'exploitation, et les données seront normalisées et échangées à l'échelle internationale.</li> <li>• La pérennité des stations de recherche est indispensable pour assurer la disponibilité des relevés climatologiques.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
<b>Observations spatiométéorologiques</b>		
Observation du spectre solaire à ondes courtes	Lumière blanche, images H-alpha et calcium K, taches solaires, éruptions solaires, filaments, protubérances, trous coronaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De nouveaux télescopes offriront une résolution spatiale plus fine.</li> <li>• Un accroissement de la fréquence des observations permettra de présenter le comportement dynamique des structures solaires avec une meilleure résolution temporelle.</li> <li>• La diffusion d'observations similaires à l'échelle internationale permettra d'assurer une veille solaire 24 heures sur 24.</li> </ul>
Observation radio du Soleil – spectrographe et fréquences discrètes	Éjections de masse coronale, sursauts radioélectriques, activité solaire (flux de 10,7 cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De nouveaux télescopes offriront une résolution spatiale plus fine.</li> <li>• Un accroissement de la fréquence des observations permettra de présenter le comportement dynamique des structures solaires avec une meilleure résolution temporelle.</li> <li>• La diffusion d'observations similaires à l'échelle internationale permettra d'assurer une veille solaire 24 heures sur 24.</li> </ul>
Observations ionosphériques – ionosonde	Mesures de la capacité de l'ionosphère de réfléchir des ondes radio à haute fréquence à diverses fréquences et hauteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La résolution temporelle sera améliorée.</li> <li>• L'analyse de l'ionogramme sera automatisée.</li> <li>• Le réseau d'ionosondes sera étendu.</li> </ul>
Observations ionosphériques – riomètre	Mesures de l'«opacité» de l'ionosphère par rapport au bruit radioélectrique, phénomènes d'absorption	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les réseaux de riomètres seront étendus.</li> </ul>
Observations ionosphériques – GNSS	Teneur totale en électrons de l'ionosphère, gradients ionosphériques, scintillation ionosphérique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'extension du réseau au sol de récepteurs GNSS permettra d'améliorer la résolution spatiale.</li> <li>• La résolution temporelle sera améliorée.</li> </ul>
Observations géomagnétiques	Mesures du champ magnétique de la Terre et des perturbations géomagnétiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'extension du réseau au sol de magnétomètres permettra d'améliorer la résolution spatiale.</li> <li>• La résolution temporelle sera améliorée.</li> <li>• La récupération des données en temps réel sera meilleure.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Observation des rayons cosmiques	Mesures du rayonnement, suivi des neutrons et des muons	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De nouvelles technologies pour l'observation des rayons cosmiques seront disponibles afin de répondre aux besoins de la météorologie de l'espace.</li> <li>• La qualité des données en temps réel sera améliorée.</li> </ul>
<b>Systemes d'observation à des fins de recherche-développement et instruments exploratoires – exemples</b>		
Aéronefs téléguidés	Vent, température, humidité, composition l'atmosphère, épaisseur de la neige, morphologie fluviale, concentration de gaz à l'état de traces et d'aérosols	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il faudra installer de plus grandes plates-formes.</li> <li>• Des drones seront utilisés pour effectuer des mesures dans les basses couches de l'atmosphère et dans les zones inaccessibles.</li> <li>• Les instruments d'analyse de la composition de l'atmosphère seront miniaturisés pour être utilisés sur des aéronefs téléguidés et mesurer la concentration des gaz à effet de serre et des aérosols.</li> </ul>
Observations d'aéronefs	Orages, teneur totale en eau, rayonnement dans différents domaines spectraux et différentes directions, particules de poussière et de sable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il sera davantage fait appel à des flottes privées d'aéronefs téléguidés, capables de voler sur de longues distances, alimentés en énergie renouvelable et déployés quasiment en permanence, à des fins de recherche, d'observation et d'applications opérationnelles (par exemple pour répondre aux besoins en matière de détection de la foudre, de surveillance des cendres volcaniques et de prévision des conditions météorologiques extrêmes (phénomènes pluviométriques, spatiométéorologiques, etc.).</li> <li>• Les instruments de mesure de champs électromagnétiques et de radiofréquences amélioreront la détection de la foudre.</li> <li>• Le système de détection de la vapeur d'eau sera plus largement utilisé.</li> </ul>
Observations de nacelles	Vent, température, humidité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des ballons à pression constante opéreront dans la basse atmosphère.</li> </ul>
Capteurs à bas coûts	Aérosols, concentration de gaz réactifs et de gaz à effet de serre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grâce à la miniaturisation des technologies et à leur perfectionnement, l'observation des matières particulaires (PM), du monoxyde de carbone (CO), des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et du méthane (CH<sub>4</sub>) pourra se faire avec des systèmes à bas coût dont la qualité s'améliorera avec le temps.</li> </ul>

<i>Type d'instrument/ d'observation</i>	<i>Variables et phénomènes géophysiques</i>	<i>Évolution et tendances</i>
Combinaison des observations obtenues par télédétection en surface et par satellite	Vent, température, humidité, aérosols, chimie de l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les données de profileurs et de radars sur le vent et les données sur le mouvement des nuages seront combinées pour fournir des produits sur le vent.</li><li>• Les données de radiomètres infrarouges et hyperfréquences de surface seront combinées aux observations par satellite pour établir des profils verticaux complets de la température et de l'humidité.</li><li>• Les lidars de surface, la spectroscopie d'absorption optique différentielle et le réseau TCCON seront combinés aux observations par satellite pour fournir des profils verticaux communs.</li></ul>

---



## **ANNEXE A. PRINCIPES RÉGISSANT LA CONCEPTION D'UN RÉSEAU D'OBSERVATION**

### **1. Desservir de multiples domaines d'application**

Les réseaux d'observation devraient être conçus de manière à répondre aux besoins de multiples domaines d'application au sein des programmes mis en œuvre et coparrainés par l'OMM.

### **2. Répondre aux besoins des utilisateurs**

Les réseaux d'observation devraient être conçus de manière à répondre aux besoins formulés par les utilisateurs concernant les variables géophysiques à observer et la résolution spatio-temporelle, l'incertitude, le délai de fourniture et la stabilité des mesures.

### **3. Répondre aux besoins nationaux, régionaux et mondiaux**

Les réseaux d'observation conçus pour répondre aux besoins nationaux devraient également prendre en considération les besoins de l'OMM à l'échelle régionale et mondiale.

### **4. Concevoir des réseaux selon un intervalle approprié**

Quand les besoins des utilisateurs de haut niveau impliquent que les observations présentent une uniformité spatiale et temporelle, la conception des réseaux doit également tenir compte d'autres besoins des utilisateurs, par exemple sur le plan de la représentativité et de l'utilité des mesures.

### **5. Concevoir des réseaux selon un bon rapport coût-efficacité**

Les réseaux d'observation devraient être conçus de manière à utiliser au mieux les ressources disponibles, ce qui comprend le recours à des réseaux d'observation composites.

### **6. Assurer l'homogénéité des données d'observation**

Les réseaux d'observation devraient être conçus de sorte que le degré d'homogénéité des données fournies réponde aux besoins des applications prévues.

### **7. Opter pour une conception à plusieurs niveaux**

Les réseaux d'observation devraient présenter une structure à plusieurs niveaux, de manière que l'information provenant d'observations de référence de grande qualité puisse être transférée à d'autres observations et utilisée pour accroître leur qualité et leur utilité.

### **8. Concevoir des réseaux fiables et stables**

Les réseaux d'observation devraient être conçus de manière à offrir une fiabilité et une stabilité adéquates.

### **9. Communiquer les données d'observation**

Les réseaux d'observation devraient être conçus et devraient évoluer de manière à garantir la transmission des données aux autres Membres de l'OMM, à des résolutions spatio-temporelles et selon les délais prescrits pour répondre aux besoins des applications régionales et mondiales.

10. **Fournir les informations requises pour interpréter les observations**

Les réseaux d'observation devraient être conçus et exploités de manière à pouvoir enregistrer et traiter, avec le même soin que les données elles-mêmes, les renseignements détaillés et le contexte concernant les instruments, les cadres et conditions de fonctionnement, les procédures de traitement des données et les autres éléments utiles à la compréhension et à l'interprétation des données (c.-à-d. les métadonnées).

11. **Assurer la viabilité des réseaux**

La disponibilité des observations à long terme devrait être favorisée par la conception et le financement de réseaux durables, y compris la transformation des systèmes expérimentaux en systèmes d'exploitation, s'il y a lieu.

12. **Gérer l'évolution**

La conception de nouveaux réseaux d'observation et la modification de réseaux existants devraient se faire en garantissant une cohérence, une qualité et une continuité suffisantes des observations pendant le passage de l'ancien au nouveau système.

---

Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser à:

**Organisation météorologique mondiale**

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH 1211 Genève 2 – Suisse

**Bureau de la communication stratégique**

Tél.: +41 (0) 22 730 87 40/83 14 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Courriel: [cpa@wmo.int](mailto:cpa@wmo.int)

[public.wmo.int](http://public.wmo.int)