

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE



**SATCOM**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

Avant de débiter le cours ...



**Merci !**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**Présentation du cours**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 ET AÉROTECHNIQUE

**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**.

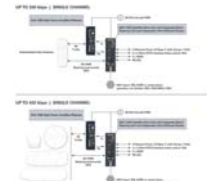


© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 ET AÉROTECHNIQUE

**Introduction**

- Si au départ, les **communications par satellites** étaient relativement **chers**, depuis quelques années, les **prix** ont quelque peu **diminué**.
- 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 ET AÉROTECHNIQUE

**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 ET AÉROTECHNIQUE

**Introduction**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Définitions**

**Services**

- **Voix (Voice)**, transmission 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 D'AVIATION TECHNIQUE

**Définitions**

**Les segments d'un système de satellites**

- On a l'habitude de parler de **trois segments** qu'il s'agit 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 D'AVIATION TECHNIQUE

**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 D'AVIATION TECHNIQUE

**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 D'AVIATION TECHNIQUE

**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 D'AVIATION TECHNIQUE

**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** (exemple : Inmarsat et Viasat).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**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 D'AVIATION TECHNIQUE

**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 D'AVIATION TECHNIQUE

**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 **décalage** 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 créés à l'initiative de la Chine (satellite chinois Chang Zheng en orbite depuis le 24 avril 2016, lequel devrait se désintégrer au cours des milliers de débris spatiaux supplémentaires)
- 40 000 : les 50 débris spatiaux les plus dangereux en orbite avant 2020
- 2500 : nombre de satellites abandonnés en orbite
- 50 000 : nombre de fragments de satellites d'ici 2020

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 **manufacturiers 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 D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### 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 D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions légers

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur hélicoptères

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### Antennes SATCOM

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### Antennes SATCOM

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

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions commerciaux

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions commerciaux

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### Antennes SATCOM

#### Installation d'antennes sur avions commerciaux

• Antenne Astronics « AeroShield » pour la bande Ku et répondant à la norme ARINC 751 :

**AeroShield**

Radome  
Adapter Plate  
Antenna

Vidéo : [Production et installation d'antennes ARINC 751](#)

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION ET D'ASTRONAUTIQUE

### 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

**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 radome vibrations prompt A320 ET antenna checks

Since the introduction of satellite communications and data links on aircraft, operators have been aware of the potential for vibration-induced damage to the antenna radome. This is particularly true for the A320 family, where the radome is mounted on the wing. The A320 family radome is made of a composite material and is subject to high-frequency vibrations during flight. These vibrations can lead to fatigue and failure of the radome structure. To address this issue, operators are advised to perform regular checks of the antenna radome and to replace it if necessary. The A320 family radome is also subject to damage from foreign object debris (FOD) and bird strikes. Operators should be aware of these risks and take appropriate measures to prevent them.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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

**INMARSAT**

**Présentation**




- INMARSAT a également des applications prévues pour les passagers des avions, qu'ils soient en 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

**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

**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 et 5.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**Infrastructures d'Inmarsat**

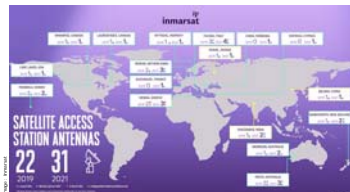



- Actuellement, la constellation compte 14 satellites GEO en activité pour les services aéronautiques.
- Pour assurer les connexions vers le sol, Inmarsat dispose de 28 antennes paraboliques de 9 mètres ou plus de diamètre réparties dans 15 stations SAS - Satellite Access Stations implantées stratégiquement 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

**INMARSAT**

**Infrastructures d'Inmarsat**



22 2019 31 2021

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**INMARSAT 2**





- Le dernier satellite INMARSAT-2 a été retiré du service en décembre 2014.
- Les satellites INMARSAT-2 avaient été lancés entre 1929 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

**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 afin de couvrir le Groenland. Il pourrait être remplacé très prochainement par le nouveau satellite I-6 F2 (GX6-).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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

**INMARSAT**

**INMARSAT 4**

**SEGMENT SPATIAL**

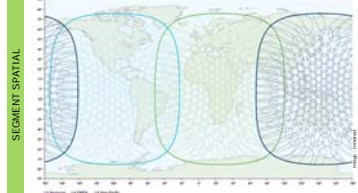


© Département d'avionique Document à des fins de formation

**INMARSAT**

**INMARSAT 4**

**SEGMENT SPATIAL**



© Département d'avionique Document à des fins de formation


**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

**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

**INMARSAT**

**INMARSAT 4**

**SEGMENT DE CONTRÔLE**

- Les satellites Inmarsat-4 communiquent avec des stations au sol SAS-Satellite Access Stations situées à Eindhoven en Italie et Papeete à Hawaï.
- Elles appartiennent intégralement à Inmarsat.



Station SAS de Papeete, HI

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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 >

 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

**INMARSAT**

**INMARSAT 4**

**SEGMENT UTILISATEUR**

- Afin de pouvoir avoir accès au service SwiftBroadband à bord d'un avion, 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

**INMARSAT**

**INMARSAT 4**

**SEGMENT UTILISATEUR**

- Les systèmes et les antennes requis à bord de l'avion 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) 1-3/1-4: 1626,5 à 1646,5 MHz (bande L).
- Fréquences de réception (Downlink) 1-3/1-4: 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.

Service	Capacité
Jet_Connex	
Service vers l'avion	20 à 33 Mbps / 0,2 à 0,3 Mbps
Service avion	2 à 3 Mbps / 0,2 à 0,3 Mbps
Service terrestre	20 à 33 Mbps / 0,2 à 0,3 Mbps
Service vidéo	20 à 33 Mbps / 0,2 à 0,3 Mbps
Service voix	20 à 33 Mbps / 0,2 à 0,3 Mbps
Service données	20 à 33 Mbps / 0,2 à 0,3 Mbps

- 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	Utilisateur	Fréquence
Small payload	User Uplink	29.5 - 30.0 GHz
	User Downlink	18.7 - 20.2 GHz
	Feeder Downlink	28.0 - 28.5 GHz
High Capacity Payload	User Uplink	29.8 GHz
	User Downlink	18.2 - 19.7 GHz
	Feeder Downlink	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, 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 (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) : Océan Indien.
  - ✓ GX6-B (1-6 F2) : Océan 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**

- A partir de 2024, 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 devraient combler ce vide, où la communication SATCOM devient désormais une nécessité.
- Ces deux satellites seront pleinement compatibles avec le réseau Global Xpress et feront partie de l'Arctic Satellite Broadband Mission en partenariat avec Space Norway HEOSAT.
- Ils seront placés en orbite elliptique haute (HEO - High Elliptical Orbit).
- Ces satellites seront construits par Northrop Grumman Innovation Systems et devraient être lancés à partir de 2023.

© 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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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'égouttage 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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 configuration</li> <li>PPPP support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weight: 0.5kg</li> <li>Electronically steered</li> <li>Integrated GPS/GNSS</li> <li>Integrated S-S 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 configuration</li> <li>PPPP support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weight: 0.5kg</li> <li>Dimensions: 118 x 54 x 35mm</li> <li>Electronically steered</li> <li>Integrated GPS/GNSS</li> <li>Integrated S-S band converter</li> </ul>

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 Aircan 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**

- Airone 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.  
 Airone 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**

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

© 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 :

Centres de connexion

© 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-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

**Iridium**

**Segment utilisateur**

- A 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 MMEI 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

**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.
- Certains 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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**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'ensemble des autres satellites en Amérique du Nord combinés !
- En **aéronautique**, **Viasat** propose des solutions intéressantes pour l'**aviation commerciale** ainsi que pour les **grands avions d'affaires**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Viasat**

**Présentation**

- Les services destinés à l'**aéronautique** de **Viasat** utilisent les bandes **Ku et 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**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Viasat**

**Présentation**

- En novembre 2016, **Viasat** a acquis l'entreprise **Arconics**.
- Ceci lui permet d'étendre ses services dans les domaines des applications pour **EEB, IEF** ou la **gestion de documents aéronautiques**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Viasat**

**Segment spatial**

- Viasat** dispose autant de ses propres satellites, tels **ViaSat-1** et **ViaSat-2**, que de satellites loués à d'autres opérateurs, notamment **Eutelsat** en Europe.
- En 2009, **Viasat** a acquis **Wildblue** et ses deux satellites : **Wildblue-1** et **Anik-F2**.
- ViaSat-1** couvre actuellement les **États-Unis**, une bonne partie du **Canada**, **Hawaii** et l'**Alaska** en bande **Ka**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

**Viasat**

**Segment spatial**


- 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**.
- En 2015, **Viasat** a annoncé une commande pour **trois nouveaux satellites ViaSat-3** qui permettront un débit d'au minimum **1 Tbps par satellite**.
- Le **premier** des trois satellites **ViaSat-3** devrait être lancé en **2023**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat**

**Segment spatial**

- Couverture Viasat en Bande Ka :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Viasat**

**Segment spatial**

- Evolution de la couverture Viasat avec Viasat 3 :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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**

**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**

**Segment utilisateur**

- Pour l'aviation, Viasat propose une variété de services ainsi que plusieurs systèmes embarqués :
- ✓ Ka & Ku Bands.
- ✓ 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**

**Segment utilisateur**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**OneWeb**

**Présentation**

- Anciennement WorldVu (fondée en 2014).
- Envisage 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

**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

**OneWeb**

**Segment spatial**

- 18 lancements ont déjà eu lieu entre le 27 février 2019 et le 26 mars 2023.
- Il y aurait actuellement 618 satellites opérationnels en orbite.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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 est prévu aussi des applications SATCOM en bande Ku pour l'aéronautique.
- Théoriquement, OneWeb devrait débiter ses services destinés à l'aviation commerciale ainsi qu'à l'aviation d'affaires en 2023.
- On sait déjà que l'antenne qui sera installée sur les avions sera à faisceau orienté électriquement (Electrically Steered Antenna).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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.
- 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 d'Aerospace ainsi que d'Intelsat et SES afin d'avoir la couverture terrestre la plus importante possible.

© 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 radiotéléphone 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 devait lancer un nouveau système 5G (X3 LRU), mais ceci a été reporté à 2022 du fait d'un manque d'approvisionnement de certains circuits intégrés.



© 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 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

**Gogo**

**SATCOM**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Gogo**

**SATCOM**

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Avantages des antennes 2Ku**

- Faisceau étroit

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**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.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Equipement à bord de l'avion pour le système 2Ku**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Equipement à bord de l'avion pour le système 2Ku**

© 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 devrait être opérationnel en 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 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

**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'avion 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

**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 :

- **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.
- Chine ?
- Russie ?

© 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** 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** : il est prévu pour être opérationnel vers 2023.
- Le but est de remplacer bon nombre de **liaisons VHF analogiques** (AM) et **numériques** (VDL2) par des **liaisons DL-S Data Link Service** par satellites (SwiftBroadband-Safety).
- Des **essais** réalisés à partir d'**avions** de quelques compagnies aériennes européennes étaient prévus à compter de 2020.
- Cobham** et **Honeywell** ont déjà de l'**équipement** permettant d'intégrer le système Iris.
- Ceci devrait améliorer la **gestion du trafic aérien** et ainsi réduire 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 **us 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 2022.

© 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** actives 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). 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 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.
- 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 Document à des fins de formation



**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 (C1700-005).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 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

**ENNA** ÉCOLE NATIONALE AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 AÉRONAUTIQUE ET AÉROTECHNIQUE

**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 « *Link 16* » 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), IIP 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.

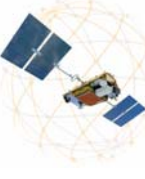


© Département d'avionique Document à des fins de formation

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



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique



*Merci de votre attention*

© Département d'avionique Document à des fins de formation