ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Photo © Pierre GILLARD/2015-413461

SATCOM

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Avant de débuter le cours …

Merci !

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Présentation du cours

- Introduction.
- Définitions.
- Orbites.
- Gammes d'ondes.
- Équipement embarqué.
- Antennes SATCOM
- Inmarsat.
- EAN-European Aviation Network.
- Iridium.
- Viasat.
- Eutelsat - OneWeb.
- Gogo.
- Starlink Aviation.

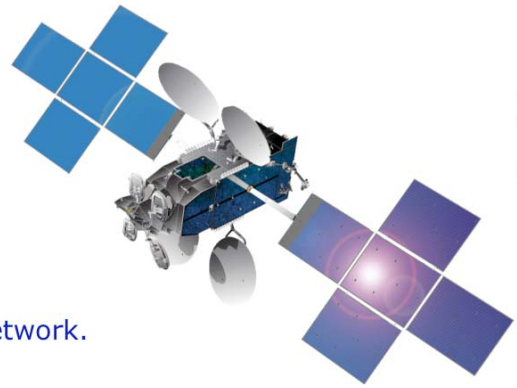


Image : Viasat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Présentation du cours

- Intelsat.
- Autres systèmes.
- Évolution.
- Installation.
- Problèmes rencontrés.
- Réglementation.
- Exigences ETOPS en matière de radiocommunication.
- Autres systèmes utilisant les satellites.
- Systèmes de communication par satellites militaires.
- Communications avec les drones (UAVs).
- Conclusions.

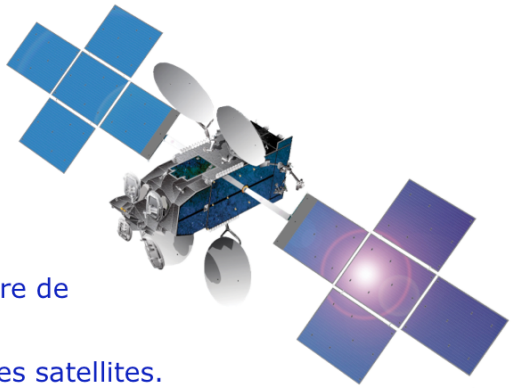
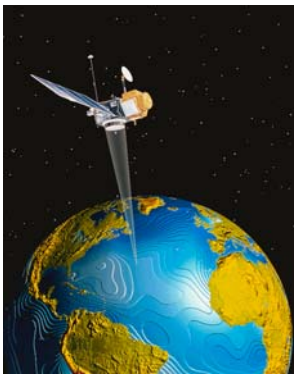


Image : Viasat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Introduction



Iridium

- Comme le nom le laisse supposer, les systèmes SATCOM font usage de satellites de communication.
- Ces satellites sont exploités par des compagnies privées.
- Plusieurs opérateurs existent; l'utilisateur aura un choix à faire.

VIDÉO : exemple de satellite de communication

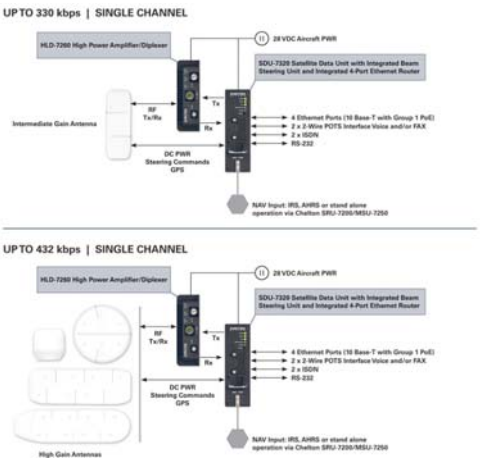
- Plusieurs opérateurs proposent des services dédiés à l'aéronautique.
- Ceux-ci peuvent avoir une approche technique distincte.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Introduction

- Les systèmes SATCOM peuvent transmettre et/ou recevoir des signaux analogiques (voix) ou numériques.



Chelton

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Introduction

- Si au départ, les communications par satellites étaient relativement chères, depuis quelques années, les prix ont quelque peu diminué avec l'accroissement de la concurrence.
- Voici quelques exemples avec Iridium Next :

Type de communication :	Prix :
Voix	de 1,20 $/min à 3 $/min (1)
Données	environ 2 $/Mo (2)
Rapport de position	entre 0,06 $ et 0,15$ le rapport (2)

(1) Avril 2021, selon le forfait – (2) Mars 2016.

Imaginons une mise à jour du logiciel de votre téléphone cellulaire correspondant à 200 Mo. Sans vous en rendre compte, elle s'effectue automatiquement à bord de l'avion par le système satellite. Le coût de votre mise à jour est donc d'environ 400 $!

- JetConnex (Inmarsat 5) coûterait environ US$ 15.000/mois.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Introduction

- *Exemple extrême :* vol de 14h34 d'un Global 6000 depuis l'Arabie Saoudite jusqu'au Maroc et en Mauritanie.

Image : ARINC Direct

Temps de connexion Inmarsat SBB : **14 heures 34 minutes** !
Données transférées : **1664,16 Mo** (300 Ko/s).
Coût de la connexion SBB : **7,5 US$ / min**.
Facture totale : **12 481,20 US$** !

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Introduction

Le SATCOM est un maillon des systèmes IFE récents

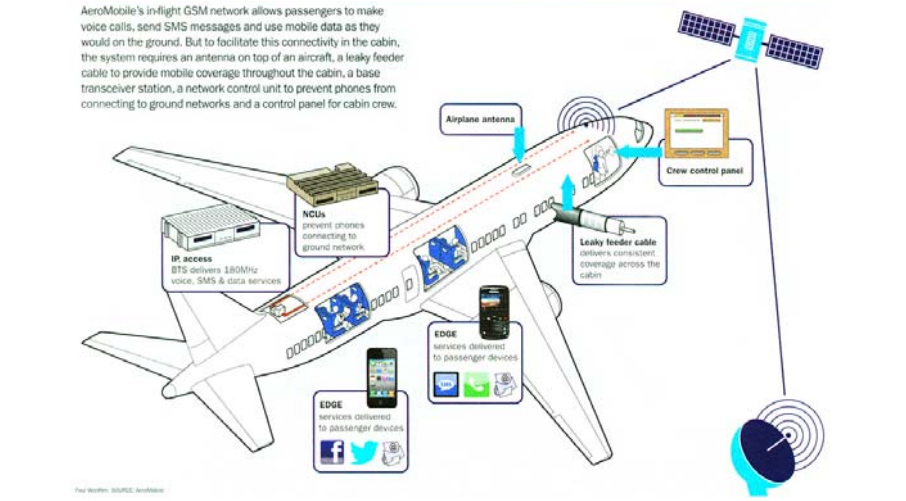


Image : Flight International

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Définitions

Services

- Voix (*Voice*): Transmissions vocale analogique, ou via Internet ou des connexions IP (VoIP-*Voice over Internet Protocol*). Une fois au sol, le signal vocal sera acheminé à son destinataire par un réseau public de téléphonie (PSTN-*Public Switched Telephone Network*) ou par un fournisseur de services Internet (ISP-*Internet Service Provider*).
- Données (Data): Les données transmises par les systèmes SATCOM embarqués peuvent être relatives à l'aéronef ou au vol (exemple : ACARS-*Aircraft Communication Addressing and Reporting System*), ou pour les systèmes de communication destinés aux passagers dans la cabine (ordinateurs, téléphones cellulaires, etc.) ou pour les systèmes de divertissement (IFE-*In-flight Entertainment*).

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Définitions

Les segments d'un système de satellites

- On a l'habitude de parler de trois segments qu'il s'agisse d'un système de radiocommunication ou de radionavigation par satellites :

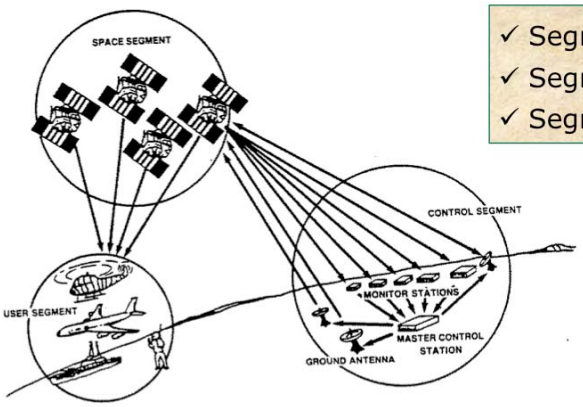


Image : Navstar

- ✓ Segment **spatial**.
- ✓ Segment de **contrôle**.
- ✓ Segment **utilisateur**.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Définitions

Faisceaux

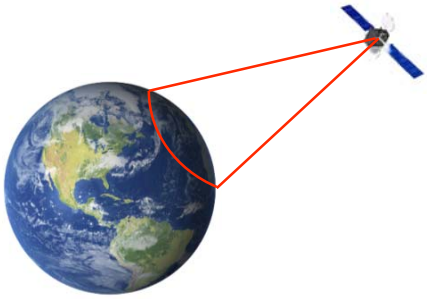


Illustration : Département d'avionique

- Un satellite émet et reçoit les ondes électromagnétiques sous la forme d'un faisceau (*Beam*).
- La zone terrestre couverte par le faisceau s'appelle l'empreinte (*Footprint*).
- Un faisceau global peut être subdivisé en faisceaux étroits, régionaux ou *spots*.

- Les faisceaux peuvent avoir des formes différentes selon les usages et les zones couvertes.
- Les faisceaux étroits peuvent aussi être orientés selon les besoins du moment.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Définitions

Liaisons

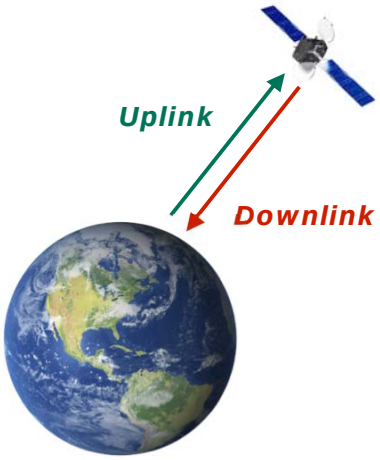


Illustration : Département d'avionique

- Liaison montante (*Uplink*) : Direction de la propagation de l'onde électromagnétique depuis une station au sol ou d'un aéronef vers le satellite.
- Liaison descendante (*Downlink*) : Direction de la propagation de l'onde électromagnétique depuis le satellite vers une station au sol ou vers un aéronef.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Définitions

Liaisons

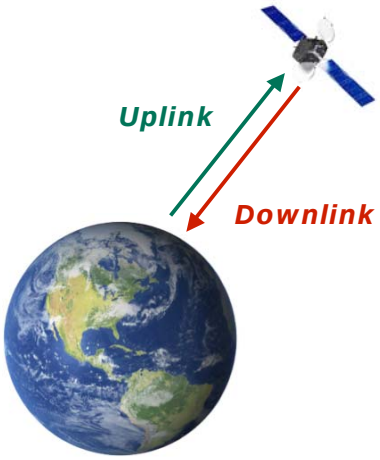


Illustration : Département d'avionique

- Latence : Exprime le temps nécessaire à un paquet de données pour passer de la source à la destination à travers un réseau.
- Valeurs typiques en matière de liaison par satellites en comparaison avec l'accès à un disque dur d'ordinateur :

  - **GEO :** env. 600 ms.
  - **LEO :** env. 20-50 ms.
  - **Disque dur :** env. 2-5 ms.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Définitions

Constellations de satellites

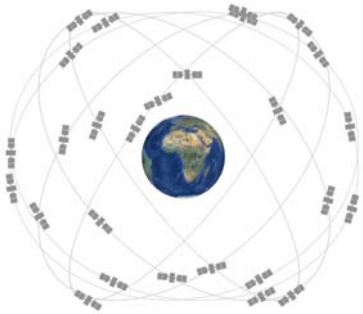


Image : www.gps.gov

- Une constellation de satellites est un ensemble de satellites de la même famille ayant des fonctions semblables.
- Ainsi, la constellation de satellites d'Iridium Next compte 66 satellites, la constellation GPS au minimum 24 satellites, GLONASS 24 satellites, etc.

- Selon la position des satellites au-dessus de la Terre, ceux-ci assurent une couverture permettant la liaison.
- Certaines constellations permettent d'obtenir une couverture complète de la surface de la Terre (exemple : Iridium Next) ou partielle (exemples : certains services d'Inmarsat et de Viasat).

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

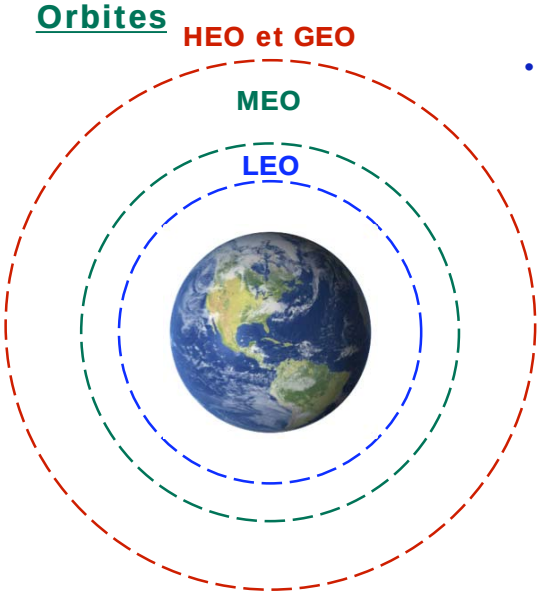
Orbites

- Du fait de l'attraction de la Terre, un satellite envoyé dans l'espace gravite autour de celle-ci au même titre, par exemple, que la Lune qui est considérée comme un satellite naturel de la Terre.
- Le parcours d'un satellite, naturel ou non, autour d'un astre est appelé « orbite ».
- De manière générale, une orbite est elliptique et un des deux foyers est l'astre.
- Selon la distance séparant le centre de l'astre et le satellite, celui-ci évolue à une vitesse variable.
- Dans le cas de la très grande majorité des satellites artificiels, l'orbite est circulaire et centrée autour de la Terre; de ce fait la vitesse du satellite est constante.
- Au plus un satellite est proche de la Terre, au plus sa vitesse est élevée.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Orbites



- Trois types d'orbites ont été définis pour les satellites évoluant autour de la Terre :

Orbite :	Distance (*) :
LEO	180 Km à 2.000 Km
MEO	2.000 Km à 35.780 Km
HEO	> 35.780 Km

(*) distance depuis la surface de la Terre

- ✓ **LEO** – *Low Earth Orbit* – orbite basse.
- ✓ **MEO** – *Mid Earth Orbit* – orbite moyenne.
- ✓ **HEO** – *High Earth Orbit* – orbite haute.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Orbites

Image : NASA

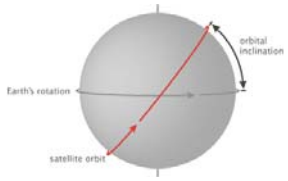
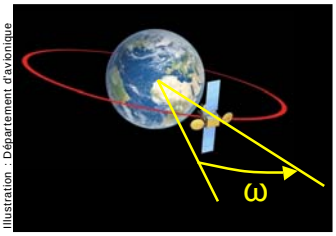


Illustration - Département d'avionique



- On peut aussi définir l'inclinaison d'un plan orbital comme étant l'angle entre le plan orbital des satellites et le plan équatorial de la Terre.
- Un cas particulier d'une orbite haute est l'orbite géostationnaire (GEO-*Geosynchronous Earth Orbit*).
- À une distance de 42.164 Km du centre de la Terre (environ 36.000 Km d'altitude), un satellite évoluera avec la même vitesse angulaire que celle de la Terre, ce qui donnera l'impression que le satellite demeure au-dessus du même point de la surface terrestre.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Orbites

Orbites des principaux systèmes satellites

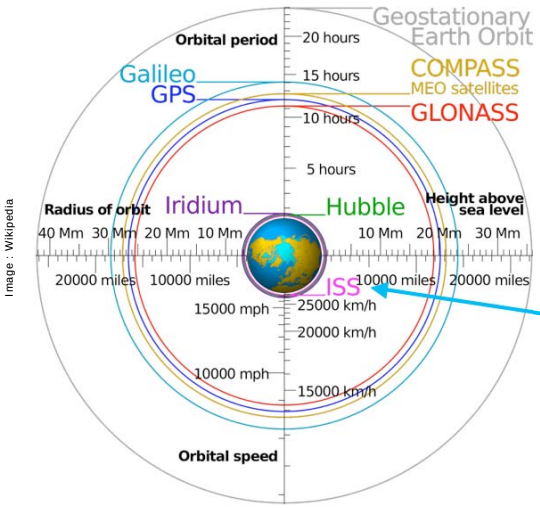


Image : Wikipedia

- Inmarsat : GEO.
- Iridium : LEO.
- Viasat : GEO.

Image : NASA

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Orbites

- Lorsque l'on utilise des liaisons avec des satellites GEO, il est nécessaire de se souvenir qu'il existe un délai pouvant être considéré comme non négligeable entre le moment de l'émission et celui de la réception.
- Sachant que l'onde électromagnétique voyage à la vitesse de la lumière, voici le temps mis par une onde pour effectuer le trajet aller-retour de la surface de la Terre vers des satellites LEO et GEO :

Orbite :	Distance :	Temps :
LEO	780 Km	0,0052 s
GEO	36.000 Km	0,24 s

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Orbites

Problème des débris de l'espace

Image : source Internet

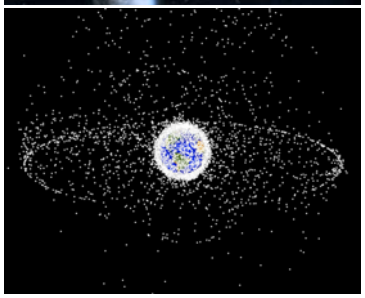


Image : NASA

Les débris spatiaux en chiffres

22 000 : nombre de débris spatiaux plus grands que 10 cm

1 million : nombre de débris spatiaux plus grands que 1 cm

11 m : distance minimale entre le second étage d'une fusée soviétique Kosmos et d'un satellite chinois abandonné Change Zheng, en octobre quand ils se sont frôlés, laissant craindre une collision qui aurait créé des milliers de débris spatiaux supplémentaires

80 % des 50 débris spatiaux les plus dangereux ont été lancés avant 2000

2700 : nombre de satellites opérationnels en orbite

3300 : nombre de satellites abandonnés en orbite

50 000 : nombre de lancements de satellite d'ici 2030

Sources : UCS, NASA, ESA

- Danger de collisions lors du lancement et en orbite.
- Syndrome de Kessler (NASA 1978).

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gammes d'ondes

- Les systèmes SATCOM fonctionnent dans les micro-ondes :

Dénomination de la bande	*Fréquences*	*Longueurs d'ondes*
L-band	1 GHz – 2 GHz	30 cm – 15 cm
S-band	2 GHz – 4 GHz	15 cm – 7.5 cm
C-band	4 GHz – 8 GHz	7.5 cm – 3.75 cm
X-band	8 GHz – 12.5 GHz	3.75 cm – 2.4 cm
Ku-band	12.5 GHz – 18 GHz	2.4 cm – 1.67 cm
K-band	18 GHz – 26.5 GHz	1.67 cm – 1.1 cm
Ka-band	26.5 GHz – 40 GHz	1.1 cm – 0.75 cm
Millimeter-band	40 GHz – 300 GHz	7.5 mm – 1 mm
Sub-millimiter-band	300 GHz – 3 000 GHz	1 mm – 0.1 mm

- Les principales bandes utilisées sont : L, C, Ku, K et Ka.
- Elles se trouvent donc dans les bandes UHF, SHF et EHF.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gammes d'ondes

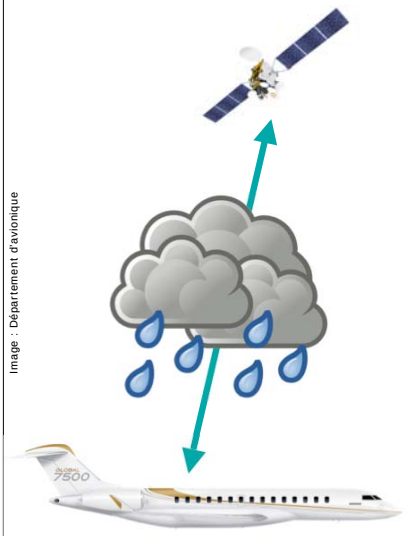


Image : Département d'avionique

- La bande L n'est pas très affectée par les conditions météorologiques.
- Par contre, les bandes Ku, K et Ka le sont d'autant plus que la fréquence augmente.
- Certaines techniques sont implantées afin de remédier à ce problème.
- Le problème est la sensibilité de cette gamme d'onde au moindre obstacle entre l'émetteur et le récepteur.
- Pour éviter des interruptions du signal, on peut utiliser les émetteurs de plusieurs satellites diffusant le même signal transmis avec des délais bien définis.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Équipement embarqué

Rockwell Collins

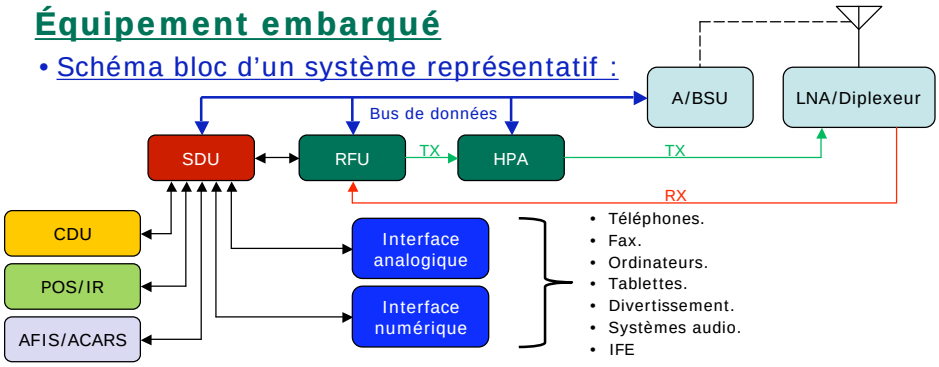
- L'équipement embarqué varie beaucoup selon les bandes de fréquences utilisées, les fournisseurs de services satellites et les manufacturiers des systèmes SATCOM ainsi que selon les besoins des opérateurs des aéronefs.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



A/BSU – *Antenna/Beam Steering Unit*

Image : Cobham

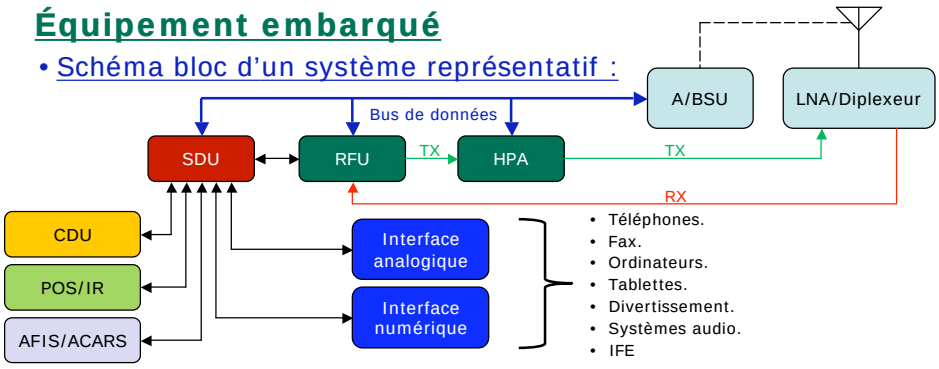
- L'ASU sert à gérer l'orientation d'une antenne mobile vers le satellite.
- Le BSU sert à gérer l'orientation du faisceau d'une antenne à réseau de phase vers le satellite.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



DLNA – *Diplexer & Low Noise Amplifier*

Image : 2040-parts.com

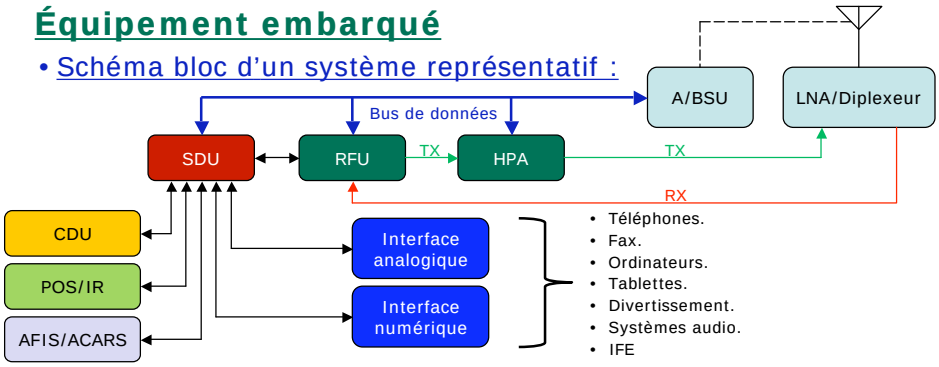
- Sépare les signaux d'émission et de réception.
- Amplifie le signal reçu.
- Filtre le signal à émettre.
- Inmarsat Type A : seulement pour la voix.
- Inmarsat Type F : pour SwiftBroadband.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



RFU – *Radio Frequency Unit*

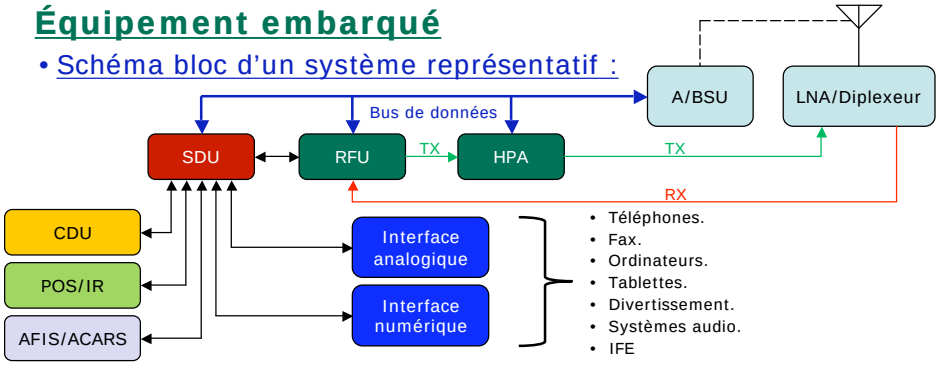
- Convertit le signal de réception en bande L, Ka ou Ku vers une fréquence intermédiaire et l'envoie au SDU.
- Convertit le signal d'émission d'une fréquence intermédiaire venant du SDU vers la bande L, Ka ou Ku.
- Fournit une fréquence stable pour le système Doppler du SATCOM.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



HPA – *High Power Amplifier*

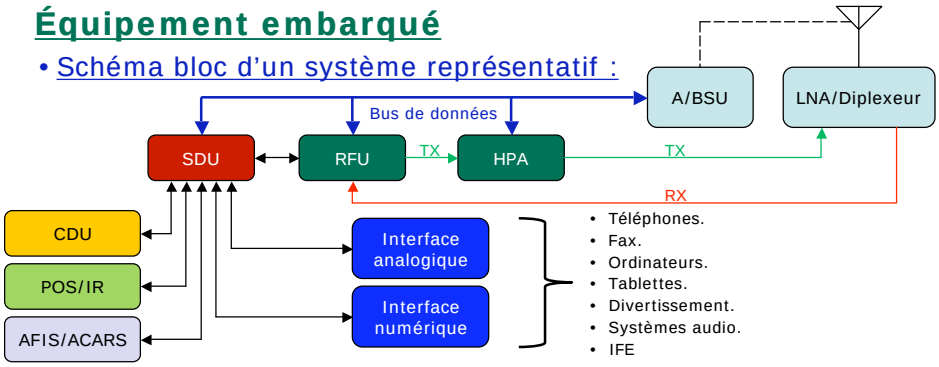
- Amplifie le signal d'émission en bande L, Ka ou Ku provenant du RFU et l'envoie au LNA/Diplexeur (DLNA).
- Ajuste la puissance de sortie afin de rencontrer les conditions optimales d'émission.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



SDU – *Satellite Data Unit*

Image : Thales

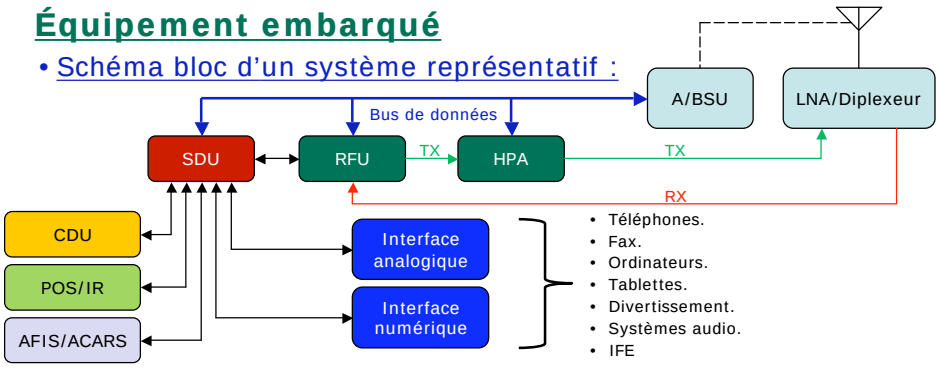
- Il s'agit de l'élément central du système SATCOM.
- Module et démodule les signaux FI.
- Gère l'ensemble des composants via un bus de données.
- Est le nœud de l'ensemble des données et de la voix.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



CDU – *Control & Display Unit*

Image : Esterline

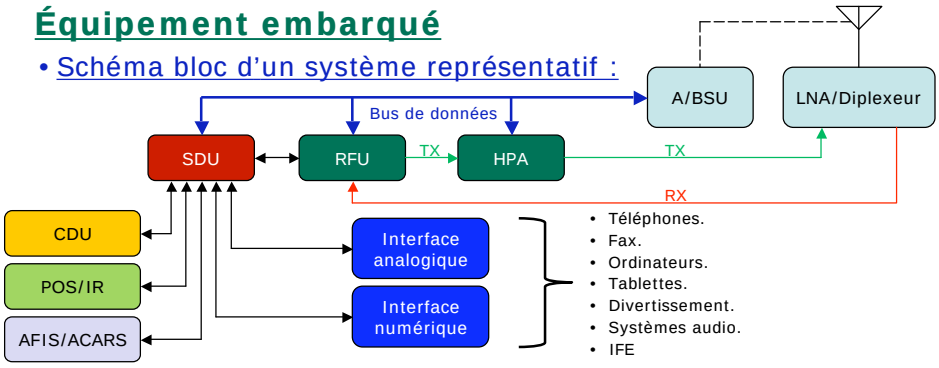
- Il s'agit de l'unité de dialogue avec le pilote.
- Le CDU est connecté au FMC (FMS), mais aussi éventuellement aux systèmes AFIS et/ou ACARS.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



Systèmes de navigation et d'assiette

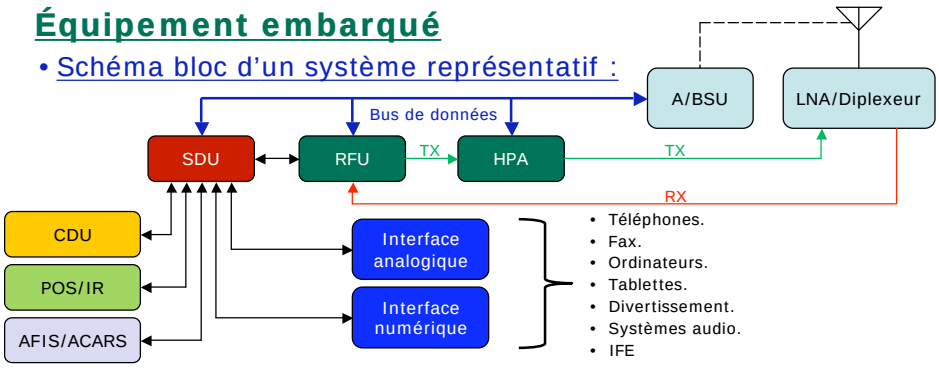
- Pour pouvoir orienter l'antenne ou le faisceau de l'antenne vers le satellite, il est impératif de connaître la position en trois dimensions de l'aéronef ainsi que son assiette.
- Les systèmes impliqués : FMS ou GPS, IRS, IRU ou AHRS.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



AFIS et/ou ACARS

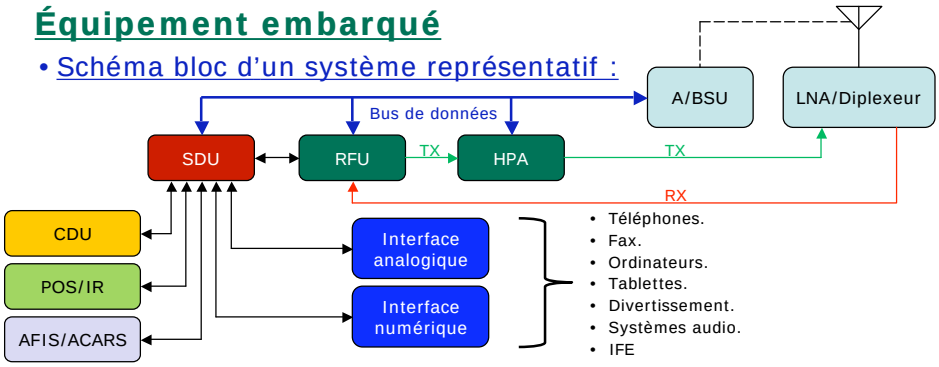
- AFIS : *Airborne Flight Information System.*
- ACARS : *Aircraft Communications Addressing & Reporting System.*
- Il s'agit de deux systèmes communiquant à l'aide du SATCOM.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Équipement embarqué

- Schéma bloc d'un système représentatif :



Interfaces analogiques et numériques

- Ces interfaces ont pour rôle de mettre les utilisateurs en connexion avec le système SATCOM.
- Ces interfaces peuvent traiter aussi bien des signaux analogiques (voix) que numériques (données, VoIP, etc.)

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Antennes SATCOM

Type d'antennes SATCOM

- Antennes à réseau de phase (*Phased Array*) :

Avantage :

aucun élément mobile

Inconvénient :

électronique complexe

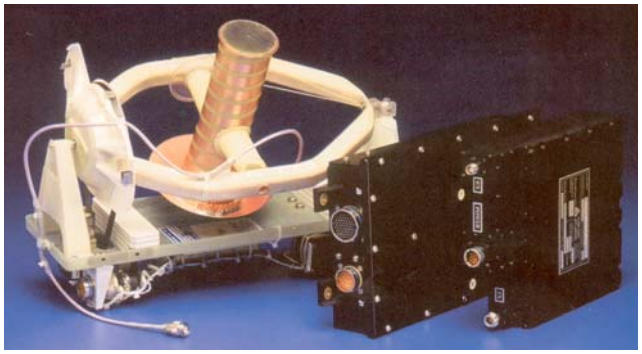
© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Antennes SATCOM

Type d'antennes SATCOM

- Antennes mobiles :



Avantage :

Plus simples à contrôler

Inconvénient :

volumineuse

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Antennes SATCOM

Type d'antennes SATCOM

- Antennes « blade » à faible gain :

Image : Cobham

Avantage :

Très simples à fabriquer

Inconvénient :

Gain très faible

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Antennes SATCOM

Type d'antennes SATCOM

- On a aussi l'habitude de classer les antennes SATCOM selon leur gain :

Type :	Classe :	Gain :	Fonction :	Remarques :
HGA	6	12 dB	Voix + données	Permettent la couverture par des faisceaux étroits (*Spot Beam*) ou larges (*Global Beam*)
IGA	7	6 dB	Voix + données	Permettent la couverture par des faisceaux larges (*Global Beam*)
LGA	15	0 dB	Données à faible débit	Utilisées essentiellement pour le transfert de données ACARS et AFIS

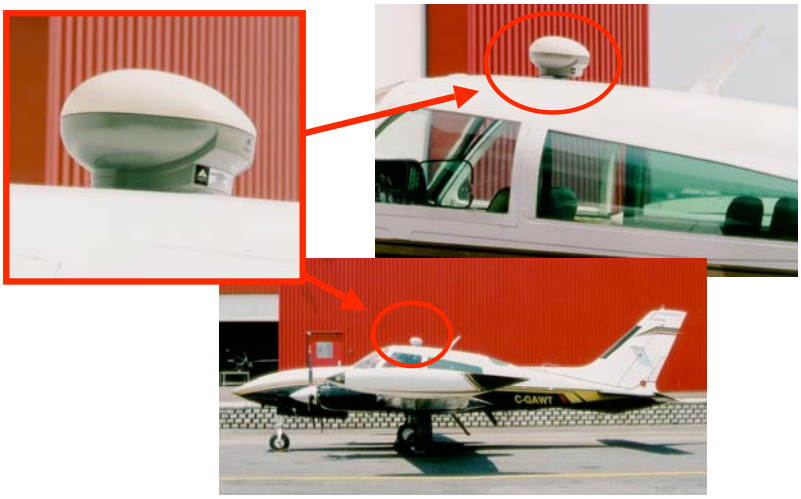
HGA – *High Gain Antenna* – Antenne à gain élevé
IGA – *Intermediate Gain Antenna* – Antenne à gain moyen
LGA – *Low Gain Antenna* – Antenne à gain faible

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur avions légers



© Pierre GILLARD

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur hélicoptères

Photo © Pierre GILLARD/2012-213942

Photo © Pierre GILLARD/2010-12122

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur avions d'affaires

© Pierre GILLARD/20111-04572

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur avions d'affaires

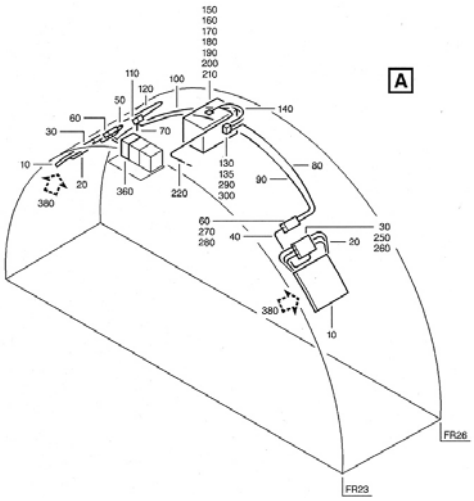
Photo © Pierre GILLARD/004775

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur avions commerciaux



Airbus

© Pierre GILLARD/002113

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur avions commerciaux

© Pierre GILLARD/2008-20113

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur avions commerciaux

- Antenne Astronics « AeroShield » pour la bande Ku et répondant à la norme ARINC 791 :

Vidéo :

Production et installation d'antennes ARINC 791

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Antennes SATCOM

Installation d'antennes sur avions commerciaux

- Système d'antennes « Dual Dissimilar » de Satcom Direct permettant de fonctionner simultanément sur deux constellations de satellites distinctes dans les bandes Ku et Ka :

Photo : Satcom Direct

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Antennes SATCOM

Problèmes liés à l'aérodynamique

- Au plus les antennes SATCOM sont imposantes, au plus elles induisent de la trainée, mais aussi d'autres problèmes liés à l'aérodynamique :

Photo : Airbus

FlightGlobal

Satcom radome vibrations prompt A220 ELT antenna checks

By David Kaminski-Morrow | 22 March 2021

Airbus A220 operators are being instructed to check and replace emergency locator transmitter antennas, after incidents in which vortices from a communications radome generated vibrations resulting in antenna failure.

One of the incidents resulted in the antenna separating from the aircraft and striking the vertical fin.

Investigations have traced the problem to vibration loads caused by vortices forming around the radome of the Gogo 2Ku satcom system, mounted atop the fuselage, which provides satellite connectivity for in-flight internet and other services.

Transport Canada says the situation could not only lead to loss of the locator transmitter antenna but also potential cracking in the fuselage, which could result in reduction of cabin pressure.

It has instructed operators to replace the locator antenna with a new one at specified intervals, depending on flight time, and carry out repetitive inspection of the fuselage skin around the attachment area for damage. Locator antennas which have accumulated over 3,500h need to be replaced within 200h.

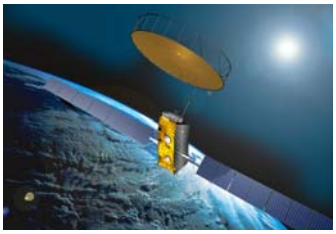
Both the A220-100 and A220-300 are covered by the Transport Canada directive.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Présentation



INMARSAT

- INMARSAT offre différents types de services à des utilisateurs terrestres, maritimes ou aériens.
- Pour l'aviation, INMARSAT offre les services suivants pour les équipages :

✓ Communications liées à la sécurité des vols.
✓ Communications vocales.
✓ Données et mises à jour des EFB, plans de vol, météo et cartes.
✓ Transmissions de paramètres de surveillance moteurs ou techniques.
✓ Transmissions de données de gestion des équipages et de soutien à la clientèle.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Présentation

Eircell

OnAir

- INMARSAT a également des applications prévues pour les passagers des avions, qu'ils soient de ligne ou d'affaires :

✓ Téléphonie : mobile (cellulaire) ou fixe (siège).
✓ Internet, courriels et messageries.
✓ Nouvelles et divertissements.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Services dédiés à l'aviation

- Pour ces différentes applications, INMARSAT propose plusieurs formules adaptées à ses clients aéronautiques :

  - ✓ Plusieurs **services « classiques »** pour la transmissions de signaux vocaux ou numériques à faible débit : Aero H, Aero H+, Aero I, Aero L, Mini M Aero et Aero C disponibles avec le système INMARSAT 4 en bande L.
  - ✓ **SwiftBroadband (SBB) :** transmissions simultanées de la voix et de données disponibles avec le système INMARSAT 4 (HGA : 4 canaux jusqu'à 432 kops – IGA Class 7 : 4 canaux jusqu'à 500 kops – SBB200 Class 15 : un canal jusqu'à 200 kops).
  - ✓ **Global Xpress** et **JetConneX** : transmissions à hauts débits jusqu'à 50 Mbps disponibles avec les systèmes INMARSAT 5 et 6 utilisant la bande Ka.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Historique

- Inmarsat a été créée à Londres en 1979 par l'IMO-*International Maritime Organization* pour répondre à un besoin de communications permanentes avec les navires, peu importe leur position sur les mers et les océans du monde.
- Par la suite, l'offre de service s'est étendue à d'autres secteurs d'activités, l'aéronautique notamment.
- Au fil du temps, plusieurs générations de satellites ont été successivement envoyées dans l'espace : Inmarsat 2, 3, 4, 5 et 6.
- En novembre 2021, Inmarsat a été acquis par Viasat.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Infrastructures d'Inmarsat

Photo : Inmarsat

Photo : Inmarsat

- Actuellement, la constellation compte 12 satellites GEO en activité pour les services aéronautiques.
- Pour assurer les connexions vers le sol, Inmarsat dispose de 31 antennes paraboliques de 9 mètres ou plus de diamètre réparties dans 25 stations SAS-*Satellite Access Stations* implantées stratégiquement dans différentes régions du monde.
- Enfin, un centre de coordination et de surveillance du réseau terrestre (NOC-*Network Operation Centre*) se situe à Londres.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Infrastructures d'Inmarsat

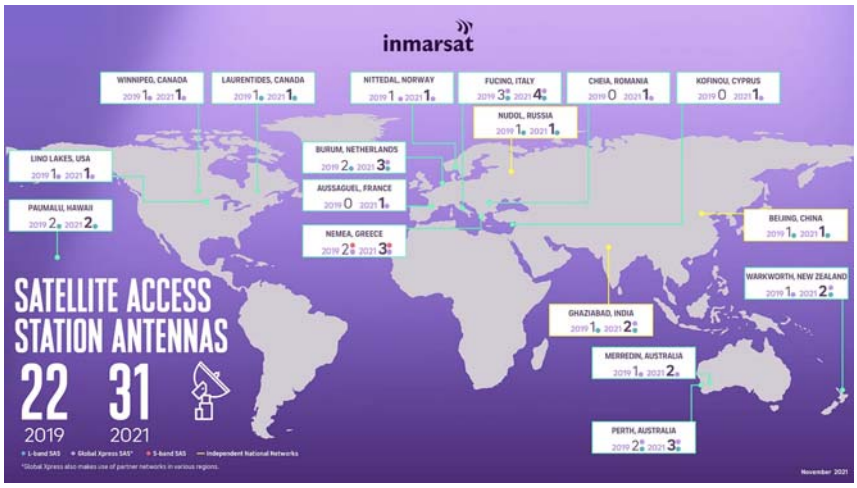


Image : Inmarsat

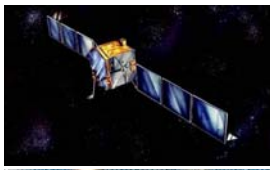
© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 2



Images : Airbus.

- Le dernier satellite INMARSAT-2 a été retiré du service en décembre 2014.
- Les satellites INMARSAT-2 avaient été lancés entre 1990 et 1992 et étaient prévus pour durer 10 ans; leur durée de vie a finalement été le double de celle initialement prévue !
- La constellation était constituée de quatre satellites (F1 à F4).
- Leur puissance était de 1200 W.

© Département d'avionique

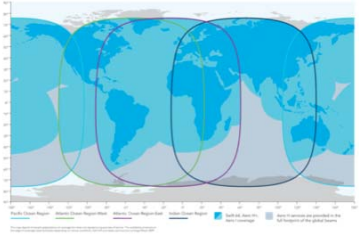
ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 3

- Les satellites Inmarsat-3 ont été les premiers à utiliser la technologie des faisceaux régionaux (4 à 6 par faisceau global); ils ont été lancés entre avril 1996 et février 1998.
- La constellation était constituée de cinq satellites GEO.
- Les satellites emportaient également des transpondeurs permettant d'améliorer la précision des systèmes GNSS.
- Les satellites Inmarsat-3 F1 à F4 sont demeurés en service jusqu'en 2018.
- Le satellite Inmarsat-3 F5 est toujours en service sur l'Atlantique (AOR) afin de couvrir le Groenland. Il devait être remplacé par le nouveau satellite I-6 F2 (GX6-B).



INMARSAT

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT SPATIAL

- Les satellites Inmarsat-4 en bande L sont 60 fois plus puissants que ceux de la génération précédente.
- La constellation initiale est constituée de trois satellites GEO construits par le consortium européen EADS Astrium.
- La constellation a été complétée par Alphasat lancé en juillet 2013 et qui est actuellement le satellite le plus performant :

✈ Inmarsat-4 F1 – **APAC** – *Asie, Australie et Océan Pacifique.*
✈ Inmarsat-4 F2 – **EMEA** – *Europe, Moyen-Orient et Afrique.*
✈ Inmarsat-4 F3 – **AMER** – *Amérique.*
✈ Inmarsat-4A F4 – **Alphasat** – *Europe, Moyen-Orient et Afrique.*

- Les satellites Inmarsat-4 utilisent un faisceau global comprenant 19 faisceaux régionaux et plus de 200 faisceaux étroits *spots*.
- Ils devraient demeurer en service durant quelques années.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT SPATIAL

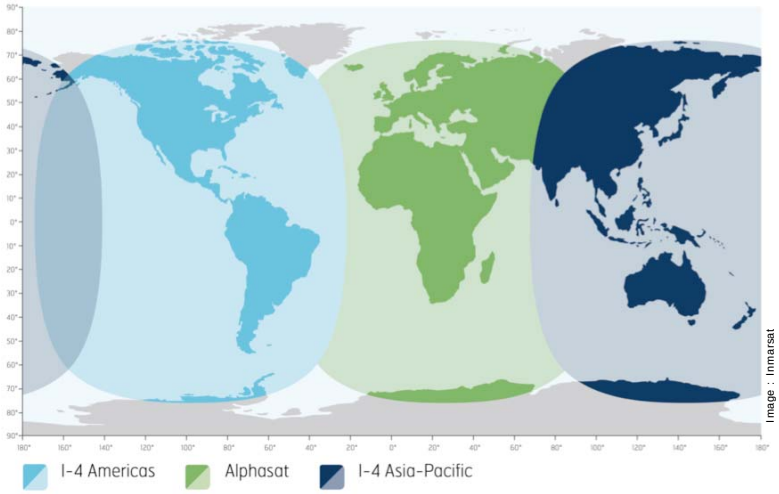


Image : Inmarsat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT SPATIAL

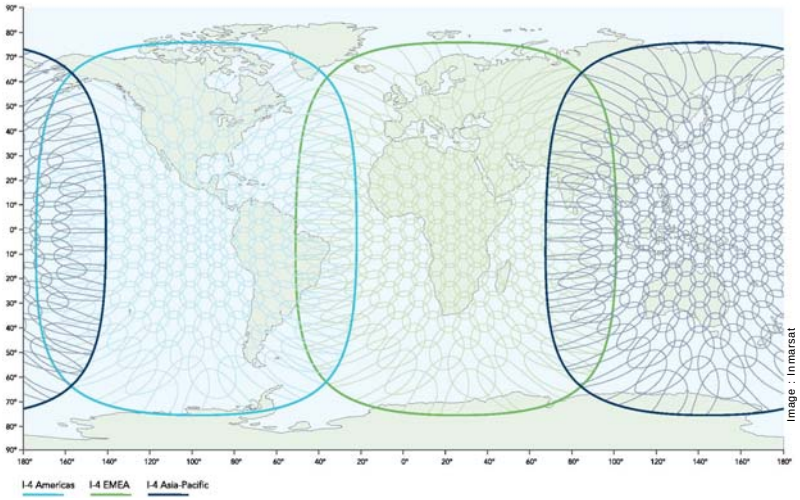


Image : Inmarsat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT SPATIAL

- Un problème majeur avec Inmarsat-4 est l'absence de couverture au-dessus du Groenland.
- Ceci est connu sous le non de « *Greenland Gap* ».
- En effet, la zone aérienne la plus achalandée au monde passe justement au-dessus du Groenland pour suivre des routes orthodromiques entre l'Amérique du Nord et l'Europe.

Exemple de route orthodromique :

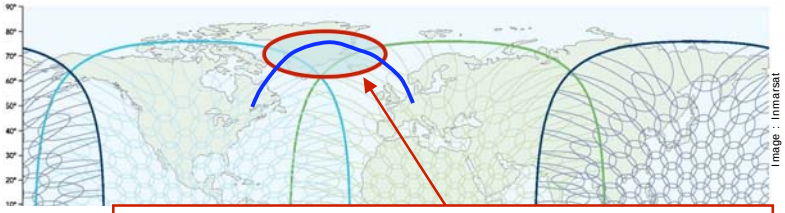


Image : Inmarsat

Zone avec mauvaise ou absence de couverture

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT SPATIAL

- Afin d'éviter la congestion d'un faisceau étroit, un autre faisceau étroit peut être réorienté sur la même zone couverte afin d'accroître l'offre destinée à une région bien déterminée.

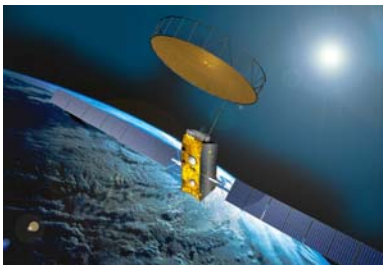


Image : source inconnue

Satellite Inmarsat-4

Image : ESA

Satellite Alphasat

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT DE CONTRÔLE

- Les satellites Inmarsat-4 communiquent avec des stations au sol SAS-*Satellite Access Stations* situées à Burum aux Pays-Bas, Fucino en Italie et Pamalu à Hawaii.
- Elles appartiennent intégralement à Inmarsat.

Image : Wikimapia

Station SAS de Pamalu, HI

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT UTILISATEUR

- INMARSAT-4 a permis l'ajout des services SwiftBroadband :

SwiftBroadband (HGA)	SwiftBroadband (IGA)	SwiftBroadband 200
Find out more	Find out more	Find out more
Four channels < 432kbps each Dynamic IP streaming 8, 16, 32, 64 or128kbps (combined 192kbps max) **X-stream full-channel streaming > 250kbps** Circuit-switched voice and multi-voice VoIP **Standalone or simultaneous operation with Inmarsat Aero H+** Compliant with Arinc 781	**Four channels up to 332kbps each** Dynamic IP streaming 8, 16, 32, 64 or 128kbps (combined to a maximum of 160kbps per channel) **Circuit-switched voice** Multi-voice VoIP **Compliant with Arinc 781**	**Single channel < 200kbps** Dynamic IP streaming 8 or 16 kbps **Circuit-switched voice and up to 3 multi-voice VoIP** Stand-alone system **Small and compact avionics** Low-gain blade antenna
Antenna weight: High gain < 9.5kg	Antenna weight: Intermediate gain < 3.5kg	Antenna weight: SwiftBroadband 200 < 0.7kg

- SwiftBroadband 200 est un système indépendant qui nécessite un équipement différent du SwiftBroadband.
- Les services SwiftBroadband 200 pourraient être étendus à l'avenir.
- Le SwiftBroadband 200 ne peut pas être capté en dessous de 20°d'élévation.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT UTILISATEUR

- Afin de pouvoir avoir accès au service SwiftBroadband à bord d'un aéronef, une carte SIM-*Subscriber Identity Module* est requise.

Image : auteur inconnu

- Il s'agit d'une carte équipée d'une puce électronique contenant les informations au sujet de l'utilisateur (IMSI-*International Mobile Subscriber Identity*).
- La carte contient également des informations au sujet de la provision du compte de l'utilisateur, les points d'accès disponibles (APN-*Access Point Names*) et les services auxquels l'utilisateur a droit.
- Les informations sont analysées par le module SIM du HSDU-*High-speed Data Unit* avant d'établir les connexions avec le réseau Inmarsat.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT UTILISATEUR

- Les systèmes et les antennes requis à bord de l'aéronef dépendent des services SwiftBroadband choisis : HGA, IGA et SBB200.
- Comparé aux services HGA et IGA, le SwiftBroadband 200 requiert un équipement plus léger comprenant une antenne LGA.
- *Exemple :* AVIATOR 200 de Cobham :

Image : Cobham

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT UTILISATEUR

- *Exemple :* AVIATOR 200 de Cobham :

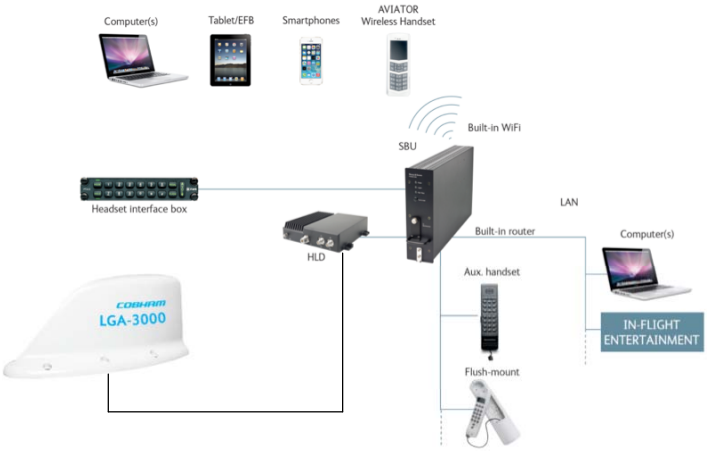


Image : Cobham

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT UTILISATEUR

- *Exemple :* connexion avec antenne LGA :

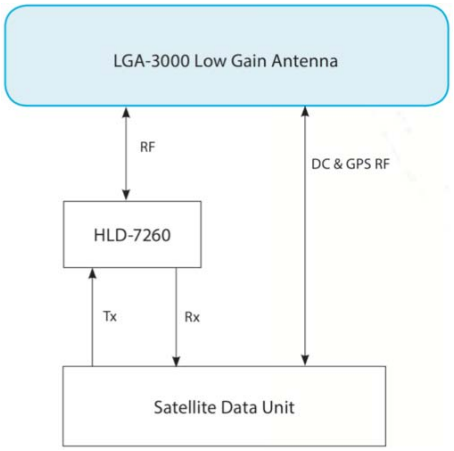


Image : Cobham

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

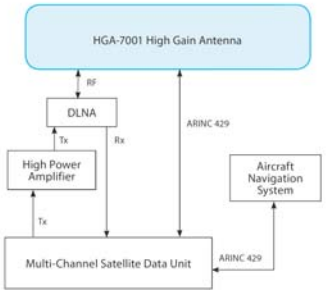
INMARSAT

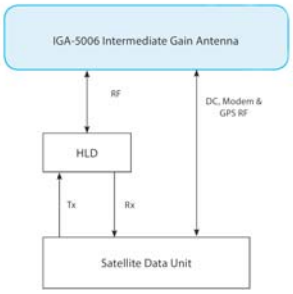
inmarsat

INMARSAT 4

SEGMENT UTILISATEUR

- Antennes HGA et IGA compatibles avec Inmarsat-4 :





Images : Cobham

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 4

- Fréquences d'émission (*Uplink*) I-3/I-4: 1626,5 à 1646,5 MHz (bande L).
- Fréquences de réception (*Downlink*) I-3/I-4: 1525 à 1545 MHz (bande L).
- La bande C est utilisée pour les liaisons entre les satellites et les stations SAS.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 5

SEGMENT SPATIAL

- Afin d'accroître le débit de transfert de données et donc la bande passante disponible pour les utilisateurs, Inmarsat-5 utilise la bande Ka.

Image : Boeing

- Inmarsat-5 est aussi connu sous le nom de Global Xpress (GX).
- La constellation Inmarsat-5 est actuellement constituée de cinq satellites GEO construits par Boeing :

  - Inmarsat-5 F1 & F4 – **GX1 & GX4** – *Europe, Afrique, Asie, et Océan Indien*.
  - Inmarsat-5 F2 – **GX2** – *Amérique et Océan Atlantique*.
  - Inmarsat-5 F3 – **GX3** – *Australie et Océan Pacifique*.
  - Inmarsat-5 F5 – **GX5** - *Europe et Moyen Orient*.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 5

SEGMENT SPATIAL

- Les satellites Inmarsat-5 utilisent 89 faisceaux étroits *spots* par région ainsi que 6 faisceaux supplémentaires orientables par région selon la demande (événement majeur, catastrophe naturelle, etc.)
- Inmarsat-4 assure un rôle de réserve en cas de problème avec Inmarsat-5.

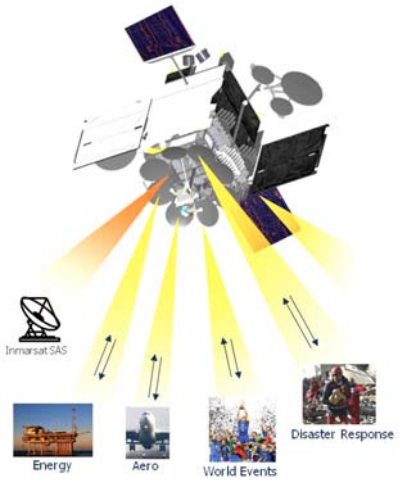


Image : Inmarsat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 5

SEGMENT SPATIAL

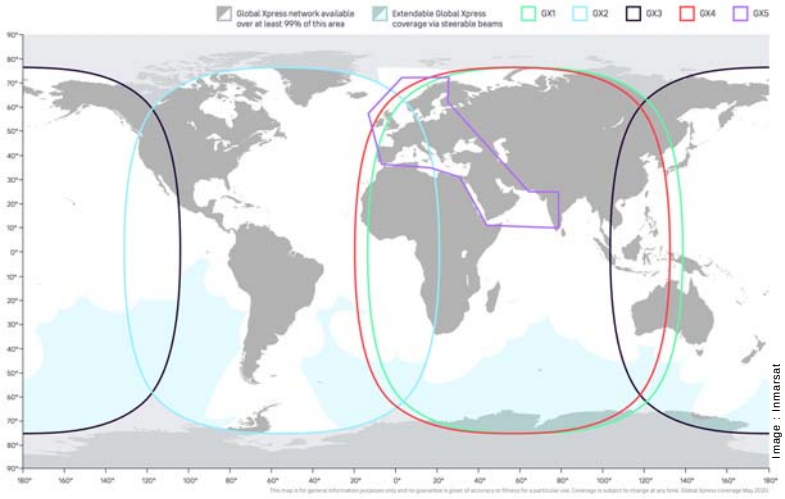


Image : Inmarsat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 5

SEGMENT DE CONTRÔLE

- Les satellites Inmarsat-5 communiquent avec des stations au sol SAS-*Satellite Access Stations*.
- Deux stations SAS sont implantées par région pour faire face aux problèmes climatiques éventuels liés à l'usage de la bande Ka.

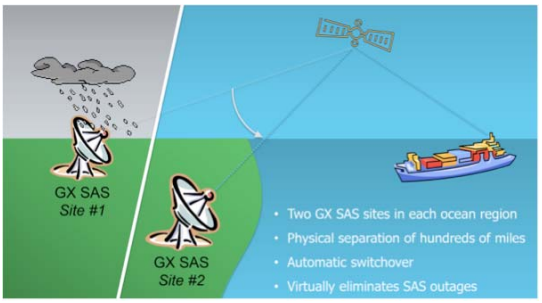


Image : Inmarsat

- ✈ Fucino en Italie et Nemea en Grèce.
- ✈ Lino Lakes, MN et Winnipeg.
- ✈ Auckland et Warkworth en Nouvelle-Zélande.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

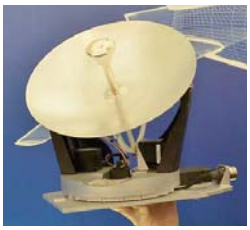
INMARSAT

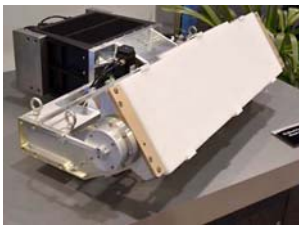
inmarsat

INMARSAT 5

SEGMENT UTILISATEUR

- Pour le secteur de l'aéronautique, le service Global Xpress d'Inmarsat-5 est disponible sous le nom de Jet ConneX (JX).
- Honeywell est le fabriquant exclusif des équipements embarqués pour le service Global Xpress/Jet ConneX.
- Deux modèles d'antennes sont proposés :





Images : getconnected.aero

Image : IDG aero

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 5

SEGMENT UTILISATEUR

- Équipements embarqués nécessaires :

✈ Une antenne « JetWave »
(2 modèles possibles).

✈ KRFU – Ka Radio Frequency Unit :
convertisseur/contrôleur + amplificateur.

✈ KANDU – Ka Band Network Data Unit : *alimentation et positionnement de l'antenne.*

✈ MODMAN – Modem Manager :
contrôle du KRFU et interface.

Images : Inmarsat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 5

SEGMENT UTILISATEUR

- Avec Jet ConneX (JX), le transfert de données peut atteindre 33 Mbps vers l'avion, mais seulement 2,1 Mbps à partir de l'avion.

Jet ConneX

Application	Bandwidth
Voice over IP (VoIP)	28 to 64Kbps / 0.028 to 0.064Mbps
Internet / Email	256 to 400Kbps / 0.256 to 0.4Mbps
PED Video Conferencing	300 to 700Kbps / 0.3 to 0.7Mbps
480i Video / YouTube Streaming	500 to 2000Kbps / 0.5 to 2Mbps
1080p Video Streaming	3000 to 6000Kbps / 3 to 6Mbps

Bandwidth consumption varies according to the specific application being used and all apps do not perform the same. Streaming video apps are especially unique in their bandwidth usage. These values are indicative guidelines only, please consult your service provider for specific details.

- Le service Jet ConneX est disponible auprès des fournisseurs suivants : ARINC Direct, Satcom Direct, Honeywell et SITAOnAir.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT 5

- Deux bandes de 500 MHz distinctes sont allouées aux satellites et organisées de la façon suivante :

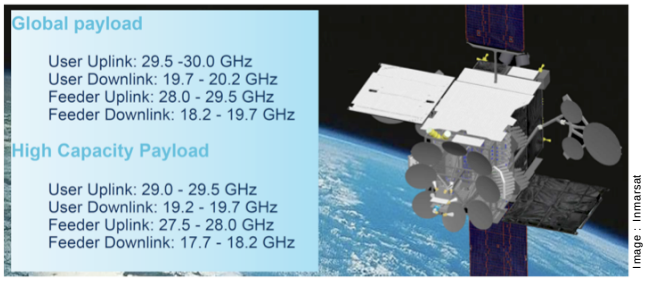


Image : Inmarsat

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT GX6

Photo : Inmarsat

- En décembre 2015, Inmarsat a commandé à Airbus Defence & Space les deux premiers satellites de sixième génération : Inmarsat-6 F1 et F2 devenus, depuis, GX6-A et GX6-B.
- Ces satellites fonctionneront aussi bien dans les bandes L et Ka afin de compléter et de prendre le relais des satellites de génération Inmarsat-4 et Inmarsat-5 (GX5).
- Toutefois, les capacités dans la bande L seront accrues.
- Le premier satellite GX-6A (I-6 F1) a été lancé le 22 décembre 2021 par Mistsubishi Heavy Industries et on prévoit une durée de vie d'au moins une quinzaine d'années.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT GX6

Photo : Inmarsat

- Le 17 février 2023, le satellite GX6-B (I-6 F2) a été lancé sur orbite par une fusée Falcon 9 de Space X au départ de Cap Canaveral.
- Couverture Inmarsat 6 (GX6) :
  - ✓ **GX6-A (I-6 F1) :** Océan Indien.
  - ✓ **GX6-B (I-6 F2) :** Océan Atlantique.
- Chaque satellite est suivi par deux stations au sol (GSA-*Ground Station Antenna*) :
  - ✓ **GX6-A (I-6 F1) :** Perth et Merredin (Australie).
  - ✓ **GX6-B (I-6 F2) :** Santander et Arganda (Espagne).

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT GX7, GX8 et GX9

- Dans le futur, il est prévu de lancer les nouveaux satellites Gobal Xpress GX7, GX8 et GX9 permettant d'accroître les capacités et les services proposés.
- Chacun de ces trois satellites de nouvelle génération aura une capacité équivalente à la constellation GX5 (I-5) actuelle prise dans son ensemble.
- Ceci permet une réduction significative des coûts d'opération.
- Ces satellites sont construits par Airbus Defence & Space et, une fois dans l'espace, pourront être reconfigurés et déplacés selon les besoins.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

INMARSAT GX10-A et GX10-B

- Jusqu'à présent, Inmarsat ne couvrait pas l'Arctique.
- Avec l'accroissement du trafic maritime dans cette région, les satellites GX10-A et GX10-B comblent ce vide où la communication SATCOM devient désormais une nécessité.
- Ces deux satellites sont pleinement compatibles avec le réseau Global Xpress et font partie de l'*Arctic Satellite Broadband Mission* (ASBM) en partenariat avec Space Norway HEOSAT.

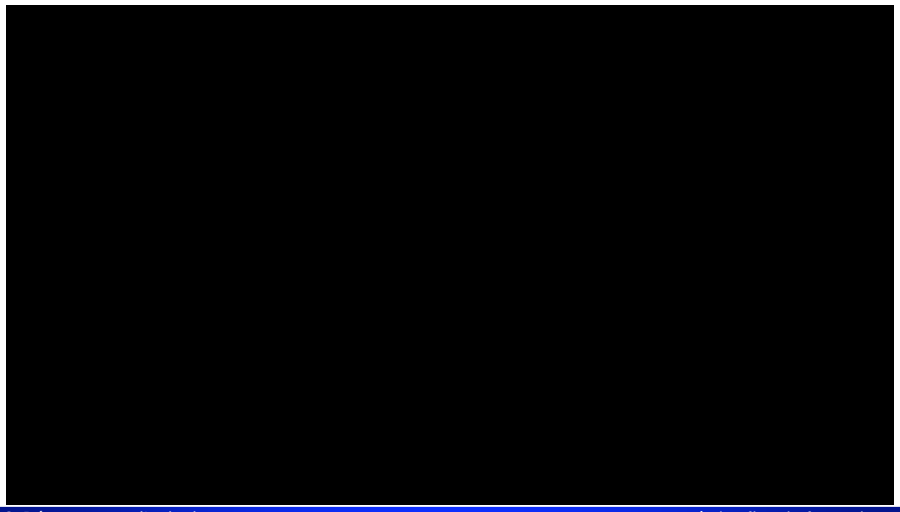
- Ils ont été placés en orbite elliptique haute (*HEO-High Elliptical Orbit*).
- Ces satellites ont été construits par Northrop Grumman Innovation Systems et ont été lancés le 11 août 2024 par une fusée Falcon 9.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Vue générale des satellites Global Xpress GX1 à GX10B

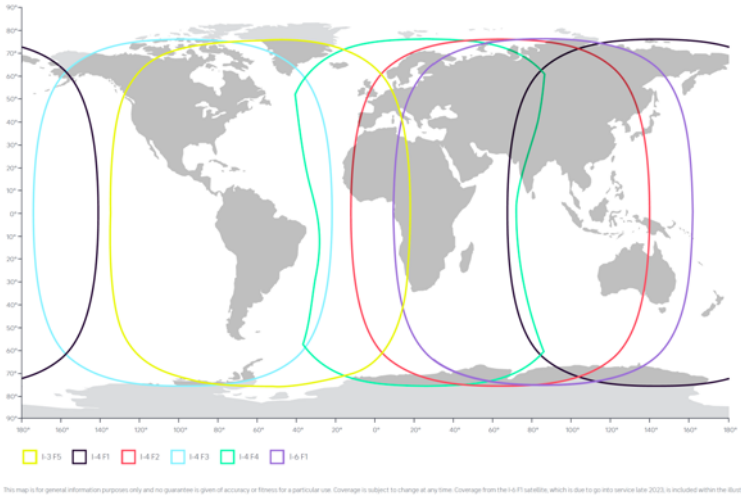


ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

Inmarsat ELERA – Regroupement I3, I4 et I6 en bande L



ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

INMARSAT

inmarsat

L'énigme du vol Malaysia Airlines MH370

Image : gospelherald.com

- Le 8 mars 2014, le Boeing 777-200ER de Malaysia Airlines assurant la liaison Kuala Lumpur-Pékin (vol MH370) a disparu sans laisser de trace.
- L'équipage a coupé le transpondeur ainsi que tous les moyens de communication.
- Toutefois, le système ACARS a continué à envoyer sporadiquement des « pings » par le système SATCOM Inmarsat.
- Ceci a permis de constater que l'avion, une fois les moyens de communications coupés et le transpondeur désactivé, avait pris la direction de l'Océan Indien.
- En décembre 2014, Inmarsat a émis la suggestion à l'IATA et à l'OACI d'offrir gratuitement le suivi des vols des appareils équipés de leur système SATCOM.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

EAN-European Aviation network

EUROPEAN AVIATION NETWORK

Présentation

- EAN est un projet commun d'Inmarsat et Deutsche Telekom pour fournir un réseau satellite et terrestre pour l'aviation dans l'Union Européenne, plus la Norvège, le Royaume-Uni et la Suisse.

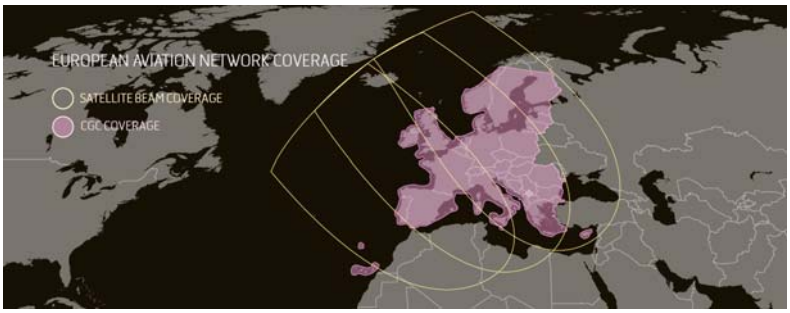


Image : EAN

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

EAN-European Aviation network

EUROPEAN AVIATION NETWORK

Présentation

- Pour le segment spatial, un satellite Inmarsat multifaisceaux en bande S est utilisé (Inmarsat S/Hellas Sat 3).
- Pour le segment terrestre, le réseau d'environs 300 relais 4G LTE de Deutsche Telekom est utilisé.
- L'objectif est de proposer des débits jusqu'à 50 Gops avec des prix très concurrentiels.

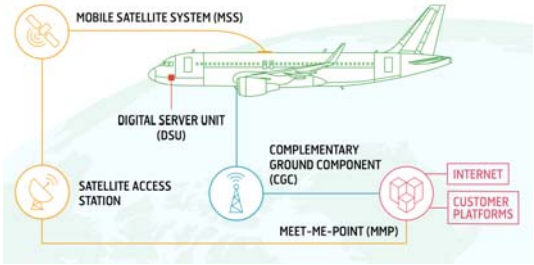


Image : EAN

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

EAN-European Aviation network

EUROPEAN AVIATION NETWORK

Présentation

- Les équipements installés à bord des aéronefs sont légers et compacts.
- Ils ne nécessitent que 7 heures de travail d'installation :

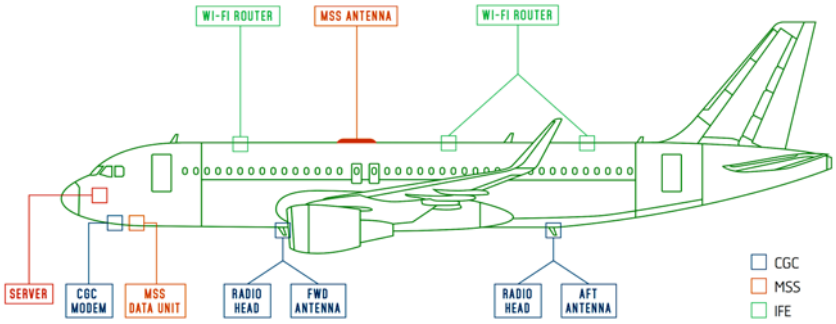


Image : EAN

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

EAN-European Aviation network

EUROPEAN AVIATION NETWORK

Présentation

- Différents éléments installés à bord des aéronefs :

Images : EAN

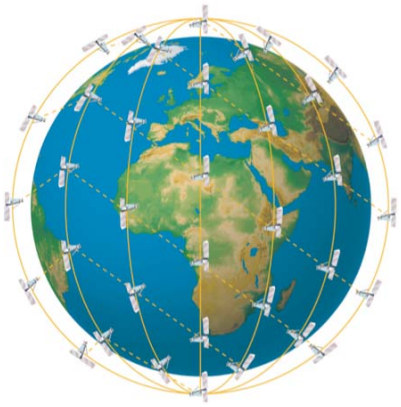
© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Présentation



Iridium

- Iridium est un des plus importants fournisseurs mondiaux de services de communication par satellites.
- Le système Iridium Next utilise une constellation de 66 satellites placés en orbite basse sur 6 plans orbitaux inclinés à 86,4° à 780 Km d'altitude pour couvrir l'ensemble de la surface de la Terre.
- Iridium permet aussi bien la transmission de signaux vocaux que de données.

VIDÉO

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment spatial

Photo : S. Barensky

- Le 2 juin 2010, Iridium a commandé 81 satellites (66 actifs en orbite, 9 en réserve en orbite et 6 en réserve au sol) à Thales Alenia Space.
- Ils ont remplacé les satellites de l'ancienne génération sur leur plans orbitaux respectifs en orbite basse (LEO).

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment spatial

Image : Iridium

- Du retard avait été pris dans le lancement des nouveaux satellites à cause de l'échec d'un tir d'une fusée Falcon 9 à Cap Canaveral en 2016.
- Un premier lancement de 10 satellites a finalement eu lieu le 14 janvier 2017.
- Les 10 derniers satellites ont été placés sur orbite en janvier 2019 par une fusée Falcon 9 de Space X; 66 satellites sont maintenant opérationnels permettant une couverture complète.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment spatial

Image : Iridium

- De l'espace était proposé à des clients à bord des satellites afin de diminuer les coûts d'exploitation.
- Celui-ci été acquis, notamment, par Aireon pour le suivi des transpondeurs ADS-B et par GEOScan pour de la surveillance environnementale et des études sur le climat.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment spatial

- Aireon de NAV Canada (51%) à bord d'Iridium Next :

  - Programme mondial de surveillance des aéronefs.
  - Fonctionne avec l'ADS-B Out sur 1090 MHz.
  - Permet d'optimaliser le contrôle du trafic aérien.
  - Permet d'éventuellement éliminer les stations ADS-B au sol.
  - Aireon ALERT : *exploité par l'autorité irlandaise de l'aviation, il permet de localiser les aéronefs en cas d'urgence. Il est disponible gratuitement pour les prestataires de services de navigation aérienne, les exploitants d'aéronefs commerciaux, les organismes de réglementation et les organisations de recherche et sauvetage. Cependant, il n'est pas disponible pour les exploitants d'aéronefs privés.*

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment spatial

- Aireon de NAV Canada (51%) à bord d'Iridium Next :

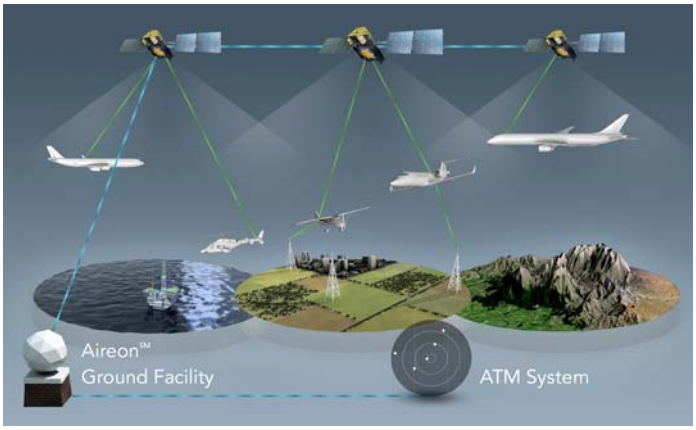


Image : Aireon

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

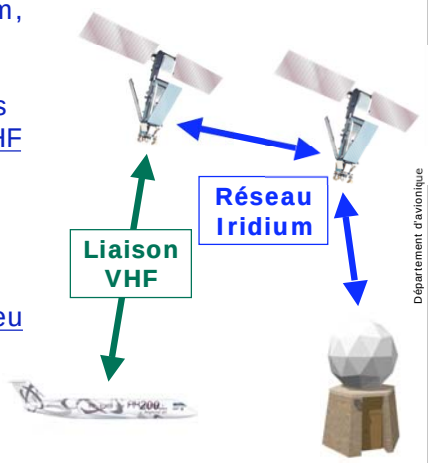
ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment spatial

- Aireon, en partenariat avec Iridium, NATS, AirNav Ireland, ENAV et Aviair (Aireon Space-Based VHF Coalition), pense à développer des communications aéronautiques VHF entre aéronefs et satellites.
- Ces communications seraient destinées autant pour la voix que pour le transfert de données.
- Ceci permettrait à des aéronefs peu équipés de disposer de communications permanentes même au-dessus des zones océaniques ou désertiques.



Département d'avionique

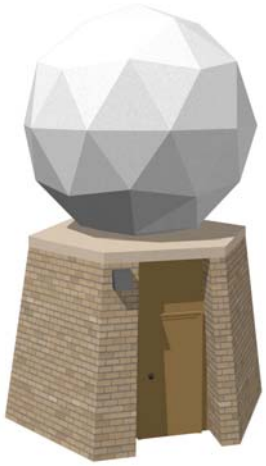
© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment de contrôle



Iridium

- Au niveau des infrastructures au sol, Iridium dispose de :

  - ✓ Deux **centres de connexion** (*Gateways*) à Tempe, AZ et Wahiawa, HI (DISA).
  - ✓ Un **centre d'opération du réseau de satellites** (SNOC) en Virginie.
  - ✓ Quatre **stations de contrôle, de poursuite et de télémétrie** (TTAC) situées en Alaska, Arizona, Canada et Norvège.
  - ✓ Un **réseau d'interconnexion** entre les stations terrestres par fibres optiques ou par liaison satellite.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

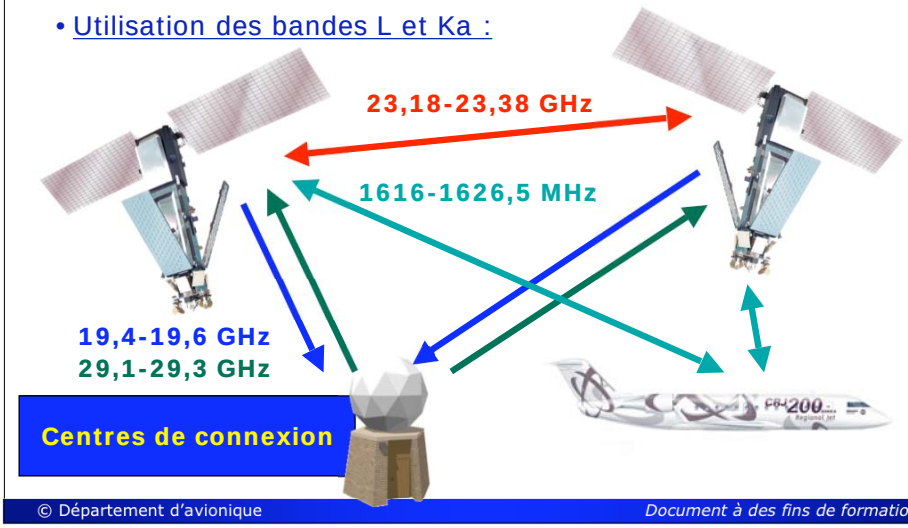
ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Fréquences

- Utilisation des bandes L et Ka :



Département d'avionique

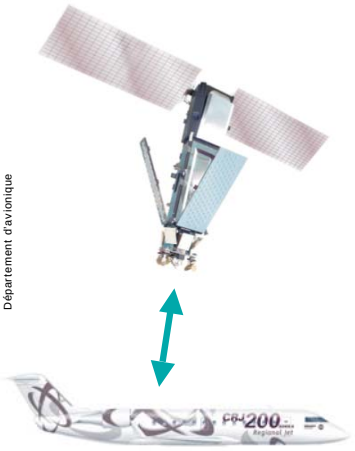
© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Fréquences



- Chaque satellite dispose de 48 faisceaux individuels.
- Un total de 1628 cellules sont accessibles par les utilisateurs.
- Chaque cellule couvre une surface d'environ 50 km de diamètre.
- Chaque cellule dispose de 174 canaux *full duplex* pour la voix.
- Il y a donc 283.272 canaux accessibles répartis sur l'ensemble de la surface terrestre.
- Les liaisons entre les satellites permettent des débits allant jusqu'à 25 Mbps dans la bande Ka.

Département d'avionique

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment utilisateur

Iridium

Iridium

- Afin que tous les clients d'Iridium puissent bénéficier simultanément de services ininterrompus, deux stratégies d'utilisation sont employées :
  - ✓ **FDMA**-*Frequency Division Multiple Access*.
  - ✓ **TDMA**-*Time Division Multiple Access*.
- La modulation DE-QPSK est utilisée pour le transfert de données.
- Toutefois, lors des phases d'acquisition et de synchronisation, la modulation DE-BPSK est employée.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment utilisateur

Image : xsatshop.com

- À l'aide d'une carte SIM, l'utilisateur a la possibilité d'échanger des messages vocaux tout comme s'il s'agissait d'un émetteur-récepteur conventionnel installé à bord de l'aéronef.
- D'autres services sont également proposés :
  - ✈ **TCP/IP :** connexion à Internet jusqu'à 10 Kbps au maximum selon le type de données transférées.
  - ✈ **Short Burst Data (SBD) :** transmission de données par salves (paquets d'environ 2 Kb). Utilise un numéro de modem IMEI à la place de la carte SIM pour identifier l'utilisateur. Est utilisé pour transmettre des données ATC ou du *Datalink*.
  - ✈ **RUDICS :** est un mode de transfert de données fiable utilisant une connexion modem et ISDN chez un hôte partenaire pour établir plusieurs connexions simultanées.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment utilisateur

- Certus – Aviation : service Iridium Next destiné à tous les secteurs de l'aviation.
- FlytLINK de Thales : nouveau service jusqu'à 1,4 Mbps en liaison descendante *(downlink)* et jusqu'à 512 Kbps en liaison montante *(uplink)* avec une antenne HGA.
- Anciens services : toujours disponibles.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Iridium

iridium Everywhere

Segment utilisateur

Images : Sattrans

Image : Iridium

- Les terminaux Iridium installés à bord des aéronefs peuvent avoir jusqu'à quatre canaux.
- Un système à quatre canaux nécessite une antenne à deux éléments.
- Toutefois, un système à deux canaux peut utiliser une antenne plate constituée d'un seul élément.
- Il existe aussi des systèmes à un seul canal; toutefois, ils ne pourront pas transmettre de signaux vocaux, mais seulement des données avec le service SBD-*Short Burst Data*.
- Certaines antennes Iridium contiennent également un élément GPS permettant au système SATCOM de ne pas dépendre d'un GPS externe pour déterminer la position de l'aéronef.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Iridium

iridium Everywhere

Segment utilisateur

- Exemple d'équipements Iridium installés dans un hélicoptère :

Photo© Pierre GILLARD/2010-12124/73/76

- L'antenne est combinée SATCOM/ GPS

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

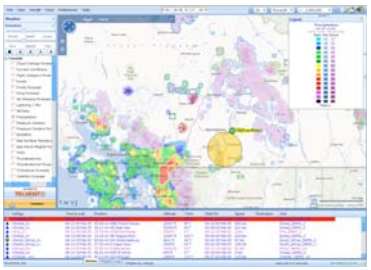
Iridium

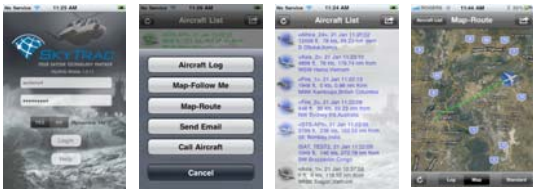
iridium Everywhere

Segment utilisateur

- *Exemple :* système Skytrac ISAT-200.
- Skytrac est une entreprise canadienne pionnière dans le suivi GPS d'aéronefs.
- Avec le temps, elle a développé un système combiné avec un SATCOM Iridium permettant à la fois de suivre un aéronef et de communiquer.

Images : Skytrac





ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Iridium

iridium Everywhere

Segment utilisateur

- *Exemple :* installation d'un système Skytrac ISAT-100 :

Photo © Pierre GILLARD/2015-410896

Schémas d'installation à bord d'un AS350 AStar

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Présentation

- ViaSat est une entreprise établie à Carlsbad, CA.
- Elle exploite des satellites à très haute capacité, jusqu'à 130 Gbps, ce qui surpasse l'offre de bien des concurrents !
- En aéronautique, ViaSat propose des solutions intéressantes pour l'aviation commerciale ainsi que pour l'aviation d'affaires.

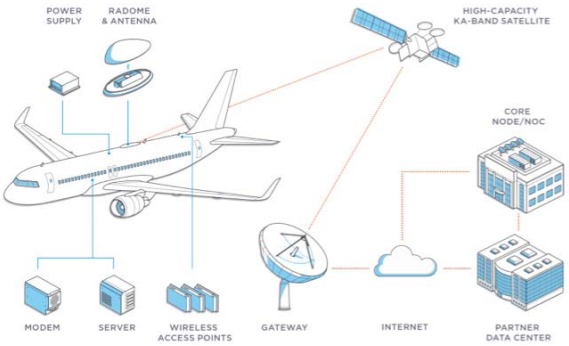


Image : Viasat

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Viasat

ViaSat

Présentation

- Les services destinés à l'aéronautique de ViaSat utilisent la bande Ka.
- L'offre consiste autant en des transferts de données à haut débit que du Wi-Fi.
- ViaSat propose également quelques services en bande L pour l'aviation générale et les hélicoptères.
- Viasat a acquis Inmarsat en novembre 2021.

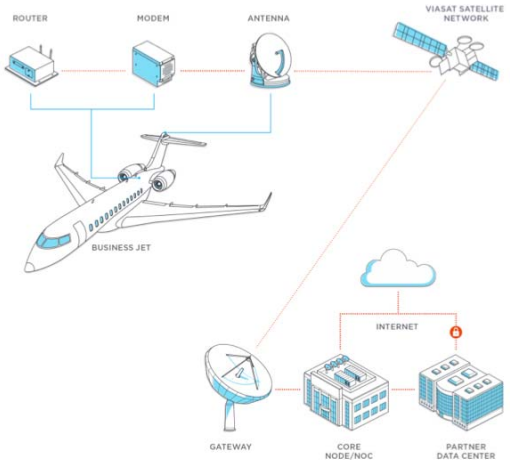


Image : Viasat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Viasat

ViaSat

Présentation

Image : Arconics

- En novembre 2016, ViaSat avait acquis l'entreprise Arconics.
- Ceci lui a permis d'étendre ses services dans les domaines des applications pour EFB, IFE ou la gestion de documents aéronautiques.

Au passage …

Un nouvel acronyme :

IFC – In-flight Connectivity

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Viasat

ViaSat

Présentation

Images : Viasat

- ViaSat est également très présente dans le secteur militaire.
- ViaSat développe et produit du matériel de transmission *Link 16*.
- ViaSat propose des services de liaisons par satellites pour les forces armées ainsi que les organismes gouvernementaux.

Image : Curtiss Wright

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Viasat

ViaSat

Segment spatial

Image : Viasat

- Viasat dispose autant de ses propres satellites, tels ViaSat-1 et ViaSat-2, que de satellites loués à d'autres opérateurs.
- En 2009, ViaSat a acquis Wildblue et ses deux satellites : Wildblue-1 et Anik-F2.
- ViaSat-1 couvre les États-Unis, une bonne partie du Canada, Hawaii et l'Alaska en bande Ka.
- ViaSat-2 permet d'ajouter l'Amérique centrale, le nord de l'Amérique du Sud, les Caraïbes et une bonne parties des routes aériennes et maritimes de l'Atlantique Nord.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Segment spatial

Image : Viasat

- En 2015, ViaSat a annoncé une commande pour trois nouveaux satellites ViaSat-3 qui permettront un débit d'au minimum 1 Tbps par satellite.
- Ils sont construits en partenariat avec Boeing Satellite Systems.

- Le premier des trois satellites ViaSat 3 (Flight 1 ou F1) d'une valeur de 700 M$ (US) a été lancé le 30 avril 2023 et a eu un problème; il fonctionne maintenant au 10ème de sa capacité.
- Les deux autres (F2 et F3) devraient suivre à compter de 2025.
- Avec l'acquisition d'Inmarsat, Viasat a pu étendre sa couverture et son offre de services.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Segment spatial

- Couverture Viasat en Bande Ka :

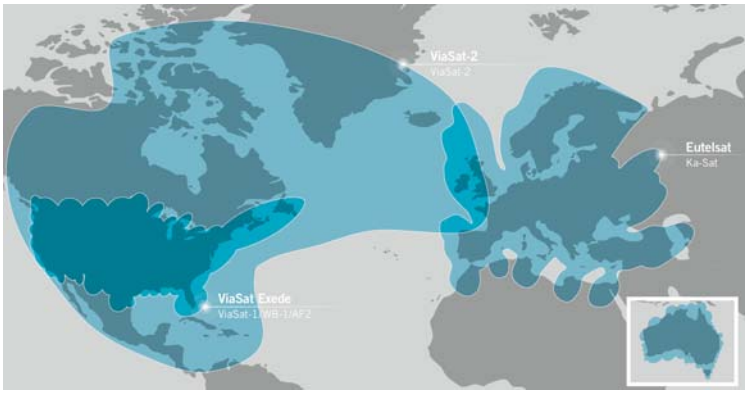


Image : Viasat

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

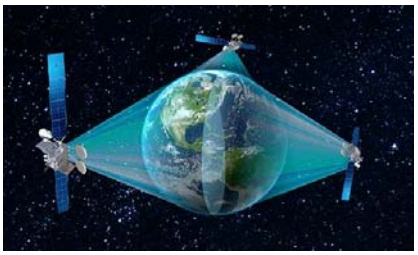
Viasat

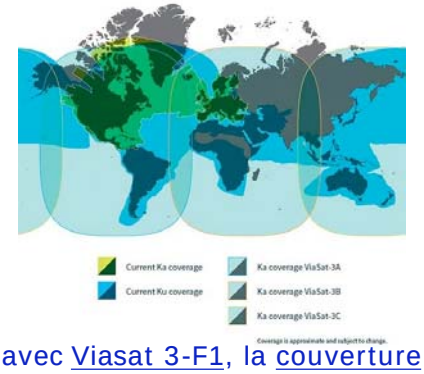
ViaSat

Segment spatial

- Évolution de la couverture Viasat avec Viasat 3:

Images : Viasat





- Avec les problèmes rencontrés avec Viasat 3-F1, la couverture est prévue comme suit : F1 Amérique puis sera déplacé sur l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique - F2 Amérique – F3 Asie et Pacifique.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Segment de contrôle

Image : Viasat

- ViaSat utilise plus d'une centaine de stations au sol (*Gateways*) permettant l'interface entre les liaisons satellites-sol et un réseau terrestre à fibres optiques.
- Le centre de gestion du réseau (NOC-*Network Operations Center*) est localisé à Carlsbad, CA.
- Il semble également y avoir 19 *hubs* répartis sur 14 sites qui font office de *gateways*, mais qui assurent également le contrôle des liaisons.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Segment utilisateur

- Pour l'aviation, ViaSat propose une variété de services ainsi que plusieurs systèmes embarqués :

✓ **Ka Band.**
✓ **Medium & Long Range Aircraft.**

Viasat Global Aero Terminal 5520

Image : Viasat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

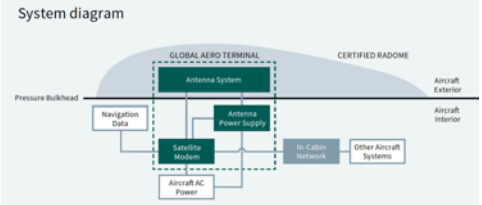
Viasat

ViaSat

Segment utilisateur

- Pour l'aviation, ViaSat propose une variété de services ainsi que plusieurs systèmes embarqués :

✓ **Ka Band.**
✓ **Commercial Aircraft.**



Global Aero Terminal 5530

Second-generation hybrid Ka- and Ku-band aviation SATCOM terminal

Images : Viasat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Segment utilisateur

- Exemples de services proposés par Viasat :

Viasat Ka-band	Max Download Speed	Max Upload Speed	Monthly Allowance (GB)
Ultra15 Regional	>20 Mbps	2 Mbps	15
Ultra30 Global	>20 Mbps	2 Mbps	30
Ultra40 Global	>20 Mbps	2 Mbps	40
Ultra60 Global	>20 Mbps	2 Mbps	60
Ultra100 Global	>20 Mbps	2 Mbps	100
Ultra200 Global	>20 Mbps	2 Mbps	200

*Based on 2 year contracts

**Coverage Area: CONUS/Canada for Ultra15 Regional, Global coverage for all other service plans (where Viasat Ka coverage is available). Data Allowance Carry Forward: Unused data can be carried forward and used in the subsequent month; no month-to-month accumulation. Viasat Unlimited Streaming: Included at no additional charge with Ultra100 and Ultra200 service plans.

Image : Satcom Direct

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Segment utilisateur

- *Exemple d'utilisateur Viasat :* JetBlue et son système Fly-Fi :

Photo © Pierre GILLARD/2011-09358

Image : Engadget

Routeur Fly-Fi

- Le service de connectivité Viasat Fly-Fi à bord des avions est gratuit.
- La télévision en direct est également proposée aux passagers.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Viasat

ViaSat

Segment utilisateur

- Pour les clients de certaines compagnies aériennes, le service de connectivité Viasat est gratuit.
- *Exemple :* Porter Airlines à bord des Embraer EMB195-E2 :

Capture d'écran : Porter Airlines

porter

© Pierre GILLARD/2024-540036

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Eutelsat - OneWeb

OneWeb

Présentation

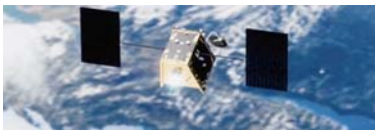


Image : OneWeb

- Anciennement WorldVU (fondée en 2014).
- Envisageait initialement le lancement de 648 satellites LEO de 150 kg chacun en orbite polaire de 1200 km afin de fournir des connexions Internet à haut débit aux particuliers.
- OneWeb avait son siège social établi à Arlington en Virginie et dispose conjointement avec Airbus d'une usine de production de satellites en Floride (les 10 premiers satellites seront produits à Toulouse).
- Les six premiers satellites ont été lancés en Guyane le 29 février 2019 par une fusée Soyouz.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Eutelsat - OneWeb

OneWeb

Présentation

Photo : OneWeb

- En mars 2020, la compagnie s'est déclarée en faillite après avoir lancé 34 satellites.
- Le gouvernement du Royaume-Uni et Bharti Global (Inde) sont devenus propriétaires de OneWeb et la compagnie est sortie de la loi sur la protection des créanciers en novembre 2020.
- Le siège social a été déplacé à Londres.
- En 2022, OneWeb a fusionné avec Eutelsat.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Eutelsat - OneWeb

OneWeb

Segment spatial

Photo : Airbus

- 19 lancements de satellites de première génération ont eu lieu entre le 27 février 2019 et le 20 octobre 2024.
- 16 satellites de seconde génération ont été lancés le 20 mai 2023.
- Il y aurait actuellement 652 satellites opérationnels en orbite.
- Chaque satellite est en mesure de traiter 7,2 Go par seconde.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Eutelsat - OneWeb

OneWeb

Segment utilisateurs

- Le but est de fournir un accès à Internet à haute vitesse (> 30 Mo/s) partout sur la Terre grâce à son réseau de satellite.
- L'offre de service est très générale, mais il existe aussi des applications SATCOM en bande Ku pour l'aéronautique.
- Eutelsat - OneWeb a débuté ses services destinés à l'aviation commerciale ainsi qu'à l'aviation d'affaires en 2023.
- Les antennes installées sur les avions sont à faisceau orienté électroniquement (ESA-*Electronically Steered Antenna*).

Image : Canada Satellite

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Eutelsat - OneWeb

OneWeb

Segment de contrôle – *Fleet Management System*

- Deux centres d'opération des satellites (SOC-*Satellite Operations Centres*) à Londres et en Virginie.
- Un centre d'opération du réseau terrestre (GNOC-*Ground Network Operations Centre*) à Londres en charge du développement des logiciels ainsi que des interfaces avec les utilisateurs, et disposant des capacités d'analyse de données provenant des stations au sol.
- 40 stations au sol réparties partout sur la planète destinées à suivre automatiquement la constellation entière de satellites ceci afin de prédire toute interférence potentielle.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Présentation

- Gogo est à la fois un opérateur de systèmes de radiotéléphones aéronautiques et un fournisseur de services de communications « clé en main » pour les compagnies aériennes et l'aviation d'affaires.
- En décembre 2020, Gogo est devenu une filiale du groupe Intelsat.
- Gogo utilise deux technologies distinctes pour satisfaire sa clientèle : ATG et SATCOM.
- Dans l'aviation d'affaires et l'aviation générale, Gogo est connu pour ses systèmes ATG et ATG4 en Amérique du Nord.
- En ce qui concerne les communications satellites Ku, Gogo utilise les services de fournisseurs extérieurs, dont Eutelsat-OneWeb.
- En 2024, Gogo a acquis le fournisseur de services Satcom Direct.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Présentation

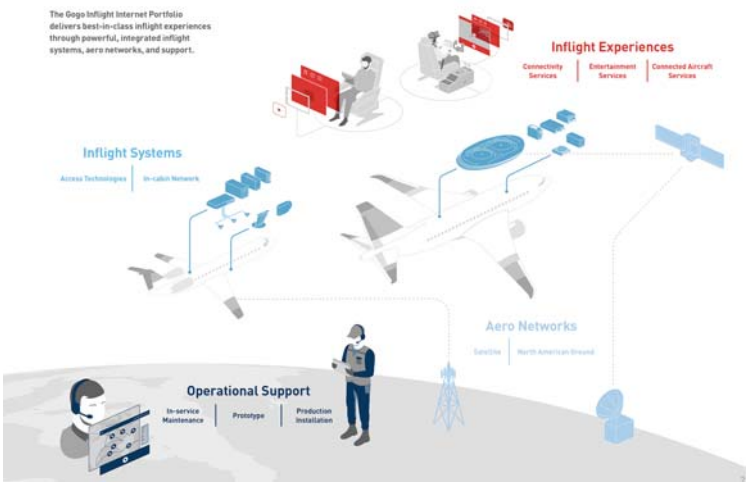


Image : Gogo

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Gogo

ATG (Air-To-Ground)

Image : AirCell

- Le système ATG est à l'origine de Gogo qui, à l'époque s'appelait AirCell.
- Il s'agissait, à l'époque, d'un système de radio-téléphone embarqué.

Image : Gogo

- Au fil du temps, le système a évolué : ATG, ATG5000, ATG-4 (800 MHz), notamment, et maintenant Avance L3 (3G) et Avance L5 (4G).
- Gogo a récemment lancé un nouveau système 5G (X3 LRU).

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Gogo

ATG (Air-To-Ground)

Images : Gogo

- Avec l'évolution des technologies 3G, 4G et maintenant 5G, l'offre de service ATG s'est accrue.
- L'avantage de l'ATG est son coût bien inférieur à celui des communications par satellites.
- Son inconvénient est sa couverture limitée aux États-Unis et au sud du Canada.
- Il est, toutefois, possible de disposer simultanément d'une connexion ATG et d'une connexion SATCOM.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gogo

ATG (Air-To-Ground)

- Voici une idée du coût d'utilisation du système 5G de Gogo :

PRICING

Gogo 5G Data Plans

PLAN	DATA INCLUDED	MONTHLY FEE	OVERAGE	STREAMING
Gogo 5G Pro	Unlimited	$5,195	No overages	No streaming
Gogo 5G 35000	35 GB	$7,295	$0.50/MB	Enabled
Gogo 5G Limitless	Unlimited	$10,395	No overages	Enabled

Gogo Voice/Gogo Skyline Plans*

PLAN	MIN/ MONTH	MONTHLY FEE	FEE/ ADDITIONAL MIN
Silver Voice	60	$145	$1.60
Gold Voice	120	$255	$1.50
Platinum Voice	360	$575	$1.40
Corporate Voice	1,000	$1,055	$1.30

*Requires an active data plan

Gogo Vision - Pricing

	Gogo Vision Standard	Gogo Vision+	Gogo Vision 360
Price	Complimentarty with all AVANCE systems	$525/month $12,732 one-time fee**	$895/month
3D Moving Map	Base	Premium	Premium
Destination Weather	✓	✓	✓
News Clips		✓	✓
eMagazines		✓	✓
Cloudport		✓	✓
AVANCE OTA content and software updates		✓	✓
Unlimited Movies			✓
Unlimited TV			✓
International Languages			✓

**Available from authorized Gogo OEM/Dealer representative

Capture d'écran : Gogo

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gogo

SATCOM

- Gogo concentre ses activités SATCOM sur le système 2Ku.
- Un des éléments clés du système est l'antenne double 2Ku produite par ThinKom Solutions.
- De plus en plus de compagnies aériennes font affaire avec Gogo pour son système 2Ku.

Image : Gogo

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gogo

SATCOM

- La couverture Gogo en bande Ku est quasi mondiale notamment grâce aux nouveaux satellites HTS :

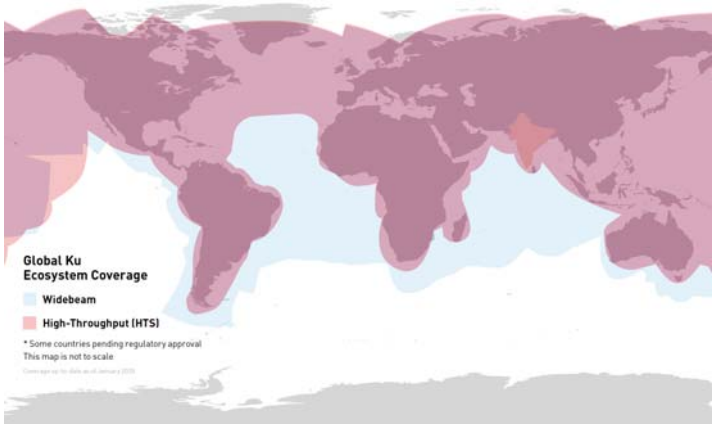


Image : Gogo

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Avantages des antennes 2Ku

- Plus grande surface, donc un meilleur gain et une plus grande efficacité.
- Moins de pièces en mouvement, donc une meilleure fiabilité.

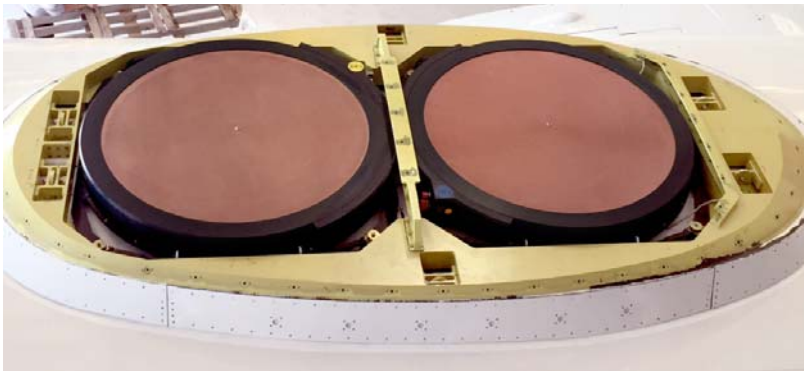


Image : Apex

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Avantages des antennes 2Ku

- Faisceau étroit :

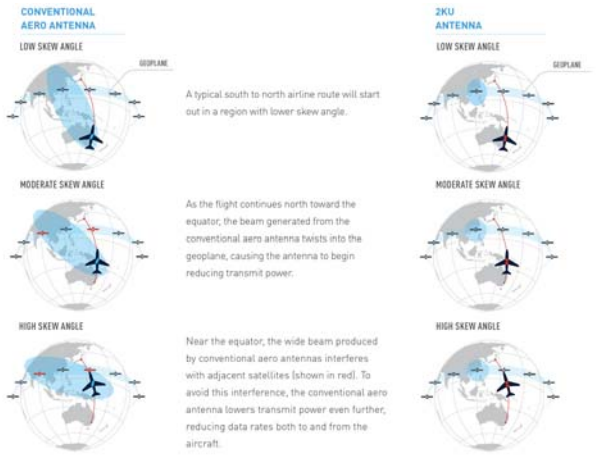


Illustration : Gogo

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Avantages des antennes 2Ku

- Les antennes 2Ku présentent moins de traînée que les antennes SATCOM de performance équivalente.
- Une économie de 25.000 US$ en frais de carburant peut ainsi être réalisée sur un avion pendant une année.

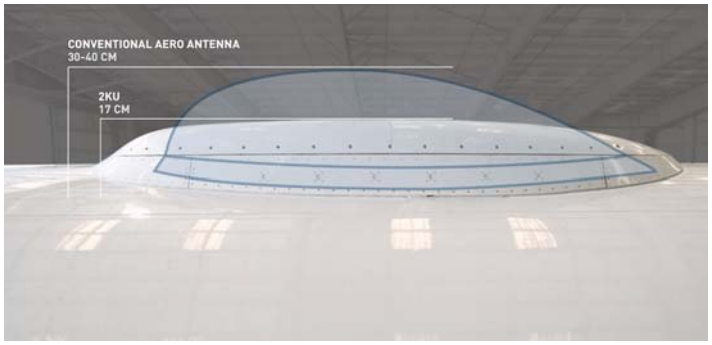


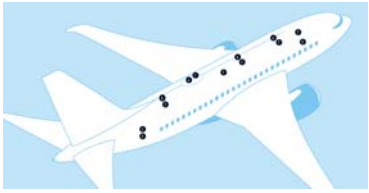
Image : Gogo

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Équipement à bord de l'avion pour le système 2Ku



Illustrations : Gogo

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Équipement à bord de l'avion pour le système 2Ku

Illustrations : Gogo

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Systèmes « Galileo » pour l'aviation d'affaires

- Pour l'aviation d'affaires, Gogo propose deux systèmes utilisant la constellation Eutelsat-OneWeb : HDX et FDX.

Image : Gogo

Système	*Uplink*	*Downlink*
HDX	11 Mops	60 Mops
FDX	32 Mops	195 Mops

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Gogo

Systèmes « Galileo » pour l'aviation d'affaires

- Voici une idée des prix ses systèmes HDX et FDX.

Gogo Galileo Antenna Pricing

	AVANCE SCS	AVANCE L3 (PLUS OR MAX)	AVANCE L5	AVANCE LX5
HDX Add on to AVANCE	$120,000 MSRP			
FDX Add on to AVANCE	$190,000 MSRP			

System price does not include installation. Contact a Gogo authorized Dealer for installation cost.

Gogo Galileo Data Plans

ANTENNA	DATA INCLUDED	MONTHLY FEE	OVERAGE	STREAMING	VISION 360 INCLUDED
HDX	25 GB	$3,500	$140/GB	Enabled	N/A
	50 GB	$7,000	$140/GB	Enabled	N/A
	Unlimited	$10,500	No overages	Enabled	Yes
	Unlimited Gogo Galileo + Unlimited ATG	$11,500	No overages	Enabled	Yes
FDX	25 GB	$3,500	$140/GB	Enabled	N/A
	50 GB	$7,000	$140/GB	Enabled	N/A
	Unlimited	$12,500	No overages	Enabled	Yes
	Unlimited Gogo Galileo + Unlimited ATG	$13,500	No overages	Enabled	Yes

Capture d'écran : Gogo

Gogo Galileo and ATG Data Plan Bundles

GOGO ATG DATA PLANS	GOGO GALILEO	
Unlimited (non-streaming)	25 GB data per year included at no charge	Option to purchase additional 25 GB data for $3,500 (must be used within the year of purchase)
Unlimited (streaming)	50 GB data per year included at no charge	

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Starlink Aviation

Image : Starlink Aviation

- Starlink est une constellation prévue de 12.000 mini-satellites (possiblement jusqu'à 42.000 dans le futur !) de SpaceX proposant une couverture mondiale destinée à fournir un service Internet à haute vitesse partout sur la Terre.
- Un service spécifiquement dédié à l'aéronautique a été créé et existe depuis 2023 : Starlink Aviation.

- ✈ **Débit :** Jusqu'à 350 Mbps par aéronef.
- ✈ **Latence :** 20 ms, permettant d'effectuer des appels vidéo, des jeux en ligne ou autres activités à hauts débits.
- ✈ **Orbite :** LEO à 550 km.
- ✈ **Bandes de fréquences :** Ku et Ka.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Starlink Aviation

Image : Starlink Aviation

- Les antennes Starlink installées sur les avions sont à réseau de phase et à faible influence aérodynamique.
- L'installation du système à bord est sensée se dérouler rapidement avec un temps d'immobilisation de l'aéronef minimal.
- Le système à installer à bord comprend : un aéroterminal, un bloc d'alimentation, deux points d'accès sans fil, une antenne et des faisceaux de câbles.
- Prix de l'installation : 150.000 US$.
- Utilisation par abonnement de 12.000 US$ à 25.000 US$ par mois.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Starlink Aviation

Exemple d'utilisateur

Photo © Pierre GILLARD/2024-906162

- WestJet est équipé de connectivité SATCOM de Starlink.
- Le service Internet est payant sauf, dans certains cas, si on est membre du programme de fidélité de la compagnie.

Coût d'utilisation

- En 2023, Starlink annonçait un prix débutant à 329 $ (US) par mois pour 50 Go.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Intelsat

INTELSAT

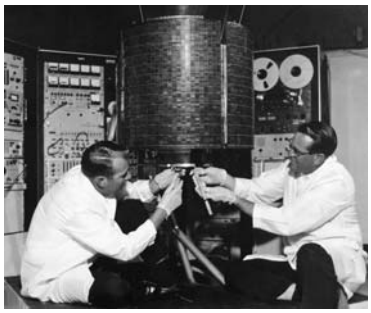


Photo : Intelsat

Image : Intelsat

- Intelsat (*International Telecommunications Satellite Organization*) a été fondée en 1964 en tant que consortium international et son premier satellite a été lancé en 1965.
- En 2001, Intelsat est privatisée.
- Intelsat dispose d'une importante flotte de satellites GEO fonctionnant essentiellement dans les bandes C et Ku.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Intelsat

INTELSAT

Image : Maxar

Photo : Satcom Direct

- Intelsat a acquis en 2020 la division d'aviation commerciale de Gogo, ce qui lui a permis d'accroître son offre auprès des compagnies aériennes.
- Le service FlexExec, fonctionnant en bande Ku, est essentiellement destiné à l'aviation d'affaires et est prévu pour les connexions à haute vitesse.
- Il existe aussi des services dédiés spécifiquement aux organisations gouvernementales : ISR-*Airborne Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*, communications avec les drones (UAV), communications sécuritaires en bande Ku, etc.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Intelsat

INTELSAT

Couverture du système Intelsat FlexExec

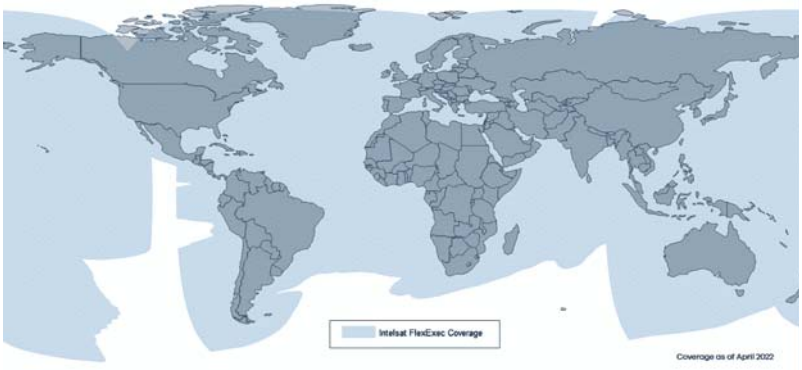


Image : Intelsat

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Autres systèmes

- Nous venons de voir les principaux systèmes SATCOM utilisés en aviation.
- Il en existe d'autres plus modestes et géographiquement plus restreints :

✈ **TAQNIA SPACE** (Arabie Saoudite) : a développé avec SITAOnAir un système de connectivité en vol dans les bandes Ku et Ka en utilisant les services d'Eutelsat.

✈ **FLIGHTCELL** (Nouvelle Zélande) : a développé un système de suivi d'aéronefs utilisant les réseaux cellulaires et Iridium.

✈ **CHINA SATCOM** ou **CHINA SATELLITE COMMUNICATIONS Co**.

✈ **Космическая связь** ou **RUSSIAN SATELLITE COMMUNICATIONS COMPANY** utilise les services d'Eutelsat, d'Intelsat et d'Intersputnik.

✈ Autres ?

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Évolution

Satellites HTS

- HTS signifie « *High Throughput Satellite* (satellite à haut débit).
- Ce sont des satellites qui ont, par définition, des débits de données au moins deux fois supérieurs aux satellites conventionnels pour le même spectre de fréquences.
- Le plus souvent, ce facteur tourne autour de 20, même parfois plus.
- ViaSat-1 et Anik F2 appartenant à ViaSat ainsi que la constellation Inmarsat Global Xpress, par exemple, correspondent à la définition d'HTS.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Évolution

Système Iris - *4D Routing*

- Le système Iris est développé conjointement par l'EASA et Inmarsat (Viasat); il est maintenant opérationnel.
- Le but est de remplacer bon nombre de liaisons VHF analogiques (AM) et numériques (VDL2) par des liaisons *DLS-Data Link Service* par satellites (Swiftbroadband-Safety).
- Des essais sont réalisés à partir d'avions de quelques compagnies aériennes européennes.
- Cobham et Honeywell fournissent l'équipement permettant d'intégrer le système Iris.
- Iris améliore la gestion du trafic aérien et réduit ainsi la production de GES.
- Par la suite, si les essais sont concluants, le concept pourrait être étendu notamment aux zones trans-océaniques.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Évolution

Airbus & TNO - UltraAir

Image : Airbus

- Dans le cadre d'un projet de l'EASA, Airbus et l'Organisation néerlandaise de recherche scientifique appliquée (TNO) ont reçu le mandat de développer, de réaliser et de tester un système de communication satellite utilisant des faisceaux laser.
- Si l'initiative est d'abord destinée à des fins militaires, il est toutefois prévu des applications dans l'aviation civile.
- UltraAir utiliserait des satellites géostationnaires (GEO); pour la phase d'essais, Alphasat d'Inmarsat sera utilisé.
- Le défit consiste à développer des systèmes optiques extrêmement stables.
- Des taux de transfert de gigabits/seconde sont envisageables.
- Un essai avec un avion devrait être réalisé en 2025.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Installation

- *Exemple d'installation :* AirSat 1 pour Iridium.

Manuel d'installation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Installation

- Pour faciliter l'accès aux fonctionnalités de certains systèmes SATCOM, NAT a développé un clavier muni d'un affichage adapté :

Image : NAT

Manuel d'installation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Installation

ORT-*Owner's Requirement Table*

- Avec plusieurs systèmes SATCOM, il faut programmer une ORT dans le SDU.
- Dans cette table on spécifie :
  - ✈ Les fonctionnalités activées et désactivées.
  - ✈ Les positions des satellites préférentiels.
  - ✈ Les stations au sol préférentielles.
- Le travail peut être fastidieux et certaines entreprises proposent des applications permettant de faciliter le travail (exemple : getORT+ de Satcom Direct).

getORT+®
Mobile Satcom Support with Unity™

getORT+® is a mobile application for use with the Unity™ kit for configuration management and remote assistance from Satcom Direct.
Unity™ enables your avionics technicians to connect to various satcom systems via system specific terminal adapters and Get Satcom®/getORT+® for troubleshooting, diagnostics and maintenance information.

- ✔ Load ORT files onto Honeywell SDUs
- ✔ Load AIS-2000 SatTV systems with channel listing and receiver information
- ✔ Includes preloaded ORT files from Satcom Direct
- ✔ Ability to load ORT files received via email

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Problèmes rencontrés

Possibilités de problèmes liés à l'aéronef

- Visibilité des satellites : du fait des fréquences utilisées, l'aéronef et le satellite doivent être « en vue » l'un de l'autre (LOS-*Line of Sight*). Dès qu'il y a obstruction (hangar, bâtiments, éléments de l'aéronef, …), la liaison peut être rompue.
- Position et attitude de l'aéronef : une information de position erronée ou une mauvaise indications de l'assiette provenant des systèmes FMS, IRS, IRU ou AHRS ne permettent pas à l'A/BSU d'orienter l'antenne ou le faisceau de l'antenne adéquatement.
- Mauvais code 24 bits : le système ne franchit pas l'étape du login.
- Activation : si le système refuse de s'activer, vérifier que tout est en ordre avec le fournisseur de service.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Problèmes rencontrés

Possibilités de problèmes liés à l'aéronef

- ORT : la table a mal été programmée.
- Déficience des satellites: certains satellites peuvent être en panne ou en maintenance; vérifier l'état de la constellation avec le fournisseur.
- Absence de couverture: une portion du vol s'est déroulé dans un endroit où il n'y a pas de couverture ou dans une zone où l'élévation du satellite était trop basse.
- Météo : de mauvaises conditions météorologiques peuvent nuire à la réception du signal notamment durant les transitions entre le sol et la croisière (bandes Ku et Ka plus sensibles que la bande L); il y a aussi les liaisons satellites-stations au sol qui peuvent être perturbées à cause de la météo.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Problèmes rencontrés

Possibilités de problèmes en cabine :

- Interférences : les appareils sans fils fonctionnent dans la bande des 2,4 GHz et peuvent interférer l'un avec l'autre; il faut donc les programmer sur des canaux bien distincts et séparés le plus possible en fréquence pour éviter les recouvrements de spectres; on peut également limiter la puissance de transmission de certains WAP-*Wireless Access Points*.
- Bande passante : le taux de transfert des données a toujours une limite pour les appareils sans fils; s'il y a trop d'appareils connectés au même routeur, il va y avoir un ralentissement du flot des données échangées.
- Volume des données transférées : problème semblable au précédent, mais dont la saturation est causée ici par le volume des données transférées par l'utilisateur de l'équipement sans fil.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Réglementation

Extraits de réglementation

- Approbation de l'équipement et des installations de télécommunications par satellite (*LPCA*).
- Utilisation de la gamme VHF générale ou des communications par satellite (SATCOM) en phonie au lieu des fréquences HF A/G internationales (AIM).

Rockwell Collins

- Utilisation d'appareils électroniques portatifs émetteurs et non émetteurs (CI700-005).

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Exigences ETOPS en matière de communications

Photo © Pierre GILLARD/2013/307963

- ETOPS signifie « *Extended-range Twin-engine Operations Performance Standard* ».
- Pour qu'un aéronef se qualifie dans une catégorie ETOPS, il est nécessaire qu'il dispose d'un moyen de communication à longue distance.
- Le SATCOM sera privilégié et parfois exigé.
- Le système HF pourra aussi être requis comme moyen de communication de réserve au SATCOM ou comme moyen primaire en double exemplaire.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Autres systèmes utilisant les satellites

Exemple de services : *XM Weather*

XM WX offers the most comprehensive suite of accurate graphical weather data, combined with the most reliable satellite delivery method.

DEPENDABLE SATELLITE DELIVERY

XM's satellite network consists of multiple identical satellites in geostationary orbit around the earth, each continuously transmitting weather data to subscribers below.

The XM satellites are among the most powerful commercial satellites in the world. Their powerful signals ensure you'll receive timely weather information when you need it most, providing confidence and peace of mind.

Subscribers to XM WX use state-of-the-art antennas to acquire the signal.

XM Weather

- *XM Weather* vend ses services d'information météo à toutes sortes d'utilisateurs moyennant une redevance.
- À bord des avions d'affaires et de ligne, un récepteur SATCOM capte les données XM WX et les affiche sur les écrans EFIS.
- Ces données viennent en complément de l'image du radar météo de l'avion.

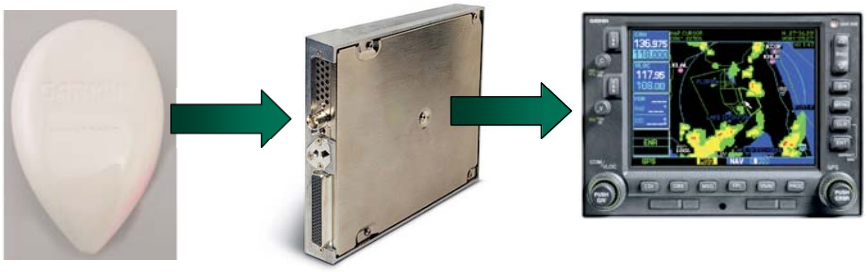
© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Autres systèmes utilisant les satellites

Exemple de services : *XM Weather*

- Les avions légers ne sont pas équipés de radar météo, mais souvent d'un écran multifonction (MFD) d'un système avionique intégré.
- Ils peuvent recevoir de l'information météo du fournisseur de service *XM Weather* et l'afficher sur leur écran multifonction grâce à un récepteur SATCOM (2332,5-2345 MHz).



Garmin

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Systèmes SATCOM militaires

- Les militaires ont également d'immenses besoins de communications SATCOM, notamment pour les UAV (drones).
- Certaines ressources sont partagées avec le secteur civil.

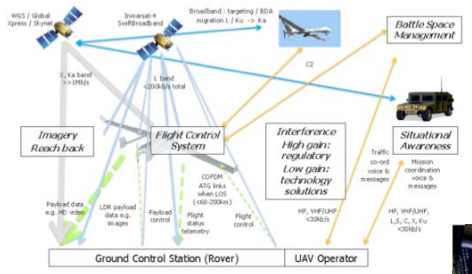


Illustration : EADS/Astrium

Images : auteurs inconnus

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Systèmes SATCOM militaires

Spécificité des communications militaires

- Des communications claires et sans ambiguïté entre toutes les composantes intervenant dans une opération militaire sont primordiales pour la réussite de l'intervention en territoire hostile.
- Ces communications peuvent mettre en relation simultanément des éléments terrestres, aériens et navals.
- De plus, en cas d'intervention dans le cadre d'une coalition entre plusieurs pays (exemple : OTAN), il est impératif que l'ensemble des équipements utilisés par les différents éléments de chaque pays soit compatible et ait accès aux mêmes codes de cryptage ou de « *frequency hopping* ».
- L'usage de liaisons par satellites dans ces situations est fréquent pour leur caractère fiable.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Systèmes SATCOM militaires

Spécificité des communications militaires

- Les communications militaires ne se limitent pas exclusivement à des messages vocaux.
- Il y a également la transmission d'images et la désignation (pointage) de cibles pour guider les bombes et les projectiles sur l'ennemi afin de limiter les dommages collatéraux.
- Un système très répandu dans l'OTAN et d'autres pays alliés des États-Unis est le *pod* Sniper de Lockheed Martin :

Photo : Jerry Gunner/Wikipedia

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Systèmes SATCOM militaires

Liaisons de données tactiques

Image : auteur inconnu

- Plusieurs systèmes de liaisons de données tactiques (TDL-*Tactical Data Link*) existent ou ont existé.
- Ils permettent l'échange de données numériques entre plusieurs composantes.
- Le plus ancien TDL est le « *Link 11* » (Liaison 11).
- Actuellement, le plus utilisé est le « *Link 16* » (Liaison 16).
- La liaison « *J-over IP* » est une amélioration de la Liaison 16 permettant une optimalisation des transferts de données.
- Il existe aussi le « *Link 22* » (Liaison 22) qui est spécifique à l'OTAN et qui a été conçu pour succéder au *Link 11* tout en étant compatible avec le *Link 16*.
- Les TDL peuvent avoir des interactions avec les systèmes transpondeurs, IFF et ADS-B.

© Département d'avionique

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Communications avec les drones (UAVs)

Photo : NASA

Photo : Inmarsat

- De plus en plus, des drones civils vont évoluer dans l'espace aérien.
- Des communications fiables sont donc nécessaires entre le sol et les drones en vol.
- Ceci est surtout vrai pour les opérations hors visibilité directe (BVLOS-*Beyond Visual Line of Sight*).
- L'ESA (European Space Agency), TTP et Inmarsat ont développé un petit terminal permettant l'intégration de drones civils dans les espaces aériens contrôlés en utilisant la connectivité SwiftBroadband-Safety (SB-S).
- Les drones seront aussi équipés de la technologie DAA-*Detect and Avoid*.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLÈGE ÉDOUARD-MONTPETIT

Conclusions

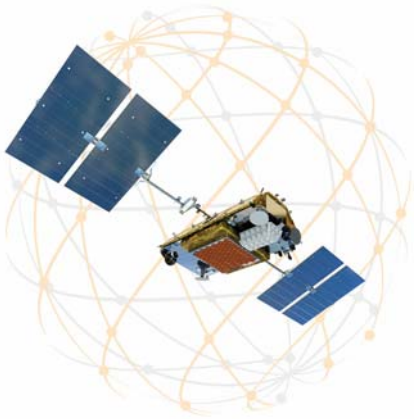


Illustration : Iridium

- De tous les secteurs de l'avionique, c'est celui des communications qui a connu le plus d'évolution ces dernières années.
- De nombreux développements ont eu lieu dans le domaine des communications satellites.
- Mois après mois, de nouveaux développements ou de nouveaux services voient le jour.
- Il est quasi certain que, d'ici la fin de vos études à l'ÉNA, des nouveautés seront apparues dans les SATCOM.

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD-MONTPETIT

Image : auteur inconnu

Merci de votre attention

© Département d'avionique *Document à des fins de formation*