

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie



**SATCOM**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

Avant de débiter le cours ...



**Merci !**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

**Présentation du cours**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

**Présentation du cours**

- Intelsat.
- Autres systèmes.
- Evolution.
- 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 (JAVs).
- Conclusions.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

**Introduction**

- 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.

**VIDEO : [exemple des satellites de communication](#)**

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

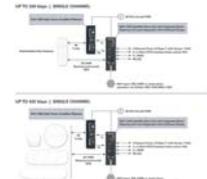


© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

**Introduction**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

**Introduction**

- Si au départ, les **communications par satellites** étaient relativement **chers**, 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 Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

**Introduction**

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



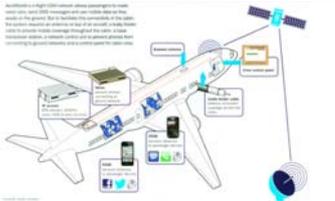
**Temps de connexion Inmarsat SBB : 14 heures 34 minutes !**  
**Données transférées : 1664,16 Mo (300 Ko/s).**  
**Coût de la connexion SBB : 7,5 US\$/min.**  
**Facture totale : 12 481,20 US\$ !**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Tunisie

**Introduction**

**Le SATCOM est un maillon des systèmes IFE récents**



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**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*).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**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 :

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**Définitions**

**Faisceaux**

- 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

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**Définitions**

**Liaisons**

- **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

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**Définitions**

**Liaisons**

- **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

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**Définitions**

**Constellations de satellites**

- 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

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**Orbites**

- Du fait de l'**attraction de la Terre**, un satellite envoyé dans l'**espace gravité** 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

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**Orbites HEO et GEO**

- **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

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

**Orbites**

- 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

### Orbites

#### Orbites des principaux systèmes satellites

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

### 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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

### Orbites

#### Problème des débris de l'espace

**Les débris spatiaux en chiffres**

- 22 000 : nombre de débris spatiaux plus grands que 10 cm
- 1 million : nombre de débris spatiaux plus petits que 1 cm
- 11 : débris spatiaux menaçant le lancement d'un satellite (dont le satellite Chang Chang en orbite quand le satellite chinois est lancé en orbite)
- 40 000 : nombre de débris spatiaux en orbite
- 2500 : nombre de satellites abandonnés en orbite
- 50 000 : nombre de fragments de satellites (à 2000)

Source : OCS, 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

### 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-millimeter-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

### Gammes d'ondes

- 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

### Équipement embarqué

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

### Équipement embarqué

#### • Schéma bloc d'un système représentatif :

**A/BSU – Antenna/Beam Steering Unit**

- 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

### Équipement embarqué

#### • Schéma bloc d'un système représentatif :

**DLNA – Diplexer & Low Noise Amplifier**

- 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 E : pour SwiftBroadband.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

### 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

**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

**Équipement embarqué**

• Schéma bloc d'un système représentatif :

**SDU – Satellite Data Unit**

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Équipement embarqué**

• Schéma bloc d'un système représentatif :

**CDU – Control & Display Unit**

- 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

**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

**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

**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 Document à des fins de formation

**Antennes SATCOM**

Type d'antennes SATCOM

• Antennes à réseau de phase (Phased Array) :

**Avantage :** aucun élément mobile

**Inconvénient :** électronique complexe

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Antennes SATCOM**

Type d'antennes SATCOM

• Antennes mobiles :

**Avantage :** Plus simples à contrôler

**Inconvénient :** volumineuse

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Antennes SATCOM**

Type d'antennes SATCOM

• Antennes « blade » à faible gain :

**Avantage :** Très simples à fabriquer

**Inconvénient :** Gain très faible

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### 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

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions légers

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur hélicoptères

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions d'affaires

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions d'affaires

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions commerciaux

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions commerciaux

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions commerciaux

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

**AeroShield**

Radome  
Adapter Plate  
Antenna

Vidéo : Production et installation d'antennes ARINC 791

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Toulouse

### 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 :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### Antennes SATCOM

**Problèmes liés à l'aérodynamique**

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



**FlightGlobal**

Satcom random vibrations prompt A320 ET antenna checks

Since 2018, random vibrations on the antenna assembly have been reported on several Airbus A320neo aircraft. The problem is caused by the antenna assembly being too heavy for the structure. The antenna assembly is too heavy for the structure. The antenna assembly is too heavy for the structure.

© Département d'Avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### INMARSAT

**Présentation**



- 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

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### INMARSAT

**Présentation**




- 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

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### 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 kbps – IGA Class 7 : 4 canaux jusqu'à 500 kbps – SBB200 Class 15 : un canal jusqu'à 200 kbps).
- ✓ **Global Xpress** et **JetConnectX** : 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

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### 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

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### INMARSAT

**Infrastructures d'Inmarsat**



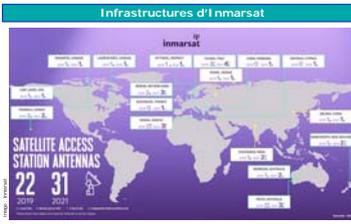

- Actuellement, la **constellation** compte **12 satellites GEO** en **activité** pour les services aéronautiques.
- Pour assurer les **connexions vers le sol**, Inmarsat dispose de **31 antennes paraboliques** de 9 mètres ou plus de diamètre réparties dans **25 stations SAS- Satellite Access Stations** 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

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### INMARSAT

**Infrastructures d'Inmarsat**



**SATELLITE ACCESS STATION ANTENNAS**

22 2019

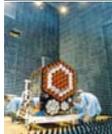
31 2021

© Département d'Avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### INMARSAT

**INMARSAT 2**

- 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 Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### 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)**.

© Département d'Avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**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

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** **INMARSAT 4**

**SEGMENT SPATIAL**

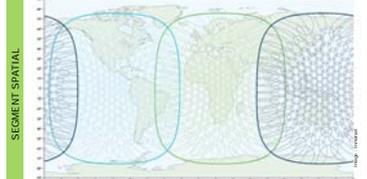


© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** **INMARSAT 4**

**SEGMENT SPATIAL**



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**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 nom 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 :**



Zone avec mauvaise ou absence de couverture.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**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.



Satellite Inmarsat-4      Satellite Alphasat

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** **INMARSAT 4**

**SEGMENT DE CONTRÔLE**

- Les satellites Inmarsat-4 communiquent avec des stations au sol SAS-Satellite Access Stations situées à Purum aux Pays-Bas, Eucino en Italie et Pamaui à Hawaï.
- Elles appartiennent intégralement à Inmarsat.



Station SAS de Pamaui, HI

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**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 >
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le système dépend des services SwiftBroadband choisis : HGA, IGA et SBB200.</li> <li>Composé d'un équipement différent du SwiftBroadband.</li> <li>Les services SwiftBroadband 200 pourraient être étendus à l'avenir.</li> </ul>		

- Le SwiftBroadband 200 ne peut pas être capté en dessous de 20° d'élévation.

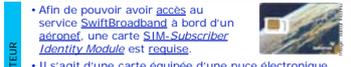
© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**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.
- 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

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**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 IGA.
- Exemple : AVIATOR 200 de Cobham :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 4

• Exemple : AVIATOR 200 de Cobham :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 4

• Exemple : connexion avec antenne LGA :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 4

• Antennes HGA et LGA compatibles avec Inmarsat-4 :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 4

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 5

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

• 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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 5

- Les satellites Inmarsat-5 utilisent 39 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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 5

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 5

- 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.

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENN** École Nationale Supérieure de l'Avionique

**INMARSAT** INMARSAT 5

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**INMARSAT 5**

• Equipements 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 l'interface.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**INMARSAT 5**

• Avec Jet\_Connex (IX), le transfert de données peut atteindre 33 Mbps vers l'avion, mais seulement 2,1 Mbps à partir de l'avion.

Direction	Débit
Avion vers l'Avion	20 à 33 Mbps / 1,5 à 2,5 Gbps
Avion vers Terre	20 à 33 Mbps / 1,5 à 2,5 Gbps
Terre vers Avion	2,1 Mbps / 1,5 à 2,5 Gbps
Avion vers Avion (Direct)	20 à 33 Mbps / 1,5 à 2,5 Gbps
Avion vers Avion (Indirect)	2,1 Mbps / 1,5 à 2,5 Gbps

• 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

**INMARSAT**

**INMARSAT 5**

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

Service	User Uplink	User Downlink	Feeder Uplink	Feeder Downlink
Standard Payload	29.5 - 30.0 GHz	18.7 - 20.2 GHz	28.0 - 28.5 GHz	18.2 - 18.7 GHz
High Capacity Payload	29.8 GHz	18.2 - 19.7 GHz	27.7 - 28.0 GHz	17.7 - 18.2 GHz

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**INMARSAT GX6**

• En décembre 2015, Inmarsat a commandé à Airbus Defence & Space les deux premiers satellites de sixième génération : Inmarsat-6 F1 et F2, dénommés 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 GX6-A (1-6 F1) a été lancé le 22 décembre 2021 par Mitsubishi Heavy Industries et on prévoit une durée de vie d'au moins une quinzaine d'années.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**INMARSAT GX6**

• Le 17 février 2023, le satellite GX6-B (1-6 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 (1-6 F1) : Ocean Indien.
- ✓ GX6-B (1-6 F2) : Ocean Atlantique.

• Chaque satellite est suivi par deux stations au sol (GSA - Ground Station Antenna) :

- ✓ GX6-A (1-6 F1) : Perth et Merredin (Australie).
- ✓ GX6-B (1-6 F2) : Santander et Arganda (Espagne).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**INMARSAT GX7, GX8 et GX9**

• Dans le futur, il est prévu de lancer les nouveaux satellites Global 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 (1-5) 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 Document à des fins de formation

**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 combleront 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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**Vue générale des satellites Global Xpress GX1 à GX10B**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**INMARSAT**

**L'énigme du vol Malaysia Airlines MH370**



- 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'atoutage 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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**EAN-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.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**EAN-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'environ 300 relais 4G LTE de Deutsche Telekom est utilisé.
- L'objectif est de proposer des débits jusqu'à 50 Gbps avec des prix très concurrentiels.



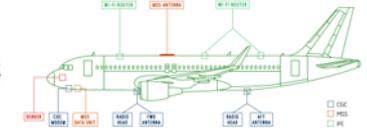
© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**EAN-European Aviation network**

**Présentation**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**EAN-European Aviation network**

**Présentation**

- Différents éléments installés à bord des avions :

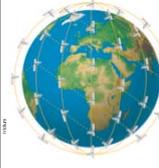
GROUND NETWORK ANTENNA	WIS SATellite ANTENNA
<ul style="list-style-type: none"> <li>Weight: 0.5kg</li> <li>Dimensions: 118 x 54 x 35mm</li> <li>Quad-beam polarisation</li> <li>PPPP support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weight: 0.5kg</li> <li>Electrically steered</li> <li>Integrated GPS/GNSS</li> <li>Integrated S-V band converter</li> </ul>
WIS-1000 WIS	WIS-1000 WIS-1000
<ul style="list-style-type: none"> <li>Weight: 0.5kg</li> <li>Dimensions: 118 x 54 x 35mm</li> <li>Quad-beam polarisation</li> <li>PPPP support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weight: 0.5kg</li> <li>Electrically steered</li> <li>Integrated GPS/GNSS</li> <li>Integrated S-V band converter</li> </ul>

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Iridium**

**Présentation**



- 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.

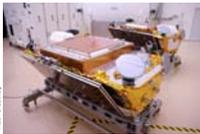
**VIDEO**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Iridium**

**Segment spatial**



- 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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Iridium**

**Segment spatial**



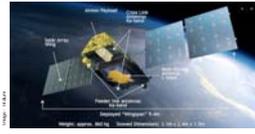
- Du retard avait été pris dans le lancement des nouveaux satellites à cause de l'échec d'un lot d'une fusée Falcon 9 à Cap Canaveral en 2016.
- Un premier lancement de 10 satellites a finalement eu lieu le 14 janvier 2017.
- Les 10 derniers satellites ont été placés sur orbite en janvier 2019 par une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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Iridium**

**Segment spatial**



- 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 Alrean 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

**Iridium** Segment spatial

- Aircon 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'optimiser le contrôle du trafic aérien.
- Permet d'éventuellement éliminer les stations ADS-B au sol.
- Aircon 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

**Iridium** Segment spatial

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Iridium** Segment spatial

- Aircon en partenariat avec Iridium, NATS, AirNav Ireland, ENAV et Aviair (Aircon 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 Document à des fins de formation

**Iridium** Segment de contrôle

- 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

**Iridium** Fréquences

- Utilisation des bandes L et Ka :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Iridium** 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 Document à des fins de formation

**Iridium** Segment utilisateur

- 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-OPSK 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

**Iridium** Segment utilisateur

- 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 (MEI) à la place de la carte SIM pour identifier l'utilisateur. Est utilisé pour transmettre des données ATC ou du DataLink.
- RUOICS : 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

**Iridium** Segment utilisateur

- Certus - Aviation : service Iridium Next destiné à tous les secteurs de l'aviation.
- FlyLINK 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 Document à des fins de formation

**Iridium**

**Segment utilisateur**

- 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 Document à des fins de formation

**Iridium**

**Segment utilisateur**

Exemple d'équipements Iridium installés dans un hélicoptère.




L'antenne est combinée SATCOM/GPS.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Iridium**

**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.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Iridium**

**Segment utilisateur**

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



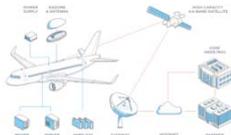
Schémas d'installation à bord d'un AS350 AStar

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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.

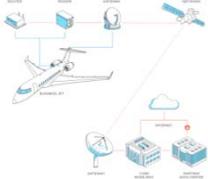


© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat**

**Présentation**

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

Au passage ...  
Un nouvel acronyme :  
**IFC – In-flight Connectivity**



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat**

**Présentation**

- 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.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat**

**Segment spatial**

- 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 partie des routes aériennes et maritimes de l'Atlantique Nord.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat** **ViaSat**

**Segment spatial**



- 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 **200 MS (US)**, a été lancé le **30 avril 2023**, et a eu un problème: il fonctionne maintenant au **10% 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

**Viasat** **ViaSat**

**Segment spatial**

- Couverture Viasat en Bande Ka :**



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat** **ViaSat**

**Segment spatial**

- Evolution de la couverture Viasat avec ViaSat-3 :**



- 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

**Viasat** **ViaSat**

**Segment de contrôle**



- 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

**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**



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat** **ViaSat**

**Segment utilisateur**

- Exemples de services proposés par Viasat :**

Service	Band	Speed	Capacity	Monthly Minimum (USD)
Viasat Regional	Ka	100 Mbps	200 Mbps	15
Viasat Global	Ka	100 Mbps	200 Mbps	40
Viasat Global	Ka	100 Mbps	200 Mbps	40
Viasat Global	Ka	100 Mbps	200 Mbps	40
Viasat Global	Ka	100 Mbps	200 Mbps	100
Viasat Global	Ka	100 Mbps	200 Mbps	200

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat** **ViaSat**

**Segment utilisateur**

- Exemple d'utilisateur Viasat : JetBlue et son système 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 Document à des fins de formation

**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** :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Eutelsat - OneWeb**

**Présentation**



- 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 Soyuz.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Eutelsat - OneWeb**

**Présentation**



- 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

**Eutelsat - OneWeb**

**Segment spatial**



- **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

**Eutelsat - 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**).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Eutelsat - 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

**Gogo**

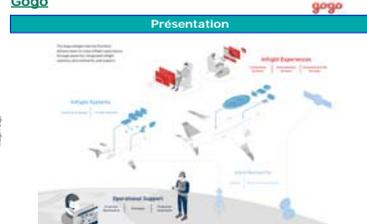
**Présentation**

- **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

**Gogo**

**Présentation**



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Gogo**

**ATG (Air-To-Ground)**

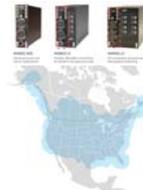


- Le **système ATG** est à l'origine de Gogo qui, à l'époque s'appelait **AirCell**.
- Il s'agissait, à l'époque, d'un système de **radio-téléphone embarqué**.
- Au fil du temps, le système a évolué : **ATG**, **ATG5000**, **ATG-4** (800 MHz), notamment, et maintenant **Avance L3** (3G) et **Avance L5** (4G).
- Gogo a récemment lancé un nouveau **système 5G** (**X3 LRU**).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Gogo**

**ATG (Air-To-Ground)**



- 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 **inconvenient** est sa **couverture limitée** aux **Etats-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



**Gogo**

**Systèmes « Galileo » pour l'aviation d'affaires**

- Voici une idée des **prix** ses systèmes HDX et EDX.

Service	Configuration	Capacité	Portée	Latence	Orbite	Fréquences
HDX	Standard	100 Mbps	1000 km	20 ms	LEO	Ku et Ka
	Advanced	200 Mbps	1000 km	20 ms	LEO	Ku et Ka
EDX	Standard	100 Mbps	1000 km	20 ms	LEO	Ku et Ka
	Advanced	200 Mbps	1000 km	20 ms	LEO	Ku et Ka

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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

**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 **aeroterminale**, 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

**Starlink Aviation**

**Exemple d'utilisateur**



- 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 Document à des fins de formation

**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 Document à des fins de formation

**Intelsat**



- 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

**Intelsat**

**Couverture du système Intelsat FlexExec**



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Autres systèmes**

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

→ **TAQIA SPACE** (Arabie Saoudite) : a développé avec SITAoAir 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 Document à des fins de formation

**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 Document à des fins de formation

**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 Document à des fins de formation

**Évolution**

**Airbus & TNO - UltraAir**



- 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 défi 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 Document à des fins de formation

**Installation**

Exemple d'installation : AirSat 1 pour Iridium.



Manuel d'installation

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Installation**

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



Manuel d'installation

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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 préférés.
  - Les stations au sol préférées.
- Le travail peut être fastidieux et certaines entreprises proposent des applications permettant de faciliter le travail (exemple : getORT+ de Satcom Direct).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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). Des 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 indication de l'assiette provenant des systèmes FMS, IRS, IRU ou AHRS ne permettent pas à l'ABSU 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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Problèmes rencontrés**

Possibilités de problèmes liés à l'aéronef

- ORT : la table a mal été programmée.
- Déficiência 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'élevation 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 Document à des fins de formation

**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 Document à des fins de formation

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### Exigences ETOPS en matière de communications



- 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 privilegié et parfois exigé.
- Le système HE 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

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### Autres systèmes utilisant les satellites ((DMM))

#### Exemple de services : XM Weather



- XM Weather vend ses services d'information météo à toutes sortes d'utilisateurs moyennant une redevance.
- A 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

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### Autres systèmes utilisant les satellites ((DMM))

#### 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).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### 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.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### 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

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### 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 :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### Systèmes SATCOM militaires

#### Liaisons de données tactiques

- 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 « Lower LP » est une amélioration de la Liaison 16 permettant une optimisation 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 Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### Communications avec les drones (UAVs)




- 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), ITP 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

**ENNA** École Nationale Supérieure de l'Avionique

### Conclusions



- 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.
- Moins 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'ENA, des nouveautés seront apparues dans les SATCOM.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

