

Annexe de la recommandation 1 (CSB-XIV)

PERSPECTIVE D'AVENIR DU SYSTÈME MONDIAL D'OBSERVATION À L'HORIZON 2025

PRÉAMBULE

Ce document expose les buts généraux, ambitieux mais réalisables, qui guideront l'évolution générale du Système mondial d'observation au cours des prochaines décennies.

Le Système s'appuiera sur la composante de surface et sur la composante spatiale déjà en place, mais il bénéficiera des techniques d'observation actuelles et naissantes, qui ne sont pas encore totalement exploitées, et de celles qui seront mises au point plus tard. Les ajouts progressifs se traduiront par une amélioration des données, produits et services dispensés par les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN), en particulier dans les pays en développement et les pays les moins avancés.

Le Système jouera un rôle clé au sein du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS)¹. Une fois achevé, ce système d'observation intégré formera un «système de systèmes» complet qui fonctionnera en interface avec les systèmes d'observation coparrainés par l'OMM et d'autres systèmes qui ne relèvent pas de l'Organisation. Il apportera ainsi des contributions majeures au Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS) grâce à la participation active des Membres, des Régions et des commissions techniques de l'OMM. La composante spatiale dépendra d'une collaboration accrue, établie dans le cadre de partenariats tels que le Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS) et le Comité sur les satellites d'observation de la Terre (CSOT). Les composantes spatiale et de surface relèveront en partie d'organisations partenaires de l'OMM, notamment le Système mondial d'observation terrestre (SMOT), le Système mondial d'observation de l'océan (GOOS) et le Système mondial d'observation du climat (SMOC).

La perspective d'avenir du Système à l'horizon 2025 comporte des changements de grande portée qui exigeront d'aborder autrement la science, la gestion des données, la mise au point et l'utilisation des produits, ainsi que la formation.

1. TENDANCES ET QUESTIONS D'ORDRE GÉNÉRAL

Satisfaction des besoins des utilisateurs

- Le SMO fournira des observations détaillées sur le temps, l'eau et le climat qui répondront aux attentes de tous les Membres et de tous les programmes de l'OMM en matière de produits et de services de qualité.
- Une étroite collaboration mondiale continuera d'être assurée pour le recueil et la diffusion des observations, grâce à un ensemble composite de systèmes de plus en plus complémentaires.
- Les observations seront transmises au moment et à l'endroit voulus de manière fiable, stable et continue, selon un bon rapport coût-efficacité.

¹ Sous réserve de l'adoption du WIGOS par le Seizième Congrès.

- Il sera régulièrement tenu compte des exigences des utilisateurs quant à la résolution spatiale et temporelle des observations, à l'exactitude et à la rapidité d'obtention des données.
- Le SMO s'adaptera à l'évolution rapide de l'environnement technologique et du cadre de travail des utilisateurs en mettant à profit l'amélioration des connaissances scientifiques et le perfectionnement des techniques d'observation et de traitement des données.

Intégration

- Le SMO évoluera de manière à faire partie du Système mondial intégré des systèmes d'observations de l'OMM (WIGOS),² lequel amalgamera les fonctionnalités actuelles du SMO, essentiellement destinées à appuyer la prévision météorologique d'exploitation, avec celles d'autres applications: surveillance du climat, océanographie, composition de l'atmosphère, hydrologie, recherche sur le temps et le climat.
- L'intégration reposera sur l'analyse des besoins et, selon qu'il conviendra, sur l'exploitation conjointe, par les Membres de l'OMM et avec d'autres partenaires, de l'infrastructure d'observation, des plates-formes et des capteurs appartenant à différents systèmes.
- La planification des systèmes d'observation en surface et par satellite sera coordonnée pour permettre de répondre aux besoins des divers usagers avec un bon rapport coût-efficacité et en appliquant les résolutions spatiale et temporelle adéquates.

Expansion

- Le SMO sera étendu sur le plan des applications desservies et des variables observées.
- Les nouvelles observations aideront à établir les variables climatologiques essentielles, conformément aux principes définis par le SMOC pour la surveillance du climat.
- La viabilité des nouvelles composantes du SMO sera garantie en intégrant certains systèmes de recherche-développement en tant que systèmes d'exploitation.
- Les observations échangées à l'échelle mondiale (plutôt que locale) seront plus nombreuses et porteront sur des paramètres plus variés.
- Un certain degré de ciblage sera atteint, par l'ajout d'observations particulières ou l'arrêt d'observations courantes selon la situation météorologique locale.

Automatisation

- La tendance à mettre en place des systèmes entièrement automatiques faisant appel aux nouvelles techniques d'observation et d'information se poursuivra quand le rapport coût-efficacité le justifie.
- Il sera plus facile d'obtenir les données brutes et les données en temps réel.
- Des essais seront réalisés en vue de comparer et d'évaluer les nouveaux systèmes et d'élaborer des directives touchant l'intégration et la mise en œuvre des plates-formes d'observation.

² Sous réserve de l'adoption du WIGOS par le Seizième Congrès.

- Les données seront recueillies et transmises sous forme numérique, avec un taux élevé de compression au besoin. Le traitement sera largement informatisé.

Cohérence et homogénéité

- La normalisation des instruments et des méthodes d'observation se poursuivra.
- L'étalonnage des observations et la fourniture des métadonnées seront améliorés afin d'assurer la cohérence des données et leur traçabilité par rapport à des étalons absolus.
- Les méthodes de contrôle de la qualité et la caractérisation des erreurs relevées dans toutes les observations seront améliorées.
- Les systèmes d'observation en place et ceux qui seront installés ultérieurement présenteront un plus haut degré d'interopérabilité.
- Les formes de présentation des données et les modes de diffusion par le SIO seront plus homogènes.

2. COMPOSANTE SPATIALE

Instruments	Variables et phénomènes géophysiques
Satellites d'exploitation géostationnaires, 6 au moins, séparés par 70 degrés de longitude maximum	
Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible et l'infrarouge	Nébulosité, genre des nuages et hauteur/température au sommet; vent (par suivi des nuages et de la vapeur d'eau); température de surface de la mer/des terres; précipitations; aérosols; couverture de neige; couverture végétale; albédo; stabilité de l'atmosphère; incendies; cendres volcaniques
Sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge	Température et humidité de l'atmosphère; vent (par suivi des nuages et de la vapeur d'eau); systèmes de méso-échelle à évolution rapide; température de surface de la mer/des terres; nébulosité et hauteur/température au sommet des nuages; composition de l'atmosphère
Imageurs d'éclairs	Éclairs (entre nuages notamment), emplacement des systèmes de convection intense
Satellites d'exploitation héliosynchrones à défilement, répartis sur 3 plans orbitaux (~13:30, 17:30, 21:30 ECT)	
Sondeurs hyperspectraux dans l'infrarouge	Température de l'atmosphère, humidité et vent; température de surface de la mer/des terres; nébulosité, teneur en eau et hauteur/température au sommet des nuages; composition de l'atmosphère
Sondeurs hyperfréquence	
Imageurs multibandes à haute résolution dans le visible et l'infrarouge (y compris bande d'absorption de la vapeur d'eau dans l'infrarouge thermique)	Nébulosité, genre des nuages et hauteur/température au sommet; vent (hautes latitudes, par suivi des nuages et de la vapeur d'eau); température de surface de la mer/des terres; précipitations; aérosols; couverture de neige et de glace; couverture végétale; albédo; stabilité de l'atmosphère
Missions d'exploitation additionnelles aux orbites voulues (polaire classique, géostationnaire, autre)	
Imageurs hyperfréquence – 3 au moins – certains polarimétriques	Glaces de mer; colonne totale de vapeur d'eau; précipitations; vitesse [et direction] des vents à la surface de la mer; teneur en eau liquide des nuages; température de surface de la mer/des terres; humidité du sol

Instruments	Variables et phénomènes géophysiques
Diffusiomètres – 2 au moins sur des plans orbitaux nettement séparés	Vitesse et direction des vents à la surface de la mer; glaces de mer; humidité du sol
Constellation de radio-occultation – 8 récepteurs au moins	Température et humidité de l'atmosphère; densité électronique dans l'ionosphère
Constellation d'altimètres, dont une mission de référence sur orbite précise et des altimètres sur orbite polaire assurant une couverture mondiale	Topographie de la surface des océans; niveau de la mer; hauteur des vagues; niveau des lacs; topographie des glaces de mer et de terre
Imageur 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
Imageurs à bande étroite et haute résolution spectrale et hyperspectrale dans le visible/proche infrarouge	Couleur des océans; végétation (y compris les zones incendiées); aérosols; propriétés des nuages; albédo
Constellation d'imageurs multibandes à haute résolution dans le visible/l'infrarouge	Surface des terres pour l'occupation des sols et végétation; surveillance des crues
Radars de détection des précipitations associés à des imageurs passifs hyperfréquence sur diverses orbites	Précipitations (état liquide et solide)
Radiomètre à large bande dans le visible/l'infrarouge + capteur d'éclairement énergétique total du Soleil – 1 au moins	Bilan radiatif de la Terre (avec l'appui d'imageurs et de sondeurs sur orbite polaire et géostationnaire) et mesures des aérosols et propriétés des nuages aux mêmes emplacements
Constellation d'instruments d'analyse de la composition de l'atmosphère, incluant sondeur UV à haute résolution spectrale sur orbite géostationnaire et au moins un sondeur UV sur orbite du matin + du soir	Ozone; autres espèces atmosphériques; aérosols – pour la surveillance des gaz à effet de serre, de l'ozone/du rayonnement UV et de la qualité de l'air
Radar à synthèse d'ouverture	Hauteur, direction et spectre des vagues; crues; chenaux libres; plateaux de glace et icebergs
<i>Instruments exploratoires d'exploitation et prototypes, dont:</i>	
Lidar Doppler de mesure du vent sur orbite basse	Vent; aérosols; hauteur du sommet [et de la base] des nuages
Radiomètre hyperfréquence à basse fréquence sur orbite basse	Salinité des océans en surface; humidité du sol
Imageur/sondeur hyperfréquence sur orbite géostationnaire	Précipitations; eau/glace dans les nuages; humidité et température de l'atmosphère
Imageurs multibandes CCD et dans le visible/proche infrarouge à bande étroite et haute résolution sur orbite géostationnaire	Couleur des océans, études des nuages et surveillance des catastrophes
Imageurs dans le visible/l'infrarouge sur satellites à orbite très elliptique et à forte inclinaison	Vents et nuages aux hautes latitudes; glaces de mer; panaches de cendres volcaniques aux hautes latitudes; couverture de neige; végétation; incendies
Capteurs gravimétriques	Volume d'eau dans les lacs, cours d'eau, sols, etc.
<i>Plates-formes / instruments sur orbite polaire et géostationnaire pour la météorologie de l'espace</i>	
Imagerie solaire Détection des particules Densité électronique	Éruptions solaires, pluies de particules de grande énergie, tempêtes ionosphériques et géomagnétiques, interruptions des radiocommunications par photons X

3. COMPOSANTE DE SURFACE

Stations	Variables et phénomènes géophysiques
Terrestres – observations en altitude	
Stations synoptiques et de référence	Vent, température, humidité, pression
Stations isolées d'établissement de profils par télédétection	Vent, base et sommet des nuages, teneur en eau des nuages, température, humidité, aérosols
Aéronefs	Vent, température, pression, humidité, turbulence, givrage, tempêtes, tempêtes de sable/poussière, cendres/activité volcaniques, composition de l'atmosphère (aérosols, gaz à effet de serre, ozone, qualité de l'air, chimie des précipitations, gaz réactifs)
Stations d'analyse de la composition de l'atmosphère	Épaisseur optique des aérosols, composition de l'atmosphère (aérosols, gaz à effet de serre, ozone, qualité de l'air, chimie des précipitations, gaz réactifs)
Stations réceptrices GNSS	Vapeur d'eau
Terrestres – observations en surface	
Stations synoptiques et de référence pour la surveillance du climat	Pression en surface, température, humidité, vent; visibilité; nuages; précipitations; temps présent et passé; rayonnement; température du sol; évaporation; humidité du sol; obscurcissements
Stations d'analyse de la composition de l'atmosphère	Composition de l'atmosphère (aérosols, gaz à effet de serre, ozone, qualité de l'air, chimie des précipitations, gaz réactifs)
Stations à système de détection d'éclairs	Éclairs (emplacement, densité, fréquence de décharge, polarité, répartition volumique)
Stations destinées à des applications spéciales (conditions sur les routes ou aux aéroports/héliports, météorologie agricole, météorologie urbaine, etc.)	Observations adaptées aux applications
Terrestres – mesures hydrologiques	
Stations hydrologiques de référence	Niveau d'eau
Stations des réseaux hydrologiques nationaux	Précipitations, hauteur de neige, teneur en eau de la neige, épaisseur de glace/date de gel et dégel des lacs et cours d'eau, niveau d'eau, débit, qualité de l'eau, humidité du sol, température du sol, charge solide
Stations d'observation des eaux souterraines	Propriétés des eaux souterraines
Terrestres – radars météorologiques	
Stations météorologiques radars	Précipitations (répartition des hydrométéores selon leurs dimensions, phase, type), vent, humidité (selon la réfractivité), tempêtes de sable et de poussière
Océaniques – observations en altitude	
Navires participant au Programme de mesures automatiques en altitude	Vent, température, humidité, pression
Océaniques – observations en surface	
Radars côtiers haute fréquence	Courants de surface, vagues
Stations synoptiques (océan, îles, côtes et plates-formes fixes)	Pression en surface, température, humidité, vent; visibilité; nébulosité, genre des nuages et hauteur de la base; précipitations; conditions météorologiques; température de surface de la mer; direction, période et hauteur des vagues; glaces de mer
Navires	Pression en surface, température, humidité, vent; visibilité; nébulosité, genre des nuages et hauteur de la base; précipitations; conditions météorologiques; température de

Stations	Variables et phénomènes géophysiques
	surface de la mer; direction, période et hauteur des vagues; glaces de mer
Bouées dérivantes et ancrées	Pression en surface, température, humidité, vent; visibilité; température de surface de la mer; spectre tridimensionnel et bidimensionnel, direction, période et hauteur des vagues
Bouées en zone de glace	Pression en surface, température, vent, épaisseur de glace
Stations marégraphiques	Hauteur d'eau, pression de l'air en surface, vent, salinité, température de l'eau
Océaniques – observations sous la surface	
Flotteurs profilants	Température, salinité, courant, oxygène dissous, concentration de CO ₂
Plates-formes captives en zone de glace	Température, salinité, courant
Navires occasionnels	Température
Exploratoires – recherche-développement et exploitation – exemples	
Aéronefs téléguidés	Vent, température, humidité, composition de l'atmosphère
Nacelles	Vent, température, humidité
Stations du réseau GRUAN	Données de référence, qualité suffisante pour la surveillance du climat, structure des nuages
Aéronefs	Chimie, aérosols, vent (lidar)
Animaux marins équipés d'instruments	Température
Planeurs sous-marins	Température, salinité, courant, oxygène dissous, concentration de CO ₂

4. TENDANCES ET QUESTIONS PROPRES AUX DIFFERENTS SYSTEMES

4.1 Composante spatiale

- Les **capacités** d'observation des satellites d'exploitation et des satellites de recherche seront **étendues**.
- Un **plus grand nombre** d'agences spatiales seront associées au SMO.
- La **collaboration** entre les agences spatiales sera **approfondie** de manière à répondre à un large éventail de besoins avec un meilleur rapport coût-efficacité et à garantir la fiabilité du fonctionnement grâce à la signature d'ententes sur des services d'appoint mutuel.
- Les capacités d'observation qui ont fait leurs preuves sur les satellites de **recherche-développement** seront transférées sur les plates-formes d'**exploitation** afin d'assurer la fiabilité et la poursuite des mesures.
- Les **satellites de recherche-développement** continueront à occuper une grande place dans le SMO; bien que la continuité des observations ne soit pas garantie, ils présentent des capacités que ne détiennent pas les systèmes actuellement utilisés en exploitation. Des partenariats seront créés entre les agences spatiales dans le but d'étendre le plus possible la période de fonctionnement des **satellites de recherche-développement** et autres.
- Certains besoins seront comblés au moyen de **constellations** de satellites, nécessitant souvent une collaboration entre les agences spatiales, qui devraient porter sur les éléments suivants: altimétrie, précipitations, radio-occultation, composition de l'atmosphère et bilan radiatif de la Terre.
- **L'augmentation de la résolution spatiale, temporelle et spectrale** améliorera énormément la qualité de l'information disponible, surtout pour prévoir et suivre les

phénomènes de petite échelle qui évoluent rapidement, tout en exigeant de plus grandes capacités pour l'échange, la gestion et le traitement des données.

- La coopération concrète instaurée entre les agences et la mise en place d'une nouvelle infrastructure de communication permettront d'**accroître la disponibilité et la rapidité de production des données**.
- **L'étalonnage et l'interétalonnage seront améliorés** en recourant à des mécanismes tel le Système mondial d'interétalonnage des instruments satellitaires.

4.2 Composante de surface

La composante de surface du SMO:

- Améliorera la détection des phénomènes d'échelle moyenne;
- Fournira les données qui ne peuvent être recueillies par la composante spatiale;
- Procurera des données permettant d'étalonner et de valider les mesures effectuées par la composante spatiale;
- Intensifiera l'échange des données et produits d'échelle régionale émanant des radars météorologiques, des réseaux hydrologiques, etc.;
- Fournira, à partir de radiosondes et d'autres systèmes de télédétection au sol, des profils à haute résolution verticale qui seront combinés à d'autres observations pour représenter la structure de l'atmosphère;
- Procurera des données de plus grande qualité satisfaisant à des normes précises en matière de disponibilité, d'exactitude et de contrôle de la qualité;
- Permettra de disposer de jeux de données à long terme qui compléteront ceux obtenus par le biais des systèmes spatiaux, afin de déceler et comprendre les tendances et les changements présents dans l'environnement;
- Assurera le maintien en service des stations qui détiennent de longs relevés historiques et dont l'exploitation n'a jamais été interrompue.

Les réseaux de radiosondage:

- Seront optimisés, notamment par l'augmentation de l'écartement horizontal dans les zones où les données sont nombreuses et compte tenu des profils fournis par d'autres systèmes;
- Seront complétés par les systèmes **AMDAR (aéronefs)** d'établissement des profils en phase de montée/descente et par d'autres systèmes au sol;
- Continueront à comporter les stations du **GUAN**, en vue d'assurer la surveillance du climat;
- Comprendront un **Réseau aérologique de référence du SMOC (GRUAN)** qui servira de référence à d'autres sites de radiosondage, pour l'étalonnage et la validation des relevés émanant des satellites et pour d'autres applications.

Les observations d'aéronefs:

- Seront disponibles à la plupart des aéroports, dans toutes les régions du globe;
- En vol et en phase de montée/descente offriront la résolution temporelle choisie par l'utilisateur;
- Comporteront les mesures de l'humidité et de quelques éléments constitutifs de l'atmosphère, outre la température, la pression et le vent;
- Proviendront également de petits aéronefs régionaux dont l'altitude de vol se situe dans la troposphère moyenne et fourniront des profils en phase de montée/descente à d'autres aéroports.

Les observations à la surface des terres émergées:

- Proviendront d'un plus large éventail de réseaux en surface (réseau routier, plates-formes mobiles, etc.) et de réseaux desservant plusieurs applications;
- Seront largement automatisées, mais il sera possible de reproduire ou de remplacer les mesures subjectives anciennes (phénomènes météorologiques, genres de nuages, etc.);
- Continueront à comporter les données provenant du **GSN**, en vue d'assurer la surveillance du climat.

Les observations maritimes en surface:

- Proviendront des bouées dérivantes et ancrées, des bouées déployées en zone de glace et des navires d'observation bénévoles et compléteront les observations effectuées par satellite;
- Présenteront une meilleure résolution temporelle et seront transmises plus rapidement grâce à des systèmes fiables et rentables de communication par satellite.

Les observations sous la surface de l'océan seront améliorées grâce aux plates-formes d'observation *in situ* à fins multiples, aux planeurs sous-marins, aux animaux équipés d'instruments, etc.

Les systèmes de télédétection:

- Comporteront des **radars météorologiques** qui permettront de fournir de meilleurs produits sur les précipitations, avec une plus grande couverture, et mesureront peu à peu d'autres variables atmosphériques. Les données seront beaucoup plus homogènes et de nouvelles techniques seront introduites. Les réseaux multinationaux fourniront des produits composites;
- Procureront des données sur les courants océaniques et les vagues à partir de **radars côtiers haute fréquence**;
- Comprendront des **profileurs** destinés à satisfaire davantage d'applications et faisant appel à des technologies plus variées: lidars, radars, radiomètres hyperfréquence, etc. Ils composeront des réseaux cohérents et intégrés avec les autres réseaux en surface;
- Bénéficieront d'un élargissement des réseaux de réception des **systèmes mondiaux de navigation par satellite** (tels GPS, GLONASS et GALILEO) pour les observations de la colonne totale de vapeur d'eau;
- Composeront des systèmes «intelligents» d'établissement des profils qui seront intégrés avec les autres réseaux d'observation en surface.

Les systèmes de détection d'éclairs:

- Comprendront des **systèmes à grande portée** qui fourniront avec un bon rapport coût-efficacité des données mondiales homogènes et très précises sur l'emplacement des décharges, améliorant grandement la couverture dans les régions où les données sont rares, tels les océans et les pôles;
- Comporteront des **systèmes à haute résolution** plus précis quant à l'emplacement et distinguant les décharges entre nuages et nuage-sol pour les applications spéciales.

Les observations en surface de **la composition de l'atmosphère** (complétées par les mesures par ballons et aéronefs) contribueront à établir un réseau tridimensionnel intégré d'étude de la chimie de l'atmosphère du globe, allié à une composante spatiale. Les nouvelles stratégies de mesure seront harmonisées de manière à fournir les données en temps quasi réel.

Les observations en surface appuieront **la prévision immédiate et la prévision à très courte échéance** grâce à une intégration poussée des systèmes radars, des systèmes de détection des éclairs et autres, ainsi qu'à l'expansion des réseaux afin qu'ils atteignent une échelle continentale et mondiale.
