

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD MONTFRETIT



ESA

GALILEO

© Département d'avionique Document à des fins de formation

1

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD MONTFRETIT

Avant de débiter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

2

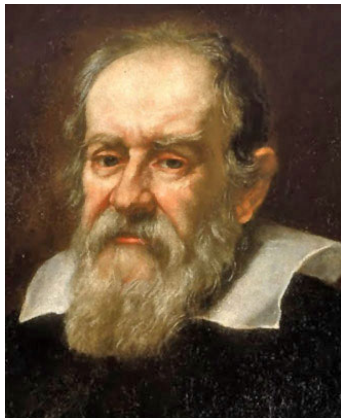
Présentation du cours



Satellite GIOVE-A

- Introduction.
- Généralités.
- Constitution du système.
- Les signaux du système.
- Conclusions.

Introduction



- Le système de navigation GNSS européen a été baptisé en mémoire de Galilée.
- Galilée ou *Galileo Galilei* (né à Pise le 15 février 1564 et mort à Arcetri près de Florence, le 8 janvier 1642) est un physicien et astronome italien du XVIIe siècle, célèbre pour avoir jeté les fondements des sciences mécaniques ainsi que pour sa défense opiniâtre de la conception copernicienne de l'univers.



Introduction



Once fully deployed, Galileo will consist of 24 operational satellites and six in-orbit spares

[Lien vers YouTube](#)

© Département d'avionique
Document à des fins de formation

5



Généralités

Décisions, échéancier et budget



Pierre GILLARD/2005-4158

Parlement européen à Bruxelles

- Le 26 mars 2002, les ministres des transports européens réunis à Bruxelles ont officiellement donné leur accord pour le développement définitif du système européen de navigation par satellites nommé « GALILEO ».
- Si l'échéancier initial avait été respecté, le système aurait dû être opérationnel en 2008.
- Il l'est depuis ... 2024 !

© Département d'avionique
Document à des fins de formation

6

Généralités

Décisions, échéancier et budget



- Le coût global du système est actuellement estimé à 3,4 T€ (environ 5,5 T\$ canadiens) et l'exploitation annuelle est estimée à 220 M€ (360 M\$).
- GALILEO est subsidé par l'ESA (*European Space Agency*) et par l'Union Européenne à raison de 50% par partenaire représentant 1/3 du financement.
- Les 2/3 du financement proviennent de fonds et d'investissements privés.

Généralités

Décisions, échéancier et budget



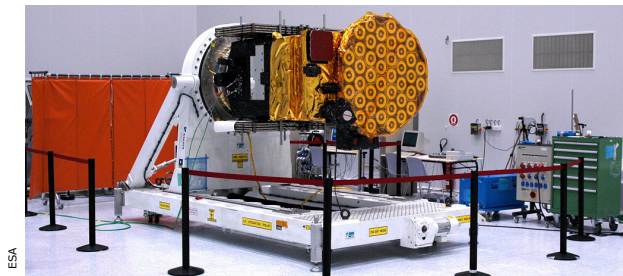
- L'Union Européenne a créé l'EUSPA-European Union Agency for Space Program afin de gérer et d'opérer GALILEO, mais aussi EGNOS et Copernicus.
- On estime que 15.000 à 20.000 emplois seront créés par le projet GALILEO et que 2.000 emplois sont liés à son exploitation.

Généralités

Décisions, échéancier et budget

- Les opérateurs du système GALILEO pourront obtenir des revenus des utilisateurs de deux manières :

- **Royalties** des manufacturiers des composants électroniques servant à la fabrication des récepteurs.
- **Palements** des **services spéciaux** (précision supérieure).



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

9

Généralités

Comparaison avec le GPS

- Le système GALILEO est :

- ✓ **Compatible** avec le système GPS.
- ✓ Totalement **indépendant** du système GPS.

- De plus, les performances du système GALILEO seraient supérieures au GPS de la génération « Block IIF/Block III ».
- Deux fréquences sont accessibles pour le service de base.
- GALILEO informe les utilisateurs de tout problème d'intégrité du système dans des délais très courts (inférieurs à quelques secondes).
- Contrairement à BeiDou, au GPS et au GLONASS, dont la gestion est aux mains des militaires, GALILEO est géré exclusivement par des organismes civils.

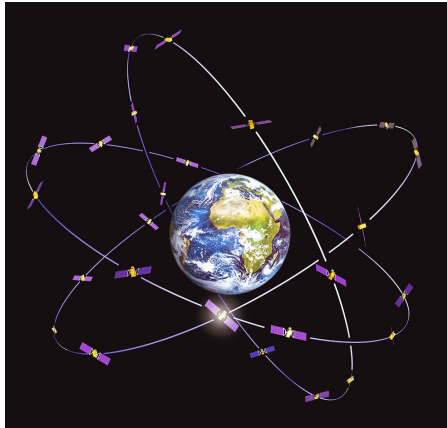
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

10

Constitution du système

Le segment spatial

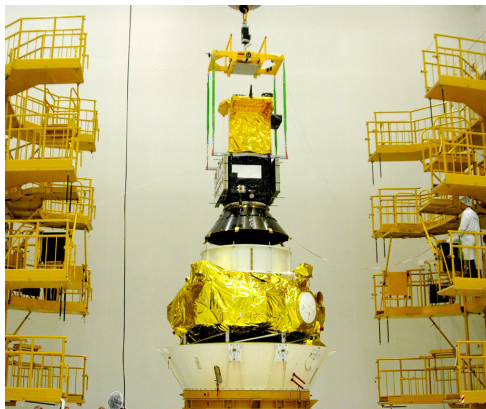


- Le système GALILEO compte au minimum 24 satellites opérationnels (30 effectifs) et plusieurs en réserve.
- Ils sont déployés sur trois orbites terrestres moyennes inclinées de 56° par rapport à l'équateur et situées à 23.616 km d'altitude.

Inventaire des satellites GALILEO

Constitution du système

Le segment spatial



GIOVE-B installé sur le lanceur

- À partir de 2005, deux satellites GSTB (GALILEO System Test Bed) ont été envoyés dans l'espace en vue de définir des critères technologiques.
- Il s'agit des satellites GIOVE-A (28-12-2005) et GIOVE-B (27-04-2008).

Constitution du système

Le segment spatial



- Quatre autres satellites ont été lancés à partir de 2009 pour valider les segments spatial et utilisateurs (IOV – *In Orbit Validation*).
- Après le lancement dans la foulée de plusieurs autres satellites, GALILEO a été partiellement opérationnel à partir de 2016.
- GALILEO est définitivement opérationnel depuis 2024 (FOC – *Full Operational Capability*).

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

13

Constitution du système

Le segment spatial

- Tous les satellites GALILEO sont équipés de deux horloges de précision :

- ✓ **RAFS – Rubidium Atomic Frequency Standard** : une horloge atomique au Rubidium à environ 6 GHz.
- ✓ **PHM – Passive Hydrogen Maser** : une horloge passive maser à Hydrogène à environ 1,4 GHz.



Horloge au rubidium

- Même si ces horloges sont de technologies différentes, le principe de base reste le même : forcer un atome à passer d'un état énergétique inférieur vers un état supérieur en produisant une micro-onde de fréquence extrêmement stable.

Horloge PHM (vidéo) (YouTube)

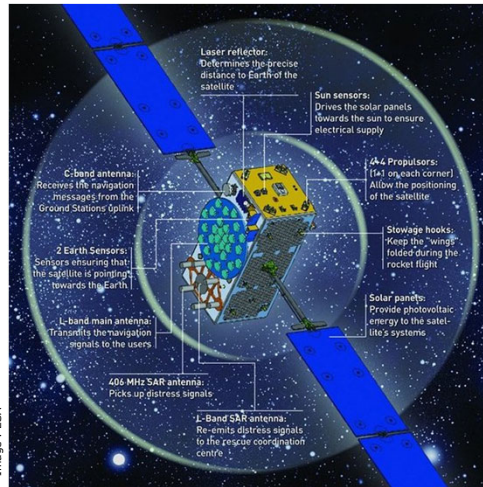
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

14

Constitution du système

Le segment spatial



- Ces horloges seront régulièrement calibrées avec des horloges au sol encore plus stables et précises : des horloges au Césium.
- Les horloges au Césium serviront à établir la référence temporelle appelée « GALILEO System Time ».

Éléments externes d'un satellite GALILEO

© Département d'avionique

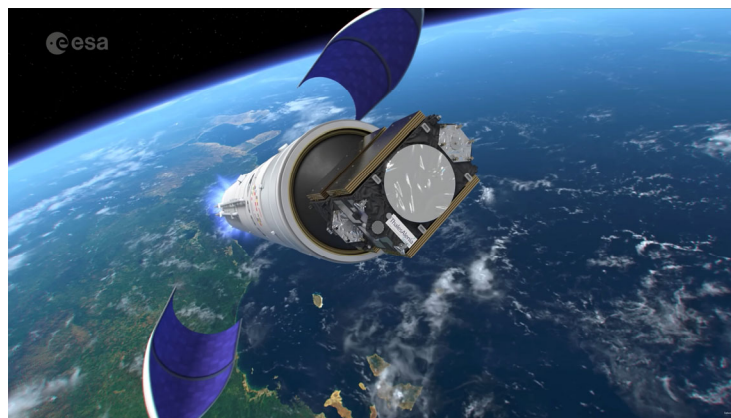
Document à des fins de formation

15

Constitution du système

Le segment spatial

- Les satellites GALILEO de seconde génération :



[Lien vers YouTube](#)

© Département d'avionique

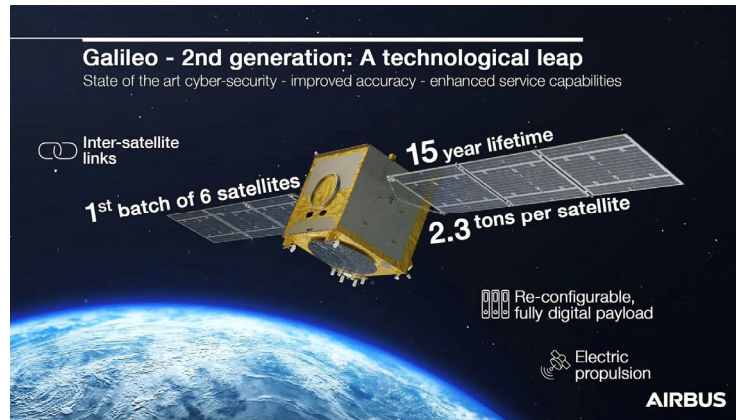
Document à des fins de formation

16

Constitution du système

Le segment spatial

- Les satellites GALILEO de seconde génération :



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

17

Constitution du système

Le segment de contrôle



Station IOT-Galileo In-Orbit Test
fonctionnant en bande L à Redu (Belgique).



Images : Galileo GNSS

Galileo
GCC en
Allemagne.

- Le segment de contrôle du système GALILEO est assuré par une multitude de stations au sol (GSS-GALILEO Sensor Stations) implantées sur le territoire de l'Union Européenne ainsi que sur des territoires d'outre-mer.
- Les stations GSS communiquent leurs mesures au GCC (GALILEO Control Center) par un réseau de communication redondant (pour améliorer la fiabilité des communications).

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

18

ENNA ÉCOLE NATIONALE
D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD MONTPETIT

Constitution du système

Le segment de contrôle

GALILEO ON THE GROUND

1 Galileo sensor stations, reversing the way satellite navigation usually operates, work together to pinpoint a Galileo satellite's orbital position, its clock rate and signal health.

2 Sensor station data gets fed through to the twin Galileo control centres so a set of corrections can be compiled.

3 These corrections are uplinked to the satellites by uplink stations every 100 minutes or less, for rebroadcast within the Galileo signal, keeping the system sufficiently accurate.

4 Telecommands to the satellite platforms are uplinked by Telemetry, Tracking and Command (TT&C) stations.

MAP OF GALILEO GLOBAL GROUND SEGMENT

- Les deux GCC contrôlent notamment l'intégrité du fonctionnement du système ainsi que la synchronisation des horloges des satellites et des stations et sol.
- Les liaisons vers les satellites s'effectuent par des stations au sol ULS (Up-Link Stations) émettant dans les bandes micro-ondes S et C.

Image : ESA

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

19

[illegible]

20

Constitution du système

Le segment utilisateurs

- Le système GALILEO propose les services suivants :

- ✓ **Service ouvert** (OS-Open Service).
- ✓ **Service de haute précision** (HAS-High Accuracy Service).
- ✓ **Service public réglementé** (PRS-Public Regulated Service).
- ✓ **Service de recherche et de sauvetage** (SAR-Search and Rescue).

- Simultanément, le système GALILEO propose le service de sauvegarde de la vie (Sol-Safety of Life).

Constitution du système

Le segment utilisateurs

- Le service ouvert (OS) :**



Image : Mercedes-Benz



Image : Siemens

- Constitué des deux signaux de navigation émis sur des fréquences distinctes E1 et E5.
- Permet d'obtenir des informations de position et de temps.
- Précision avec une fréquence : 5 m horizontalement et 35 m verticalement.
- Précision avec deux fréquence : 4 m horizontalement et 8 m verticalement.
- Gratuit et théoriquement plus précis que le GPS.

Constitution du système

Le segment utilisateurs

• Le service de haute précision (HAS) :

- Donne des informations cryptées sur les fréquences ouvertes E1 et E5.
- Le service donne accès également à un troisième signal de navigation établi sur une fréquence E6 distincte des deux précédentes.
- L'utilisation de cette troisième fréquence et de ce troisième signal de navigation permet aux usagers de ce service d'améliorer la précision (20 cm horizontalement et 40 cm verticalement).
- Avec des signaux complémentaires provenant de stations terrestres, la précision peut descendre à éventuellement moins de 10 cm.
- Le service est payant.

Constitution du système

Le segment utilisateurs

• Le service public réglementé (PRS) :



Image : Gendarmerie



Image : Douanes

- Destiné à des utilisateurs d'institutions publiques qui nécessitent des informations précises de position et de temps de manière durable et fiable.
- Les signaux cryptés destinés au PRS sont accessibles sur les fréquences E1 et E6.
- Ces signaux PRS ne peuvent être décodés et interprétés que grâce à des récepteurs spécifiques.
- L'accès à ce service est contrôlé.
- Des précautions sont prises contre le brouillage (jamming) et la génération de faux signaux (spoofing).

Constitution du système

Le segment utilisateurs

• Le service de recherche et de sauvetage (SAR) :



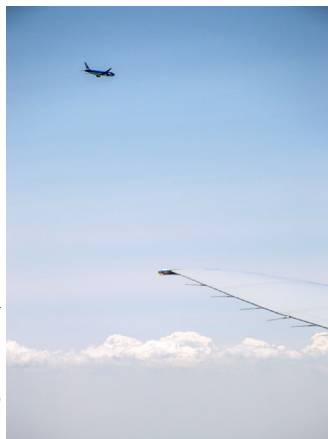
- La majorité des satellites GALILEO embarquent des transpondeurs COSPAS-SARSAT permettant de relayer les informations en provenance de balises de détresse (ELT) fonctionnant en 406 MHz.
- Les signaux des ELT sont reçus sur 406 MHz et retransmis entre 1.544 MHz et 1.545 MHz (bande L).
- Ce service SAR est autonome et distinct des autres services GALILEO.

Liste des satellites GALILEO avec capacités SAR

Constitution du système

Le segment utilisateurs

• Le service de sauvegarde de la vie (SoL) :

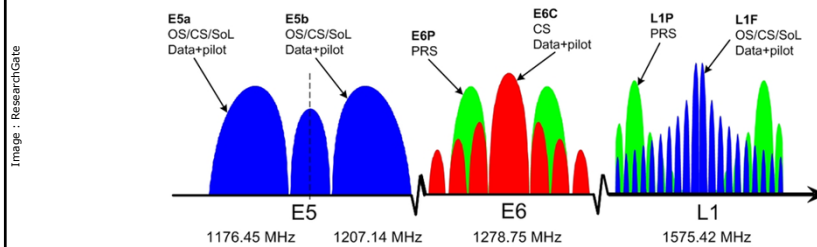


- Ce service présent sur les fréquences E1 et E5 donne des informations sur l'intégrité du système avec un temps d'avertissement défini.
- Il a été conçu pour les applications critiques comme la navigation aérienne ou la signalisation ferroviaire.
- Les données sur l'intégrité du système peuvent être cryptées et sont incluses dans une partie du service ouvert (OS).

Les signaux du système

Fréquences porteuses du système GALILEO

- 10 signaux GALILEO sont modulés sur trois fréquences E1, E5 (E5a et E5b) et E6 :



- On constate que le système GALILEO utilise deux fréquences identiques au système GPS :

- E5a correspondant à L5.
- L1-E1 correspondant à la fréquence L1.

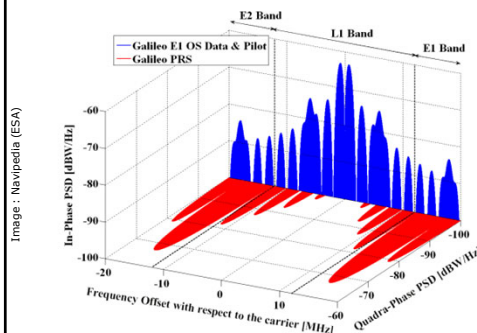
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

27

Les signaux du système

Fréquence E1


E1 : 1.575,42 MHz

Composante :	Modulation :
OS	MBOC
SoL	MBOC
PRS	BOCcos (15;2,5)

- Les trois composantes peuvent être utilisées de manière autonome ou en combinaison avec d'autres signaux selon la qualité et la précision requises pour l'application.

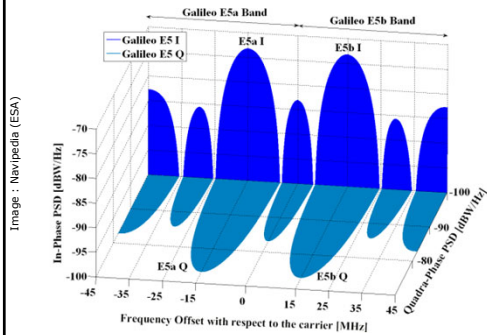
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

28

Les signaux du système

Fréquence E5



E5 : 1.191,795 MHz

Sous-porteuse : 15,345 MHz

E5a : 1.176,45 MHz

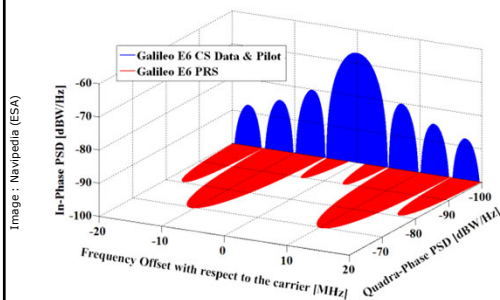
E5b : 1.207,14 MHz

Composante :	Modulation :
OS + data	AltBOC
OS + data + SoL	AltBOC

- Sur E5a, on trouve un deuxième signal OS mélangé avec des données de navigation.
- Sur E5b, nous avons en plus un signal SoL.

Les signaux du système

Fréquence E6



E6 : 1.278,75 MHz

Composante :	Modulation :
HAS + data	MDPB(5)
PRS + data	BOCcos (10;5)

- La largeur de bande du signal E6 est de 40 MHz.

Les signaux du système

Puissance

- Le niveau minimal de puissance reçue à la surface de la Terre, pour tout angle d'élévation égal ou supérieur à 10°, sur la base d'une antenne de récepteur de 0 dBi, isotrope et idéalement adaptée, est de -152 dBW pour les signaux E5, E6 et E1.



Photo : Airbus

Satellite GALILEO de seconde génération produit par Airbus à Friedrichshafen (Allemagne)

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

31

Conclusions



ESA

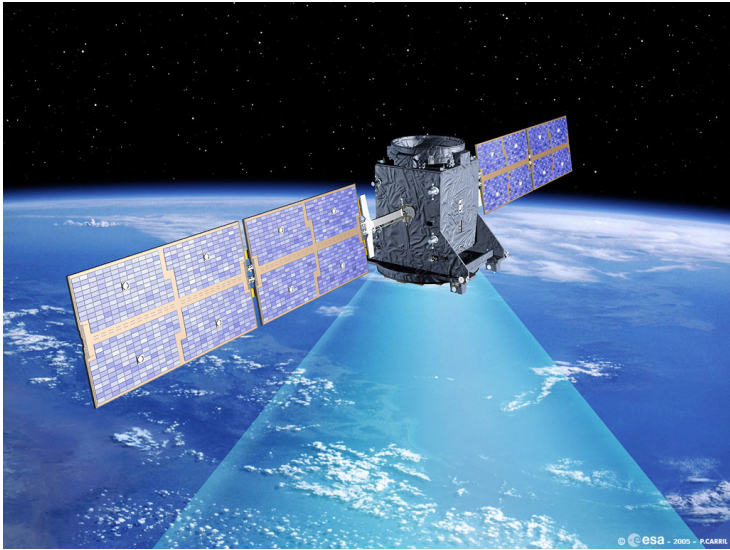
- Le fait qu'il soit géré par des organismes civils démarque GALILEO des systèmes GPS, GLONASS et BeiDou.
- GALILEO est compatible avec les systèmes BeiDou et GPS par l'usage de certaines fréquences communes, mais distinct de ceux-ci par son fonctionnement.
- Du fait de ses applications en aviation, le technicien en avionique suivra attentivement l'évolution du système GALILEO.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

32

ÉNA ÉCOLE NATIONALE
D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD MONTFRETIT



ESA

© ESA - 2005 - P. CARRE

Merci de votre attention

© Département d'avionique Document à des fins de formation

33