

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique



Principes de base en radiocommunication

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Avant de débuter le cours ...



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Présentation du cours



- Introduction.
- Historique des radiocommunications.
- La modulation des signaux.
- Définitions.
- Schéma-bloc d'un émetteur-récepteur.
- Les filtres.
- Les oscillateurs.
- Les synthétiseurs de fréquences.
- Rôle des radiocommunications en aéronautique.
- Types de radios utilisées en aéronautique.
- EMC et EMI.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Introduction

- Depuis que l'homme existe, il a toujours cherché à communiquer.
- Différents modes de communications ont été développés avec le temps : parole, écriture, téléphonie, télégraphie, radiocommunication, télévision, Internet, etc.
- En aviation également, il existe un besoin de communiquer, tant des messages vocaux que numériques.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Historique des radiocommunications

- 1865 : création de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT).
- 1895 : première transmission sans fil (TSF).
- 1906 : conférence de l'UIT à Berlin et adoption du premier règlement des radiocommunications pour l'usage du spectre radio.
- 1912 : naufrage du Titanic dont l'opérateur radio envoie des SOS. La conférence de Londres sur la sécurité en mer impose la présence de stations radios à bord des navires.




© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Historique des radiocommunications

- 1927 : conférence de Washington : l'UIT crée le Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) et décide des premières attributions de fréquences.
- 1963 : Adoption à Atlantic City d'un nouveau Règlement des Radiocommunications. Création du Comité International d'Enregistrement des Fréquences (IFRB). Organisation du système international de contrôle des émissions.
- 1975 : Premier symposium en Europe sur la compatibilité des ondes électromagnétiques (EMC).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Historique des radiocommunications

- Les besoins en radiocommunications ont évolués avec la technologie.
- À la fin du XIXe siècle, on parlait de TSF ou de téléphonie sans fil. Guglielmo Marconi (1874-1937) a été un précurseur dans le développement et l'exploitation de celle-ci.
- Mais, en 1888, les ondes électromagnétiques avaient déjà été mises en évidence par Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) après avoir été prédites par James Clerk Maxwell (1831-1879).
- En 1895, Aleksandr Stepanovitch Popov (1859-1906) a découvert le principe de l'antenne.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Historique des radiocommunications

- Quant à Karl Ferdinand Braun (1850-1918), il a effectué de nombreuses expériences au sujet de l'adaptation de l'impédance de l'antenne et des circuits sélectifs, ce qui permit en 1899 d'augmenter la portée des TSF de Marconi.
- Actuellement, les radiocommunications sont numériques et permettent d'effectuer une multitude d'opérations à l'aide d'un seul appareil utilisant les ondes radio.

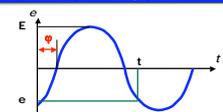


© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

La modulation des signaux

- Chaque émetteur possède une fréquence d'émission particulière qui le caractérise et le signal sinusoïdal pur émis sur cette fréquence est appelé porteuse.
- Un signal sinusoïdal pur se caractérise par la relation mathématique :

$$e = E \sin(\omega t + \varphi) \text{ ou } \omega = 2\pi f$$


© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

La modulation des signaux

- La **modulation** des signaux radioélectriques consiste à faire varier **un des paramètres de la porteuse** à l'image du signal à transmettre.
- On dit que la porteuse **est modulée** par le signal.
- Il existe donc **trois possibilités** de faire varier un **paramètre** de la relation $e = E \sin(\omega t + \varphi)$ représentant la **porteuse** :

- Si nous modifions l'**amplitude E** → **modulation d'amplitude**.
- Si nous modifions la **fréquence f** → **modulation de fréquence**.
- Si nous modifions la **phase φ** → **modulation de phase**.

→ Modulations d'amplitude et dérivées - AM - SSB → radiocommunication et radionavigation analogiques.
→ Modulations de fréquence - FM → radiocommunication et radionavigation analogiques.
→ Modulations de phase - PM → radiocommunication et radionavigation numériques.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

La modulation des signaux

- La **modulation**, en radiocommunication **analogique**, sera très souvent un **signal vocal**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

AGC - Automatic Gain Control

- Tous les **récepteurs** disposent d'un système de contrôle du gain automatique dans le but d'**ajuster** les signaux toujours au **même niveau de sortie** (audio) quelle que soit la **valeur du signal d'antenne**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio avec accès direct aux fréquences** : VHF pour les communications aéronautiques.

Lorsqu'on tourne le sélecteur de fréquences ...

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio avec accès direct aux fréquences** : VHF pour les communications aéronautiques.

... on modifie les fréquences synthétisées !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio sans accès direct aux fréquences** : VHF/UHF pour les communications avec les services publics.

Il n'existe aucun sélecteur de fréquences !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio sans accès direct aux fréquences** : VHF/UHF pour les communications avec les services publics.

Mais il existe une possibilité de programmation de canaux et de sélection ultérieure de ceux-ci

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Canal (Channel)

- Désigne **une ou deux fréquences** (suivant que l'on est en simplex ou en duplex) associées aux dispositifs d'**appels sélectifs** ou de **cryptages** éventuels.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Canal (Channel)

- Désigne **une ou deux fréquences** (suivant que l'on est en simplex ou en duplex) associées aux dispositifs d'**appels sélectifs** ou de **cryptages** éventuels.

Exemple : VHF - AM aéronautique :

soit un canal dont la fréquence sélectionnée est 123.450 MHz sur une radio ayant un espacement de fréquences de 25 kHz :

- Le canal immédiatement inférieur = 123.425 MHz
- Le canal immédiatement supérieur = 123.475 MHz

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Canal (Channel)

- Désigne une ou deux fréquences (selon que l'on est en simplex ou en duplex) associées aux dispositifs d'appels sélectifs ou de cryptages éventuels.

Un canal =

- numéro d'identification
- nom
- une ou deux fréquences
- tonalités CTCSS



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Cryptage

- Codage de communications militaires, de police ou d'autres agences gouvernementales.

Sans cryptage ...



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Cryptage

- Codage de communications militaires, de police ou d'autres agences gouvernementales.

Avec cryptage ...



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Tonalités DTMF - Dual Tone Multi Frequency

- Tonalités des systèmes de téléphonie.
- Ces tonalités sont toujours constituées de deux fréquences mélangées et sont audibles.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Duplex

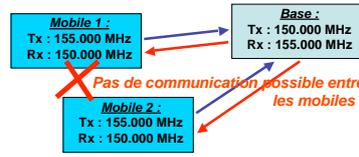
- Communication en duplex lorsque l'émission a lieu sur une fréquence différente de la réception.

Mobilité 1:
Tx : 155.000 MHz
Rx : 150.000 MHz

Base:
Tx : 150.000 MHz
Rx : 155.000 MHz

Mobilité 2:
Tx : 155.000 MHz
Rx : 150.000 MHz

Pas de communication possible entre les mobiles !



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

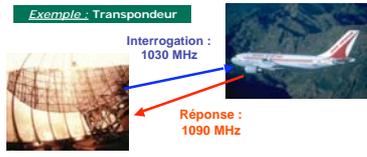
Duplex

- Communication en duplex lorsque l'émission a lieu sur une fréquence différente de la réception.

Exemple - Transpondeur

Interrogation :
1030 MHz

Réponse :
1090 MHz



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Fréquence de garde (Guard Frequency)

- Fréquence ou canal prioritaire.
- En cas d'appel sur cette fréquence, l'émetteur-récepteur doit automatiquement commuter sur cette fréquence ou ce canal.
- Cette fonction est souvent exigée sur les appareils effectuant la lutte contre les incendies de forêt.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Relais téléphonique - Phone Patch

- Relais interface entre des communications radio FM et le réseau téléphonique.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Balayage de fréquences - Scanning

- Balayage de fréquences ou de canaux présélectionnés lorsqu'on souhaite écouter plusieurs simultanément et diffuser la première sur laquelle se présente un signal de réception.
- On peut accorder des priorités dans l'écoute des fréquences sélectionnées.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Sidetone

- Dispositif permettant d'entendre sa propre voix dans un casque-écouteur lors d'une émission.

SANS SIDETONE :
Pas d'écoute de sa propre voix

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Sidetone

- Dispositif permettant d'entendre sa propre voix dans un casque-écouteur lors d'une émission.

AVEC SIDETONE :
Écoute de sa propre voix

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Simplex

- Communication simplex lorsque l'émission a lieu sur la même fréquence que la réception.

Mobile 1 :
Tx : 118.400 MHz
Rx : 118.400 MHz

Base :
Tx : 118.400 MHz
Rx : 118.400 MHz

Mobile 2 :
Tx : 118.400 MHz
Rx : 118.400 MHz

Possibilité de communication entre les mobiles

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Simplex

- Communication simplex lorsque l'émission a lieu sur la même fréquence que la réception.

Exemple : communications aériennes VHF-AM

Ce mode de communication est aussi connu sous le nom d'Half Duplex.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Silencieux - Squelch

- Dispositif bloquant l'écoute d'un récepteur en l'absence de signal à l'antenne.

Silencieux

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Définitions

Tonalités sub-audibles - CTCSS

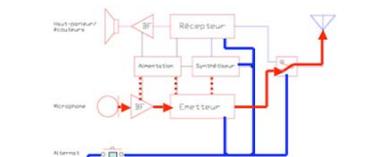
| CTCSS |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 115.0 | 123.0 | 131.8 | 141.3 | 151.4 | 161.9 | 173.8 | 186.2 | 199.2 | 210.7 |
| 229.0 | 240.0 | 251.5 | 263.7 | 276.5 | 290.0 | 304.2 | 319.0 | 334.4 | 350.5 |
| 367.3 | 384.1 | 401.7 | 420.0 | 438.9 | 458.5 | 478.8 | 499.7 | 521.3 | 543.6 |
| 566.7 | 590.0 | 615.0 | 640.8 | 667.5 | 695.1 | 723.6 | 752.8 | 782.7 | 813.4 |
| 845.0 | 877.5 | 910.0 | 943.5 | 978.0 | 1013.5 | 1050.0 | 1087.5 | 1126.0 | 1165.5 |
| 1206.0 | 1246.5 | 1288.0 | 1330.5 | 1374.0 | 1418.5 | 1464.0 | 1510.5 | 1558.0 | 1606.5 |
| 1656.0 | 1705.5 | 1756.0 | 1807.5 | 1860.0 | 1913.5 | 1968.0 | 2023.5 | 2080.0 | 2137.5 |
| 2196.0 | 2254.5 | 2314.0 | 2374.5 | 2436.0 | 2498.5 | 2562.0 | 2627.5 | 2694.0 | 2761.5 |
| 2830.0 | 2899.5 | 2970.0 | 3041.5 | 3114.0 | 3187.5 | 3262.0 | 3337.5 | 3414.0 | 3491.5 |
| 3570.0 | 3649.5 | 3730.0 | 3811.5 | 3894.0 | 3977.5 | 4062.0 | 4147.5 | 4234.0 | 4321.5 |
| 4410.0 | 4499.5 | 4590.0 | 4681.5 | 4774.0 | 4867.5 | 4962.0 | 5057.5 | 5154.0 | 5251.5 |
| 5350.0 | 5449.5 | 5550.0 | 5651.5 | 5754.0 | 5857.5 | 5962.0 | 6067.5 | 6174.0 | 6281.5 |
| 6390.0 | 6499.5 | 6610.0 | 6721.5 | 6834.0 | 6947.5 | 7062.0 | 7177.5 | 7294.0 | 7411.5 |
| 7530.0 | 7649.5 | 7770.0 | 7891.5 | 8014.0 | 8137.5 | 8262.0 | 8387.5 | 8514.0 | 8641.5 |
| 8770.0 | 8909.5 | 9050.0 | 9191.5 | 9334.0 | 9477.5 | 9622.0 | 9767.5 | 9914.0 | 10061.5 |
| 10210.0 | 10369.5 | 10530.0 | 10691.5 | 10854.0 | 11017.5 | 11182.0 | 11347.5 | 11514.0 | 11681.5 |
| 11850.0 | 12019.5 | 12190.0 | 12361.5 | 12534.0 | 12707.5 | 12882.0 | 13057.5 | 13234.0 | 13411.5 |
| 13590.0 | 13769.5 | 13950.0 | 14131.5 | 14314.0 | 14497.5 | 14682.0 | 14867.5 | 15054.0 | 15241.5 |
| 15430.0 | 15619.5 | 15810.0 | 16001.5 | 16194.0 | 16387.5 | 16582.0 | 16777.5 | 16974.0 | 17171.5 |
| 17370.0 | 17569.5 | 17770.0 | 17971.5 | 18174.0 | 18377.5 | 18582.0 | 18787.5 | 18994.0 | 19201.5 |
| 19410.0 | 19619.5 | 19830.0 | 20041.5 | 20254.0 | 20467.5 | 20682.0 | 20897.5 | 21114.0 | 21331.5 |
| 21550.0 | 21769.5 | 21990.0 | 22211.5 | 22434.0 | 22657.5 | 22882.0 | 23107.5 | 23334.0 | 23561.5 |
| 23790.0 | 24019.5 | 24250.0 | 24481.5 | 24714.0 | 24947.5 | 25182.0 | 25417.5 | 25654.0 | 25891.5 |
| 26130.0 | 26369.5 | 26610.0 | 26851.5 | 27094.0 | 27337.5 | 27582.0 | 27827.5 | 28074.0 | 28321.5 |
| 28570.0 | 28819.5 | 29070.0 | 29321.5 | 29574.0 | 29827.5 | 30082.0 | 30337.5 | 30594.0 | 30851.5 |
| 31110.0 | 31369.5 | 31630.0 | 31891.5 | 32154.0 | 32417.5 | 32682.0 | 32947.5 | 33214.0 | 33481.5 |
| 33750.0 | 34019.5 | 34290.0 | 34561.5 | 34834.0 | 35107.5 | 35382.0 | 35657.5 | 35934.0 | 36211.5 |
| 36490.0 | 36769.5 | 37050.0 | 37331.5 | 37614.0 | 37897.5 | 38182.0 | 38467.5 | 38754.0 | 39041.5 |
| 39330.0 | 39619.5 | 39910.0 | 40201.5 | 40494.0 | 40787.5 | 41082.0 | 41377.5 | 41674.0 | 41971.5 |
| 42270.0 | 42569.5 | 42870.0 | 43171.5 | 43474.0 | 43777.5 | 44082.0 | 44387.5 | 44694.0 | 45001.5 |
| 45310.0 | 45619.5 | 45930.0 | 46241.5 | 46554.0 | 46867.5 | 47182.0 | 47497.5 | 47814.0 | 48131.5 |
| 48450.0 | 48769.5 | 49090.0 | 49411.5 | 49734.0 | 50057.5 | 50382.0 | 50707.5 | 51034.0 | 51361.5 |
| 51690.0 | 52019.5 | 52350.0 | 52681.5 | 53014.0 | 53347.5 | 53682.0 | 54017.5 | 54354.0 | 54691.5 |
| 55030.0 | 55369.5 | 55710.0 | 56051.5 | 56394.0 | 56737.5 | 57082.0 | 57427.5 | 57774.0 | 58121.5 |
| 58470.0 | 58819.5 | 59170.0 | 59521.5 | 59874.0 | 60227.5 | 60582.0 | 60937.5 | 61294.0 | 61651.5 |
| 62010.0 | 62369.5 | 62730.0 | 63091.5 | 63454.0 | 63817.5 | 64182.0 | 64547.5 | 64914.0 | 65281.5 |
| 65650.0 | 66019.5 | 66390.0 | 66761.5 | 67134.0 | 67507.5 | 67882.0 | 68257.5 | 68634.0 | 69011.5 |
| 69390.0 | 69769.5 | 70150.0 | 70531.5 | 70914.0 | 71297.5 | 71682.0 | 72067.5 | 72454.0 | 72841.5 |
| 73230.0 | 73619.5 | 74010.0 | 74401.5 | 74794.0 | 75187.5 | 75582.0 | 75977.5 | 76374.0 | 76771.5 |
| 77170.0 | 77569.5 | 77970.0 | 78371.5 | 78774.0 | 79177.5 | 79582.0 | 79987.5 | 80394.0 | 80801.5 |
| 81210.0 | 81619.5 | 82030.0 | 82441.5 | 82854.0 | 83267.5 | 83682.0 | 84097.5 | 84514.0 | 84931.5 |
| 85350.0 | 85769.5 | 86190.0 | 86611.5 | 87034.0 | 87457.5 | 87882.0 | 88307.5 | 88734.0 | 89161.5 |
| 89590.0 | 89969.5 | 90350.0 | 90731.5 | 91114.0 | 91497.5 | 91882.0 | 92267.5 | 92654.0 | 93041.5 |
| 93430.0 | 93819.5 | 94210.0 | 94601.5 | 94994.0 | 95387.5 | 95782.0 | 96177.5 | 96574.0 | 96971.5 |
| 97370.0 | 97769.5 | 98170.0 | 98571.5 | 98974.0 | 99377.5 | 99782.0 | 100187.5 | 100594.0 | 101001.5 |
| 101410.0 | 101819.5 | 102230.0 | 102641.5 | 103054.0 | 103467.5 | 103882.0 | 104297.5 | 104714.0 | 105131.5 |
| 105550.0 | 105969.5 | 106390.0 | 106811.5 | 107234.0 | 107657.5 | 108082.0 | 108507.5 | 108934.0 | 109361.5 |
| 109790.0 | 110219.5 | 110650.0 | 111081.5 | 111514.0 | 111947.5 | 112382.0 | 112817.5 | 113254.0 | 113691.5 |
| 114130.0 | 114569.5 | 115010.0 | 115451.5 | 115894.0 | 116337.5 | 116782.0 | 117227.5 | 117674.0 | 118121.5 |
| 118570.0 | 119019.5 | 119470.0 | 119921.5 | 120374.0 | 120827.5 | 121282.0 | 121737.5 | 122194.0 | 122651.5 |
| 123110.0 | 123569.5 | 124030.0 | 124491.5 | 124954.0 | 125417.5 | 125882.0 | 126347.5 | 126814.0 | 127281.5 |
| 127750.0 | 128219.5 | 128690.0 | 129161.5 | 129634.0 | 130107.5 | 130582.0 | 131057.5 | 131534.0 | 132011.5 |
| 132490.0 | 132969.5 | 133450.0 | 133931.5 | 134414.0 | 134897.5 | 135382.0 | 135867.5 | 136354.0 | 136841.5 |
| 137330.0 | 137819.5 | 138310.0 | 138801.5 | 139294.0 | 139787.5 | 140282.0 | 140777.5 | 141274.0 | 141771.5 |
| 142270.0 | 142769.5 | 143270.0 | 143771.5 | 144274.0 | 144777.5 | 145282.0 | 145787.5 | 146294.0 | 146801.5 |
| 147310.0 | 147819.5 | 148330.0 | 148841.5 | 149354.0 | 149867.5 | 150382.0 | 150897.5 | 151414.0 | 151931.5 |
| 152450.0 | 152969.5 | 153490.0 | 154011.5 | 154534.0 | 155057.5 | 155582.0 | 156107.5 | 156634.0 | 157161.5 |
| 157690.0 | 158219.5 | 158750.0 | 159281.5 | 159814.0 | 160347.5 | 160882.0 | 161417.5 | 161954.0 | 162491.5 |
| 163030.0 | 163569.5 | 164110.0 | 164651.5 | 165194.0 | 165737.5 | 166282.0 | 166827.5 | 167374.0 | 167921.5 |
| 168470.0 | 169019.5 | 169570.0 | 170121.5 | 170674.0 | 171227.5 | 171782.0 | 172337.5 | 172894.0 | 173451.5 |
| 174010.0 | 174569.5 | 175130.0 | 175691.5 | 176254.0 | 176817.5 | 177382.0 | 177947.5 | 178514.0 | 179081.5 |
| 179650.0 | 180219.5 | 180790.0 | 181361.5 | 181934.0 | 182507.5 | 183082.0 | 183657.5 | 184234.0 | 184811.5 |
| 185390.0 | 185969.5 | 186550.0 | 187131.5 | 187714.0 | 188297.5 | 188882.0 | 189467.5 | 190054.0 | 190641.5 |
| 191230.0 | 191819.5 | 192410.0 | 192991.5 | 193574.0 | 194157.5 | 194742.0 | 195327.5 | 195914.0 | 196501.5 |
| 197090.0 | 197689.5 | 198290.0 | 198891.5 | 199494.0 | 200097.5 | 200702.0 | 201307.5 | 201914.0 | 202521.5 |
| 203130.0 | 203749.5 | 204370.0 | 204991.5 | 205614.0 | 206237.5 | 206862.0 | 207487.5 | 208114.0 | 208741.5 |
| 209370.0 | 209969.5 | 210570.0 | 211171.5 | 211774.0 | 212377.5 | 212982.0 | 213587.5 | 214194.0 | 214801.5 |
| 215410.0 | 216019.5 | 216630.0 | 217241.5 | 217854.0 | 218467.5 | 219082.0 | 219697.5 | 220314.0 | 220931.5 |
| 221550.0 | 222169.5 | 222790.0 | 223411.5 | 224034.0 | 224657.5 | 225282.0 | 225907.5 | 226534.0 | 227161.5 |
| 227790.0 | 228419.5 | 229050.0 | 229681.5 | 230314.0 | 230947.5 | 231582.0 | 232217.5 | 232854.0 | 233491.5 |
| 234130.0 | 234769.5 | 235410.0 | 236051.5 | 236694.0 | 237337.5 | 237982.0 | 238627.5 | 239274.0 | 239921.5 |
| 240570.0 | 241219.5 | 241870.0 | 242521.5 | 243174.0 | 243827.5 | 244482.0 | 245137.5 | 245794.0 | 246451.5 |
| 247110.0 | 247769.5 | 248430.0 | 249091.5 | 249754.0 | 250417.5 | 251082.0 | 251747.5 | 252414.0 | 253081.5 |
| 253750.0 | 254419.5 | 255090.0 | 255761.5 | 256434.0 | 257107.5 | 257782.0 | 258457.5 | 259134.0 | 259811.5 |
| 260490.0 | 261169.5 | 261850.0 | 262531.5 | 263214.0 | 263897.5 | 264582.0 | 265267.5 | 265954.0 | 266641.5 |
| 267330.0 | 268019.5 | 268710.0 | 269401.5 | 270094.0 | 270787.5 | 271482.0 | 272177.5 | 272874.0 | 273571.5 |
| 274270.0 | 274969.5 | 275670.0 | 276371.5 | 277074.0 | 277777.5 | 278482.0 | 279187.5 | 279894.0 | 280601.5 |
| 281310.0 | 282019.5 | 282730.0 | 283441.5 | 284154.0 | 284867.5 | 285582.0 | 286297.5 | 287014.0 | 287731.5 |
| 288450.0 | 289169.5 | 289890.0 | 290611.5 | 291334.0 | 292057.5 | 292782.0 | 293507.5 | 294234.0 | 294961.5 |
| 2 | | | | | | | | | |

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Schéma-bloc d'un émetteur-récepteur

Étude du fonctionnement d'un émetteur-récepteur

- Mode émission (TX) :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Rappels

- Impédance : $Z = R + X_c + X_l$
- Réactance capacitive : $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$

Si la fréquence est élevée \Rightarrow la réactance capacitive est faible
 « Un condensateur est un court-circuit à haute fréquence »
 « Un condensateur est un circuit ouvert à basse fréquence »

- Réactance inductive : $X_l = 2\pi f L$

Si la fréquence est faible \Rightarrow la réactance inductive est faible
 « Une bobine est un court-circuit à basse fréquence »
 « Une bobine est un circuit ouvert à haute fréquence »

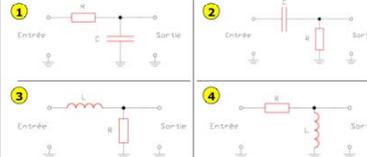
© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Filtres passifs (rappel)

- Quelle est la fonction des filtres suivant ?



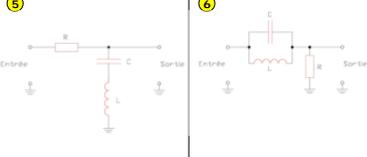
© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Filtres passifs (rappel)

- Quelle est la fonction des filtres suivant ?



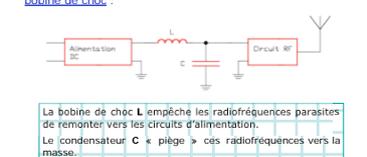
© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Application : la bobine de choc

- Dans les fils d'alimentation des circuits RF, on insère une bobine de choc :



La bobine de choc L empêche les radiofréquences parasites de remonter vers les circuits d'alimentation.
 Le condensateur C « piège » ces radiofréquences vers la masse.

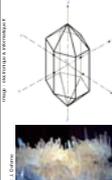
© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Un quartz (silice SiO₂) se cristallise sous la forme d'un prisme à section hexagonale régulière.
- Les extrémités ont la forme de pyramides à base hexagonale.
- On peut donc définir trois groupes d'axes de symétrie :



L'axe optique ZZ' reliant les sommets des deux pyramides aux extrémités.
 Les axes mécaniques YY', du centre d'une face plane à son opposé.
 Les axes électriques XX' joignant les sommets opposés des sections hexagonales.

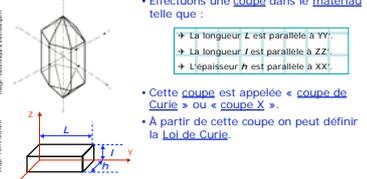
© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Effectuons une coupe dans le matériau telle que :
 - La longueur L est parallèle à YY'
 - La longueur l est parallèle à ZZ'
 - L'épaisseur h est parallèle à XX'
- Cette coupe est appelée « coupe de Curie » ou « coupe X ».
- À partir de cette coupe on peut définir la Loi de Curie.



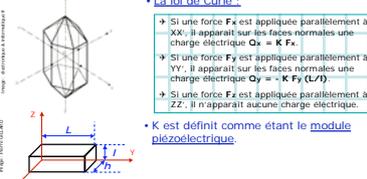
© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- La loi de Curie :
 - Si une force F_x est appliquée parallèlement à XX', il apparaît sur les faces normales une charge électrique Q_y = K F_x.
 - Si une force F_y est appliquée parallèlement à YY', il apparaît sur les faces normales une charge électrique Q_x = -K F_y (L/T).
 - Si une force F_z est appliquée parallèlement à ZZ', il n'apparaît aucune charge électrique.
- K est défini comme étant le module piézoélectrique.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

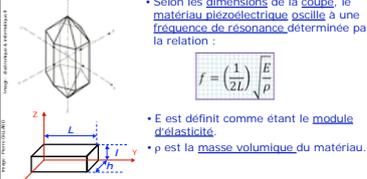
ENNA ÉCOLE NATIONALE D'AVIATION TECHNIQUE

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Selon les dimensions de la coupe, le matériau piézoélectrique oscille à une fréquence de résonance déterminée par la relation :

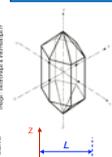
$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$
- E est défini comme étant le module d'élasticité.
- ρ est la masse volumique du matériau.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les cristaux (quartz)



- Nous avons vu qu'en appliquant une force, on obtient une charge électrique.
- Mais l'effet inverse est vrai aussi et se traduit par la loi de Lippmann :

Si on applique une différence de potentiel V entre les grandes faces d'une coupe du matériau, on constate :

- Parallèlement à XX' , une déformation $U = KV$.
- Parallèlement à YY' , une déformation $v = K'V(L/D)$.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Le quartz est donc un composant qui oscille mécaniquement à une fréquence de résonance très précise lorsqu'il est stimulé électriquement.
- Selon l'orientation de la coupe (taille) du quartz selon les axes XX' , YY' et ZZ' , on utilise des dénominations particulières, telles AC, AT, BT, CT, etc. :

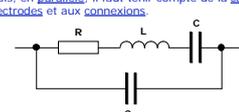
Propriétés de certaines coupes de quartz		
Coupe	Fréquence	Remarques
AT	0,5-150 MHz	Bonne stabilité en température
CT	300-700 KHz	> 0,1 M Variation parabolique de la fréquence en fonction de la température
NT	4-100 KHz	0,1 M

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Electriquement, un quartz se comporte comme un circuit résonant série.
- Toutefois, en parallèle, il faut tenir compte de la capacité due aux électrodes et aux connexions.



La fréquence de résonance du circuit résonant série :

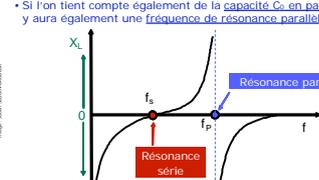
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Si l'on tient compte également de la capacité C_0 en parallèle, il y a également une fréquence de résonance parallèle.

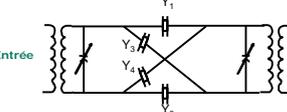


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- En combinant plusieurs cristaux ayant des fréquences de résonance parallèle et série choisies, on peut construire des filtres présentant des largeurs de bande bien déterminées tout en présentant une sélectivité très élevée.

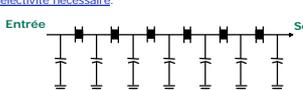


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Un autre type de montage est le montage en échelle : il s'agit aussi d'un filtre passe-bande où tous les cristaux résonnent à la même fréquence.
- Le nombre de cristaux et les condensateurs utilisés déterminent la bande passante globale du filtre.
- On utilise habituellement plus de six cristaux pour obtenir la sélectivité nécessaire.

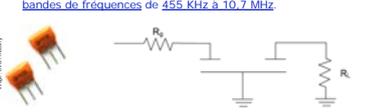


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les filtres céramiques

- Le facteur de qualité Q des filtres céramiques, dont la valeur est de l'ordre de quelques milliers, n'est pas aussi élevé que celui du quartz, mais il est toutefois beaucoup plus élevé que celui d'un filtre LC.
- On retrouve les filtres céramiques particulièrement dans les bandes de fréquences de 455 KHz à 10,7 MHz.

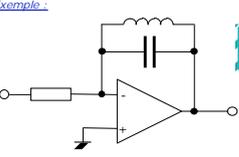


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les filtres actifs

- Le principe d'un filtre actif est d'introduire un filtre passif dans la boucle de contre réaction d'un amplificateur.
- Exemple :



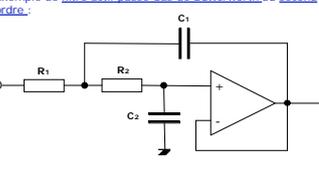
Le gain est variable selon la fréquence !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les filtres actifs

- Exemple de filtre actif passe-bas de Butterworth du second ordre :

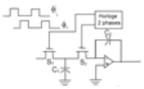


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les filtres

Les filtres à commutation

- Il s'agit d'un **filtre actif** sous forme de **circuit intégré** composé d'un **amplificateur opérationnel**, de **condensateurs** et de **transistors de commutation**.
- On les retrouve dans la **technologie MOS** et **CMOS**.
- On peut les utiliser en **passer-haut**, **passer-bas**, **passer-bande** ou **coupe-bande**.
- Le principal **avantage** est de pouvoir produire un **filtre** à l'aide d'un **simple circuit intégré** sans avoir à utiliser des **composants externes** volumineux tels que résistances, inductances ou condensateurs.

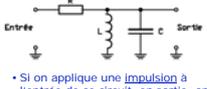
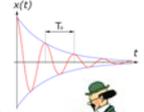


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Principe de fonctionnement des oscillateurs

- Principe du circuit oscillant :**

- Si on applique une **impulsion** à l'**entrée** de ce circuit, en **sortie**, on obtient une **oscillation amortie** de fréquence F_0 telle que :

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Principe de fonctionnement des oscillateurs

- Si on souhaite **entretenir l'oscillation**, il faut trouver un moyen d'**injecter de l'énergie** dans le **circuit** :

Analogie :

L'énergie provient du **poide** entraînant le **mécanisme**

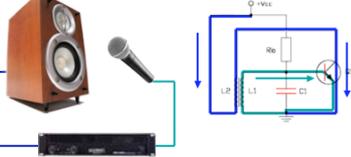


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Principe de fonctionnement des oscillateurs

- Réaliser une **réaction** de la **sortie** vers l'**entrée** :

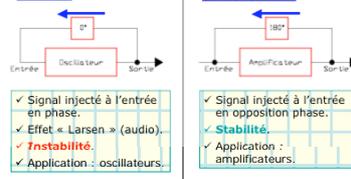


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Réaction et contre-réaction

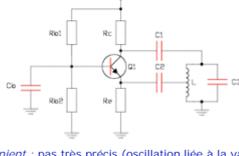
- Réaction :**
 - Signal injecté à l'entrée en phase.
 - Effet « Larsen » (audio).
 - Instabilité.
 - Application : oscillateurs.
- Contre-réaction :**
 - Signal injecté à l'entrée en opposition phase.
 - Stabilité.
 - Application : amplificateurs.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Oscillateur Hartley



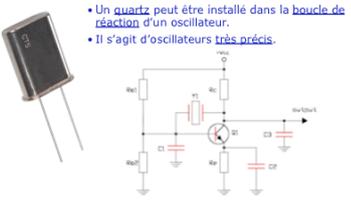
- Inconvénient :** pas très précis (oscillation liée à la valeur et aux tolérances des composants) et pas très stable dans le temps.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Oscillateur à quartz

- Un **quartz** peut être installé dans la **boucle de réaction** d'un oscillateur.
- Il s'agit d'oscillateurs **très précis**.

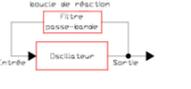


© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Oscillateur à quartz

- Techniquement, il est **impossible** de produire des cristaux (quartz) pour des fréquences plus élevées que **quelques dizaines de mégahertz**.
- Il faut donc réaliser des oscillateurs fonctionnant en **overtone** si on désire obtenir des **fréquences plus élevées**.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les oscillateurs

Contrôle de la température des oscillateurs à quartz

- Il existe **trois formes de contrôle de la température** des oscillateurs à cristaux :

RTXO – Room-Temperature Crystal Oscillator

- Aucune **précaution** particulière n'est prise pour **contrôler la température** de l'oscillateur.
- Il peut donc y avoir des **variations de fréquence** selon la **température ambiante** du circuit de l'oscillateur.
- Néanmoins, on arrive à obtenir des **stabilités en fréquence** de l'ordre de **2,5 ppm** dans une **gamme de température** de **0°C à 50°C**.
- Les RTXO sont utilisés dans les **équipements** où une **grande précision** de l'oscillateur n'est **pas requise**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les oscillateurs

Contrôle de la température des oscillateurs à quartz

- Il existe trois formes de contrôle de la température des oscillateurs à cristaux :

TCXO – Temperature-Compensated Crystal Oscillator

- La dérive en température des caractéristiques de certains composants de l'oscillateur ont pour effet de compenser les dérives en fréquence du cristal.
- On obtient ainsi des stabilités en fréquence de l'ordre de 0,5 ppm dans une gamme de température de 0°C à 50°C.
- Le coût des TCXO a régulièrement diminué au fil du temps, ce qui fait que l'on peut obtenir des équipements relativement précis dans des équipements bon marché.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les oscillateurs

Contrôle de la température des oscillateurs à quartz

- Il existe trois formes de contrôle de la température des oscillateurs à cristaux :

OCXO – Oven-Controlled Crystal Oscillator

- Le cristal est placé dans un four, maintenant une température stable souvent située entre 70°C et 80°C.
- La température du four peut être réglée par action « tout ou rien (on-off) » ou par action proportionnelle continue.
- On obtient ainsi des stabilités en fréquence de l'ordre de 0,0002 ppm après un préchauffage d'une vingtaine de minutes et de 0,0001 ppm après 24 heures.
- Les OCXO sont utilisés dans les équipements où une grande précision est requise; évidemment, le coût est plus élevé.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les oscillateurs

Horloges atomiques

- Lorsque des précisions temporelles extrêmes sont nécessaires, on aura recours aux horloges atomiques comme dans les systèmes GNSS (Galileo, GLONASS et GPS).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les oscillateurs

VCO – Oscillateurs commandés en tension



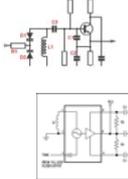
- L'élément central d'un oscillateur commandé en tension (VCO-Voltage Controlled Oscillator) est la diode varicap ou varactor.
- Lorsque la diode est polarisée en inverse (bloquée), elle est équivalente à un condensateur dont la capacité varie en fonction de la tension appliquée.
- La capacité de la diode varicap est inversement proportionnelle à la racine carrée de la tension inverse appliquée à la diode.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les oscillateurs

VCO – Oscillateurs commandés en tension




- Il existe de nombreuses variantes de circuit de VCO à varicaps.
- Certains existent sous forme de circuits intégrés où le seul composant externe important à utiliser est une bobine (exemple : Maxim Integrated MAX-2605/2609).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les synthétiseurs de fréquences

- Un oscillateur ne peut produire qu'une seule fréquence.
- Les premières radios à fréquences multiples étaient à commutation de cristaux.
- Ces radios étaient limitées à quelques fréquences.
- Parfois, l'opérateur devait lui-même changer les cristaux pour obtenir de nouvelles fréquences.

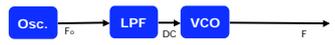


© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les synthétiseurs de fréquences

- En général, les synthétiseurs de fréquences fonctionnent à l'aide de boucles à verrouillage de phase (PLL-Phase Locked Loop) :



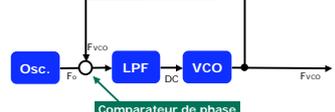
✓ Aucun intérêt, car on produit une fréquence non contrôlée !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les synthétiseurs de fréquences

- En général, les synthétiseurs de fréquences fonctionnent à l'aide de boucles à verrouillage de phase (PLL-Phase Locked Loop) :



- On réalise une boucle en ajoutant un comparateur de phase.

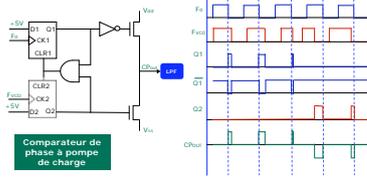
© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Les synthétiseurs de fréquences

Comparateur de phase

- Exemple de comparateur de phase parmi les plus communs :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les synthétiseurs de fréquences

Comparateur de phase

Exemple de comparateur de phase parmi les plus communs :

- Les éléments R1, C1 et C2 constituent un filtre effectuant une conversion courant-tension.
- Le condensateur C2 permet de limiter les variations de tensions transitoires.

Comparateur de phase à pompe de charge

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les synthétiseurs de fréquences

Revenons à notre boucle à verrouillage de phase (PLL) :

Aucun intérêt, car on reproduit la fréquence de l'oscillateur !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les synthétiseurs de fréquences

Revenons à notre boucle à verrouillage de phase (PLL) :

En ajustant « n » à volonté, on peut créer des fréquences multiples de Fo.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les synthétiseurs de fréquences

Revenons à notre boucle à verrouillage de phase (PLL) :

En ajustant « n » et « m » à volonté, on peut créer une multitude de fréquences inférieures ou supérieures Fo.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les synthétiseurs de fréquences

Les synthétiseurs de fréquences se présentent sous forme de circuits intégrés comprenant une ou plusieurs boucles à verrouillage de phase dont il est possible de contrôler les diviseurs de fréquence.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les synthétiseurs de fréquences

Un synthétiseur de fréquences disponible en CI parmi les plus courants est le Motorola MC145106.

Voici un exemple d'application :

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les synthétiseurs de fréquences

Exemple de synthétiseur d'une radio VHF-COM.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Rôles des communications aéronautiques

Les radiocommunications aéronautiques permettent de transmettre et de recevoir des messages vocaux ou numériques :

- Gestion du trafic aérien.
- Gestion des mouvements sur les aéroports.
- Information de positionnement.
- Messages d'urgence et signaux de détresse.
- Messages de compagnie.
- Transmission de données techniques.
- Informations relatives à la météo ou à la sécurité.
- Divertissement : télévision, Internet, etc.
- Autres communications.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Rôles des communications aéronautiques

Les aéronefs peuvent communiquer entre eux ou avec d'autres véhicules ou stations radio :

- Communications air-air bilatérales
- Communications air-mer bilatérales
- Communications air-sol bilatérales
- Transmissions par satellites
- Communications bilatérales avec les services publics

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Types de radios utilisées en aéronautique

- Les principales sortes d'émetteurs-récepteurs utilisés pour les radiocommunications en aéronautique :

✓ VHF-AM (civil et militaire).	
✓ UHF-AM (militaire).	
✓ UHF-FM (services publics).	
✓ UHF-FM (services publics).	
✓ HF-SSB (civil et militaire).	
✓ SATCOM (civil et militaire).	



© Département d'Avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Types de radios utilisées en aéronautique

- Il existe aussi toute une série d'équipements particuliers directement ou indirectement liés aux radiocommunications aéroportées.
- Exemple : Système Artemis permettant de localiser des cellulaires pour des missions de sauvetage, de surveillance ou de police.



© Département d'Avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Types de radios utilisées en aéronautique

Stations de radiocommunication au sol

- Servent à gérer le trafic aérien ainsi que les mouvements tant d'aéronefs que de véhicules au sol.

Stations portables

Stations de base

Stations mobiles



© Département d'Avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Types de radios utilisées en aéronautique

Stations de radiocommunication au sol

- La qualité des stations de base des organismes du contrôle aérien (ATC) doit être très élevée pour garantir des communications claires et sans ambiguïté.



© Département d'Avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Types de radios utilisées en aéronautique

Stations de radiocommunication au sol

- Actuellement, le contrôle du trafic aérien (ATC) s'effectue à distance à plusieurs aéroports grâce à des communications numériques terrestres.
- Exemple : London City Airport (EGLC).



© Département d'Avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

Types de radios utilisées en aéronautique

Stations de radiocommunication au sol

- Il existe aussi des stations émettrices automatisées servant à transmettre les informations d'aéroport et de météorologie (ATIS-Automatic Terminal Information Service) aux pilotes.



© Département d'Avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

EMC et EMI

✓ EMC : Electromagnetic Compatibility.
✓ EMI : Electromagnetic Interference.



- Les systèmes radio, tout comme à peu près tous les équipements électroniques modernes émettent des ondes électromagnétiques pouvant créer des interférences avec d'autres appareils (EMI).
- Il faut donc s'assurer qu'un équipement électronique soit insensible aux interférences électromagnétiques (EMC).

© Département d'Avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Supérieure de l'Avionique

EMC et EMI

- Dans certains cas (applications militaires), on souhaite justement perturber la réception ou les systèmes de radiocommunication et de radionavigation.
- On appelle ceci le « Jamming » qui est un élément des contre-mesures électroniques (ECM-Electronic Countermeasures).



© 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