

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE



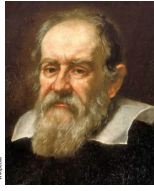
GALILEO

© Département d'avionique Document à des fins de formation

1

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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 **XVII^e siècle**, célèbre pour avoir jeté les fondements des sciences mécaniques ainsi que pour sa défense opiniâtre de la conception copernicienne de l'univers.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

4

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Généralités

Décisions, échéancier et budget



- Le **coût global** du système est actuellement estimé à **3,4 TC** (environ 5,5 T\$ canadiens) et l'**exploitation annuelle** est estimée à **220 MC** (360 M\$).
- GALILEO est subside 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**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

7

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Avant de débiter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

2

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

8

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Présentation du cours



Satellite GIOVE-A

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

3

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Généralités

Décisions, échéancier et budget



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

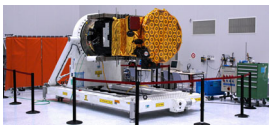
ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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**.
- Paiements** des **services spéciaux** (précision supérieure).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

9

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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

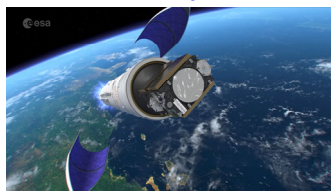
13

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment spatial

- Les satellites GALILEO de seconde génération :



Lien vers YouTube

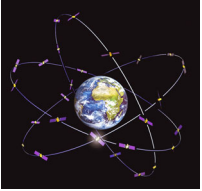
© Département d'avionique Document à des fins de formation

16

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

11

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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.
- 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 au rubidium

Horloge PHM (vidéo) (YouTube)

© Département d'avionique Document à des fins de formation

14

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment spatial

- Les satellites GALILEO de seconde génération :



Galileo - 2nd generation: A technological leap
Steps of this 2nd cycle mission: improved accuracy, enhanced user capabilities

1st batch of 6 satellites

15 year lifetime

2.3 tons per satellite

RF No. configurable, fully digital payload

Electric propulsion

AIRBUS

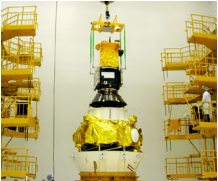
© Département d'avionique Document à des fins de formation

17

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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).

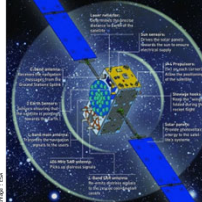
© Département d'avionique Document à des fins de formation

12

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment spatial



Éléments externes d'un satellite GALILEO

- 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 ».

© Département d'avionique Document à des fins de formation

15

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment de contrôle



Station GSC-Online In-Orbit Test, fonctionnement en bande L & Redu (Sulgriger)

Galileo GSC 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).

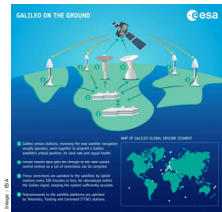
© Département d'avionique Document à des fins de formation

18

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment de contrôle



- 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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

19

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment utilisateurs

- Le service ouvert (OS) :**
 - 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.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

22

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

25

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment de contrôle



© Département d'avionique Document à des fins de formation

20

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

23

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

26

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

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).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

21

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Le segment utilisateurs

- Le service public réglementé (PRS) :**
 - 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).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

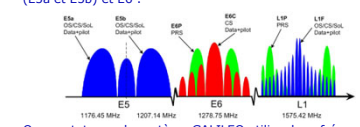
24

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Les signaux du système

Fréquences porteuses du système GALILEO

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



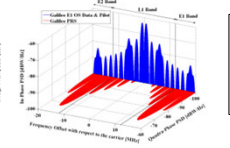
- On constate que le système GALILEO utilise deux fréquences identiques au système GPS :
 - E5a correspondant à L5.
 - L1-E1 correspondant à la fréquence L1.

© 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

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.



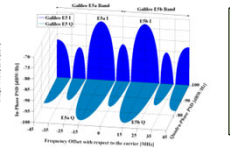
Satellite GALILEO de seconde génération produit par Airbus à Friedrichshafen (Allemagne)

© Département d'avionique Document à des fins de formation

31

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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

29

Conclusions



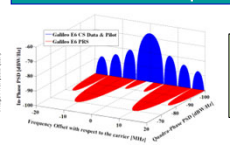
- Le fait qu'il soit géré par des organismes civils démarque GALILEO des systèmes GPS, GLONASS et BeiDou.
- GALILEO est compatible avec les systèmes BeiDou et GPS par l'usage de certaines fréquences communes, mais distinct de ceux-ci par son fonctionnement.
- Du fait de ses applications en aviation,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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

32

Les signaux du système

Fréquence E6



E6 : 1.278,75 MHz

Composante :	Modulation :
HAS + data	MDP(5)
PRS + data	BOCCos (10/5)

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

30

Merçi de votre attention



© Département d'avionique Document à des fins de formation

33