

Programme du cours

# Systemes mondiaux de navigation par satellite





BUREAU DES AFFAIRES SPATIALES  
OFFICE DES NATIONS UNIES À VIENNE

# **Systèmes mondiaux de navigation par satellite**

Programme du cours



NATIONS UNIES  
New York, 2013

ST/SPACE/59

Copyright © Nations Unies, mars 2013. Tous droits réservés pour tous pays.

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies 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.

Les adresses et les liens vers des sites Internet mentionnés dans le présent document visent à faciliter la tâche du lecteur et sont exacts à la date de publication. L'Organisation des Nations Unies ne peut garantir qu'ils resteront valables dans l'avenir et décline toute responsabilité pour le contenu de sites Web externes.

Production éditoriale: Section des publications, de la bibliothèque et des services en anglais, Office des Nations Unies à Vienne.

Le présent document n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

## Préface

Les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) comprennent les constellations de satellite en orbite terrestre qui diffusent leur position dans l'espace et le temps et les réseaux de stations sol et de récepteurs qui calculent les positions au sol par trilatération. Les GNSS sont utilisés pour tous les modes de transport: stations spatiales, aviation, navigation maritime, voies ferrées, routes et transports en commun. La localisation, la navigation et la synchronisation temporelle jouent un rôle essentiel dans les télécommunications, la topographie, la répression des infractions, la gestion des crises, l'agriculture de précision, l'exploitation minière, la finance, la recherche scientifique, etc. Elles sont utilisées pour contrôler les réseaux d'ordinateurs, le trafic aérien, le réseau électrique, etc. Par conséquent, les objectifs concrets de la mise en œuvre du programme de cours sur les GNSS sont de mettre en évidence et de comprendre les signaux, les codes et les biais GNSS, ainsi que les applications pratiques des GNSS et les conséquences des avancées prévisibles dans ce domaine.

À l'heure actuelle, les GNSS sont constitués de deux systèmes mondiaux pleinement opérationnels: le système mondial de localisation des États-Unis (GPS) et le système mondial de satellites de navigation de la Fédération de Russie (GLONASS), ainsi que de systèmes mondiaux ou régionaux en cours de développement, à savoir le système européen de navigation par satellite (GALILEO), le système Compass/BeiDou lancé par la Chine, le système régional indien de navigation par satellite (IRNSS) et le système satellitaire Quasi-Zénith (QZSS) du Japon. Lorsque tous ces systèmes mondiaux et régionaux seront entièrement opérationnels, un utilisateur aura accès à des signaux de localisation, de navigation et d'horloge émis par plus de 100 satellites.

Outre ces dispositifs, il existe des systèmes de renforcement satellitaire, comme le système de renforcement à couverture étendue (WAAS) des États-Unis, le système européen de navigation par recouvrement géostationnaire (EGNOS), le système russe de correction et de surveillance différentielles (SDCM), le système géostationnaire de navigation renforcée assistée par GPS (GAGAN) lancé par l'Inde et l'ensemble de satellites de transport multifonctions (MTSAT) du Japon. L'association de ces systèmes et de techniques terrestres éprouvées comme la navigation inertielle ouvriront la voie à de nouvelles applications bénéfiques sur le plan socioéconomique. Celles-ci ne requièrent pas seulement de la précision mais aussi de la fiabilité et de l'intégrité. Dans le domaine des transports, les applications critiques en matière de sécurité — par exemple l'atterrissage des aéronefs civils — sont soumises à des contraintes draconiennes en matière de précision et d'intégrité.

Les applications des GNSS offrent aux pays en développement des solutions qui leur permettent de promouvoir une croissance économique durable à moindre coût tout en protégeant l'environnement. Les données de navigation et de localisation par satellite sont aujourd'hui utilisées dans de nombreux domaines dont la cartographie et la topographie, la surveillance de l'environnement, l'agriculture de précision et la gestion des ressources naturelles, les alertes aux catastrophes et la gestion de crise, l'aviation, les transports

maritimes et terrestres et sur des sujets de recherche comme le changement climatique ou l'étude de l'ionosphère.

Les travaux du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation se sont achevés de manière satisfaisante et ont notamment abouti à l'interopérabilité entre systèmes mondiaux, ce qui permettra à l'utilisateur d'un GNSS de n'avoir recours qu'à un seul appareil pour recevoir des signaux émis par plusieurs systèmes de satellites différents. Il sera ainsi possible d'obtenir des données supplémentaires, surtout dans les zones urbaines ou montagneuses, et d'effectuer des mesures de temps et de localisation plus précises. Pour tirer parti de ces réalisations, les utilisateurs de GNSS doivent se tenir informés des derniers développements dans ce domaine et acquérir les moyens d'exploiter les signaux GNSS.

En conclusion, au fur et à mesure que nous avançons dans le XXI<sup>e</sup> siècle, les États et les entreprises des pays en développement et des pays industrialisés recherchent des secteurs de croissance pour leurs économies nationales et leurs activités. Presque sans restriction, la direction la plus prometteuse semble être l'espace extra-atmosphérique et en particulier la localisation, la navigation et la synchronisation temporelle par satellite, ainsi que leurs applications quasi universelles envisageables à l'avenir.

## Table des matières

	<i>Pages</i>
Préface	
I. Introduction .....	1
II. Ateliers régionaux sur les applications des systèmes mondiaux de navigation par satellite et Initiative internationale sur la météorologie spatiale .....	3
III. Centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales .....	7
IV. Centres d'information du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite .....	9
V. Programme du cours sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite .....	11
Références .....	17
Annexe I. Glossaire de termes relatifs aux GNSS .....	19







## I. Introduction

La troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III) a adopté une stratégie pour répondre aux défis mondiaux du futur grâce aux activités spatiales. Cette stratégie, énoncée dans le document intitulé "Le Millénaire de l'espace: la Déclaration de Vienne sur l'espace et le développement humain"<sup>1</sup>, indiquait notamment les mesures à prendre afin d'utiliser les applications des techniques spatiales pour promouvoir la sécurité, le développement et le bien-être de l'homme. L'une de ces mesures consistait à améliorer l'efficacité et la sécurité des transports, des opérations de recherche et de sauvetage, de la géodésie et d'autres activités en facilitant un accès universel aux systèmes spatiaux de navigation et de localisation et en améliorant leur compatibilité. À cette fin, l'utilisation des signaux émis par les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) constitue l'une des applications des techniques spatiales les plus prometteuses.

En 2001, les États Membres ont accordé une priorité élevée à un nombre réduit de recommandations formulées par UNISPACE III. Le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique a constitué des équipes placées sous la direction des États Membres s'étant portés volontaires afin de mettre en œuvre ces recommandations prioritaires. L'Équipe sur les GNSS, sous l'autorité des États-Unis d'Amérique et de l'Italie, a été chargée d'appliquer la recommandation relative à ces systèmes.

Les travaux de l'Équipe sur les GNSS comprenaient des analyses complètes des GNSS existants et prévus et de leurs extensions, de leurs applications possibles pour les opérateurs des systèmes et les utilisateurs et des activités menées par diverses entités pour en assurer la promotion. L'Équipe a également étudié les besoins des pays en développement et les lacunes au regard de ces besoins, ainsi que les possibilités existantes en matière d'enseignement et de formation dans le domaine des GNSS.

---

<sup>1</sup>Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, Vienne, 19-30 juillet 1999 (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.00.I.3), chap. I, résolution 1.

Cette équipe, composée de 38 États Membres et de 15 organisations intergouvernementales et non gouvernementales, a notamment recommandé que soit créé un comité international sur les GNSS afin de promouvoir l'utilisation de ces systèmes à l'échelle planétaire et de faciliter les échanges d'informations. Le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (COPUOS) a inclus cette recommandation dans le Plan d'action proposé dans son rapport<sup>2</sup> à l'Assemblée générale sur l'examen de l'application des recommandations d'UNISPACE III. Dans sa résolution 59/2 du 20 octobre 2004, l'Assemblée a approuvé ce Plan d'action. Dans la même résolution, elle a invité les opérateurs de GNSS et de systèmes de renforcement à envisager d'établir un comité international sur les GNSS, en vue de tirer tout le parti possible de l'utilisation et des applications de ces systèmes à l'appui du développement durable.

Les travaux de l'Équipe sur les GNSS constituent un modèle de la manière dont les Nations Unies peuvent prendre des mesures pour donner suite à des conférences mondiales et obtenir des résultats concrets dans un délai déterminé.

Dans sa résolution 61/111 du 14 décembre 2006, l'Assemblée générale a noté avec satisfaction que le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (ICG) avait été créé sur une base volontaire en tant qu'organe officieux chargé de promouvoir la coopération, selon qu'il conviendrait, sur des questions d'intérêt mutuel concernant des services civils de positionnement, de navigation, de mesure du temps par satellite, et des services de valeur ajoutée, ainsi que la compatibilité et la connectivité des systèmes mondiaux de navigation par satellite, tout en augmentant leur utilisation pour favoriser le développement durable, notamment dans les pays en développement.

Il existe, partout dans le monde, une volonté croissante de mieux comprendre les interactions Soleil-Terre, en particulier les caractéristiques et les tendances de la météorologie spatiale. Cet engouement n'a pas que des motivations scientifiques: en effet, l'exploitation fiable des moyens et infrastructures terrestres et spatiaux dépend de plus en plus de leur résistance aux effets néfastes de la météorologie spatiale. C'est pour cette raison qu'en 2009 le COPUOS a proposé qu'une Initiative internationale sur la météorologie spatiale (ISWI) soit ajoutée à la liste des questions traitées par le Sous-Comité scientifique et technique du COPUOS dans le cadre d'un plan de travail triennal<sup>3</sup> s'étalant de 2010 à 2012.

---

<sup>2</sup>A/59/174.

<sup>3</sup>A/AC.105/933, section V, par. 15 et 16.



## II. Ateliers régionaux sur les applications des systèmes mondiaux de navigation par satellite et Initiative internationale sur la météorologie spatiale

Des ateliers régionaux sur les applications des GNSS se sont tenus en Zambie et en Chine (2006), en Colombie (2008), en Azerbaïdjan (2009), en République de Moldova (2010), aux Émirats arabes unis et en Autriche (2011) et en Lettonie (2012). Ces ateliers ont notamment abordé les applications des GNSS à la télédétection, à l'agriculture de précision, à l'aviation, aux transports, aux communications et à l'apprentissage en ligne. Ils avaient principalement pour objectif de lancer des projets pilotes et de renforcer les contacts entre les organismes de ces régions concernés par les GNSS. Ces ateliers ont également abordé la question de la gestion des ressources naturelles et de la surveillance de l'environnement en appliquant les techniques offertes par les GNSS à la cartographie thématique, à la gestion forestière et à la gestion des ressources en eau.

L'Initiative internationale sur la météorologie spatiale (ISWI) contribue à l'observation des phénomènes météorologiques spatiaux en déployant dans le monde entier des réseaux d'instruments au sol tels que récepteurs GPS, magnétomètres, télescopes solaires, instruments de surveillance à très basse fréquence et détecteurs de particules solaires, et en partageant les données enregistrées avec des chercheurs du monde entier. Elle est mise en œuvre par le Bureau des affaires spatiales dans le cadre de l'Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales et de sa série d'ateliers annuels. Une première série d'ateliers consacrés aux sciences spatiales fondamentales s'est tenue entre 1991 et 2004 en Inde (1991), au Costa Rica et en Colombie (1992), au Nigéria (1993), en Égypte (1994), au Sri Lanka (1995), en Allemagne (1996), au Honduras (1997), en Jordanie (1999), en France (2000), à Maurice (2001), en Argentine (2002) et en Chine (2004) et ont abordé la question de la situation de l'astronomie en Asie et dans le Pacifique, en Amérique latine et dans les Caraïbes, en Afrique et en Asie occidentale.

Entre 2005 et 2009, les ateliers ont été consacrés à l'Année héliophysique internationale (2007) et ont eu lieu aux Émirats arabes unis (2005), en Inde (2006), au Japon (2007), en

Bulgarie (2008) et en République de Corée (2009). Ces ateliers ont contribué au déploiement de réseaux d'instruments qui enregistrent des données sur l'interaction Soleil-Terre que constitue l'incidence des éjections de masse coronale sur le contenu électronique total de l'ionosphère.

Depuis 2010, ces ateliers ont principalement mis l'accent sur l'ISWI et ont été programmés en Égypte en 2010 pour l'Asie occidentale, au Nigéria en 2011 pour l'Afrique et en Équateur en 2012 pour l'Amérique latine et les Caraïbes. Ils ont examiné les résultats de l'opération de déploiement de réseaux d'instruments et ont débattu des moyens de poursuivre la recherche et l'enseignement dans le domaine de la météorologie spatiale.

Tous les aspects de l'agriculture, du cadastre rural à l'arpentage en passant par l'agriculture de précision, bénéficient du recours aux GNSS. Les zonages agroclimatiques et économique-écologiques, les inventaires et le suivi des cultures et la prévision des récoltes constituent des exemples d'activités agricoles pour lesquelles la localisation et la mesure du temps sont d'une importance primordiale. Dans le domaine du changement climatique, différents facteurs et mécanismes influent sur l'occupation des sols et sur les mutations agraires. Dans bien des cas, le climat, les techniques et l'économie apparaissent comme des déterminants de l'utilisation des sols. Cependant, la conversion des terres est un mécanisme de réaction adaptative auquel les agriculteurs ont recours pour lisser les effets de la variabilité climatique, surtout durant les périodes extrêmement humides ou extrêmement sèches.

Les satellites constituent un outil indispensable pour surveiller et observer la Terre et ses régimes météorologiques. Ils collectent des données pour les modèles climatiques mondiaux et les efforts se poursuivent pour développer des modèles plus fins qui pourront être utilisés dans un cadre régional ou national. Dans ce domaine, les GNSS ont joué un rôle important car ils ont permis d'observer en détail des paramètres météorologiques dont la stabilité de mesure, la cohérence et la précision ont rendu possible une quantification des tendances du changement climatique à long terme.

Dans le domaine des transports, des études ont montré que l'aviation civile tirera un grand profit de l'utilisation des GNSS. Parmi ces avantages, on peut citer une meilleure couverture de navigation dans les zones qui ne disposent pas aujourd'hui d'aides classiques à la navigation, des informations fiables et précises sur la position et l'itinéraire des aéronefs, informations qui permettent de gérer le trafic aérien sans risque et efficacement (en particulier en approche d'aéroport). S'agissant du transport routier, des applications peuvent automatiquement modifier un itinéraire afin de tenir compte des encombrements, de l'évolution des conditions météorologiques ou des travaux routiers. De même, en mer, les GNSS permettent d'établir des itinéraires judicieux, d'éviter les collisions et d'accroître l'efficacité en cas de recherche et de sauvetage. Dans le domaine ferroviaire, les GNSS assurent un meilleur contrôle du fret et contribuent à la surveillance des voies. En outre, les systèmes de communication, les réseaux électriques et les réseaux du secteur financier ont tous besoin d'une mesure du temps précise pour garantir une bonne synchronisation et fonctionner correctement. Ainsi, les réseaux cellulaires de téléphonie et de données se

servent du temps du GPS pour maintenir leurs stations de base parfaitement synchronisées. Cela permet aux téléphones mobiles de partager un spectre radioélectrique limité plus efficacement.

Depuis le dernier maximum solaire, en 2000, la dépendance des sociétés à l'égard des GNSS a augmenté dans des proportions importantes. Des applications critiques comme le contrôle ferroviaire, la gestion de la circulation routière, l'agriculture de précision, la gestion de crise, l'aviation commerciale et la navigation maritime ont besoin et dépendent des services offerts par les GNSS. Des activités quotidiennes comme les opérations bancaires, la téléphonie mobile et même le contrôle des réseaux d'électricité sont facilitées par la synchronisation temporelle précise fournie par les GNSS. Étant donné que les infrastructures et les économies nationales, régionales et internationales sont de plus en plus dépendantes des services de localisation, de navigation et de mesure du temps, les sociétés sont vulnérables aux perturbations que peuvent engendrer la météorologie spatiale ou la modification de l'état du Soleil ou de l'environnement spatial, lesquelles peuvent avoir une incidence sur les équipements spatiaux et terrestres. De même que la société considère comme normal de disposer d'électricité, de chaleur et d'eau potable, elle estime aussi que les GNSS doivent être disponibles, fiables et précis. Ces derniers sont si bien établis dans les activités quotidiennes des individus, des entreprises et des États que toute interruption des services de localisation, de navigation et de synchronisation temporelle engendrerait de grandes perturbations.

Aujourd'hui, les différents types de points faibles des GNSS sont bien connus et il apparaît que la météorologie spatiale est la principale responsable des erreurs des GNSS en mono-fréquence. Parmi les principaux effets de la météorologie spatiale sur ces systèmes, on peut citer les erreurs de mesure et la perte du signal en réception. Les GNSS doivent relever plusieurs défis scientifiques et techniques pour répondre à des besoins utilisateur de plus en plus complexes. Il convient notamment de concevoir des récepteurs résistants à la scintillation et d'améliorer la qualité des prévisions sur l'état de l'ionosphère. Grâce à la modernisation de ces systèmes, l'utilisation de signaux supplémentaires devrait permettre de réduire les erreurs provoquées par cette couche de l'atmosphère.





### III. Centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales

L'Assemblée générale, dans sa résolution 45/72 du 11 décembre 1990, a fait sienne la recommandation du Groupe de travail plénier du Sous-Comité scientifique et technique, approuvée par le COPUOS, selon laquelle l'ONU devrait, avec le soutien actif des institutions spécialisées et des autres organisations internationales, animer un effort international de création de centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales dans le cadre des établissements d'enseignement nationaux/régionaux existant dans les pays en développement<sup>4</sup>.

Au paragraphe 30 de sa résolution 50/27 du 6 décembre 1995, l'Assemblée approuvait également les recommandations du COPUOS tendant à ce que ces centres soient mis en place dans les meilleurs délais sur la base de l'affiliation à l'ONU, affiliation qui leur donnerait la notoriété indispensable et leur permettrait d'attirer des donateurs et d'établir des relations scientifiques avec des institutions nationales et internationales dans le domaine de l'espace.

Des centres régionaux<sup>5</sup> de ce type ont été créés en Inde pour l'Asie et le Pacifique, au Maroc et au Nigéria pour l'Afrique, au Brésil et au Mexique pour l'Amérique latine et les Caraïbes, et en Jordanie pour l'Asie occidentale, sous les auspices du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales, qui relève du Bureau des affaires spatiales. Ces établissements ont pour mission de renforcer les capacités des États Membres à l'échelle régionale et internationale dans différentes disciplines des sciences et techniques spatiales qui peuvent dynamiser leur développement scientifique, économique et social. Chacun de ces centres propose des programmes d'études de troisième cycle, de recherche et d'application destinés aux enseignants en université ainsi qu'aux chercheurs en sciences fondamentales et appliquées, l'accent étant mis sur la télédétection, les télécommunications par satellite, la météorologie satellitaire et les sciences spatiales.

<sup>4</sup>A/AC.105/456, annexe II, par. 4, al. *n*.

<sup>5</sup>A/AC.105/749.

Le programme de formation aux GNSS complétera les programmes types éprouvés qui sont appliqués dans les centres régionaux, qui ont été élaborés dans le cadre du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales et qui comprennent les disciplines de base suivantes qui sont enseignées dans les centres: *a)* télédétection et systèmes d'information géographique; *b)* télécommunications par satellite; *c)* météorologie par satellite et climat mondial; et *d)* sciences spatiales et sciences de l'atmosphère.

Dans chaque centre, les activités sont menées en deux phases principales. Lors de la première phase, l'accent est mis sur le développement et l'approfondissement des connaissances et des compétences des enseignants en université et des chercheurs en sciences fondamentales et appliquées dans le domaine des sciences physiques et naturelles comme des disciplines analytiques. Elle se déroule sur neuf mois, comme l'indique le programme d'études de chaque centre. Au cours de la deuxième phase, on veille à ce que les participants tirent parti, dans le cadre de projets pilotes qu'ils doivent réaliser pendant un an dans leurs pays respectifs, des compétences et des connaissances acquises lors de la première phase.

Les activités et les perspectives offertes par ces deux phases devraient se traduire par un développement et un accroissement des capacités, lesquelles permettront à chaque pays d'approfondir ses compétences, ses connaissances et son expérience pratique sur les aspects des sciences et techniques spatiales qui sont susceptibles d'avoir le plus d'impact sur leur développement économique et social, y compris sur la protection de leur environnement.





## IV. Centres d'information du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite

Les efforts de renforcement des capacités dans le domaine des sciences et techniques spatiales font partie des activités prioritaires du Bureau des affaires spatiales et intéressent spécifiquement l'ICG en ce qui concerne les GNSS. Ils doivent viser à soutenir les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales affiliés à l'Organisation des Nations Unies, lesquels servent également de centres d'information pour l'ICG.

Des négociations sont actuellement menées avec ces centres afin qu'ils puissent faire office de "pivots" pour la formation et la diffusion d'informations concernant les applications mondiales des GNSS et leur intérêt pour l'humanité. Les centres d'information de l'ICG s'attachent à promouvoir une approche plus structurée des échanges d'informations afin de répondre aux attentes d'un réseau reliant le Comité et les centres régionaux et à mettre en relation les organismes concernés ou intéressés par les applications des GNSS avec les opérateurs de ces systèmes.

Le secrétariat exécutif du Comité et les opérateurs de GNSS estiment qu'ils peuvent contribuer au développement des centres d'information de l'ICG de deux manières: au niveau technique, sur diverses technologies associées aux GNSS, et en matière de coopération, par des collaborations possibles avec des entreprises importantes dans ce secteur et par des relations avec les opérateurs actuels et futurs de GNSS et de systèmes de renforcement. Ces relations seraient facilitées par une collaboration au Forum des fournisseurs (séminaires, formations et documentation) ainsi que par une communication avec la communauté élargie et par une sensibilisation de celle-ci à l'aide du portail d'information du Comité, de listes de diffusion, de brochures et de bulletins d'information.

De 2008 à 2010, le secrétariat exécutif du Comité a supervisé l'organisation de cours sur la navigation par satellite et les services de localisation dans les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales affiliés à l'ONU. Ces cours portaient sur les GNSS

et leurs applications et comportaient une expérience concrète de l'utilisation des logiciels disponibles sur le marché pour des applications spécifiques et le traitement des signaux GNSS. Ils ont facilité l'élaboration du présent programme.



## V. Programme du cours sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite

Le présent programme a été élaboré en tenant compte, dans leurs grandes lignes, des cours sur les GNSS dispensés au niveau universitaire dans un certain nombre de pays en développement et de pays industrialisés. L'intégration d'éléments relatifs aux sciences et techniques des GNSS dans les programmes de formation universitaire avait un double objectif: *a)* elle pouvait permettre à des pays de profiter des avantages inhérents aux nouvelles technologies, lesquelles, dans de nombreux cas, sont des applications des sciences et techniques spatiales; ou *b)* elle permettait de présenter des notions relatives à de hautes technologies de manière abordable et de développer des capacités nationales dans les domaines scientifiques et techniques en général. Des efforts sérieux étaient alors déployés à l'échelle mondiale pour faire accepter les sciences, les techniques et les applications liées aux GNSS en tant que discipline à part entière dans les programmes universitaires.

Le présent programme diffère de la plupart des programmes que l'on trouve dans les ouvrages publiés et sur Internet car il est uniquement le fruit des délibérations qui ont eu lieu au cours des ateliers régionaux sur les applications des GNSS depuis 2006.

Il sera mis à la disposition des centres régionaux de formation aux sciences et aux techniques spatiales affiliés à l'ONU. Ces établissements pourront adapter et structurer le programme en décidant eux-mêmes du degré d'approfondissement et du contenu de chacune des matières. Ils pourront aussi choisir de mettre l'accent sur les questions qui présentent un intérêt particulier pour leur région. Pour pouvoir suivre ces cours, il faut être diplômé en électronique et en télécommunications, en géomatique et en génie informatique et logiciel.

Le cours est divisé en neuf modules consacrés à des thèmes spécifiques relatifs aux GNSS (théorie, techniques et applications). Il durera 36 semaines et sera suivi d'une année de travail sur un projet pilote dans le pays du participant.

Il est recommandé de consacrer les durées suivantes aux différents modules:

<i>Module</i>	<i>Matière</i>	<i>Durée en heures</i>
<b>Cours théoriques</b>		<b>540</b>
I.	Notions fondamentales	60
II.	Techniques de détermination de la position	60
III.	Technologies: systèmes de renforcement	80
IV.	Capteurs et conception des systèmes embarqués	60
V.	Récepteurs GNSS	80
VI.	Intégration des GNSS avec les systèmes de navigation inertielle	80
VII.	Applications des GNSS	80
VIII.	Météorologie spatiale et GNSS	40
<b>Exercices pratiques et mémoire</b>		
IX.	Expériences de laboratoire, visites de terrain, travail sur un projet	540

Cinq jours sur sept, huit cours d'une durée de 45 minutes sont dispensés dans la journée. Le détail des cours par module et par type de formation est le suivant:

### **Module I. Notions fondamentales**

- 1.1. Introduction aux GNSS: *navigation conventionnelle, généralités, principes et évolutions des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GPS, GLONASS, Galileo, Compass/BeiDou) et des systèmes régionaux de navigation par satellite (IRNSS, QZSS). Comparaison entre les GNSS et les autres systèmes de navigation;*
- 1.2. Systèmes de référence: *systèmes de référence à coordonnées terrestres, célestes ou orbitales; systèmes altimétriques; géoïde; systèmes temporels, synchronisation et conversion des données; rôle joué par l'International GNSS Service (IGS) pour permettre l'accès au repère international de référence terrestre (ITRF);*
- 1.3. Orbites des satellites: *paramètres orbitaux; mouvement orbital, représentation (éléments képlériens, etc.); détermination de la position des satellites, visibilité et poursuite au sol;*

- 1.4. Éléments techniques de base sur les communications: *propagation des ondes électromagnétiques; antennes et modes de propagation; modulation du signal et accès multiples; traitement du signal.*

## **Module II. Techniques de détermination de la position**

- 2.1. Mesures GNSS: *pseudo-distances, phase de la porteuse et effet Doppler;*
- 2.2. Techniques de détermination de la position (*généralités*);
- 2.3. Technique de détermination de la position pour un point unique: *modèles et méthodes d'estimation;*
- 2.4. Constellation de satellites et affaiblissement de la précision: *position par rapport aux satellites, limites et calculs de l'affaiblissement de la précision (DOP).*

## **Module III. Technologies: systèmes de renforcement**

- 3.1. Erreurs sur les mesures GNSS: *modèle fonctionnel et loi des erreurs, effet du GDOP, classes d'erreurs et de biais de mesure;*
- 3.2. Effets des erreurs: *bilan d'erreurs, estimateur d'erreur pour l'utilisateur, précision de la position avec des erreurs à un et trois sigma;*
- 3.3. Techniques d'atténuation des erreurs: *cinématique temps réel (RTK), GNSS différentiel (à couverture local ou étendue);*
- 3.4. Systèmes de renforcement: *système de renforcement à couverture étendue (WAAS), système européen de navigation par recouvrement géostationnaire (EGNOS), système de correction et de surveillance différentielles (SDCM), système de renforcement satellitaire (MSAS) basé sur un ensemble de satellites de transport multifonctions (MTSAT), système géostationnaire de navigation renforcée assistée par GPS (GAGAN), etc.;*
- 3.5. Réseaux GNSS: *réseaux GNSS permanents mondiaux, régionaux et locaux et infrastructure géodésique associée aux services qui permettent de déterminer la position réelle d'un point;*
- 3.6. Facteurs qui influent sur les mesures GNSS et techniques d'atténuation: *erreurs d'orbite, biais d'horloge, trajets multiples, troposphère, ionosphère (y compris les effets de la réfraction ionosphérique d'ordre supérieur), vulnérabilité vis-à-vis de la météorologie spatiale, brouillage.*

## **Module IV. Capteurs et conception des systèmes embarqués**

- 4.1. Capteurs et transducteurs: *introduction, classification des capteurs, caractéristiques et compensation, classification des transducteurs; descriptions, paramètres, définitions et terminologie des transducteurs;*

- 4.2. Systèmes embarqués: *les téléphones portables, les pageurs, les PDA, les répondeurs, les fours à micro-ondes, les télévisions, les magnétoscopes, les lecteurs de CD-ROM et de DVD, les consoles de jeux vidéo, les équipements GNSS, les routeurs, les télécopieurs, les appareils photo, les synthétiseurs, les avions, les engins spatiaux, les bateaux et les véhicules automobiles comprennent tous un processeur embarqué.*

### **Module V. Récepteurs GNSS**

- 5.1. Architecture des récepteurs: *technologies, tête RF, techniques matérielles et logicielles de traitement du signal, radios réalisées par logiciel;*
- 5.2. Poursuite du signal: *estimation du maximum de vraisemblance pour le retard et la position, boucles de code cohérentes et non cohérentes pour la poursuite de séquences pseudo-aléatoires, erreur quadratique moyenne, boucles de code vectorielles, niveau de bruit du récepteur, correcteurs avance-retard;*
- 5.3. Algorithme de navigation: *mesure de la pseudo-distance, décalage Doppler, décodage et utilisation des données de navigation, localisation absolue, service de positionnement précis, déplacement de l'utilisateur, filtre de Kalman, compensation par moindres carrés et autres méthodes possibles.*

### **Module VI. Intégration des GNSS avec les systèmes de navigation inertielle**

- 6.1. Systèmes de navigation inertielle (INS): *accéléromètres, gyroscopes, centrales inertielles, équation de navigation, intégration des équations de modélisation dans un référentiel terrestre;*
- 6.2. Évolution des erreurs des INS: *analyse simplifiée, équations d'évolution des erreurs dans un référentiel terrestre, initialisation et alignement des INS;*
- 6.3. Intégration des GNSS avec les INS: *mode d'intégration, modèle mathématique de la navigation inertielle à GNSS intégré, procédures d'observation pour les levés inertiels;*
- 6.4. Notions générales sur la fusion de capteurs.

### **Module VII. Applications des GNSS**

- 7.1. Bases de données géospatiales: *extensions spatiales pour les bases de données libres comme PostgreSQL, MySQL, etc.;*
- 7.2. Navigation GNSS: *professionnelle ou personnelle, SIG/cartographie, relèvement, gestion des risques naturels, sciences de la Terre, ressources naturelles, infrastructures;*
- 7.3. Navigation et communication: *application intégrée;*

- 7.4. Communication, navigation et surveillance: *application intégrée*;
- 7.5. Applications des GNSS à la télédétection de l'atmosphère et de la météorologie spatiale: *techniques de radio-occultation permettant de surveiller la météorologie terrestre (température et vapeur d'eau) et la météorologie de l'ionosphère (densité électronique et contenu électronique total)*;
- 7.6. Modèle économique pour les services à valeur ajoutée;
- 7.7. Gestion, travail en équipe, propriété intellectuelle, secteur d'activité des GNSS.

### **Module VIII. Météorologie spatiale et GNSS**

- 8.1. Phénomènes à l'origine de la météorologie spatiale et notions de physique associées: *Soleil, rayons cosmiques galactiques, magnétosphère, thermosphère, couplage magnétosphère, ionosphère, thermosphère*;
- 8.2. Incidence de la météorologie spatiale sur les GNSS;
- 8.3. Satellites, interférences avec les émissions radio solaires, propagation des ondes radio;
- 8.4. Considérations différentes pour les applications de précision (géodésie, DGPS) et celles qui sont liées à la sauvegarde de la vie humaine (aviation);
- 8.5. La scintillation ionosphérique et ses effets, sa surveillance et sa modélisation;
- 8.6. Surveillance de l'ionosphère à l'aide de GNSS par des mesures au sol et dans l'espace;
- 8.7. Correction et modèles de risques ionosphériques.

### **Module IX. Expériences de laboratoire, visites de terrain, travail sur un projet**

- 9.1. Conversion de coordonnées et de temps et transformations des systèmes de référence;
- 9.2. Équipements GNSS et INS;
- 9.3. Formats des données GNSS: *format d'échange de données indépendant du récepteur (RINEX), norme pour la transmission des données GNSS en temps réel (RTCM), National Marine Electronics Association (NMEA)*;
- 9.4. Localisation absolue;
- 9.5. Post-traitement en vue d'obtenir une haute précision avec un GNSS;
- 9.6. Expérience des DGPS;

- 9.7. Expérience des récepteurs RTK;
- 9.8. Expérience mettant en évidence l'amélioration de la précision qu'apporte un système de renforcement satellitaire (SBAS);
- 9.9. Aspects de la conception des logiciels qui permettent d'associer les services de localisation et la position, par exemple dans les applications pour les terminaux de poche;
- 9.10. Conception d'une application: *associer la navigation par satellite et les communications par satellite (suivi d'un parc de véhicules)*;
- 9.11. Conception d'une application: *associer la navigation par satellite et les communications par satellite (gestion des catastrophes)*;
- 9.12. Conception d'un récepteur simulé par ordinateur à partir d'une radio réalisée par logiciel.



## Références

- A. A. L. Andrade. *The Global Navigation Satellite System: Navigating into the New Millennium* (Ashgate Studies in Aviation Economics and Management), Ashgate Pub Ltd, 2001, ISBN: 0754618250.
- M. Capderou. *Satellites, orbites et missions*. Springer Verlag France. Paris, France, 2005.
- K. Davies. *Ionospheric Radio*, Peter Peregrinus Ltd. Londres, Royaume-Uni, 1990.
- Frank Van Diggelen. *A-GPS, Assisted GPS, GNSS, and SBAS*, Artech House, Boston, Londres, 2009.
- Earth-prints. Espace de stockage d'articles scientifiques sur Internet. Disponible sur: <http://www.earth-prints.org/>.
- M. S. Grewal, L. R. Weill, A. P. Andrews. *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*, Wiley-Interscience, 2000, ISBN: 047135032X.
- M. Hapgood et A. Thomson. *Space weather: Its impact on Earth and implications for business*. Lloyd's 360° Risk Insight. Londres, Royaume-Uni, 2010. Disponible sur: <http://bit.ly/9Pjk9R>.
- B. Hofmann-Wellenhof, K. Legat, M. Wieser. *Principles of Positioning and Guidance*. Springer, Wien, New York, 2003.
- B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle. *GNSS-Global Navigation Satellite Systems (GPS, Glonass, Galileo and more)*, Springer, Wien, New York, 2008.
- P. Kuhnert et B. Venables. *An Introduction to R: Software for Statistical Modelling & Computing*. CSIRO Mathematical and Information Sciences. Cleveland, Australie, 2005.
- W. Mansfeld. *Satellitenortung und Navigation (Grundlagen, Wirkungsweise und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme)*, 3. Auflage, Praxis, Vieweg+Teubner, Berlin, 2010.
- B.W. Parkinson et J. J. Spilker, Jr. (dir.). (1996): *Global Positioning System: Theory and Applications (Vol. I)*. AIAA. Washington.
- R. Schunk et A. Nagy. *Ionospheres: Physics, Plasma Physics and Chemistry* (2<sup>e</sup> éd.). Cambridge University Press. Cambridge, Royaume-Uni, 2009.
- R. H. Shumway, D. S. Stoffer. *Time Series Analysis and Its Applications (with R examples)* (3<sup>e</sup> éd.). Springer Verlag. New York, NY, 2011.
- W. Zucchini et O. Nenadić. *Time Series Analysis with R – Part I*. Université de Göttingen, Allemagne, 2011. Disponible sur: <http://bit.ly/HsiVH>.

J-M. Zogg. *GPS: Essentials of navigation (Compendium)*. u-blox AG. Thalwil, Suisse, 2010. Disponible sur: <http://bit.ly/fhT71T>.

Cours existants qui abordent la question des GNSS et de leurs applications:

Centre d'information Galileo pour l'Amérique latine: <http://www.galileoic.org/>.

Centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales affiliés à l'Organisation des Nations Unies: [www.unoosa.org/oosa/en/SAP/centres/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/en/SAP/centres/index.html).

Cours relatifs aux systèmes mondiaux de navigation par satellite disponibles sur Internet: Université du Maine (États-Unis d'Amérique): <http://www.gnss.umaine.edu>.

Groupe de recherche en astronomie et en géomatique (gAGE), Université polytechnique de Catalogne (UPC), Barcelone (Espagne): <http://www.gage.es/>.

Mastère sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS): <http://www.enac.fr/fr/menu/formations/formations-1er-et-2eme-cycles/master-gnss>.

NavtechGPS: <http://www.navtechgps.com>.

Outil de formation NAVKIT: <http://www.navsas.eu/>.

Programme de bourses de longue durée sur les GNSS et les applications connexes parrainé par l'Organisation des Nations Unies et l'Italie, mastère spécialisé dans la navigation et les applications connexes:

[www.unoosa.org/oosa/SAP/gnss/fellowships.html](http://www.unoosa.org/oosa/SAP/gnss/fellowships.html).

Système mondial de localisation, au service de la planète: <http://www.gps.gov/>.

Université d'été internationale de l'ASE sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite: [http://www.esa.int/esaNA/SEMQWXQVEAG\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/SEMQWXQVEAG_index_0.html).



## ANNEXE I. Glossaire de termes relatifs aux GNSS

Le glossaire de termes relatifs aux GNSS a été établi dans le cadre du plan de travail du Forum des fournisseurs de l'ICG afin de répondre aux besoins immédiats des utilisateurs de ces systèmes. L'objectif de ce glossaire est de proposer des définitions de termes utilisés dans la série A/AC.105/ de documents de l'Assemblée générale des Nations Unies relatifs aux réunions de l'ICG qui se sont tenues depuis 2005. Certaines définitions ont été établies après de longues discussions au sein du Forum des fournisseurs de l'ICG et d'autres sont encore en débat. Par conséquent, ce glossaire doit être lu dans le contexte des documents de l'ICG, lesquels ont été publiés dans toutes les langues officielles de l'ONU et peuvent être téléchargés sur le site Web du Bureau des affaires spatiales: [www.unoosa.org](http://www.unoosa.org).

### A

**Accès multiple par répartition en code (AMRC)** Méthode dans laquelle de nombreux signaux sont émis simultanément et à la même fréquence centrale mais avec des codes d'étalement différents; les récepteurs peuvent distinguer les signaux grâce à ces codes.

**Affaiblissement de la précision (DOP)** Mesure statistique de la géométrie récepteur-satellite(s). Voir également l'entrée "Affaiblissement géométrique de la précision (GDOP)".

**Affaiblissement géométrique de la précision (GDOP)** Il se compose de l'affaiblissement de la précision de la synchronisation (TDOP) et de l'affaiblissement de la précision de positionnement (PDOP), lequel est constitué de l'affaiblissement de la précision sur la composante horizontale (HDOP) et de l'affaiblissement de la précision sur la composante verticale (VDOP). Précision d'un GNSS = GDOP x UERE. Voir également l'entrée "Estimateur d'erreur pour l'utilisateur (UERE)".

**Altitude orthométrique** Distance entre un point et le géoïde comptée dans la direction du fil à plomb qui passe par ce point (altitude au-dessus du niveau des mers).

**Almanach** Données orbitales grossières d'un satellite qui permettent de calculer sa position, son heure de levée, son élévation et son azimut.

**Ambiguïté** Nombre entier inconnu de cycles associé à la double différence de phase de la porteuse calculée par deux récepteurs à partir de deux satellites.

**AMRC** Voir l'entrée "Accès multiple par répartition en code".

**AMRF** Accès multiple par répartition en fréquence.

**Angle de coupure** Angle d'élévation minimal en dessous duquel aucun signal émis par un satellite GNSS n'est poursuivi par un récepteur GNSS.

**Angle de masquage** Élévation minimale sur l'horizon à laquelle un satellite GNSS doit se trouver afin de réduire au minimum la distorsion atmosphérique.

**Antileurrage** Cryptage du code autorisé afin d'empêcher que le récepteur ne soit "leurré" par de faux signaux.

**Aplatissement** Pour un ellipsoïde:  $f = (a-b)/a = 1-(1-e^2)^{1/2}$ , où a = demi-grand axe, b= demi-petit axe et e = excentricité (voir l'entrée "Excentricité").

**Approche de non-précision (NPA)** Procédure d'approche aux instruments qui utilise le guidage latéral mais pas le guidage vertical.

**Approche de précision** Procédure d'approche aux instruments définie par une trajectoire latérale et par un plan de descente et qui respecte des règles particulières fixées pour les performances de navigation verticale et les infrastructures aéroportuaires.

**ATOP** Amplificateur à tube à ondes progressives.

**Azimut** Angle horizontal mesuré dans le sens horaire à partir d'une direction (par exemple, le Nord).

## B

**Balise** Objet stationnaire qui émet des signaux dans toutes les directions (également appelé balise non directionnelle).

**Bande L** Bande de radiofréquences comprises entre 1 000 et 2 000 MHz. Les fréquences des porteuses L1, L2 et L5 émises par les satellites des systèmes GNSS se trouvent dans cette bande.

**Bande S** Bande de fréquences comprises entre 2 et 4 GHz; elle traverse la limite (artificielle) entre UHF et SHF à 3,0 GHz. Elle est incluse dans la bande de fréquences des micro-ondes.

**Biais d'horloge** Écart temporel entre l'horloge d'un récepteur et celle d'un système GNSS.

**BIPM** Voir l'entrée "Bureau international des poids et mesures".

**Boucle de code** Technique dans laquelle le code reçu (généralisé par l'horloge du satellite)

est comparé au code interne (généré par le code du récepteur) et ce dernier est décalé dans le temps jusqu'à ce que les deux codes coïncident.

**Bribe** Partie d'un code d'étalement.

**Brouillage (électromagnétique)** Émission, réémission ou réflexion intentionnelle d'énergie électromagnétique aux fins d'empêcher ou de limiter l'utilisation effective d'un signal.

**Bureau international des poids et mesures (BIPM)** Organisation internationale de normalisation, l'un des trois organismes de ce type que la Convention du Mètre a institués pour maintenir le Système international d'unités (SI).

## C

**Canal à élévation au carré** Canal d'un récepteur GNSS qui multiplie le signal reçu par lui-même afin d'obtenir une deuxième harmonique de la porteuse, harmonique qui ne contient pas de code.

**Canal du récepteur** Matériel radio et numérique et logiciel d'un récepteur GNSS nécessaires pour poursuivre le signal émis par un satellite de ce système à l'une des fréquences porteuses GNSS.

**Capacité opérationnelle initiale (IOC)** État d'un système qui est atteint lorsque ce système est apte à fournir un sous-ensemble prédéterminé des services pour lesquels il a été conçu.

**Capacité opérationnelle totale (FOC)** État d'un système qui est atteint lorsque ce système est apte à fournir tous les services pour lesquels il a été conçu.

**Carroyage géographique** Réseau plan représentant les méridiens et les parallèles d'un ellipsoïde.

**Cartographie** Art ou technique de la réalisation des cartes et plans.

**CBOC** BOC composite.

**CED** Voir l'entrée "Correction d'erreur directe".

**CELESTE** Laboratoire de recherche sur les GNSS créé et exploité par le Département des Systèmes spatiaux du NLR (Pays-Bas).

**CET** Voir l'entrée "Contenu électronique total".

**Cinématique temps réel (RTK)** Terme utilisé pour décrire la procédure permettant à un récepteur GNSS de résoudre l'ambiguïté de phase afin d'éviter un post-traitement.

**Code** Séquence de valeurs binaires.

**Code d'acquisition grossière (code C/A)** Signal de localisation de base transmis par les satellites d'un système GNSS aux utilisateurs civils.

**Code de bruit pseudo-aléatoire (PRN)** Séquence binaire de longueur finie qui respecte les trois conditions suivantes:

- Propriété d'équilibre: à chaque période, l'écart entre le nombre de plus un et le nombre de moins un est exactement de un.
- Propriété des séries: à chaque période, la moitié des séries de même signe sont de longueur un, un quart de longueur deux, un huitième de longueur trois, etc. Il y a autant de séries positives que de séries négatives.
- Propriété de corrélation: l'autocorrélation d'une séquence périodique est binaire, c'est-à-dire qu'elle peut être décrite par la formule suivante:

$$\mathcal{R}(\tau) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \rho(t) \rho(t-\tau) = \begin{cases} 1, \tau = 0, T, 2T, \dots \\ -\frac{1}{T}, \text{ sinon} \end{cases}$$

**Code M** Signal militaire du GPS.

**Code P** Code de précision diffusé par le GPS.

**Code Y** Version cryptée du code P; elle est émise par les satellites GPS en mode antileurrage.

**Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (ICG)** L'ICG a été créé sur la base du volontariat et à titre informel et a pour but de promouvoir, d'une part, la coopération, selon qu'il conviendra, sur les questions d'intérêt commun relatives à la localisation, à la navigation et à la synchronisation temporelle civiles par satellite ainsi qu'aux services à valeur ajoutée et, d'autre part, la compatibilité et l'interopérabilité des GNSS, tout en amplifiant leur utilisation en faveur du développement durable, en particulier dans les pays en développement. Le secrétariat de l'ICG est assuré par le Bureau des affaires spatiales des Nations Unies.

**Compatibilité** Désigne l'aptitude des systèmes mondiaux et régionaux de navigation par satellite (de base ou de renforcement) à être utilisés séparément ou conjointement sans entraîner d'interférences réductrices et/ou d'autres inconvénients pour un système et/ou un service particulier:

- L'Union internationale des télécommunications (UIT) offre un cadre qui permet d'étudier la compatibilité des radiofréquences. Cette compatibilité implique un examen détaillé de facteurs techniques précis comme les effets des autres ondes sur le bruit de fond d'un récepteur et l'intercorrélation entre les signaux parasites et les signaux utiles.
- La compatibilité doit également tenir compte de la séparation spectrale entre les signaux associés à chaque service autorisé d'un système et les signaux des autres systèmes. Étant donné que la superposition de certains signaux peut se révéler inévitable, les discussions entre les opérateurs concernés permettront d'établir un cadre afin de parvenir à une solution acceptable pour tous.

- Il convient d'encourager la recherche d'autres techniques permettant d'améliorer la compatibilité.

**Conférence mondiale des radiocommunications (CMR)** Elle est organisée par l'Union internationale des télécommunications, une agence spécialisée de l'ONU, pour examiner et, en tant que de besoin, réviser le Règlement des radiocommunications, traité international qui régit l'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques et des orbites des satellites géostationnaires et non géostationnaires. Elle se tient tous les deux à quatre ans.

**Configuration de satellites** Constellation de satellites vue, à un instant donné, par un utilisateur ou un groupe d'utilisateurs particulier.

**Conformité** Fait de respecter et de montrer que l'on respecte une norme ou une réglementation.

**Constante de gravitation** Constante de proportionnalité qui intervient dans la loi d'attraction de Newton:  $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2/\text{kg}$ .

**Constellation** Une constellation de satellites est un groupe de satellites qui agissent de concert.

**Constellation de satellites** Disposition dans l'espace de tous les satellites d'un système, par exemple le GPS.

**Contenu électronique total (CET)** Se définit comme le nombre d'électrons libres contenus dans une colonne dont la section mesure 1 m sur 1 m et qui est située entre le récepteur et l'émetteur. Un CET est égal à 1 016 électrons par  $\text{m}^2$  et entraîne un retard de  $0,54 \cdot 10^{-9}$  secondes à 1 675,42 MHz.

**Continuité** La continuité d'un système désigne l'aptitude de l'ensemble d'un système (comprenant tous les éléments nécessaires pour disposer en permanence de la position d'un aéronef à l'intérieur d'un espace aérien donné) à fonctionner sans interruption pendant le vol prévu. Plus précisément, la continuité est la probabilité que le fonctionnement du système en question soit assuré pendant toute une phase du vol, en supposant que le système était opérationnel au début de cette phase.

**Contrôle aérien** Service géré par une autorité compétente afin d'assurer la sécurité et le bon fonctionnement du trafic aérien.

**Coordonnées** Série de nombres qui définissent un emplacement sur Terre ou au-dessus de la Terre. En général, les coordonnées reposent sur des parallèles et des méridiens de référence ou sur une projection mondiale ou régionale (par exemple, MTU, Maidenhead).

**Coordonnées cartésiennes** Coordonnées d'un point dans l'espace données dans trois dimensions (x, y, z) perpendiculaires les unes aux autres à partir d'une origine (système de coordonnées cartésiennes).

**Coordonnées géodésiques** Coordonnées qui définissent la position d'un point par rapport à un ellipsoïde grâce à la latitude, à la longitude et à l'altitude ellipsoïdique ou à l'aide de coordonnées cartésiennes.

**Correction d'erreur directe (CED)** Mécanisme de contrôle d'erreur pour la transmission des données dans lequel l'expéditeur ajoute à ses messages des données redondantes également appelées code correcteur d'erreur.

**CORS** Voir l'entrée "Stations de référence à fonctionnement continu".

**COSMIC** Constellation d'observation pour la météorologie, l'ionosphère et le climat.

**Couverture** La couverture d'un système de radionavigation est la surface ou le volume dans lequel les signaux reçus permettent à un utilisateur de déterminer sa position avec une certaine précision.

## D

**Date julienne** Nombre de jours qui se sont écoulés depuis le 1<sup>er</sup> janvier 4713 avant J.-C. dans le calendrier julien. Le temps zéro du GPS est minuit UTC, samedi/dimanche, 6 janvier 1980 à Greenwich. La date julienne pour ce temps zéro est 2 444 244,5.

**dB** Décibel, unité de mesure logarithmique utilisée en acoustique et en électronique.

**Débit d'éléments** Nombre de bribes par seconde (par exemple pour le code C/A: 1,023 x 10<sup>6</sup> cycles par seconde).

**Décalage d'horloge** Différence constante dans la mesure du temps entre deux horloges.

**Démarrage à froid** Séquence de mise sous tension effectuée lorsque le récepteur GNSS ne dispose d'aucune information a priori, ne connaît ni l'heure ni la position, ne possède aucune donnée d'almanach pour un satellite et doit télécharger ces données pour pouvoir réaliser un relevé de position.

**Détermination d'orbites et radiopositionnement intégrés par satellite (DORIS)** Système français qui se sert de mesures Doppler effectuées sur des signaux radio émis par des balises au sol pour déterminer l'orbite de satellites munis de récepteurs spécialisés et la position des stations émettrices.

**Déviations de la verticale** Angle entre la normale à l'ellipsoïde et la verticale (direction du fil à plomb).

**DGPS** Voir l'entrée "GPS différentiel".

**Disponibilité** La disponibilité d'un système de navigation correspond au pourcentage de temps pendant lequel les services de ce système sont utilisables.

**Dispositif de mesure de distance (DME)** Technique de radionavigation qui, à l'aide d'un transpondeur, permet de mesurer des distances en calculant le temps de propagation de signaux VHF ou UHF.

**Données brutes** Données GNSS d'origine acquises et enregistrées par un récepteur.

**Données compressées** Données brutes compressées pendant une certaine durée (la durée de compression) afin d'obtenir une seule mesure qui sera enregistrée.



**DOP** Voir l'entrée "Affaiblissement de la précision".

**DORIS** Voir l'entrée "Détermination d'orbites et radiopositionnement intégrés par satellite".

## E

**ECEF** Voir l'entrée "Terre centrée, terre fixe".

**Effet Doppler** Modification apparente de la fréquence d'un signal reçu due à la vitesse de variation de la distance qui sépare l'émetteur du récepteur.

**EGNOS** Voir l'entrée "Système européen de navigation par recouvrement géostationnaire".

**Élément de validation en orbite de Galileo (GIOVE)** Nom de chaque satellite d'une série d'engins que l'Agence spatiale européenne (ASE) est en train de construire afin de tester des techniques en orbite pour le système de positionnement Galileo.

**Éléments képlériens** Six paramètres qui permettent de définir la position d'un satellite dans l'espace, à savoir:

- a: demi-grand axe
- e: excentricité
- $\omega$ : argument du périhélie
- $\Omega$ : ascension droite du nœud ascendant
- I: inclinaison
- n: moyen mouvement

**Ellipsoïde** En géodésie, sauf mention contraire, figure géométrique (parfois également appelée sphéroïde) formée par révolution d'une ellipse autour de son petit axe. Elle est définie par deux paramètres, en général la longueur de son demi-grand axe (a) et son aplatissement (f). Voir également l'entrée "Excentricité".

**Ellipsoïde local** Ellipsoïde conçu pour s'ajuster à une certaine partie de la Terre. Les ellipsoïdes locaux s'adaptent en général à un ou plusieurs pays, par exemple l'ellipsoïde Everest pour l'Inde.

**Émissions hors bande** Communications radio émises par un récepteur fonctionnant dans la bande de fréquence qui lui est allouée et qui ont lieu dans d'autres bandes de fréquence. En général, ce terme désigne les communications qui proviennent d'un émetteur qui se trouve dans une bande de fréquences adjacente à celle qui lui est allouée.

**En route** Phase de navigation correspondant aux opérations réalisées entre un point de départ et la fin d'une mission. Pour les missions aériennes, la phase de navigation en route est divisée en deux catégories, en route intérieur et en route océanique.

**Éphéméride** Paramètres, par exemple les éléments képlériens, qui peuvent être utilisés pour calculer la position d'un satellite à un instant donné.

**Époque** Instant particulier utilisé comme point de référence sur une échelle de temps.

**Erreur d'éphéméride** Différence entre la position réelle d'un satellite et la position prévue par les données orbitales associées à ce satellite (éphéméride).

**Erreur de trajets multiples** Erreur de localisation due à des interférences entre des ondes radio qui ont parcouru la distance qui sépare l'émetteur du récepteur par deux trajets de longueur électrique différente.

**Erreur récepteur pour l'utilisateur (UEE)** Erreur sur l'estimation de la position, de la vitesse et du temps effectuée par GPS qui est imputable au matériel de l'utilisateur.

**Erreur système pour l'utilisateur (URE)** Erreur sur l'estimation de la position, de la vitesse et du temps effectuée par GPS qui est imputable au segment spatial et au segment de contrôle du GPS.

**ESD** Décharge électrostatique.

**Estimateur d'erreur pour l'utilisateur (UERE)** Désigne la partie signal dans l'espace (SIS) du bilan d'erreurs du GPS:

$UERE = \sqrt{UEE^2 + URE^2}$ , où UEE désigne l'erreur récepteur pour l'utilisateur et URE l'erreur système pour l'utilisateur.

**Estimation par moindres carrés** Méthode d'estimation de paramètres inconnus qui consiste à rendre minimale la somme des carrés des résidus de mesures.

**États-Unis contigus** Les 48 États adjacents des États-Unis situés sur le continent nord-américain et le district de Columbia. Ne comprennent pas les États d'Alaska et d'Hawaii.

**Excentricité** Rapport de la distance entre le centre d'une ellipse et son foyer à son demi-grand axe:  $e = (1 - b^2/a^2)^{1/2}$  où a et b sont respectivement le demi-grand axe et le demi-petit axe de l'ellipse.

## F

**Fallacieuse** Relation mathématique dans laquelle deux faits n'ont aucun lien causal mais où l'on peut penser que ce lien existe et est dû à un troisième paramètre, inconnu.

**Fiabilité** Probabilité d'exécuter une fonction déterminée sans échec dans des conditions données et pour une période de temps déterminée.

**FOC** Voir l'entrée "Capacité opérationnelle totale".

**Format d'échange de données indépendant du récepteur (RINEX)** Définitions et formats normalisés destinés à favoriser la libre circulation des données GNSS sous forme de fichier ASCII standard.

**Fréquence de battement** L'une ou l'autre des deux fréquences supplémentaires obtenues lorsque deux signaux de fréquence différente sont mélangés.

**Fréquence porteuse** Fréquence du signal fondamental non modulé généré par un émetteur radio.

**Fuseau horaire** Fuseau horaire = Heure locale – temps moyen de Greenwich (TMG). Notons que le TMG est à peu près égal au temps du GPS.

## G

**GAGAN** Voir l'entrée "Système géostationnaire de navigation renforcée assistée par GPS".

**Galileo** Voir l'entrée "Système européen de navigation par satellite".

**GBAS** Voir l'entrée "Système de renforcement au sol".

**GDOP** Voir l'entrée "Affaiblissement géométrique de la précision", et également l'entrée "DOP".

**GEAS** Étude sur l'architecture évolutive des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS).

**Géocentrique** Relatif au centre de la Terre.

**Géodésie** Étude des dimensions et de la forme de la Terre.

**Géoïde** Surface équipotentielle particulière qui coïncide avec le niveau des mers, est prolongée sur les continents et est partout perpendiculaire à la direction de la force de gravitation.

**GIOVE** Voir l'entrée "Élément de validation en orbite de Galileo".

**Gisement** Terme utilisé en navigation pour désigner l'angle formé par une direction de référence (par exemple, le Nord géographique, le Nord magnétique ou le Nord de la projection) et par la trajectoire.

**GLONASS** Voir l'entrée "Système mondial de satellites de navigation".

**GMS** Station sol.

**GPB** Voir l'entrée "Gravity Probe B".

**GPS** Voir l'entrée "Système mondial de localisation".

**GPS différentiel** Terme habituellement employé pour désigner un système GPS qui utilise des corrections différentielles afin d'améliorer la précision de la localisation.

**GRACE** Voir l'entrée "Gravity Recovery and Climate Experiment".

**Gravity Probe B** Expérience menée par la NASA et l'Université Stanford à l'aide de gyroscopes afin de vérifier deux prédictions extraordinaires et jamais confirmées de la théorie de la relativité générale élaborée par Albert Einstein.

**Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE)** Il s'agit de deux satellites pratiquement identiques qui ont été lancés en mars 2002, volent à environ 220 km de distance en orbite polaire à 500 km au-dessus de la Terre et dont la mission principale est d'effectuer des mesures extrêmement précises du champ gravitationnel.

## H

**Hauteur au-dessus de l'ellipsoïde** Distance verticale qui sépare un utilisateur de l'ellipsoïde.

**Hauteur du géoïde** Distance entre la surface de l'ellipsoïde de référence et le géoïde comptée le long de la normale à l'ellipsoïde.

**Hauteur zénithale** Angle vertical allant de 0° à l'horizon et 90° à la verticale.

**HDOP** Affaiblissement de la précision sur la composante horizontale (voir l'entrée "DOP").

**Heure locale** L'heure locale est égale à TMG + fuseau horaire.

**Heure précise** Heure dont la précision est supérieure à 10 millisecondes.

**HMI** Renseignements dangereusement trompeurs.

**Horloge atomique** Horloge qui utilise une fréquence associée à une transition atomique pour mesurer le temps. Les éléments fréquemment utilisés sont le césium et le rubidium.

## I

**ICG** Voir l'entrée "Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite".

**ICRS** Voir l'entrée "Système de référence céleste international".

**IDM** Détection et atténuation des interférences.

**IERS** Voir l'entrée "Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence".

**IGS** Voir l'entrée "International GNSS Service".

**IGSO** Orbite géosynchrone inclinée.

**ILRS** Voir l'entrée "Service international de télémétrie laser".

**Inclinaison** Angle formé par le plan orbital d'un satellite et l'équateur.

**Indisponibilité du RAIM** Situation qui se produit lorsque au moins cinq satellites GNSS ne sont pas visibles.

**Interférométrie à très longue base (VLBI)** Technique utilisée en radioastronomie et en géodésie, dans laquelle plusieurs radiotélescopes observent simultanément la même cible et

enregistrent les résultats de ces observations en les datant avec précision. Les données sont ensuite réunies, de sorte que tout se passe comme si les télescopes avaient été un instrument unique disposant d'un très bon pouvoir séparateur.

**International GNSS Service, auparavant appelé International GPS Service (IGS)** Fédération de plus de 200 organismes du monde entier qui mettent en commun des ressources et des données issues de stations permanentes GPS et GLONASS pour mettre à disposition des produits GPS et GLONASS d'une grande précision.

**Interopérabilité** Désigne l'aptitude des systèmes mondiaux et régionaux de navigation par satellite, de leurs systèmes de renforcement et des services qu'ils offrent à être utilisés conjointement afin que l'utilisateur dispose de plus de possibilités que s'il se contentait des signaux ouverts d'un seul système:

- L'interopérabilité permet de naviguer à l'aide des signaux de différents systèmes sans accroître notablement le coût ou la complexité des récepteurs.
- Le fait que plusieurs constellations diffusent des signaux ouverts et interopérables permettra d'améliorer les observations géométriques, d'augmenter partout la précision dont bénéficient les utilisateurs et d'améliorer la disponibilité du service dans les endroits où la visibilité des satellites est souvent insuffisante.
- La réalisation des systèmes de référence géodésiques et les étalons de temps des systèmes doivent autant que possible respecter les normes internationales existantes.
- Il convient de promouvoir toute nouvelle solution qui permet d'améliorer l'interopérabilité.

**IOC** Voir l'entrée "Capacité opérationnelle initiale".

**Ionosphère** Région de l'atmosphère terrestre située entre environ 50 et 1 000 km au-dessus de la Terre et où la présence d'électrons libres (résultant de l'ionisation provoquée par le rayonnement solaire, essentiellement les rayons ultraviolets) affecte la transmission des signaux GNSS.

**ITRS** Voir l'entrée "Système de référence terrestre international".

## J

**Jason** Satellite d'océanographie lancé en décembre 2001, volant à une orbite de 1 300 km inclinée à 66° et dont la mission est de mesurer la circulation océanique globale, d'étudier les liens entre les océans et l'atmosphère, d'améliorer les prévisions climatiques à l'échelle mondiale et de surveiller des phénomènes comme El Niño et les tourbillons océaniques.

**Jet Propulsion Laboratory (JPL)** Exploité par le Caltech pour le compte de la NASA pour les explorations robotisées du système solaire.

**Jour sidéral** Intervalle de temps qui sépare deux passages supérieurs successifs du point vernal.

**Jour solaire** Intervalle de temps qui sépare deux passages supérieurs successifs du Soleil.

## L

**LAAS** Voir l'entrée "Système de renforcement à couverture locale".

**Lacet** Pour des objets mobiles, désigne un mouvement latéral autour de la verticale (ou gauche-droite dans la direction du parcours).

**Largeur de bande** Mesure de la largeur du spectre d'un signal (représentation du signal dans l'espace des fréquences) exprimée en hertz.

**Latitude (géodésique)** Angle entre la normale à l'ellipsoïde et le plan équatorial. La latitude est nulle sur l'équateur et est de 90° aux pôles.

**LEO** Orbite terrestre basse.

**Levé statique** L'expression "levé statique" est utilisée au sujet des GNSS pour tous les levés non cinématiques. Elle inclut les modes de fonctionnement suivants: levé statique et levé statique rapide.

**Levé "statique puis dynamique"** Ce terme est utilisé au sujet du GPS pour un type particulier de levé cinématique. Après initialisation (détermination des ambiguïtés) sur un premier site, le récepteur itinérant doit être déplacé entre les autres sites sans perdre le signal satellite.

**Levé statique rapide** Terme utilisé au sujet des GNSS pour décrire les levés statiques pour lesquels la période d'observation est courte.

**Localisation** Technique de détermination de la position d'un point.

**Localisation d'un point** Détermination de la position d'un point (latitude, longitude et altitude au-dessus du sphéroïde) à l'aide de mesures de pseudo-distances.

**Longitude** Angle entre l'ellipse méridienne qui traverse Greenwich et l'ellipsoïde méridienne qui contient le point en question. Ainsi, la longitude est de 0° à Greenwich puis est comptée jusqu'à 360° vers l'Est ou jusqu'à 160° vers l'Est et vers l'Ouest.

**Longueur de la ligne de base** Longueur du vecteur tridimensionnel qui relie deux stations pour lesquelles des données GPS ont été collectées simultanément et traitées par des techniques différentielles. Pour obtenir une précision au milliardième, requise pour les GNSS à l'échelle planétaire, il faut appliquer les théories de la relativité restreinte et de la relativité générale, ce qui implique de tenir compte des champs géopotentiels locaux.

**Loxodromie** Terme de navigation. Trajectoire entre deux points pour laquelle le gisement est constant.

## M

**MADRAS** Analyse et détection de la pluie et des structures atmosphériques par imagerie micro-ondes.

**Maidenhead** Système de coordonnées utilisé par les radioamateurs, dans lequel la Terre est divisée en 324 zones en fonction de la latitude et de la longitude. Ces zones couvrent une surface de  $10^\circ$  de latitude sur  $20^\circ$  de longitude et sont appelées champs. Chaque champ est découpé en 100 carrés. Chacun de ces carrés correspond à une surface de  $1^\circ$  de latitude sur  $2^\circ$  de longitude.

**Maser** Appareil qui produit des ondes électromagnétiques cohérentes grâce à une amplification due à une émission stimulée. Historiquement, le terme vient de l'acronyme anglais de "amplification de micro-ondes par émission stimulée de rayonnement", même si les masers actuels émettent sur une grande partie du spectre électromagnétique.

**MBOC** Porteuse à forme d'onde binaire décalée multiplexée.

**MCS** Station maître.

**Méridien** Ligne imaginaire reliant le pôle Nord au pôle Sud et traversant l'équateur à  $90^\circ$ .

**Message de données (également appelé données de navigation)** Données transmises par le satellite d'un système GNSS et utilisées pour calculer la position de ce satellite et les corrections de son horloge.

**Messages de navigation/Données de navigation** Données qui modulent les signaux émis par les satellites.

**Message de navigation GNSS** Message de données envoyé par le satellite, il comprend l'éphéméride du satellite et les corrections associées à son horloge, l'état de santé et l'almanach de la constellation, etc.

**Mesures différentielles** Les simples différences sont en général effectuées entre des récepteurs qui observent le même satellite simultanément, les doubles différences sont généralement de simples différences entre observations simultanées de deux satellites différents et les triples différences reposent habituellement sur deux doubles différences espacées dans le temps.

**Méthode différentielle** Technique qui permet d'améliorer la précision d'un système de radionavigation en déterminant l'erreur de localisation à un endroit connu et en envoyant cette erreur ou des coefficients de correction aux utilisateurs du même système de radionavigation qui se trouvent dans la même zone.

**Mode d'élévation au carré pour la réception** Méthode utilisée pour poursuivre les signaux GPS, elle double la fréquence porteuse et n'utilise pas le code P.

**Modulation de phase à deux états (BPSK) en forme de créneau (BPSK-R)** Modulation BPSK avec transition de phase instantanée de  $180^\circ$  à chaque créneau.

## N

**Nanoseconde (ns)** Milliardième de seconde.

**NASA** Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace.

**NAVCEN** Autre nom du Centre de navigation des garde-côtes des États-Unis.

**Navigation** Action de planifier, d'enregistrer et de contrôler le déplacement d'un véhicule d'un lieu à un autre.

**Navigation de surface (RNAV)** Méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue, dans les limites de la couverture des aides à la navigation de référence ou dans les limites des possibilités d'une aide autonome ou grâce à une combinaison de ces deux moyens.

**NAVTEX** Système conçu par l'Organisation maritime internationale (OMI) comme moyen principal pour diffuser des informations de sécurité maritime urgentes depuis la côte vers des navires situés dans le monde entier.

**NDGPS** Système GPS différentiel des États-Unis.

**NMEA** National Marine Electronics Association.

**NOAA** National Oceanic and Atmospheric Administration

**NOCC** National Operations Control Center.

**NPA** Voir l'entrée "Approche de non-précision".

## O

**OD&TS** Détermination d'orbite et synchronisation temporelle

**Orbite géosynchrone** Orbite particulière pour laquelle un satellite tourne autour de la Terre à la même vitesse de rotation que celle-ci. Un satellite en orbite géosynchrone paraît rester stationnaire lorsqu'on l'observe depuis un point situé sur ou à proximité de l'équateur.

## P

**PDOP** Affaiblissement de la précision de positionnement (voir l'entrée "Affaiblissement de la précision (DOP)").

**Performance d'alignement de piste avec guidage vertical (LPV)** Assure un confinement latéral comparable à un ILS et des altitudes de décision comprises entre celles d'une approche LNAV/VNAV et celles d'une approche ILS.

**Phase de battement** Phase du signal obtenu par battement entre la porteuse émise par le satellite, décalée par l'effet Doppler, (génération d'une fréquence différentielle) et la référence à fréquence théoriquement constante générée par le récepteur.

**Phase de la porteuse** Fraction d'un cycle, souvent exprimée en degrés, où 360° correspondent à un cycle complet.



**Phase reconstituée de la porteuse** Différence entre la phase de la porteuse GNSS, reçue avec un décalage à cause de l'effet Doppler, et la phase de la fréquence de référence théoriquement constante générée par le récepteur.

**Pics de DOP** Configurations (positions dans le ciel) d'un engin spatial qui se traduisent par des GDOP élevés et provoquent donc des erreurs de localisation importantes.

**PNT** Positionnement, navigation et synchronisation.

**Polarisation** Propriété des ondes qui définit l'orientation de leurs oscillations.

**Porteuse** Onde radio dont au moins l'une des caractéristiques (par exemple, la fréquence, l'amplitude ou la phase) peut être modifiée par modulation à partir d'une référence connue.

**Porteuse à forme d'onde binaire décalée (BOC)** Extension de la modulation BPSK-R dans laquelle chaque créneau est constitué par la même partie d'un signal carré, chacun d'entre eux étant modulé par une rotation de phase de  $180^\circ$ .

**Positionnement cinématique** Détermination d'une série temporelle de jeux de coordonnées pour un récepteur mobile, chaque jeu de coordonnées étant obtenu à partir d'un seul échantillon de données et généralement calculé en temps réel.

**Positionnement dynamique** Fait de déterminer la position et la vitesse à l'aide de signaux GNSS lorsque l'antenne GNSS est en mouvement.

**Positionnement relatif** Détermination des coordonnées relatives pour deux récepteurs ou plus qui poursuivent simultanément les mêmes signaux GNSS.

**Post-traitement** Action qui consiste à calculer les positions en temps réel à l'aide de données précédemment collectées par des récepteurs GNSS.

**Poursuite par porteuse** Technique de traitement du signal qui utilise le signal de la porteuse GNSS afin d'obtenir un asservissement exact sur le code pseudo-aléatoire généré par un satellite GNSS.

**Précision** Mesure de l'écart entre la position estimée d'un satellite et sa position réelle. La précision d'un système de radionavigation est généralement représentée sous forme de mesure statistique de l'erreur du système et est déterminée par:

- Sa prévisibilité: Écart entre une position calculée par le système de radionavigation et une position obtenue grâce à une carte. Le système et la carte doivent s'appuyer sur le même référentiel géodésique.
- Sa fidélité: Précision avec laquelle un utilisateur peut revenir à une position dont les coordonnées ont été mesurées auparavant par le même système de navigation.
- Son caractère relatif: Précision avec laquelle un utilisateur peut mesurer une position relativement à une autre personne qui utilise le même système de navigation au même moment.

**Projection conforme** Projection cartographique qui préserve les angles de l'ellipsoïde une fois ceux-ci projetés sur une surface plane.

**Projection Lambert** Projection cartographique conique conforme d'un ellipsoïde sur une surface plane obtenue en plaçant un cône sur la sphère.

**Projection Mercator transverse** Projection cartographique cylindrique conforme qui peut être vue comme un cylindre enveloppant la Terre.

**Propagation** Déplacement d'une onde (radio) électromagnétique dans un milieu (par exemple, l'atmosphère ou l'espace libre) à la vitesse de la lumière. Selon le milieu traversé, la célérité et d'autres caractéristiques de l'onde peuvent être modifiées.

**Propriétaire** Indique qu'une partie, le propriétaire, détient, contrôle un bien ou en use de manière privée; autrement dit, ne fait pas partie du domaine public.

**Pseudo-distance** Mesure de la durée apparente de propagation d'un signal entre le satellite et l'antenne du récepteur transformée en distance compte tenu de la vitesse de la lumière. La différence entre la pseudo-distance et la distance réelle est dû à l'écart entre l'horloge du satellite et celle de l'utilisateur.

**Pseudolite (Pseudo-satellite)** Station sol d'un système GNSS différentiel qui diffuse des corrections à l'intérieur d'un signal dont la structure est similaire à celle d'un satellite GNSS réel.

## Q

**Qualité de navigation requise (RNP)** Expression de la performance de navigation qui est nécessaire pour évoluer à l'intérieur d'un espace aérien défini, y compris pour ce qui est des paramètres de fonctionnement des systèmes de navigation utilisés à l'intérieur de cet espace.

## R

**Radioastronomie** Branche de l'astronomie qui étudie le rayonnement radioélectrique des objets célestes.

**Radiolocalisation** Radiorepérage utilisé à d'autres fins que la radionavigation.

**Radionavigation** Détermination d'une position ou obtention de données relatives à une position à l'aide des propriétés de propagation des ondes radioélectriques à des fins de radionavigation.

**Radio-occultation** Technique de télédétection utilisée pour mesurer les propriétés physiques de l'atmosphère des planètes.

**Radiorepérage** Détermination d'une position ou obtention de données relatives à une position à l'aide des propriétés de propagation des ondes radioélectriques.

**RAIM** Contrôle autonome de l'intégrité par le récepteur.

**Référentiel** Modèle mathématique décrivant une partie de la surface de la Terre. Sur une carte papier, les parallèles et les méridiens correspondent à un référentiel cartographique particulier.

**Référentiel géodésique** Modèle mathématique conçu pour coïncider au mieux avec tout ou partie du géoïde; il est défini par un ellipsoïde et par la relation entre cet ellipsoïde et un point de la surface topographique pris comme origine du référentiel.

**Relèvement** Fait de procéder à des observations afin de déterminer la taille, la forme et la position absolue et/ou relative de points situés sur, au-dessus ou en dessous de la surface de la Terre, la longueur et la direction d'une ligne, le champ gravitationnel terrestre, la longueur du jour, etc.

**Retard ionosphérique** Retard pris par une onde qui se propage dans l'ionosphère (qui est un milieu non homogène et dispersif). Le retard de phase et le temps de propagation de groupe sont du même ordre de grandeur mais de signes opposés et sont proportionnels au contenu électronique total (CET). Voir également l'entrée "Contenu électronique total".

**Retard troposphérique** Retard qui affecte les signaux satellite et qui est dû aux couches troposphériques de l'atmosphère terrestre.

**RFI** Interférences radioélectriques.

**RINEX** Voir l'entrée "Format d'échange de données indépendant du récepteur".

**Route orthodromique** Terme utilisé en navigation. Chemin le plus court entre deux points.

**RTCM** Commission radiotechnique pour les services maritimes.

**RTK** Voir l'entrée "Cinématique temps réel".

## S

**Saut de cycle** Discontinuité d'un nombre entier ou demi-entier de cycle dans la mesure de la phase de battement.

**Scintillation (ionosphérique)** Variations de l'amplitude et de la phase du signal reçu provoquées par la structure irrégulière des régions ionosphériques.

**Segment de contrôle** Équipements GNSS terrestres – exploités par un opérateur – qui poursuivent les signaux satellite, déterminent l'orbite des satellites et transmettent des commandes et des calculs d'orbite à ces derniers.

**Segment spatial** Partie du système GNSS qui se trouve dans l'espace, c'est-à-dire les satellites.

**Segment utilisateur** Partie d'un système GNSS qui est constituée des appareils qui reçoivent les signaux GNSS.

**Service autorisé** Service spécifiquement conçu pour répondre aux besoins d'utilisateurs autorisés dans le cadre de fonctions relevant de l'État.

**Service de localisation standard (SPS)** Service de localisation fourni par le GPS qui repose sur le code C/A. Le SPS comprend également les utilisations les plus précises du GPS, dont bénéficient les personnes qui se servent de récepteurs bifréquences qui n'exploitent qu'en partie le code et de divers systèmes de correction différentielle.

**Service de positionnement précis (PPS)** Localisation d'un point la plus précise offerte par le GPS; ce service se sert de signaux bifréquences.

**Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS)** Organisme chargé de maintenir les réalisations du temps et des systèmes de référence à l'échelle mondiale, notamment via ses groupes sur les paramètres d'orientation de la Terre (EOP), sur le Système de référence céleste international (ICRS) et sur le Système de référence terrestre international (ITRS). Jusqu'au 2 avril 2002, date à laquelle il a officiellement changé de nom, cet organisme portait le nom de Service international de la rotation terrestre. Il a choisi de conserver l'acronyme IERS.

**Service international de télémétrie laser (ILRS)** Réseau mondial de stations d'observation qui mesurent le temps d'aller-retour d'impulsions de lumière ultracourtes émises vers des satellites équipés de rétro réflecteurs.

**Service international IVS** Collaboration internationale entre plusieurs organismes qui exploitent ou maintiennent les éléments d'un système d'interférométrie à très longue base (VLBI). Voir également l'entrée "VLBI".

**Service ouvert** Service (utilisant un ou plusieurs signaux) fourni aux utilisateurs sans que ceux-ci ne versent de redevance directe.

**Services de sauvegarde de la vie humaine** Services exploités dans des conditions critiques en matière de sécurité, par exemple dans le cadre du transport maritime, aérien ou ferroviaire et dont les applications ou le fonctionnement présentent des contraintes de qualité très strictes.

**Session d'observation** Période de temps durant laquelle deux récepteurs ou plus collectent des données GNSS.

**SIG** Voir l'entrée "Système d'information géographique".

**Site** Emplacement où un récepteur a été installé en vue de déterminer ses coordonnées.

**SLR** Voir l'entrée "Télémétrie laser sur satellites".

**SPS** Voir l'entrée "Service de localisation standard".

**Stations de référence à fonctionnement continu (CORS)** Le service géodésique national (NGS), une division du service océanographique national de la NOAA, coordonne un réseau de stations de référence à fonctionnement continu.

**Stochastique** Processus dont le comportement n'est pas déterministe en ce sens que son état suivant est déterminé à la fois par ses actions prévisibles et par un élément aléatoire.

**Surface équipotentielle** Surface géométrique sur laquelle le potentiel gravitationnel est constant.

**Surveillance** Observation d'une surface ou d'un espace afin de déterminer la position et les déplacements des véhicules situés sur cette surface ou dans cet espace.

**Système à double usage** Système utilisé à des fins aussi bien civiles que militaires.

**Système d'information géographique (SIG)** Système qui recueille, stocke, analyse, gère et présente des données qui concernent la position ou sont en rapport avec celle-ci.

**Système de navigation par satellite Compass/BeiDou** Système mondial de navigation créé par la Chine. Ce système compte cinq satellites géostationnaires et 30 satellites non géostationnaires. Les satellites géostationnaires sont respectivement situés à 58° 45' de longitude E, 80° de longitude E, 110° 30' de longitude E, 140° de longitude E et 160° de longitude E.

**Système de référence céleste international** Désigne le système normalisé de référence céleste actuel, système qui a été adopté par l'Union astronomique internationale (UAI), dont l'origine est le barycentre du système solaire et dont les axes sont censés être "fixes" dans l'espace.

**Système de renforcement à couverture étendue (WAAS)** Aide à la navigation aérienne développée par l'Administration fédérale de l'aviation pour compléter le GPS.

**Système de renforcement à couverture locale** Système d'atterrissage tout-temps reposant sur une correction différentielle en temps réel du signal GPS. Des récepteurs de référence locaux envoient les données à un service central de l'aéroport. Ces données sont utilisées pour formuler un message de correction, qui est ensuite transmis aux utilisateurs via une liaison VHF. Un récepteur de l'aéronef utilise ces informations pour corriger les signaux GPS. L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) appelle ce type de système "système de renforcement au sol" (GBAS).

**Système de renforcement au sol (GBAS)** Déploiement localisé de stations qui permettent d'utiliser RNAV en phase d'approche de précision et en zone terminale.

**Système de renforcement satellitaire (SBAS)** Ces systèmes, comme EGNOS, GAGAN ou WAAS, complètent les GNSS existants.

**Système de renforcement satellitaire MTSAT (MSAS)** Aide à la navigation aérienne conçue par la Direction de l'aviation civile japonaise en vue d'améliorer les performances du GPS.

**Système de référence terrestre international (ITRS)** Décrit les procédures qui permettent de créer des repères de référence qui peuvent être utilisées pour effectuer des mesures sur ou à proximité de la surface de la Terre.

**Système européen de navigation par recouvrement géostationnaire (EGNOS)** EGNOS diffuse un signal qui complète le service de localisation standard du GPS. Ce signal est émis dans la même bande de fréquence et à la même modulation de fréquence que le signal GPS L1 (1 575,42 MHz), à usage civil. Alors que le GPS se compose de signaux de positionnement et d'horloge émis par des engins spatiaux en orbite autour de la Terre, assurant ainsi une couverture mondiale, EGNOS fournit des corrections et des informations d'intégrité destinées à améliorer les services de positionnement en Europe.

**Système européen de navigation par satellite (Galileo)** Initiative lancée par la Commission européenne et par l'Agence spatiale européenne, Galileo est un système mondial civil de navigation par satellite appartenant à l'Union européenne et offrant des services de localisation garantis et de haute précision. La constellation Galileo nominale comprend au total 27 satellites répartis régulièrement dans trois plans orbitaux inclinés à 56° par rapport à l'équateur. Il y aura neuf satellites opérationnels par plan orbital, tous situés sur des créneaux orbitaux répartis de manière homogène. Trois satellites de réserves supplémentaires (un par plan orbital) complètent cette constellation nominale. Les satellites Galileo sont placés sur une orbite terrestre circulaire dont le demi-grand axe mesure approximativement 30 000 km et dont la période de révolution s'élève à environ 14 heures.

**Système géodésique mondial 1984 (WGS84)** Système de référence terrestre et référentiel géodésique Terre centrée, Terre fixe. WGS84 repose sur un ensemble cohérent de constantes et de paramètres de modélisation qui permettent de définir la taille, la forme, le champ gravitationnel et le champ géomagnétique de la Terre. Ce système constitue un modèle de système mondial pour le Ministère de la défense américain en matière de données géospatiales et est le système de référence pour le GPS. Il est compatible avec l'ITRS.

**Système géostationnaire de navigation renforcée assistée par GPS (GAGAN)** Système de renforcement satellitaire que l'Inde prévoit de mettre en place. Il est destiné à améliorer la précision fournie par les récepteurs GNSS en émettant des signaux de référence. Lorsque ce système sera opérationnel, il est prévu que le segment spatial soit constitué de deux satellites géostationnaires situés respectivement à 82° et 55° de longitude E, chacun d'entre eux transportant un répéteur à transposition de fréquence. Un satellite de réserve supplémentaire sera également mis sur orbite (à 83° de longitude E).

**Système mondial de localisation (GPS)** Le système mondial de navigation par satellite mis à disposition par les États-Unis d'Amérique. La constellation GPS de base est constituée de 24 créneaux répartis sur six plans orbitaux, avec quatre créneaux par plan. Trois des créneaux sont extensibles et ne peuvent accueillir que deux satellites. Les satellites qui n'occupent pas de créneau défini dans la constellation GPS parcourent d'autres trajectoires sur les six plans orbitaux. Les caractéristiques orbitales de référence de la constellation et la répartition des créneaux depuis l'époque définie figurent dans la quatrième édition de *GPS Standard Positioning Service Performance Specification*, datée de septembre 2008. À cette date, la constellation GPS comptait 30 satellites opérationnels diffusant des signaux de navigation valides: 11 dans le bloc IIA, 12 dans le bloc IIR et 7 dans le bloc IIR-M.

**Système mondial de satellites de navigation (GLONASS)** Le système mondial de navigation par satellite mis à disposition par la Fédération de Russie. La constellation nominale

de GLONASS comprend 24 satellites de type Glonass-M uniformément déployés dans trois plans orbitaux quasi circulaires à une inclinaison de  $64,8^\circ$  sur l'équateur. Ils sont situés à une altitude de 19 100 km et leur période de révolution s'élève à 11 heures, 15 minutes et 45 secondes. Les plans orbitaux sont séparés par une ascension droite du nœud ascendant de  $120^\circ$ . Dans chaque plan, huit satellites sont régulièrement espacés par un argument de latitude de  $45^\circ$ . Par ailleurs, les plans orbitaux se déplacent d'un argument de latitude de  $15^\circ$  les uns par rapport aux autres.

**Système satellitaire Quasi-Zénith (QZSS)** Système régional spatial de positionnement, de navigation et de synchronisation (PNT) développé par l'État japonais, il couvre l'Asie de l'Est et l'Océanie. Le QZSS émet quatre signaux GPS interopérables et deux signaux complémentaires destinés à renforcer la disponibilité et les performances du GPS actuel.

**Système Transit** Prédécesseur du GPS. Système de navigation par satellite en service entre 1967 et 1996.

## T

**Télécommande** Commande déclenchée afin de contrôler un ou des dispositifs distants qui ne sont pas directement reliés (par des fils, par exemple) au lieu d'où la télécommande est activée.

**Télémesure** Technique qui permet de mesurer et de communiquer à distance des éléments qui intéressent le concepteur ou l'opérateur d'un système.

**Télémétrie** Technique utilisée pour déterminer une ligne de position en calculant la distance entre un récepteur et un point de référence connu.

**Télémétrie laser-Lune (LLR)** Mesure le temps d'aller-retour d'impulsions lumineuses entre des stations terrestres et quatre rétroreflecteurs situés sur la Lune. En avril 2010, le réflecteur de Lunakhod 1 a été repéré. De ce fait, cinq de ces équipements sont aujourd'hui utilisés.

**Télémétrie laser sur satellites (SLR)** Mesure de la distance entre un point et un satellite à l'aide d'impulsions laser.

**Temps d'acquisition** Temps nécessaire à un récepteur satellite pour acquérir des signaux satellite et déterminer sa position initiale.

**Temps du GLONASS** Échelle de temps atomique similaire à celle du GPS. Cette échelle correspond à l'UTC tel qu'il est réalisé par la Russie [UTC(SU)]. Le segment de contrôle assure un écart inférieur à une milliseconde et en général inférieur à une microseconde par rapport à l'UTC(SU), la partie restante du décalage étant insérée dans les messages de navigation.

**Temps du GPS** Échelle de temps continue diffusée par les satellites GPS, elle est traçable à l'UTC(USNO) réalisé par l'US Naval Observatory, mais sans l'insertion des secondes intercalaires. Voir également l'entrée "UTC (USNO)".

**Temps moyen de Greenwich (TMG)** Temps solaire moyen au méridien de Greenwich. Il sert à établir l'heure légale dans le monde entier.

**Temps sidéral** Défini par l'angle horaire du point vernal. Si l'on prend l'équinoxe moyen, on obtient le temps sidéral vrai.

**Temps universel (TU)** Temps solaire moyen local au méridien de Greenwich. L'utilisation d'UT1, échelle de temps qui s'appuie sur la rotation réelle de la Terre, serait plus pertinente.

**Temps universel coordonné (UTC)** Échelle de temps atomique que le Bureau international des poids et mesures (BIPM) a défini et qui repose sur des mesures effectuées par les nombreux laboratoires horaires nationaux participants, chacun d'entre eux conservant son propre calcul local de l'UTC. L'unité de cette échelle est maintenue aussi proche que possible de la seconde du Système international (SI) d'unités, même si des secondes intercalaires sont parfois insérées pour tenir compte de l'irrégularité de la rotation de la Terre.

**Terminale** Phase de navigation qui comprend les opérations nécessaires pour commencer ou terminer une mission ou une fonction prévue dans les installations appropriées. Pour les missions aériennes, la phase terminale sert à définir l'espace aérien dans lequel un service de contrôle d'approche ou un service de contrôle de la circulation aérienne assuré par un aéroport est fourni.

**Terre centrée, Terre fixe (ECEF)** Système de coordonnées cartésiennes dont l'origine est le centre des masses de la Terre et qui est attaché à sa surface (c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que la Terre). L'axe Z correspond à l'axe de rotation moyen (orienté vers le Nord) de la Terre. L'axe X correspond au méridien origine (méridien de Greenwich). L'axe Y est orienté de 90° à l'Est par rapport à l'axe X, formant ainsi un système de coordonnées direct.

**TMG** Voir l'entrée "Temps moyen de Greenwich".

**Tomographie** Imagerie en coupe.

**Topographie** Forme du terrain d'une région particulière.

**Trajets multiples** Phénomène de propagation pour lequel des signaux atteignent l'antenne réceptrice par deux chemins différents ou plus.

**Transformation** Opération qui consiste à exprimer les coordonnées d'un système dans un autre système.

**Translocation** Méthode qui consiste à utiliser simultanément les données issues de stations distinctes afin de déterminer la position relative d'une station par rapport à une autre. Voir aussi l'entrée "Positionnement relatif".

**Transverse universelle de Mercator (UTM)** Type particulier de projection Mercator transverse.

**Très hautes fréquences (VHF)** Bande de fréquences radio comprises entre 30 MHz et 300 MHz.



T,T et C Poursuite, télémessure et télécommande.

TWSTFT Transfert bidirectionnel de signaux horaires et de fréquences par satellite.

## U

UGGI Voir l'entrée "Union géodésique et géophysique internationale".

ULB Voir l'entrée "Ultralarge bande".

**Ultra-hautes fréquences (UHF)** Bande des fréquences comprise entre 300 MHz et 3 GHz (3 000 MHz).

**Ultralarge bande (ULB)** Technique de radiocommunication qui consiste à émettre des impulsions extrêmement courtes et de faible puissance avec un rapport cyclique relativement petit. Ces impulsions ont pour effet d'étaler la transmission sur une grande plage de fréquence. En général, la largeur de bande de l'émission s'élève à plusieurs centaines de mégahertz.

**Union géodésique et géophysique internationale** Organisation internationale qui a pour mission de faire progresser, de promouvoir et de communiquer les connaissances sur le système Terre, son environnement spatial et les processus dynamiques qui entraînent des changements.

USAF Armée de l'air des États-Unis.

USCG Garde côtière des États-Unis.

USNO United States Naval Observatory.

**UTC(NIST)** Le National Institute for Standards and Time fournit l'UTC (NIST), une réalisation locale de l'UTC obtenue à l'aide d'un ensemble d'oscillateurs atomiques situés à Boulder (Colorado).

**UTC (USNO)** Réalisation locale de l'UTC obtenue à l'aide d'un ensemble d'oscillateurs atomiques situés à l'US Naval Observatory.

UTM Voir l'entrée "Transverse universelle de Mercator".

## V

**VDOP** Affaiblissement de la précision sur la composante verticale. Voir également l'entrée "DOP".

**Volume associé aux services terrestres** Pour le GPS, la région proche de la Terre qui s'étend de la surface de la Terre à une altitude de 3 000 km au-dessus du niveau des mers est appelée "Volume associé aux services terrestres" (TSV-GPS).

**Volume associé aux services spatiaux** Pour le GPS, la coquille sphérique qui s'étend de la surface extérieure du volume associé aux services terrestres jusqu'à une altitude de 36 000 km au-dessus du niveau des mers (soit à peu près l'altitude d'une orbite géosynchrone) est appelée "volume associé aux services spatiaux" (SSV-GPS).

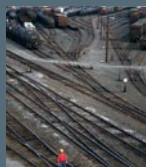
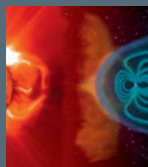
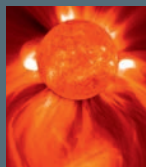
## Z

**Zone de confluence côtière** Zone qui s'étend de l'entrée d'un port jusqu'à 50 milles marins au large ou jusqu'à l'extrémité du plateau continental (isobathe 100 mètres), si celle-ci est plus éloignée.

**Zone terminale** Terme générique utilisé pour décrire l'espace aérien dans lequel un service de contrôle d'approche ou un service de contrôle de la circulation aérienne assuré par un aéroport est fourni.



■ Le bureau des affaires spatiales est chargé de promouvoir la coopération internationale dans le domaine des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et d'aider les pays en développement dans l'utilisation des sciences et techniques spatiales.



Comité international sur les systèmes  
mondiaux de navigation par satellite

Publication des Nations Unies  
Imprimé en Autriche

ST/SPACE/59



V.12-56555—Mars 2013—250

