

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**Transmission de données**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**Avant de débuter le cours ...**

**Merci !**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**Présentation du cours**

- CPDLC ou CPDL.
- ADS.
- Principe de la modulation de phase.
- Les transmissions numériques.
- VDL – VHF Data Link.
- HFDL – HF Data Link.
- Cryptage et protection des données.
- Frequency Hopping.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**CPDLC ou CPDL**

- CPDLC signifie « *Controller-Pilot Data Link Communications* ».
- Il s'agit donc d'un système de communication entre l'équipage d'un aéronef et le centre du contrôle du trafic aérien (ATC) par transfert de données.
- Le CPDLC est implanté dans les zones aériennes fort achalandées afin d'améliorer la fiabilité des transmissions en réduisant la charge de travail.
- Les échanges s'effectuent selon des protocoles et des formats de messages bien définis.
- Toutefois, il existe la possibilité d'effectuer des échanges « *Free Text* » (texte libre).
- La séquence d'un échange s'appelle un « *dialogue* ».

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**CPDLC ou CPDL**

**ELEMENTS OF A CPDLC SYSTEM**

- Les liaisons par satellites s'effectuent par Inmarsat (service classique « Aero »).
- Les liaisons VHF s'effectuent selon le protocole VDL 2 par les réseaux d'AGINC et de SITA.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**ADS**

- ADS signifie « *Automatic Dependent Surveillance* ».
- Il s'agit de différents moyens mis en oeuvre à partir des aéronefs en vol afin de communiquer continuellement leur identité, leur position, leur vitesse ainsi que d'autres informations pertinentes les concernant.
- La transmission est automatique, car elle n'est pas initiée par l'équipage ou par une station au sol.
- Elle est dépendante, car elle dépend de l'intégrité des informations fournies par les différents systèmes de bord de l'aéronef.
- Il existe deux variantes de surveillances dépendantes :

**ADS-B : Automatic Dependent Surveillance Broadcast.**  
**ADS-C : Automatic Dependent Surveillance Contract.**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**ADS**

• Comparaison entre ADS-B et ADS-C :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**Principe de la modulation de phase**

La modulation de phase (PM)

$$e = E \sin(\omega t + \phi)$$

- Les variations de la phase  $\phi$ , en fonction du temps caractérisent la modulation.
- $\phi = f(t)$ .
- Les variations de la phase de la porteuse transportent toute l'information du signal modulant.
- Le signal de chrominance des télévisions analogiques était, par exemple, modulé en phase.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**ENNA** École Nationale Aéronautique de Nantes

**Principe de la modulation de phase**

Exemple : la modulation BPSK

- Un exemple de modulation de phase utilisée en aéronautique est la modulation « BPSK - Binary Phase Shift Keying » des données provenant des satellites GPS :

On modifie la phase de 180° à chaque changement d'état logique

© Département d'avionique Document à des fins de formation

**Les transmissions numériques**

**Les transmissions numériques en aviation**

- Il existe de nombreuses utilisations de la transmission de signaux numériques en aéronautique :
  - Transmissions numériques HF/DL et VDL.
  - Communications satellites.
  - Bus de données et bus audio numériques.
  - ACARS.
  - AFIS.
  - ADS-B et ADS-C.
  - Transpondeurs et TCAS.
  - GNSS (Beidou, Galileo, GLONASS et GPS).
  - EGNOS et WAAS.
  - EFB.
  - Internet et applications IFE.
  - Communications numériques P25.
  - Radiotéléphone.
  - Etc.

**Les transmissions numériques**

**Méthodes de transmissions numériques**

- On peut transférer des données numériques de deux manières :
  - Par câble.
  - Par liaison radio.
- Lorsqu'on parle de transmission par câbles conventionnels, deux options existent :
  - Paires torsadées
  - Câble coaxial

**Les transmissions numériques**

**Exemple de transmission par câble - Bus ARINC 429**

- Codage des bits des mots ARINC 429 :
  - Le codage s'effectue avec des impulsions de  $\pm 10$  VDC ( $\leftarrow 1 \rightarrow$ ) et de  $\pm 10$  VDC ( $\leftarrow 0 \rightarrow$ ) afin de maintenir une tension moyenne dans le temps nulle.
  - Physiquement, un bus ARINC 429 est constitué d'une paire de fils torsadés et blindés.

**Les transmissions numériques**

**Techniques de modulation de signaux numériques**

- Pour transmettre un signal numérique par radio, tout comme en analogique, il faut moduler une porteuse.
- On pourrait imaginer transmettre un signal numérique en AM ou en FM comme un signal audio.
- Or, un signal numérique est de forme carrée et la décomposition en série de Fourier nous a appris qu'un signal non sinusoïdal comprend une infinité d'harmoniques.
- Dès lors, à moins de moduler un signal à très faible débit (Baud Rate, nombre de symboles par seconde), le spectre qui serait occupé par la modulation AM ou FM d'un signal numérique serait phénoménal et donc irréaliste.
- Il faut donc trouver d'autres méthodes de modulation qui occupent la plus petite bande passante possible.

**Les transmissions numériques**

**Techniques de modulation de signaux numériques**

- De manière générale, quatre stratégies sont employées pour la transmission de signaux numériques :

**1 - FSK - Frequency Shift Keying**  
modulation par déplacement de fréquence

- Au 0 logique correspond une fréquence  $F_1$ .
- Au 1 logique correspond une fréquence  $F_2$ .

**Les transmissions numériques**

**Techniques de modulation de signaux numériques**

- De manière générale, quatre stratégies sont employées pour la transmission de signaux numériques :

**2 - PSK - Phase Shift Keying**  
modulation par changement de phase

- Au 0 logique correspond une phase  $\phi_1$ .
- Au 1 logique correspond une phase  $\phi_1 + 180^\circ$ .

**Les transmissions numériques**

**Techniques de modulation de signaux numériques**

- De manière générale, quatre stratégies sont employées pour la transmission de signaux numériques :

**2 - QPSK - Quadrature Phase Shift Keying**  
modulation par changement de phase en quadrature

- Une variante du PSK est le QPSK - Quadrature Phase Shift Keying ou 4-PSK.
- Permet des transmissions plus rapides que la BPSK.

Combinaison logique	Phase
00	$45^\circ$
01	$135^\circ$
11	$225^\circ$
10	$315^\circ$

**Les transmissions numériques**

**Techniques de modulation de signaux numériques**

- De manière générale, quatre stratégies sont employées pour la transmission de signaux numériques :

**3 - QAM - Quadrature Amplitude Modulation**  
modulation d'amplitude en quadrature

- Permet d'être encore plus rapide que le QPSK avec un codage de 8 possibilités d'états numériques différents (8-QAM).
- Chaque phase peut avoir deux niveaux d'amplitude.
- On peut également avoir des variantes permettant des transferts encore plus rapides que le 8-QAM : 16-QAM (8 phases, 2 amplitudes), 64-QAM, 256-QAM, etc.

**Les transmissions numériques**

**Techniques de modulation de signaux numériques**

- De manière générale, quatre stratégies sont employées pour la transmission de signaux numériques :

**4 - OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing**  
modulation d'amplitude en quadrature

Exemple : 1 Mbps = 4 x 250 Kops  
 $\Delta f = 250$  KHz

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

**VDL – VHF Data Link**



- Parfois aussi connu sous le nom de « **VHF Digital Link** ».
- Permet d'échanger des **messages numériques** en utilisant la gamme d'**ondes VHF** de 118 MHz à 137 MHz entre les **avions** et le **sol** ou **entre avions**.
- Les **standards VDL** ont été définis par l'**Aeronautical Mobile Communication Panel (AMCP)** de l'**OACI** dans les années 1990.
- Il existe **quatre modes** de communication **VDL**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**VDL – VHF Data Link**

**VDL Mode 1**

- Ce mode a été créé à des **fins de validation** par l'AMCP.
- Il est **semblable** au **Mode 2** à l'exception du fait qu'il peut être utilisé par une **radio VHF-COM conventionnelle analogique**.
- Il n'est **plus nécessaire** actuellement et a été **retiré** des **standards de l'OACI**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**VDL – VHF Data Link**

**VDL Mode 2**

- Il s'agit de la **version principale** du **VDL** validée avec le **Mode 1** en 1994.
- Le **VDL 2** est implanté en **Europe** par le programme **Eurocontrol Link 2000**, où il est considéré comme de **moyen privilège** de **transfert de données numériques**.
- Ce mode est notamment utilisé pour le **CPDLC – Controller Pilot Data Link Communications** ainsi que pour l'**ACARS – Aircraft Communication Addressing and Reporting System**.
- Des **réseaux de stations au sol** communiquant selon le **Mode VDL2** sont **implantés** et **gérés** par **ARINC** (Rockwell Collins) et **SITA**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**VDL – VHF Data Link**

**VDL Mode 2**

- Le **Mode VDL2** est structuré selon **trois niveaux** :
  - ↳ **Sous-réseau (Subnetwork Layer)** : répond aux exigences de l'**Aeronautical Telecommunication Network (ATN)** de l'**OACI** qui précise le protocole à utiliser de l'expéditeur au destinataire pour une multitude de sous-réseaux air-sol ou au sol, incluant le **VDL**.
  - ↳ **Lien (Link Layer)** : est constitué de deux sous-niveaux : **Data Link Service (DLS)** et **Media Access Control (MAC)**. Le protocole du **DLS** est basé sur une norme **ISO** permettant l'établissement d'une liaison effective entre un avion et une station au sol. Le **DLS** définit aussi le format des adresses des stations au sol. Quant au protocole du **MAC**, il s'agit d'une version du **CSMA – Carrier Sense Multiple Access**.
  - ↳ **Physique (Physical Layer)** : définit les conditions de l'usage d'un canal de 25 KHz d'un **VHF-COM** avec une modulation **8-DPSK** différentielle permettant un taux de transfert de 31,5 Ko par seconde. Nécessite donc une radio permettant la transmission numérique.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**VDL – VHF Data Link**

**VDL Mode 3**

- Ce mode définit un **protocole** permettant tant le transfert de **données numériques** que de la **voix numérisée**.
- Il a été **défini** par la **FAA**.
- L'aspect de la **numérisation de la voix** rend ce mode **plus complexe** que le **VDL2**.
- Les **données** et la **voix numérisée** sont transférées par **paquets** en **TDMA – Time Division Multiple Access**.
- La **FAA** n'a pas été convaincante en vue de l'**implantation** du **VDL3** et ce mode a été **abandonné** en 2004.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**VDL – VHF Data Link**

**VDL Mode 4**

- Ce mode définit un **protocole** permettant le transfert de **données numériques** tant vers des **stations au sol** que vers d'.
- Le **VDL4** utilise un protocole **STDMA – Self-organized Time Division Multiple Access** permettant d'**éviter** de nécessiter une **station-maitre au sol** pour **gérer** les **communications**.
- L'**implantation** du **VDL4** est donc **plus aisée** que le **VDL3**.
- Le **VDL4** est bien **adapté** pour des **communications** entre une **multitude d'utilisateurs**.
- L'idée au départ était d'utiliser les **communications VHF** pour l'**ADS-B**, mais, par la suite, celles-ci ont été placées sur les fréquences du transpondeur **Mode S** (1030 MHz et 1090 MHz).
- En **Europe**, le **VDL4** est essayé malgré tout pour des **communications ADS-B In** (du sol vers l'avion).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**HFDL – HF Data Link**

- L'**HFDL** est un **protocole de transfert de données** par **ondes HF** défini dans la norme **ARINC 635-3**.
- Le système utilise les **modulations 2-PSK, 4-PSK ou 8-PSK** avec des **taux de transfert** de **300, 600, 1200 ou 1800 bauds**.
- Les **modulations de phase (PSK)** utilisent une **sous-porteuse** à **1440 Hz**.
- Les **transmissions** s'effectuent en **USB**.
- L'**HFDL** est **géré** par **ARINC** (Rockwell Collins) sous le nom de service « **GLOBALink** ».
- ARINC** dispose de **15 stations** réparties sur la surface du globe afin d'assurer une **couverture mondiale** au service **HFDL**.
- À bord de l'**avion**, c'est le **CMU – Communication Management Unit** qui gère le **transfert des données** de l'**HFDL**; évidemment, il est nécessaire que le **système de radio HF** de l'**avion** soit **compatible** pour le **transfert de données**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**HFDL – HF Data Link**

- Voici les **fréquences porteuses HF** utilisées pour communiquer en **HFDL** avec les **15 stations au sol** :

Station	Fréquence (MHz)	Modulation	Taux de transfert (bauds)
1	21.7	2-PSK	300
2	21.7	4-PSK	600
3	21.7	8-PSK	1200
4	21.7	8-PSK	1800
5	21.7	8-PSK	1800
6	21.7	8-PSK	1800
7	21.7	8-PSK	1800
8	21.7	8-PSK	1800
9	21.7	8-PSK	1800
10	21.7	8-PSK	1800
11	21.7	8-PSK	1800
12	21.7	8-PSK	1800
13	21.7	8-PSK	1800
14	21.7	8-PSK	1800
15	21.7	8-PSK	1800

© Département d'avionique Document à des fins de formation

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

**Cryptage et protection des données**



- Pour les **applications militaires** notamment, il est impératif de **crypter** les **messages transmis par radio** qu'ils soient **voix** ou qu'ils consistent en des **données numériques**.
- Dans le cas de **cryptage de la voix**, on parle de « **Secure Voice** ».
- Actuellement, la **voix** est **numérisée** puis **codée**.
- Pour ce qui est du **transfert de données**, celle-ci sont **codées** sous une forme ou une autre.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

