

Directives sur les bonnes pratiques pour préparer les utilisateurs aux nouveaux satellites météorologiques

Édition 2017

TEMPS CLIMAT EAU



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1187

Directives sur les bonnes pratiques pour préparer les utilisateurs aux nouveaux satellites météorologiques

Édition 2017



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1187

NOTE DE L'ÉDITEUR

La base de données terminologique de l'OMM, METEOTERM, peut être consultée à l'adresse <http://public.wmo.int/fr/ressources/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° 1187

© **Organisation météorologique mondiale, 2017**

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

ISBN 978-92-63-21187-3

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>
PROJET DE RÉFÉRENCE POUR LA PRÉPARATION DES UTILISATEURS	7
1. Contexte	7
2. Applicabilité	8
3. Activités de préparation des utilisateurs	9
3.1 Établissement d'un projet de préparation des utilisateurs	9
3.2 Budgétisation et planification	10
3.3 Recherche-développement	10
3.4 Développement et expérimentation du traitement des données	10
3.5 Mise en place et contrôle du traitement des données	11
3.6 Formation	11
3.7 Renforcement des capacités	13
3.8 Contributions à l'étalonnage et à la validation	13
4. Phases de mise au point des systèmes satellitaires	13
5. Résultats attendus des programmes de mise au point des satellites pour les projets de préparation des utilisateurs	14
5.1 Étalonnage et caractérisation des instruments avant le lancement	14
5.2 Spécifications relatives aux produits	17
5.3 Spécifications relatives aux mécanismes d'accès aux données	17
5.4 Outils logiciels et données d'essai	17
5.5 Plans et calendriers des opérations	18
5.6 Avis et retours d'information des utilisateurs	19
5.7 Ressources didactiques	19
5.8 Autre référentiel	19
6. Calendrier du projet de référence pour la préparation des utilisateurs	19

PROJET DE RÉFÉRENCE POUR LA PRÉPARATION DES UTILISATEURS

1. CONTEXTE

Il est prévu qu'entre 2015 et 2022, la Chine, les États-Unis d'Amérique, la Fédération de Russie, le Japon, la République de Corée et l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT) remplacent presque tous les systèmes de satellites météorologiques géostationnaires dans le monde par des systèmes de nouvelle génération. Les satellites de nouvelle génération sont dotés d'imageurs perfectionnés fournissant au moins 16 canaux spectraux et des fonctionnalités modulables de balayage rapide avec, pour certains programmes, une charge utile innovante en sus, comme des imageurs d'éclairs et des sondeurs (voir le tableau 1). D'autres systèmes de nouvelle génération seront déployés sur orbite polaire ou sur d'autres types d'orbites au cours des dix prochaines années.

Tableau 1. Satellites météorologiques de nouvelle génération en orbite géostationnaire, 2015-2022 (situation: avril 2017)

Satellite	Opérateur	Date de lancement	Longitude	Imageur	Nbre de canaux spectraux	Résolution spatiale (km)	Résolution temporelle (plein disque) (minutes)	Sondeur embarqué/ Imageur d'éclairs
Himawari-8*	JMA	7 oct. 2014	140° E	AHI	16	0,5-2	10	- / -
Electro-L N2*	ROSHY-DROMET	11 déc. 2015	78° E	MSU-GS	10	1-4	15	- / -
INSAT-3DR*	ISRO	8 sept. 2016	74° E	Imageur	6	1-8	30	S / -
GOES-R	NOAA	19 nov. 2016	137° W	ABI	16	0,5-2	15	- / I
Himawari-9	JMA	2 nov. 2016	140° E	AHI	16	0,5-2	10	- / -
FY-4A	CMA	10 déc. 2016	86,5° E	AGRI	14	1-4	15	S / I
GOES-S	NOAA	2018	75° W	ABI	16	0,5-2	15	- / I
GEO-KOMPSAT-2A	KMA	2018	128,2° E	AMI	16	0,5-2	10	- / -
FY-4B	CMA	2018	105° E	AGRI	14	0,5-4	15	S / I
MTG-I/S	EUMETSAT	2020-2022	9,5° E	FCI	16	0,5-2	10	S / I

Notes:

ABI: imageur de référence perfectionné; AGRI: imageur de rayonnement géostationnaire perfectionné; AHI: imageur perfectionné Himawari; AMI: détecteur actif à hyperfréquences; CMA: Administration météorologique chinoise; Electro-L N2: satellite météorologique d'exploitation géostationnaire de série L numéro 2; FCI: imageur combiné flexible; FY-4A/4B: Feng-Yun-4A/4B; GEO-KOMPSAT-2A: satellite géostationnaire polyvalent coréen de suivi 2A; GOES-R/S: satellite géostationnaire d'exploitation pour l'étude de l'environnement de série R/de série S; INSAT-3DR: satellite national indien 3D repeat; ISRO: Organisation indienne de recherche spatiale; JMA: Service météorologique japonais; KMA: Administration météorologique coréenne; MSU-GS: sondeur à hyperfréquences géostationnaire; MTG-I/S: Meteosat troisième génération imageur/sonde; NOAA: Administration américaine pour les océans et l'atmosphère; Roshydromet: Service d'hydrométéorologie et de surveillance de l'environnement de la Fédération de Russie

* Himawari-8, Electro-L N2 et INSAT-3DR sont opérationnels

Source: Outil d'analyse de la capacité des systèmes d'observation (OSCAR)/Capacités spatiales – [OSCAR/Espace](#) (situation: avril 2017)

La nouvelle génération de satellites améliorera considérablement les produits et les services issus de satellites fournis par les Membres de l'OMM, à la condition que les utilisateurs puissent en récolter efficacement les fruits: l'intégration des nouveaux types de données dans les programmes opérationnels, avec des volumes de données dix fois supérieurs aux volumes actuels, aura une incidence non négligeable sur les infrastructures, les systèmes, les applications et les services destinés aux utilisateurs, et nécessite une action coordonnée aux niveaux scientifique, technique, financier, organisationnel et éducatif. Une préparation minutieuse et assurée en temps utile par les utilisateurs de données satellitaires est essentielle pour éviter toute interruption des opérations lors du passage aux nouveaux systèmes, et pour faire en sorte que les Membres tirent parti des nouvelles capacités aussi efficacement et rapidement que possible.

Dans les lignes directrices de la Commission des systèmes de base (CSB) de l'OMM pour préparer les utilisateurs aux satellites de nouvelle génération, adoptées à la quinzième session de la CSB (*Rapport final abrégé, résolutions et recommandations de la quinzième session de la Commission des systèmes de base* (OMM-N° 1101), annexe I du paragraphe 4.2.36 du résumé général), la CSB a prié instamment «chaque SMHN [Service météorologique et hydrologique national] concerné ou [...] tout autre organisme d'utilisateurs opérationnel [de mettre en place] un projet de préparation de l'utilisateur axé sur l'introduction de nouveaux flux de données satellitaires dans les opérations (à mettre en route ~5 ans avant le lancement)».

Dans ce contexte, le Dix-septième Congrès météorologique mondial (2015), au titre de la résolution 37 (Cg-17) – Préparation des utilisateurs aux nouveaux systèmes satellitaires, a vivement recommandé «à tous les Membres concernés de mettre en place des projets de préparation des utilisateurs avant le lancement des nouveaux systèmes satellitaires, conformément aux lignes directrices pour la préparation des utilisateurs aux satellites de nouvelle génération adoptées par la Commission des systèmes de base».

Pour planifier correctement un projet de préparation des utilisateurs, il est en premier lieu impératif de disposer en temps voulu des renseignements, des caractéristiques, des données et des outils utilisés pour mettre au point des systèmes satellitaires. Il convient donc de corrélérer soigneusement la planification de la préparation avec le cycle de la mise au point des systèmes satellitaires.

À cette fin, les entités chargées de mettre au point les satellites et les opérateurs de satellite doivent fournir les plans détaillés et actualisés de leurs activités à l'appui de projets de préparation des utilisateurs. Bien que les activités de préparation des utilisateurs s'inscrivent à part entière dans les programmes de mise au point des systèmes satellitaires en cours, tels que Himawari-8/9 ou GOES-R, les opérateurs de satellites n'informent pas systématiquement les utilisateurs de l'avancée des réalisations, loin de là.

Pour cette raison, le Dix-septième Congrès météorologique mondial (résolution 37) a prié instamment «les exploitants de satellites de fournir régulièrement et en temps utile des informations actualisées sur leurs nouveaux systèmes par les voies appropriées, et notamment par le biais des systèmes SATURN [Navigateur de préparation des utilisateurs dans le domaine des satellites] et OSCAR».

Le Programme spatial de l'OMM a donc analysé la relation entre le cycle de mise au point des systèmes satellitaires et celui de la préparation des utilisateurs, afin de produire le résumé des bonnes pratiques et un calendrier de projet typique (voir le tableau 2). Ce calendrier précise quelles informations devraient être disponibles à quel moment par rapport au lancement prévu, pour respecter le calendrier des activités de préparation des utilisateurs et répondre aux difficultés de mise au point des systèmes satellitaires.

2. **APPLICABILITÉ**

La présente publication synthétise les bonnes pratiques pour les projets de préparation des utilisateurs mis en œuvre par des organismes d'utilisateurs (par exemple, les SMHN) et pour

les programmes de mise au point des satellites prévoyant la préparation des utilisateurs. Elle présente les résultats attendus de ces programmes pour les projets de préparation des utilisateurs ainsi que les délais impartis à cet effet.

Les bonnes pratiques ci-décrites s'appliquent donc à la fois aux organismes d'utilisateurs (section 3) et aux opérateurs de satellites (section 5).

La publication s'adresse principalement aux membres du Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS) et de l'OMM, mais elle peut aussi intéresser un ensemble plus large d'utilisateurs.

3. **ACTIVITÉS DE PRÉPARATION DES UTILISATEURS**

Ces activités devraient être exercées par des organismes d'utilisateurs soucieux de se préparer aux satellites de nouvelle génération.

3.1 **Établissement d'un projet de préparation des utilisateurs**

Il est indispensable de planifier très tôt le projet. La présente publication présuppose que les utilisateurs doivent se préparer à une toute nouvelle génération de satellites, ce qui impose que le projet de préparation des utilisateurs soit défini cinq ans avant le lancement. Il importe particulièrement:

- a) De cerner clairement les résultats et les réalisations attendues du projet;
- b) De définir clairement les responsabilités et les obligations de rendre compte;
- c) De s'assurer qu'un budget adéquat est disponible pour toutes les activités;
- d) De planifier clairement la modernisation des infrastructures et des services.

Le projet de préparation des utilisateurs doit couvrir:

- a) Les nouvelles fonctionnalités et l'amélioration des fonctionnalités existantes;
- b) La non-interruption des services, notamment la méthode du chemin critique appliquée à la transition;
- c) La mise à profit maximale des actifs existants et la protection des investissements;
- d) L'accroissement constant de la valeur des services pendant la transition.

Le projet doit également comporter une analyse détaillée des avantages et des risques.

Pendant la mise à exécution du projet, il convient particulièrement:

- a) De répondre à la nécessité de mettre en place un projet à part entière sous la conduite d'un administrateur (compte tenu de l'importance de la responsabilisation);
- b) D'entretenir des contacts avec les opérateurs de satellites pour disposer d'informations à jour;
- c) De communiquer régulièrement avec les principaux responsables et les intervenants du projet (pour maintenir la dynamique et éviter les informations erronées);
- d) De suivre les principales étapes du projet afin de passer à la vitesse supérieure quand cela sera nécessaire;

- e) De veiller à ce que la direction apporte soutien et adhésion en cas de besoin;
- f) De répondre aux attentes relatives à la disponibilité des produits.

3.2 **Budgétisation et planification**

La budgétisation et la planification revêtent une importance cruciale et doivent être établies rapidement. Un système satellitaire de nouvelle génération joue parfois un rôle moteur dans l'amélioration des infrastructures et des exigences en matière de performance pour ce qui concerne l'acquisition, le stockage et les réseaux de données. Il convient donc d'en être informé de nombreuses années à l'avance afin d'améliorer dans ce sens la planification et les plans d'investissement à long terme. Pour éviter les problèmes de planification liés, par exemple, aux retards de lancement, le calendrier devrait comporter des marges de sécurité et des dispositions réalistes.

Les organismes d'utilisateurs visent principalement à protéger les investissements engagés dans les programmes opérationnels existants et à comprendre rapidement dans quels domaines des investissements supplémentaires sont nécessaires, voire indispensables, pour préparer les utilisateurs aux nouveaux systèmes satellitaires. La budgétisation et la planification exigent donc de disposer des dernières informations sur les moteurs de l'investissement.

3.3 **Recherche-développement**

Dans ce contexte, la recherche-développement désigne la phase d'activité qui prépare l'application des données de satellites de nouvelle génération du point de vue des utilisateurs. Cette phase comprend généralement l'élaboration de méthodes d'assimilation des données de prévision numérique du temps fondée sur des données provenant de satellites de nouvelle génération, si nécessaire, ou l'élaboration de nouveaux produits ou de produits spécifiquement adaptés à un domaine d'application particulier, par exemple par les Centres d'applications satellitaires de l'EUMETSAT. Ces activités consistent le plus souvent à analyser les effets des fonctions de réponse spectrale des instruments, le champ de vision, et les modèles de transfert radiatif utilisés pour simuler les instruments. La planification de ces activités dépend, dans une large mesure, du degré de nouveauté de l'instrument. S'il s'agit de la version améliorée d'une série existante, les délais peuvent être considérablement raccourcis et certaines étapes peuvent même être supprimées (par exemple, la simulation des données). En revanche, pour les instruments entièrement nouveaux (par exemple, le sondeur infrarouge de MTG-S), la fonction de réponse spectrale en première approximation pourrait être utile jusqu'à deux ans avant la date de lancement et les données simulées pourraient aussi s'avérer précieuses.

3.4 **Développement et expérimentation du traitement des données**

Cette activité englobe la conception et l'achat de nouveaux systèmes de réception satellitaire, et l'amélioration de l'accès aux réseaux terrestres (Internet et le Réseau régional de transmission de données météorologiques), qui s'imposent avec l'accroissement des débits de données. Elle couvre également la mise à niveau des bases de données d'observation, des archives à court et à long terme, ainsi que des réseaux internes et de l'ensemble des capacités informatiques en matière de visualisation, de suivi et de traitement des données.

Il est indispensable que l'achat des systèmes de gestion des données débute à un stade précoce pour pouvoir réaliser un contrôle technique et scientifique complet de toute la chaîne de traitement.

3.5 **Mise en place et contrôle du traitement des données**

Les logiciels de traitement des observations satellitaires doivent être adaptés voire perfectionnés à tous les niveaux pour traiter les données des nouveaux satellites. Les améliorations requises peuvent concerner:

- a) La chaîne de traitement local des données de diffusion directe pour obtenir des produits de niveaux 0 et 1;
- b) La conversion des données dans des formats locaux intermédiaires pour les bases de données et les archives d'observation;
- c) Le contrôle et l'assimilation des données par les modèles de prévision numérique du temps;
- d) La chaîne de traitement pour fournir au niveau local des produits plus complexes adaptés à des applications spécialisées;
- e) L'intégration dans l'environnement opérationnel des utilisateurs, par exemple des applications de visualisation intégrées (avec des observations de surface et d'altitude fournies par satellite et par radar et des sorties de modèles) pour les prévisionnistes.

Ainsi, il n'est pas possible d'adapter l'assimilation des données de prévision numérique du temps aux nouveaux systèmes satellitaires dans la précipitation, et le processus comporte des exigences spécifiques relatives aux données d'instruments et de produits disponibles.

La planification de telles activités varie énormément selon les besoins et les capacités des organismes d'utilisateurs.

3.6 **Formation**

Étant donné que la formation porte sur des thèmes variés et s'adresse à des groupes cibles divers, il importe de recenser les différents besoins en la matière, car les modules de formation aux nouveaux systèmes de satellites auront des échelles de temps différentes et requerront des niveaux d'information différents. Pour mettre en place les calendriers de formation, il convient de s'inspirer des aptitudes et des connaissances génériques relatives aux satellites que l'OMM recommande pour les prévisionnistes des services d'exploitation.

Les thèmes de formation retenus sont les suivants:

- a) Les similitudes et les différences entre les satellites existants;
- b) L'exploitation et l'entretien du matériel;
- c) L'interprétation des données utiles de niveau 1 issues des satellites, notamment:
 - i) L'interprétation des images satellite;
 - ii) L'utilisation des données des sondeurs passifs;
 - iii) L'utilisation des instruments actifs;
- d) L'utilisation des outils logiciels (de traitement, d'analyse et d'assimilation des données);
- e) L'utilisation et l'interprétation des produits dérivés de niveau 2;
- f) La maîtrise des formats et de la diffusion des données;
- g) Les bases physiques de la télédétection, notamment appliquées aux nouveaux instruments.

La formation s'adresse aux groupes cibles suivants:

- Les formateurs (en utilisant le concept de «formation des formateurs»);
- Les gestionnaires de projets de préparation des utilisateurs;
- Les prévisionnistes des services d'exploitation;
- Les groupes d'utilisateurs dans le domaine de la prévision numérique du temps et d'autres domaines d'application;
- Les organisateurs;
- Le personnel d'appui technique;
- Le personnel de recherche-développement.

Le mode d'organisation de la formation dépend en grande partie des besoins et des capacités des organismes d'utilisateurs et des liens organisationnels entre les opérateurs et les utilisateurs de satellites. À mesure que les techniques d'apprentissage en ligne évoluent, les formations en présentiel planifiées à long terme cèdent la place à des formations «juste à temps» fondées sur des webinaires, sur l'auto-apprentissage en ligne, etc.

Il importe de souligner que la poursuite de la formation après le lancement revêt une importance croissante. La formation doit couvrir des situations réelles critiques au niveau météorologique concernant toutes les saisons et se fonder sur les caractéristiques réelles des systèmes satellitaires. Une attention particulière devrait être accordée aux formations qui peuvent être intégrées dans les opérations en cours, comme les volets modulables en fonction de l'actualité, destinés à former les prévisionnistes des services d'exploitation pendant leur travail ou entre deux périodes de travail. Cette méthode est employée, par exemple, dans le calendrier de formation consacré aux satellites GOES-R de la NOAA (voir la figure 1), puisque la formation de base s'étend jusqu'à un à deux ans après le lancement.

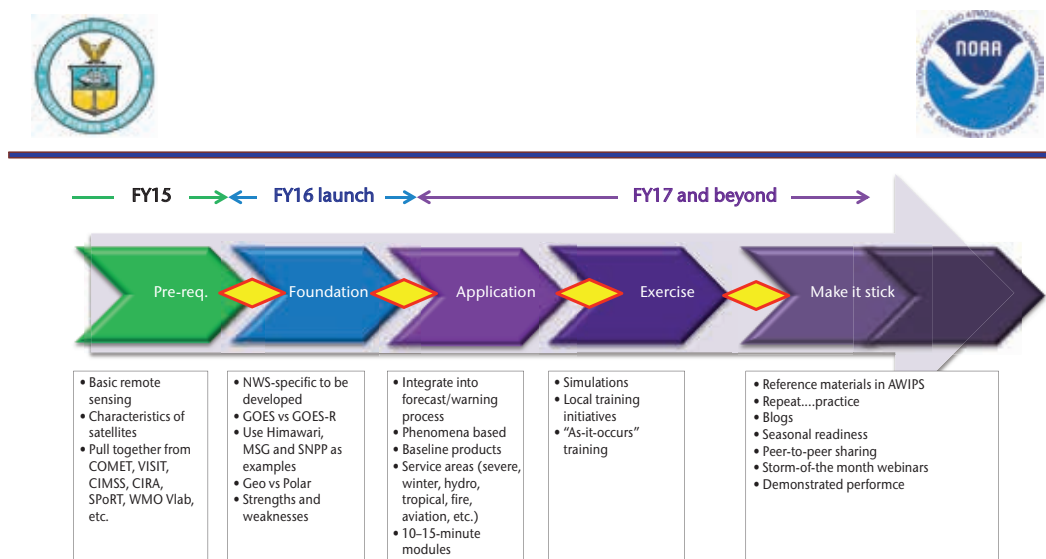


Figure 1. Plan de formation relatif aux satellites GOES-R de la NOAA

Les satellites géostationnaires (GEO) de nouvelle génération présentent de grandes similitudes en matière d'instruments (par exemple, la résolution spectrale, temporelle et spatiale des

imageurs; et les imageurs d'éclairs). Il en résulte des avantages conséquents tant pour les utilisateurs que pour les opérateurs de satellites qui peuvent ainsi élaborer des applications et un matériel didactique communs.

Parmi les bons exemples en matière de préparation des utilisateurs, on peut citer le programme national de formation géré par le Laboratoire virtuel pour l'enseignement et la formation dans le domaine de la météorologie satellitale (VLab) du Bureau météorologique australien pour apprendre aux utilisateurs à l'échelle nationale et dans la Région V de l'OMM (Pacifique Sud-Ouest) à utiliser efficacement les données du satellite Himawari-8 de nouvelle génération (<http://www.virtuallab.bom.gov.au/training/hw-8-training>).

En collaboration avec le système VLab et le programme COMET/MetEd, le portail SATURN renvoie à présent à un matériel de formation en ligne sur Himawari-8 et GOES-R, en anglais et (parfois) en espagnol. Par exemple, le module COMET/MetEd intitulé «Advanced Himawari Imager (AHI): What's Different from GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI)» (http://www.meted.ucar.edu/satmet/himawari_ahi/) compare très efficacement ces deux imageurs et le module accessible à l'adresse https://www.meted.ucar.edu/goes_r/abi_es/ décrit GOES-R ABI en espagnol. La traduction de matériels didactiques supplémentaires se poursuivra et constitue une priorité importante pour l'OMM et le VLab.

La stratégie du VLab pour 2015-2019 vise en grande partie à renforcer la capacité des Membres de l'OMM de comprendre et d'exploiter les données fournies par les satellites de nouvelle génération. Dans les années à venir, le VLab devrait largement contribuer à répondre aux besoins de formation des météorologues à cet égard, avec l'appui incontournable des membres du CGMS.

3.7 **Renforcement des capacités**

Il est impératif que tous les Membres de l'OMM puissent tirer le meilleur parti des données issues de la nouvelle génération des satellites. Cela peut se faire sous la forme de partenariats bilatéraux entre SMHN, de mécanismes régionaux de collaboration, tels que le Groupe d'experts du Conseil régional I sur la diffusion des données satellitaires, le forum des usagers d'EUMETSAT en Afrique et le projet WIGOS (Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM) sur l'utilisation des satellites pour le Conseil régional II, ou de projets d'envergure conçus pour fournir une infrastructure et des formations techniques et scientifiques aux Membres de l'OMM en voie de développement (par exemple, le projet de surveillance de l'environnement en Afrique pour un développement durable et celui sur la surveillance de l'environnement et la sécurité en Afrique).

Le renforcement des capacités devrait aussi mobiliser le monde universitaire. Il importe de veiller à ce que les chercheurs et les étudiants participent aux activités scientifiques liées aux nouveaux instruments, en particulier parce que cela améliorera durablement l'exploitation.

3.8 **Contributions à l'étalonnage et à la validation**

Il est désormais courant que les centres de prévision numérique du temps participent aux activités d'étalonnage et de validation des instruments pour les satellites LEO (sur orbite basse) et GEO. Le suivi des écarts entre l'ébauche et l'observation pour les produits de niveau 1 joue un rôle déterminant dans les activités d'étalonnage et de validation des opérateurs de satellites.

4. **PHASES DE MISE AU POINT DES SYSTÈMES SATELLITAIRES**

Lorsqu'un programme de mise au point d'un système satellitaire est lancé, les opérateurs de satellites effectuent généralement les activités ci-après, en coopération avec des organismes de recherche-développement et des partenaires industriels.

En règle générale, le cycle de vie des projets spatiaux se décline en sept phases (voir la figure 2):

- a) Phase 0 – Analyse de la mission et recensement des besoins
- b) Phase A – Faisabilité
- c) Phase B – Définition préliminaire
- d) Phase C – Définition détaillée
- e) Phase D – Qualification et production
- f) Phase E – Utilisation
- g) Phase F – Élimination

La phase C (définition détaillée) se termine par la revue critique de la conception du satellite, stade auquel le système (satellite et secteur terrien) est défini dans les moindres détails, et après lequel la pleine production du système (phase D – qualification et production) démarre. Si la mise au point suit un calendrier nominal, la revue critique de la conception du satellite sera réalisée trois ans avant le lancement. La phase E (utilisation) s'engage avec la livraison du satellite sur le site de lancement et le début des préparatifs du lancement, et se subdivise en deux phases, la phase E1 (lancement et mise en service) qui dure généralement 6 à 12 mois, et la phase E2 (exploitation régulière).

Conséquence majeure de ce cycle, les spécifications du système et autres informations seront mises à disposition des utilisateurs en fonction de la demande, avant la revue critique de la conception du satellite (fin de la phase C), tandis que les résultats fondés sur les caractéristiques réelles du système ne seront disponibles que dans le courant des phases D et E1.

Ce cycle illustre l'expérience acquise avec les satellites Meteosat deuxième génération et les satellites de télécommunications, océanographiques et météorologiques, et la situation et la planification pour les satellites GOES-R et Meteosat troisième génération. Des variations existent pour des programmes spécifiques; par exemple, la planification de la mise au point de Himawari-8 a été un peu accélérée: la revue critique de la conception du satellite a été menée à bien en janvier 2012, 30 mois à peine avant le lancement prévu pour l'été 2014 (le satellite a été lancé avec succès le 7 octobre 2014).

5. **RÉSULTATS ATTENDUS DES PROGRAMMES DE MISE AU POINT DES SATELLITES POUR LES PROJETS DE PRÉPARATION DES UTILISATEURS**

La présente section porte sur les spécifications de haut niveau relatives aux différents éléments produits par les programmes de mise au point des satellites, à mettre à disposition pour les projets de préparation des utilisateurs. Le tableau 2 de la section 6 présente le calendrier des résultats attendus.

5.1 **Étalonnage et caractérisation des instruments avant le lancement**

Les données de caractérisation et d'étalonnage pré-lancement des instruments de télédétection par satellite, qui servent l'intérêt général des utilisateurs des données de télédétection, sont indispensables à la production de données de niveau 1 étalonnées et géolocalisées, et à leur adaptation par les applications de prévision numérique du temps et de climatologie. L'incertitude, la reproductibilité et la stabilité de ces données sont déterminées par les exigences et les applications de la télédétection dans les domaines de la recherche et de l'exploitation. Pour les instruments construits et/ou testés par les fabricants, la fourniture de données d'essai pré-lancement aux ingénieurs système, aux opérateurs de satellites et aux spécialistes de la télédétection est souvent soumise à des contraintes contractuelles.

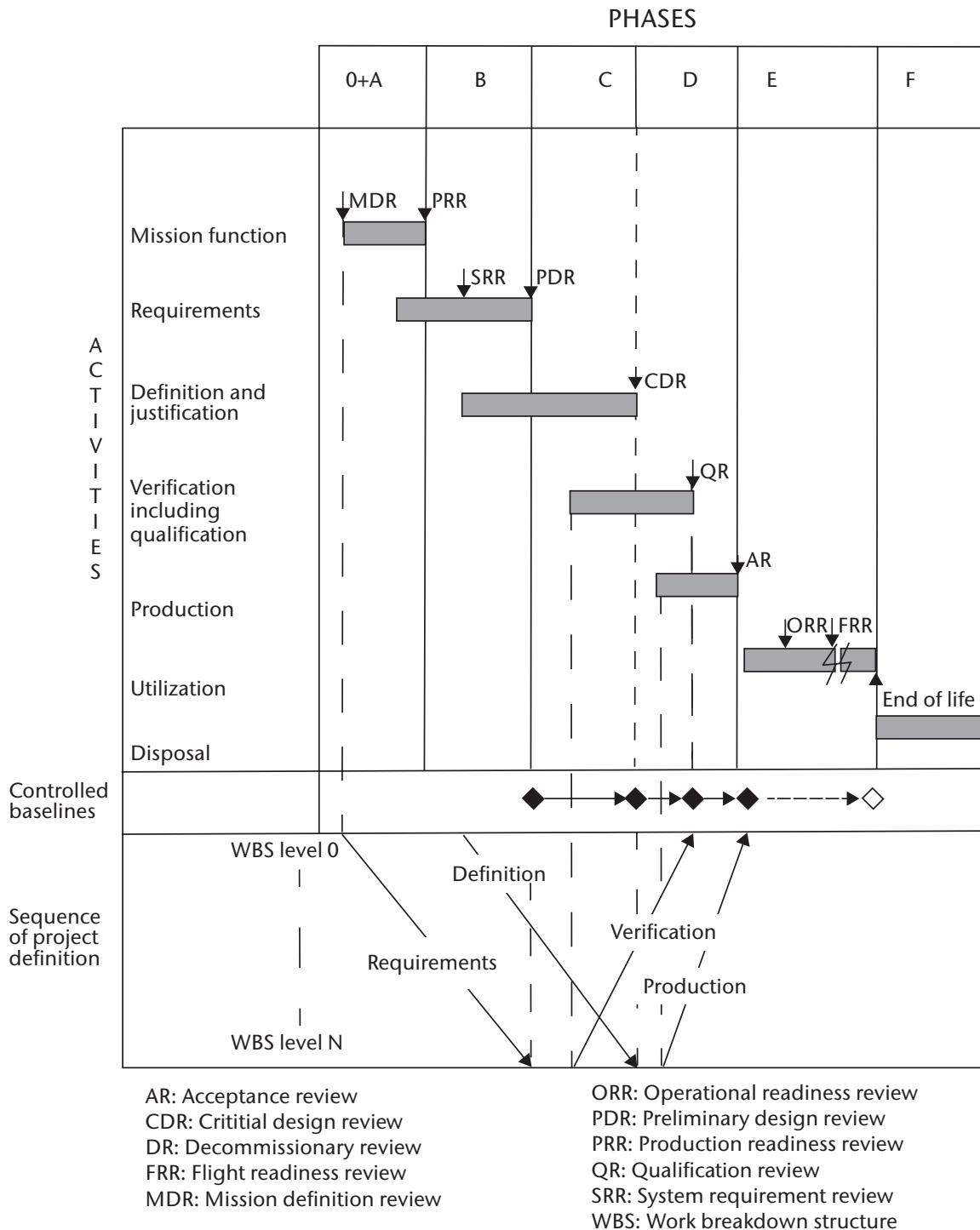


Figure 2. Cycle de la mise au point des systèmes satellitaires de référence selon la Coopération européenne pour la normalisation spatiale

La nouvelle génération d'instruments satellitaires emploie des plans focaux de plus en plus complexes, souvent des réseaux de détecteurs bidimensionnels et des programmes d'affichage innovants qui produisent de larges volumes de données. En dépit de la complexité croissante des instruments, les satellites doivent être testés avant le lancement en reproduisant au plus près leur fonctionnement sur orbite tel qu'il est prévu. On parle de «testing as you fly» (essai en vol réel). Les données d'étalonnage et de caractérisation produites par ces tests permettent de garantir la bonne connaissance de l'instrument à embarquer au moment du lancement et des

résultats conformes aux exigences après la mise en orbite. Pour que les acteurs internationaux de la télédétection puissent exploiter ces données de façon appropriée et efficace, celles-ci devraient inclure les éléments suivants:

- a) Convention de dénomination et de numérotation des canaux et application(s) scientifique(s) des canaux;
- b) Fonction de réponse spectrale (c'est-à-dire la responsivité spectrale radiométrique relative ou absolue):
 - i) Fréquences centrales des canaux/longueurs d'onde et largeurs de bande;
 - ii) Responsivité par opposition à longueur d'onde en fonction du canal (soit la moyenne) et du détecteur;
- c) Taille en pixels du champ de vision déterminé par le balayage le long de la trajectoire et correspondant à une trace au sol ou pleine fonction d'étalement du point/fonction de transfert de modulation;
- d) Champ de vision instantané/champ balayé instantané/largeur de la bande au sol, cycle de répétition/configuration orbitale;
- e) Distance d'échantillonnage de pixels/intervalles de temps;
- f) Bruits instrumentaux au niveau du système (équivalent en bruit du différentiel de luminance énergétique et équivalent en bruit du différentiel de température) en tant que fonction de la température de l'instrument et du plan focal, et de la tension des véhicules spatiaux;
- g) Étalonnage et caractérisation radiométriques:
 - i) Gain et décalage en fonction de la température de l'instrument et du plan focal;
 - ii) Sensibilité à la polarisation;
 - iii) Résolution radiométrique, portée dynamique, linéarité et quantification;
 - iv) Temps de réponse par rapport à l'angle de balayage pour les radiomètres à balayage;
- h) Pointage d'instruments, exactitude géométrique et étalonnage bande à bande/enregistrement (à savoir les performances géométriques);
- i) Mission attendue et durée de vie des instruments;
- j) Paramètres clés des étalonneurs embarqués (émissivité du corps noir et uniformité des températures, fonctions spectrales de distribution de la réflectance ou de la transmittance bidirectionnelles et uniformité du diffuseur solaire);
- k) Incertitudes des mesures ciblées et réalisées pour les données ci-dessus;
- l) Toutes les données ci-dessus devraient porter mention du niveau de maturité auquel les paramètres d'essai des instruments ont été définis. Pour ce faire, il convient d'indiquer si les données ont été définies en s'appuyant sur l'analyse/la modélisation, la démonstration ou l'inspection, ou testées au niveau des pièces, des sous-ensembles, des sous-systèmes, des systèmes ou de l'observatoire (à savoir véhicule spatial et instruments).

Des données issues d'essais réalisés avant le lancement devraient être fournies pour les configurations opérationnelles en orbite des instruments primaires, redondants et de tous les instruments à bandes croisées potentiels.

Il faut mettre en place des mécanismes permettant d'informer les utilisateurs des phénomènes qui ont des incidences sur les performances des instruments en vol. À cette fin, le projet du Système mondial d'interétalonnage des instruments satellitaires (GSICS) coordonne l'exploitation des journaux d'événements des instruments opérationnels.

5.2 Spécifications relatives aux produits

Les spécifications relatives aux produits englobent celles des produits de niveau 1 et de niveau 2, les spécifications scientifiques des algorithmes, les spécifications détaillées des formats de diffusion ainsi que les services à la demande, les renseignements sur le délai d'acheminement et les volumes de données attendus.

La description des produits de niveau 1 et de niveau 2 devrait être normalisée, par exemple, sous la forme de modèles types.

Dans le guide en ligne sur l'accès aux produits (http://www.wmo.int/pages/prog/sat/documents/SAT-GEN_PAG-concept-v1.0-final.pdf#10), l'OMM a d'ailleurs introduit une classification type des produits de niveau 2.

5.3 Spécifications relatives aux mécanismes d'accès aux données

Ces spécifications portent notamment sur les mécanismes de radiodiffusion directe et de diffusion vidéonumérique. Elles sont requises pour tout achat de systèmes de réception.

Pour que les utilisateurs puissent amorcer le processus d'achat, ils doivent être informés à temps, en règle générale trois ans avant le lancement, des paramètres système requis pour les systèmes de réception de radiodiffusion directe, y compris les antennes, les composantes frontales et les systèmes informatiques dédiés à l'acquisition et au traitement de données de niveau 1. Les exigences relatives aux systèmes de traitement sont de plus en plus élevées, compte tenu du traitement complexe des données de radiodiffusion directe pour la nouvelle génération de satellites; cela se répercute sensiblement sur les systèmes des utilisateurs.

Il est également impératif de fournir les spécifications relatives aux mécanismes de diffusion en temps quasi réel axés sur la communication terrestre et à d'autres mécanismes d'accès aux données en mode hors connexion, y compris des services de récupération d'archives et d'autres services à la demande.

Lorsque l'accès aux produits et aux services exige un enregistrement, il convient de détailler la procédure à suivre avant le lancement, afin que les utilisateurs puissent s'inscrire dès la phase de mise en service.

5.4 Outils logiciels et données d'essai

Les utilisateurs qui souhaitent élaborer des fonctions de traitement des données doivent disposer du logiciel de prétraitement de niveau 1; or dans de nombreux cas, ce logiciel n'est fourni par l'opérateur qu'après réception par le secteur terrien. Tout contrat d'acquisition de systèmes de traitement de données doit tenir compte de cette condition pour permettre une livraison rapide.

De la même manière, les outils logiciels peuvent être conçus par des utilisateurs experts, mais pour les satellites de nouvelle génération, ils sont toujours tributaires de noyaux de traitement de niveau 1 élaborés dans le cadre de la mise au point des systèmes satellitaires.

Il existe différentes catégories de données d'essai, avec des cycles de vie différents. Aucune

classification universelle n'est employée, mais aux fins de la présente publication et du portail SATURN, la terminologie suivante est appliquée:

- a) Données synthétiques: aucune valeur scientifique, mais des tailles et des formats réalistes. Utilisées pour tester les flux de données utilisateur;
- b) Données simulées: données simulées par des calculs depuis l'origine sur la base de modèles de transfert radiatif. Les données simulées permettent de tester les outils de traitement et de visualisation. Elles sont produites à partir des sorties de modèles de transfert radiatif et, en général, elles ne contiennent pas de structure spatiale et de variabilité temporelle réalistes;
- c) Données indirectes: jeux de données réels issus d'instruments précurseurs adaptés, par exemple, données transmises par Meteosat-10 toutes les 2,5 minutes pour MTG-FCI, données GOES obtenues toutes les minutes par balayage ultra-rapide pour GOES-R ABI, et données IASI (interféromètre pour le sondage atmosphérique à l'infrarouge)/AIRS (spectromètre à infrarouge) pour FY-4A GIIRS et MTG-IRS. Les données indirectes sont utilisées dans les cours d'initiation aux fonctionnalités et aux domaines d'application. Elles permettent également d'élaborer des données d'essai semblables aux données simulées, en ajoutant des données simulées sur la base de modèles de transfert radiatif pour les canaux à celles présentes dans les missions de précurseurs ou en utilisant l'interpolation dans le temps et dans l'espace;
- d) Données pré-opérationnelles: données satellitaires réelles obtenues dans le cadre des activités de mise en service mais avant la validation.

Les opérateurs devraient produire toutes ces catégories de données d'essai, les décrire en employant la même terminologie et fournir les outils logiciels adaptés à leur utilisation, à la fois dans le cadre des activités de mise au point précédant le lancement et de celles de mise en service postérieures au lancement.

5.5 Plans et calendriers des opérations

Pour assurer la bonne préparation des utilisateurs, les plans à long terme comme les calendriers d'activités courantes sont mis à disposition avant que celles-ci ne débutent. Il s'agit notamment des éléments suivants:

- a) Le plan d'exécution du programme général des satellites, dont les lancements prévus, les positions orbitales et les dates de fin de vie, ainsi que des renseignements sur l'exploitation en parallèle de certains satellites;
- b) Le calendrier d'activités courantes, y compris des zones de couverture pour des scénarios opérationnels de balayage flexibles et des renseignements sur les scénarios de basculement, par exemple, le déclenchement d'opérations de balayage ultra-rapide pour la détection de fortes tempêtes et de cyclones tropicaux;
- c) Le cas échéant, les conditions de contribution des utilisateurs au calendrier des opérations (par exemple, des demandes d'opérations ciblées en mode spécial);
- d) La planification des activités courantes d'entretien des véhicules spatiaux, comme les manœuvres orbitales, le changement saisonnier d'orientation des véhicules spatiaux (mouvement de lacet), la décontamination des instruments, etc.;
- e) Les calendriers de déploiement de la radiodiffusion directe par satellite LEO, s'il y a lieu;
- f) Les calendriers d'activités courantes pour la radiodiffusion directe et la radiodiffusion par le biais des satellites de télécommunications.

Le calendrier présenté au tableau 2 détaille les dates d'échéance recommandées.

5.6 Avis et retours d'information des utilisateurs

Il est indispensable que l'opérateur de satellites établisse des voies de communication bidirectionnelles pour que les utilisateurs puissent recevoir des informations générales et spécifiques et transmettre leurs requêtes et leurs retours pendant la phase de préparation. Grâce à ces voies de communication, les utilisateurs doivent également bénéficier d'une assistance permanente dès la mise en service et pendant le déroulement des activités courantes.

Cette communication devrait reposer sur les mécanismes assurant la coordination des utilisateurs de satellites régionaux (comme le Groupe OMM de coordination sur les besoins en données satellitaires relevant de la Région III et de la Région IV; et le Groupe d'experts du Conseil régional I sur la diffusion des données satellitaires), les conférences régionales d'utilisateurs (telles que la conférence Asie-Océanie des utilisateurs de données de satellites météorologiques) et les formations (comme la semaine de GOES-R), et porter sur les réponses à donner aux requêtes et aux commentaires des utilisateurs individuels.

5.7 Ressources didactiques

Pour les nouveaux systèmes de satellites, les opérateurs doivent impérativement fournir du matériel didactique. Les ressources didactiques en ligne revêtent une importance croissante, et facilitent une adaptation dynamique lorsque de nouvelles informations sont disponibles à propos du satellite et de ses applications. Il est également essentiel d'exploiter les contributions des utilisateurs et de promouvoir les ressources didactiques que les groupes d'utilisateurs mettent à disposition. Le VLab relevant du CGMS de l'OMM joue un rôle capital dans l'élaboration et la fourniture de matériel didactique en ligne aux utilisateurs du monde entier dans plusieurs langues. En novembre 2015 s'est tenue une semaine événementielle sur la préparation aux satellites de nouvelle génération, à laquelle ont participé la CMA, EUMETSAT, la JMA, la KMA et la NOAA (présentations et enregistrements disponibles à l'adresse <http://www.wmo-sat.info/vlab/next-generation-of-satellites/>). Le VLab prévoit d'organiser d'autres manifestations de ce type.

5.8 Autre référentiel

Pour de nombreuses applications, il convient d'indiquer la série de constantes fondamentales qui ont été utilisées pour obtenir les données et les produits satellitaires, et les opérateurs de satellites devraient mettre ces renseignements à disposition des utilisateurs. Il est prévu de proposer aux opérateurs membres du CGMS une norme commune à employer, par exemple la liste publiée par le National Institute of Standards and Technology (NIST) américain.

6. CALENDRIER DU PROJET DE RÉFÉRENCE POUR LA PRÉPARATION DES UTILISATEURS

Le tableau 2 présente le calendrier global fixé pour les activités de préparation des utilisateurs ainsi que les résultats attendus visant à appuyer ces activités. Chaque résultat attendu pour les utilisateurs correspond à une sous-catégorie dans le portail SATURN, afin que celui-ci fournisse des liens à jour vers tous les résultats présentés dans le cadre de la mise au point de systèmes satellitaires.

Table 2. Calendrier du projet de référence pour la préparation des utilisateurs

<i>Durée par rapport à la date de lancement («L») en années (a) ou mois (m)</i>	<i>Élaboration des systèmes satellitaires: activités et étapes charnières</i>	<i>Durée par rapport à la date de lancement («L»): activités et étapes charnières</i>	<i>Élaboration des systèmes satellitaires</i>
L-5 a -> L-4 a	Secteur terrien Phase C	<ul style="list-style-type: none"> – Lancement du projet de préparation des utilisateurs (par ex., SMHN). – Lancement de projets concertés destinés aux Membres de l'OMM en voie de développement 	<ul style="list-style-type: none"> – Spécifications générales sur le secteur terrien, y compris la définition de haut niveau du chemin de migration depuis le secteur terrien existant – Calendrier préliminaire des résultats à apporter aux utilisateurs
L-4 a -> L-3 a	Revue critique de la conception du satellite	<ul style="list-style-type: none"> – Recensement des moteurs d'investissement et évaluation des frais de fonctionnement – Planification et répartition des ressources humaines et des ressources budgétaires pour financer les investissements et les frais de fonctionnement – Définition des besoins en données par ordre d'importance, car l'établissement de priorités claires pour les produits actuels et futurs assure la meilleure des préparations pour établir l'accès aux données et les services de diffusion – Initiation des formateurs et des décideurs aux fonctionnalités 	<ul style="list-style-type: none"> – Description générale des instruments – Description générale des mécanismes de diffusion en temps quasi réel – Spécifications détaillées sur les produits de niveaux 1 et 2 qui doivent être accessibles au début des activités (produits jour 1) – Données d'essai indirectes – Plans d'évolution des produits après le début des activités (produits jour 2)

<i>Durée par rapport à la date de lancement («L») en années (a) ou mois (m)</i>	<i>Élaboration des systèmes satellitaires: activités et étapes charnières</i>	<i>Durée par rapport à la date de lancement («L»): activités et étapes charnières</i>	<i>Élaboration des systèmes satellitaires</i>
L-3 a -> L-2 a	<ul style="list-style-type: none"> - Production des systèmes - Caractérisation des instruments au sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Conception d'un nouveau système de réception - Définition des changements à apporter aux réseaux de transmission, y compris les capacités du Système mondial de télécommunications/Réseau régional de transmission de données météorologiques (SMT/RRTDM) - Conception des nouvelles fonctions de gestion et de traitement des données - Formation dans des domaines d'application spécifiques, sur la base de données indirectes 	<ul style="list-style-type: none"> - Spécifications sur les instruments et leurs performances (fonctions de réponse spectrale prévues, bruit et taille du champ de vision) - Données d'essai simulées - Spécifications détaillées sur les mécanismes de diffusion en temps quasi réel - Spécifications détaillées sur la radiodiffusion directe (fréquences et signaux, caractéristiques matérielles des antennes, des composantes frontales et des systèmes informatiques dédiés à l'acquisition et au traitement des données) - Description générale de l'accès aux données en mode hors connexion - Estimations des volumes de données/produits - Définitions des formats de données/produits - Constantes fondamentales utilisées pour le traitement - Conditions d'accès aux données (licences, entités responsables) - Logiciels de prétraitement de niveau 1 pour la radiodiffusion directe (version préliminaire) - Établir et employer des voies de communication bidirectionnelles pour les requêtes des utilisateurs
L-2 a -> L-1 a	Réception par le secteur terrien	<ul style="list-style-type: none"> - Achat, installation et essai de réception - Conception des logiciels de traitement des données, y compris intégration de la prévision numérique du temps 	<ul style="list-style-type: none"> - Renseignements sur la caractérisation des instruments avant le lancement (fonctions de réponse spectrale, bruit, etc.). - Informations sur les modèles de transfert radiatif (par exemple, RTTOV*) qui soutiennent les instruments - Données d'essai synthétiques (y compris détails sur les formats des données de niveau 1B, identification du satellite et informations sur la navigation). - Diffusion sans interruption de données d'essai synthétiques - Plan d'action à long terme - Planification des échanges de données au service de la communauté mondiale
L-1 a -> L-6 m	Aptitude d'un satellite au vol	Formation de l'utilisateur final (prévisionnistes)	Début de la mise à jour régulière des plans de lancement et de mise en service

<i>Durée par rapport à la date de lancement («L») en années (a) ou mois (m)</i>	<i>Élaboration des systèmes satellitaires: activités et étapes charnières</i>	<i>Durée par rapport à la date de lancement («L»): activités et étapes charnières</i>	<i>Élaboration des systèmes satellitaires</i>
L-6 m -> L	Préparatifs pour la validation et le lancement du système opérationnel	<ul style="list-style-type: none"> - Tests des logiciels de traitement des données (à l'aide de données indirectes) - Formation technique aux systèmes de réception et à d'autres éléments du système - Test du système d'acquisition des données (à l'aide de données synthétiques) 	<ul style="list-style-type: none"> - Données d'essai simulées basées sur la caractérisation des instruments avant le lancement - Format de données de niveau 2 - Progiciel de radiodiffusion directe (si la radiodiffusion directe est disponible) - Documentation destinée aux utilisateurs sur les mécanismes de diffusion et les outils logiciels fournis - Calendrier d'activités courantes
L->L+6 m	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification des satellites en orbite - Mise en service des produits de niveau 1 	<ul style="list-style-type: none"> - Tests complets du système et des logiciels (à l'aide de données pré-opérationnelles). - Appui aux activités des opérateurs relatives à la calibration et la validation, notamment via l'assimilation des données de prévision numérique du temps 	<ul style="list-style-type: none"> - Diffusion précoce de données de niveau 1 non validées - Mise en route précoce de la radiodiffusion directe - Diffusion de données de niveau 1 pré-opérationnelles - Caractérisation en vol des performances des instruments - Logiciel de prétraitement de niveau 1 pour la diffusion directe (version d'exploitation) - Début de l'assistance permanente aux utilisateurs
L+6 m->L+2 a	Mise en service des produits de niveau 2	<ul style="list-style-type: none"> - Exploitation de données scientifiques (itérative basée sur une compréhension accrue des données réelles) - Formation post-lancement basée sur des données réelles - Déclaration d'aptitude opérationnelle des utilisateurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Diffusion des données opérationnelles de niveau 1, provenant de satellites anciens et nouveaux (aussi longtemps que possible, mais minimum jusqu'à L+1 a).

* RTTOV: transfert radiatif pour TOVS; TOVS: sondeur vertical opérationnel de TIROS; TIROS: satellite d'observation télévisuelle à infrarouge

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 et des relations publiques

Tél.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Courriel: cpa@wmo.int

public.wmo.int