



Global Navigation Satellite Systems

© Département d'avionique Document à des fins de formation

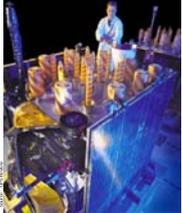
Avant de débuter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Présentation du cours



- Introduction.
- Les systèmes GNSS.
- Le système GPS.
- Le système GLONASS.
- Le système Galileo.
- Le système Beidou (Compass).
- Spectre de fréquences des systèmes GNSS.
- Tests des systèmes GNSS.
- Conclusions.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Introduction



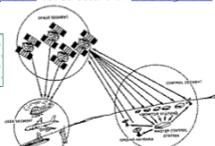
- Pour répondre aux besoins de navigation de l'armée américaine partout sur la planète, que ce soit à terre, sur mer ou dans les airs, le système GPS a été développé.
- Simultanément, l'Union Soviétique a commencé la mise au point d'un système similaire appelé GLONASS.
- Enfin, plus récemment, l'Europe a emboîté le pas avec le système Galileo.
- Au contraire des deux précédents, Galileo est un système entièrement civil.
- La Chine, de son côté, a développé le système Beidou (Compass).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les systèmes GNSS

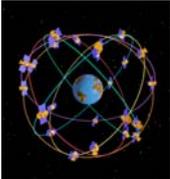
- GNSS signifie « *Global Navigation Satellite System* ».
- Il s'agit d'un appareil permettant de déterminer la position d'un véhicule en longitude et latitude en prenant référence sur des satellites orbitant autour de la Terre.
- Un système GNSS ou SATCOM est structuré en trois segments :

- ✓ Segment spatial
- ✓ Segment de contrôle
- ✓ Segment utilisateur



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS



- GPS signifie « *Global Positioning System* ».
- Le système NAVSTAR/GPS est basé sur l'utilisation minimale de 24 satellites placés sur six plans orbitaux, également répartis autour de la Terre.
- Chaque satellite est équipé de quatre horloges atomiques au rubidium (2) et au césium (2) de très haute précision.
- En cas de défaillance de l'une, une autre peut prendre le relais.
- Toutes les horloges de tous les satellites sont synchronisées.

Inventaire officiel des satellites GPS

© Département d'avionique Document à des fins de formation

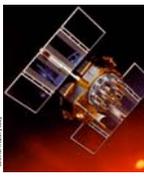
Le système GPS



- Dans le système GPS initial, chaque satellite émet deux codes différents (C/A et P(Y)) sur une même fréquence porteuse L1 à 1575,42 MHz.
- Les systèmes militaires disposent d'une seconde fréquence L2 à 1227,60 MHz sur laquelle le code P(Y) est transmis.
- Depuis le lancement des premiers satellites, le système GPS a évolué et est en constante évolution.
- Actuellement, 31 satellites sont opérationnels.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS



- Avec le lancement des satellites Block III, un nouveau code L1C ainsi qu'une troisième fréquence L5 devraient devenir accessibles au secteur civil : 1176,45 MHz.
- La fréquence L5 servira au service « SOL-Safety-of-Life » qui consiste à informer l'utilisateur de tout dysfonctionnement d'un élément du système dans des délais extrêmement brefs.
- Depuis quelques années, avec les satellites Block IIR-M, Block IIF et Block III, un nouveau code M à caractère strictement militaire a été ajouté aux fréquences L1 et L2.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- Chaque fréquence porteuse est modulée par plusieurs signaux :

Fréquence :	Phase :	Codes actuels :	Codes modernes :
L1 (1575,42 MHz)	En phase (I)	P(Y)	P(Y)
	En quadrature (Q)	C/A	C/A + L1C + M
L2 (1227,60 MHz)	En phase (I)	P(Y)	P(Y)
	En quadrature (Q)		L2C + M
L5 (1176,45 MHz)	En phase (I)		SOL Data
	En quadrature (Q)		SOL Pilot

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- Simultanément aux codes C/A (« *Course Acquisition* ») et P(Y) (« *Precision* »), des données de navigation ainsi que des éphémérides sont transmises par les satellites.
- Le code P se métamorphose en code crypté Y lorsque la fonction AS ou « *Anti Spoofing* » est activée.
- Cinq stations au sol sont en charge d'assurer la poursuite des satellites, les calculs et la mise à jour des données de navigation.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- D'un point de vue des utilisateurs, deux catégories de services existent :

- **SPS** ou « *Standard Positioning Service* » : destiné à tous les utilisateurs civils et militaires.
- **PPS** ou « *Precision Positioning Service* » : destiné exclusivement aux utilisateurs militaires.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- Un récepteur GPS, théoriquement, pourrait se contenter de capter les signaux en provenance de trois satellites pour être en mesure de donner une position en trois dimensions.
- Toutefois, afin d'éliminer l'erreur d'horloge du récepteur (beaucoup moins précise que celles des satellites), la réception du signal d'un quatrième satellite est nécessaire.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- Plusieurs facteurs limitent l'utilisation du GPS en aéronautique :

- Système entièrement contrôlé par le département de la défense américain (interruption des signaux possibles).
- Précision naturelle moins bonne pour les utilisateurs civils.
- Dégradation volontaire des signaux avec l'activation de la fonction SA ou « *Selective Availability* » (un engagement avait été pris par Bill Clinton en 2000 afin de ne plus faire usage de la fonction SA).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- Toutefois, avec l'arrivée du système européen Galileo, les États-Unis tentent actuellement de rendre le système GPS plus attrayant pour le secteur civil, notamment au niveau de l'aéronautique.
- Plusieurs moyens d'amélioration de la précision des systèmes GNSS ont été développés sous les désignations suivantes :

<p>ABAS-Airborne-based Augmentation System - Exemple : fonction RAIM-Receiver Autonomous Integrity Monitoring intégré aux récepteurs GNSS.</p> <p>GBAS-Ground-based Augmentation System - Exemple : LAAS-Local Area Augmentation ou GPS différentiel.</p> <p>SBAS-Satellite-based Augmentation System - Exemples : WAAS-Wide Area Augmentation (Amérique du Nord), EGNOS (Europe), MSAS (Japon) et SNAS (Chine).</p>

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- Exemple d'application du WAAS à l'aviation :

- Le 17 décembre 2008, Esterline (CMC Electronique) a présenté son récepteur GPS WAAS CMA-5024, certifié pour les approches LPV par Transports Canada et la FAA.
- Ce système permet de fournir des signaux d'approche de précision au pilote automatique et aux écrans EFIS.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GPS

- Des approches LPV peuvent aussi être réalisées avec EGNOS :

- En septembre 2013, l'hélicoptère situé à Donauwörth a été le premier à permettre des approches LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance) destinées aux hélicoptères.
- Ceci, dans le futur, devrait permettre l'amélioration des conditions d'accès aux héliports (ex. hôpitaux).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système GLONASS

- GLONASS signifie « *GLobal Navigation Satellite System* ».
- Géré par les militaires, ce système a été déclaré pleinement opérationnel en décembre 1995 avec 24 satellites permettant de fournir une couverture totale de la planète.
- Des satellites GLONASS-M (2003) et GLONASS-K1 (2011) de nouvelle génération ont commencé à être mis en orbite : ils disposent de deux fréquences civiles supplémentaires.
- Ils devraient théoriquement être suivis par des satellites GLONASS-K2.
- Malgré que les autorités russes maintiennent et développent GLONASS, ce pays collabore également au système européen Galileo.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

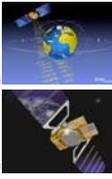
Le système GLONASS

- Le principe de fonctionnement du système GLONASS est quelque peu différent du système GPS : au lieu d'avoir tous les satellites émettant un code différent sur les mêmes fréquences comme c'est le cas avec le GPS, la constellation de satellites GLONASS émet un seul code sur des fréquences propres à chaque satellite (1602,5625 MHz à 1615,5000 MHz).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système Galileo



- Probablement le système de l'avenir en ce qui concerne la navigation aérienne car il est entièrement géré par le secteur civil.
- Ce système développé initialement en Europe a vu de nombreuses nations non européennes rallier le projet, notamment la Chine, l'Inde et Israël.
- Il était prévu qu'il soit opérationnel en 2008, mais beaucoup de retard a été pris.
- Actuellement, 24 satellites sont en orbite et opérationnels et deux autres sont non fonctionnels.
- Il était prévu d'avoir 30 satellites opérationnels en 2019 ...

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système Galileo



- Plusieurs catégories de précisions sont offertes dont la meilleure pourrait avoir un ordre de grandeur proche du millimètre !
- Le prix à payer est forcément en proportion de la précision souhaitée.
- Pour l'utilisateur commun, l'accès au service standard est gratuit.
- Toutefois, les fabricants de composants électroniques doivent payer des redevances pour chaque circuit de réception Galileo produit.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Le système Galileo



- Les fréquences utilisées par Galileo sont compatibles avec celles du GPS facilitant ainsi le développement de récepteurs mixtes Galileo/GPS.
- Enfin, les satellites Galileo sont également équipés de transpondeurs COSPAS-SARSAT permettant de retransmettre immédiatement au sol tout signal provenant de balises de détresse (= ELT-Emergency Locator Transmitter) fonctionnant à 406 MHz.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

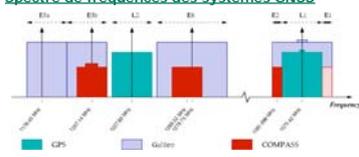
Le système Beidou (Compass)



- Le système Beidou (北斗), BDS ou Compass est un GNSS chinois.
- Même si la Chine participe au projet Galileo, elle a malgré tout développé son propre dispositif depuis 1983.
- Le système Beidou est pleinement opérationnel depuis 2020.
- Il a une couverture mondiale grâce à 30 satellites en orbite terrestre moyenne ainsi que 5 satellites géostationnaires.
- Il est compatible avec les autres systèmes GNSS.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Spectre de fréquences des systèmes GNSS



- Les fréquences des systèmes GNSS se situent dans la bande L des micro-ondes.
- Même si les bandes de fréquences du GPS, de Galileo et de Beidou se chevauchent, elles sont prévues pour ne pas se nuire mutuellement.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Tests des systèmes GNSS



- La majorité des systèmes GNSS ont des fonctions de tests internes.
- Dans certains cas, on utilisera un simulateur de satellites.
- Les ondes GNSS ne pénétrant pas dans les bâtiments, on installera des récepteurs GNSS dans les hangars afin de pouvoir effectuer des tests lorsque les avions sont à l'intérieur de ceux-ci.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Conclusions



- Depuis les années 1990, les systèmes GNSS occupent une part importante des moyens de navigation tant civils que militaires.
- Le TEA devra se tenir informé de l'évolution de ces systèmes.

© Département d'avionique Document à des fins de formation



Merci de votre attention

© Département d'avionique Document à des fins de formation