

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Édouard-Montpetit École nationale d'aérotechnique



Photo : Technisonic Industries Ltd

FM COM

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Édouard-Montpetit École nationale d'aérotechnique

Avant de débuter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Présentation du cours



Photo © Pierre GILLARD/2010-14425

- Principe de la modulation FM.
- Applications de la modulation FM.
- La modulation FM en aéronautique.
- Les radiocommunications FM en VHF et UHF.
- Projet 25 (P25).
- Installation des équipements.
- Les antennes et leur implantation.
- Programmation et utilisation des équipements.

Principe de la modulation FM

La modulation de fréquence

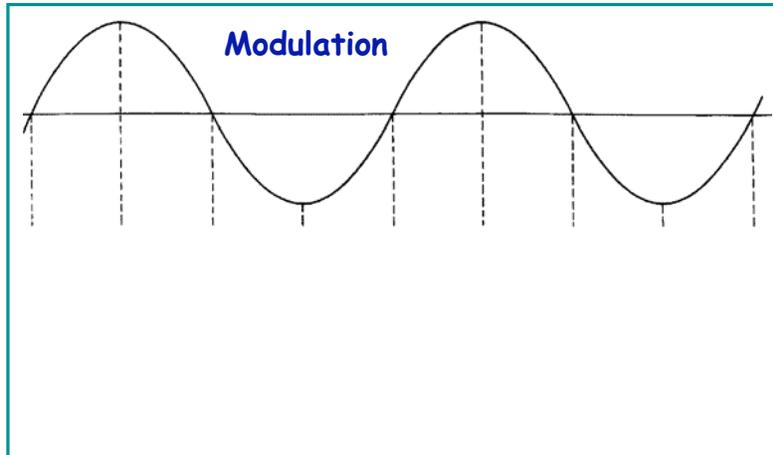
$$e = E \sin (\omega t + \varphi)$$

- Les variations de la pulsation ωt en fonction du temps caractérisent la modulation.
- $\omega = 2\pi f$ et $f = f(t)$.
- Les variations de la fréquence porteuse transportent toute l'information du signal modulant.

Principe de la modulation FM

La modulation de fréquence

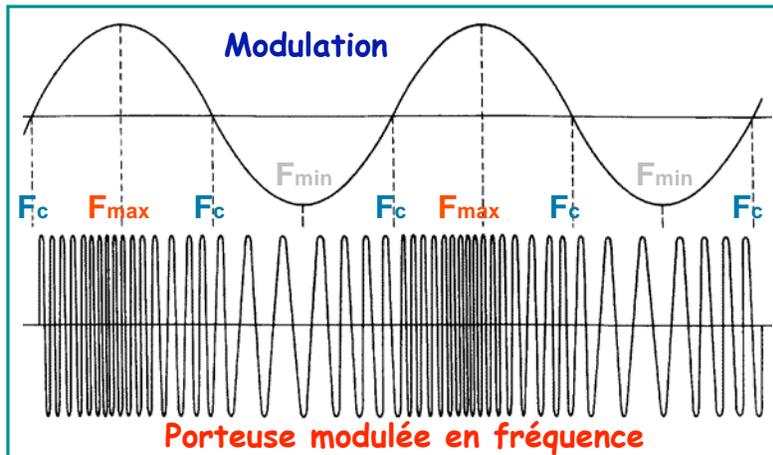
- Diagramme temporel :



Principe de la modulation FM

La modulation de fréquence

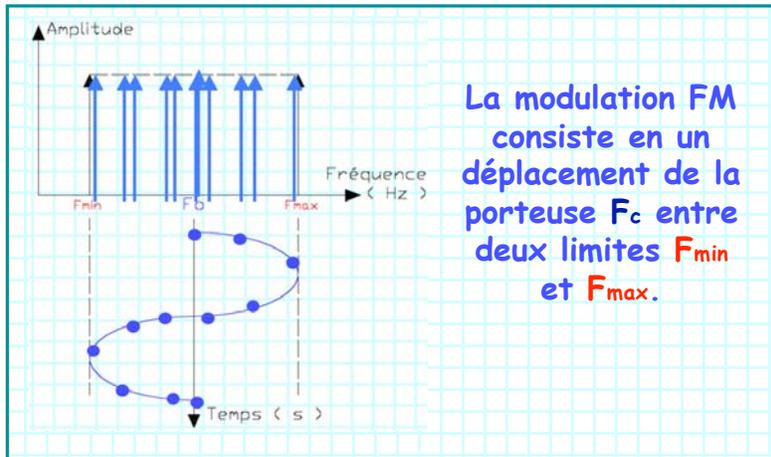
- Diagramme temporel :



Principe de la modulation FM

La modulation de fréquence

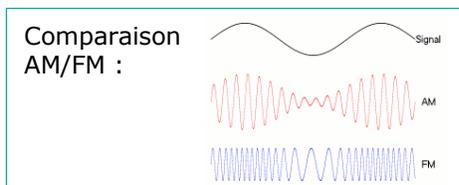
- Diagramme fréquentiel :



Principe de la modulation FM

La modulation de fréquence

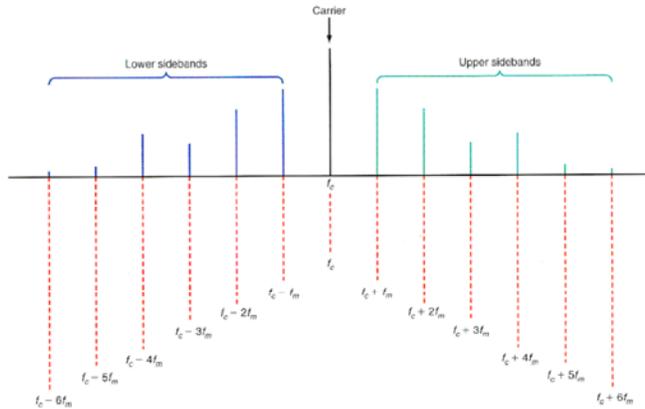
- Avantage :
 - Le signal résultant sera peu sensible aux parasites car les variations accidentelles d'amplitude induites par ces derniers ne sont pas significatives.
- Inconvénient :
 - La largeur de spectre est nettement plus grande que celle du signal modulé en amplitude si l'on souhaite émettre un signal de qualité (« *broadcast* » en stéréo, par exemple).



Principe de la modulation FM

Largeur du spectre

- Voici le spectre de fréquences d'une porteuse f_c modulée en fréquence par un signal modulant f_m :



- Les amplitudes des différentes raies spectrales dépendent de l'indice de modulation m_f :

$$m_f = \frac{f_d}{f_m}$$

- Où f_d est la déviation de fréquence.

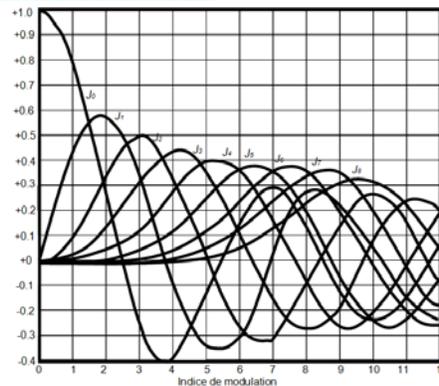
Principe de la modulation FM

Largeur du spectre

- L'équation de l'amplitude d'un signal FM est la suivante :

$$v_{FM} = V_c \sin\{\omega_c t + m_f \sin \omega_m t\}$$

- On peut la résoudre à l'aide d'un processus mathématique complexe appelé « fonctions de Bessel ».
- On peut, toutefois, utiliser le tableau ci-contre afin de déterminer l'amplitude de la porteuse et des différentes raies spectrales :



Principe de la modulation FM

Largeur du spectre

- Regardons l'évolution des amplitudes en fonction de l'indice de modulation :

Modulation Index	Carrier	Sidebands (Pairs)															
		1st	2d	3d	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.38	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—	—
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—
12.0	-0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15.0	-0.01	0.21	0.04	0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12

- Si $m_f = 0$, il n'y a donc que la porteuse qui est transmise avec une amplitude de 100%.
- Regardons maintenant les amplitudes obtenues avec un indice de modulation $m_f = 0,25$, $m_f = 1$ et $m_f = 2$.

Principe de la modulation FM

Largeur du spectre

- Comment peut-on maintenant évaluer la largeur de spectre nécessaire et donc pouvoir évaluer l'espace entre chaque canal ?
- Prenons, par exemple, un signal modulant de 3 KHz au maximum et une déviaton en fréquence de 6 KHz.
- On peut donc déduire un indice de modulation de 2 et on constate qu'il y a 4 raies spectrales de part et d'autre de la porteuse dans ces conditions.
- Sachant que chaque raie spectrale est séparée de sa voisine par 3 KHz, on peut déterminer que la bande passante nécessaire correspond à 24 KHz.
- On pourrait, donc, écrire ceci sous la forme suivante :

$$BP = 2f_m N$$

- Où BP est la bande passante et N le nombre de raies spectrales compte tenu de l'indice de modulation.

Principe de la modulation FM

Largeur du spectre

- Une autre manière de déterminer la bande passante requise est la règle de Carson.
- Celle-ci ne prend en compte que les raies spectrales dont l'amplitude est supérieure à 2 %.
- La règle est la suivante :

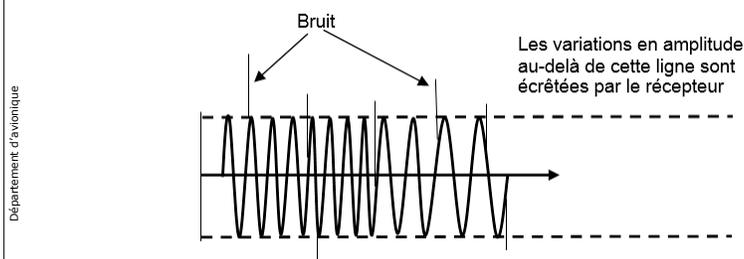
$$BP = 2(f_d + f_m)$$

- Ce qui nous donne, pour notre exemple : $BP = 2(6 \text{ KHz} + 3 \text{ KHz}) = 18 \text{ KHz}$.
- Même si cette façon d'évaluer la bande passante requise amène à des résultats inférieurs à ceux obtenus avec la méthode précédente, on a constaté qu'elle demeure valable malgré tout pour transmettre un signal intelligible.

Principe de la modulation FM

Problème du bruit

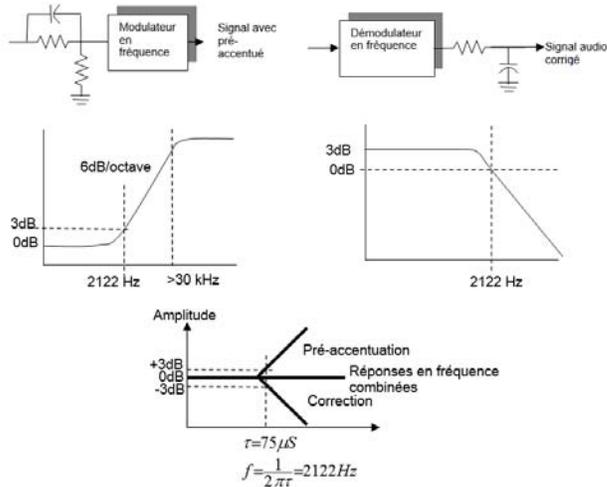
- Du fait que c'est une variation de fréquence qui représente la modulation et non l'amplitude, du bruit ou des parasites peuvent être simplement éliminés :



Principe de la modulation FM

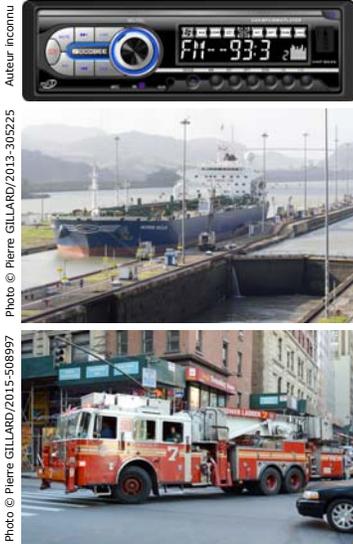
Problème du bruit

- On constate que le bruit a, par contre, une grosse influence sur les signaux à haute fréquence (ex. : *broadcast*).
- Une manière de procéder est de les amplifier avant la modulation et de les atténuer après la démodulation.



Département d'avionique

Applications de la modulation FM



- Diffusion radio grand public (*Broadcast*).
- Radiocommunications services publics.
- Radiocommunications « marine ».
- Radiocommunications militaires.
- Radioamateurs.
- Radionavigation aéronautique (VOR).
- Transmission de données numériques.
- Téléométrie.
- Radar.
- Prospection sismique.
- Synthèse FM dans les synthétiseurs de musique.
- Etc.

La modulation FM en aéronautique

- On trouve de la modulation de fréquence en aéronautique dans les systèmes suivants :

- VOR : signal de 30 Hz de référence modulé en fréquence par une sous-porteuse à 9960 Hz.
- Radiocommunications « services publics » en VHF et UHF.
- Transmission de données numériques.

Les radiocommunications FM en VHF et UHF

- Il n'y a pas réellement de communications vocales en FM en aéronautique.
- Par contre, il existe des systèmes de radiocommunication FM prévus pour être installés à bord d'aéronefs permettant de dialoguer sur des bandes de fréquences VHF et UHF destinées aux services publics, chantiers, marine, etc.
- Ces bandes sont les suivantes :

- VHF 30 MHz à 50 MHz.
- VHF 66 MHz à 88 MHz.
- VHF 138 MHz à 174 MHz.
- UHF 403 MHz à 512 MHz.

Projet 25 (P25)

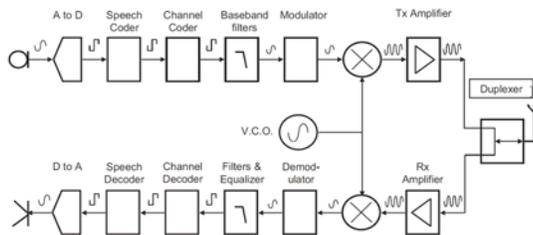
- Trois phases d'implantation ont été définies :

Phase 1 : équipements compatibles avec les systèmes analogiques et transmission numériques selon le protocole Continuous 4 level FM (C4FM, essentiellement de la modulation QPSK).

Phase 2 : en cours de développement pour ajouter des fonctionnalités FDMA et/ou TDMA.

Phase 3 : également en cours de développement pour permettre le transfert de données à haut débit, de la voix ou de la vidéo.

P25 RADIO SYSTEM ARCHITECTURE



Daniels Electronics

Projet 25 (P25)

- Exemple de radio compatible P25 : Technisonic TDFM-9000:

TDFM-9000 SERIES
ANALOG/DIGITAL/ENCRYPTED/TRUNKED/MULTI-BAND AIRBORNE AM/FM TRANSCEIVERS

The TDFM-9000 / 8000 series radios offer Project 25 Analog/Digital/Trunked Multi-band airborne radio transmitters capable of meeting your most demanding operating requirements in both Phase 1 (C4FM) and Phase 2 (TDMA) modes. The TDFM-9000 series consists of multiple models which are configurable to meet each user's specific equipment. Each model is Dual, general mount and each unit is completely self-contained in a single-mount base.

Capabilities of each are as follows:

- TDFM-8000 can support up to six P25 compatible analog/digital TDM/TDMA radio modules of your choice.
- TDFM-9000 can support most analog radio modules and two P25 digital modules capable of operating in four P25 operating bands: multi-harmonic, TDMA/TDMA Compliant.
- TDFM-8000 can support one analog module with up to four P25 compatible TDM/TDMA modules of your choice.
- Radio modules can be individually configured to include any P25 options such as trunking, encryption, OFDM, etc.
- Digital Encryption protocols: DES, DES-RC, DES-CFB, DES-CCP, AEC, AEC2
- Available Multiple Encryption Keys: 64 Common Key Reference (CKR) or 16 Personal Identifier Reference (PIR) keys.
- Each radio module can store 2000 channels and can be programmed to operate in digital or analog mode on a channel-by-channel basis.
- Each radio module independently supports 10 AM across its entire frequency spectrum.
- Built-in audio switching allows multiple RF modules to either combined or separate transmitter configurations.
- Supports analog and cross-band repeat.
- Programming is via a MicroVee CPU software program.
- Dimensions 4.5" H, 5.75" W and 8.5" D.

PROTOCOLS SUPPORTED

- P25 Phase 1 TDMA
- P25 Phase 1 FDMA
- Conventional Analog
- Conventional P25
- Smartnet II (SMARTZONE)
- P25 Trunking

SINGLE BAND

- VHF (118-136 MHz)
- UHF Low (350-475 MHz)
- UHF Hi (400-525 MHz)
- HF
- Includes 700 MHz

NEW DUAL BAND

- VHF / UHF Low
- VHF / UHF Hi
- UHF / HF
- UHF Low / UHF Hi
- UHF Low / HF
- UHF Hi / HF

T16 ANALOG RADIO MODULES

- Low Band FM (20 to 100 MHz)
- VHF AM Amplitude Band (100 to 136 MHz)
- UHF AM Military Band (225 to 400 MHz)

More Capable. Less Cost.

Local Customer Representative:
Daniels Electronics, Inc.
413 231 9029
www.ELC

Canadian Representative:
240 Trudon Blvd.
Montréal, QC Canada H4Z 1W7
505.890.3113

Installation des équipements

Exemples d'installations

- Il existe deux catégories d'émetteurs-récepteurs FM : les appareils monoblocs et ceux avec tête de contrôle séparée.
- Voici quelques exemples d'installations possibles :

Images : Cobham et TTL



Technisonic TFM-138



Wulfsberg Flexcomm II

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 30 MHz

FM10-30-() VHF COMMUNICATIONS ANTENNA



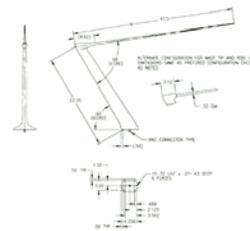
The FM10-30-() is a military qualified, vertically polarized communication antenna designed to operate over the frequency range of 30 to 88 MHz. The antenna is constructed of fiberglass and epoxy materials and is designed for installation on top of an aircraft or helicopter. The antenna base is curved for better surface contact. In order to avoid the problems caused by aircraft shock and vibration and by humidity, the internal structure of the FM10-30-() is foamed in place.

FM10-30-1 The antenna whip is 43.5" in length and has an angle of 68.5° from the vertical leading edge of the antenna. The antenna base is flat for mounting antenna to flat surfaces. Electrically, the antenna has optimum gain across the band.

NSN: 5985-00-097-9747

FM10-30-4 The antenna whip is 34.8" in length and has an angle of 60° from the vertical leading edge of the antenna.

NSN: 5985-01-240-5308



ELECTRICAL	MECHANICAL	ENVIRONMENTAL
Frequency 30-88 MHz	Connector BNC	Speed Rating 200 Knots
VSWR 3.0:1	Weight 2.5 Lbs (1.13kg)	APPROVALS MIL-STD 810C AS-3191
Impedance 50 Ohms	Finish Lusterless Black	
Polarization Vertical	Height 25.5 In (648mm)	
Power 60 Watts	Construction Fiberglass	
Radiation pattern Omni Directional		

FM10-30-6 antenna has power handling capabilities of 250 Watts.

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 138 MHz

Comant CI 177-1 FM Extended Band

COBHAM

CI 177-1 FM Extended Band

Extended band version of the CI 177. Improved bandwidth provides greater flexibility by optimizing features of some of the newer transceivers.

Features the popular 4 hole mounting with the radiating element enclosed in a high strength tapered glass laminate housing.

Applications

Single and twin engine piston aircraft for applications of this antenna design. Consult your FBO or installation shop for best application information.

Frequencies Covered

138-174 MHz



Specifications

Electrical	
Frequency	138-174 MHz
VSWR	3.0:1 Maximum
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Omnidirectional
Impedance RF	50 Ohms
Resistance DC	Short Circuit
Power RF	50 Watts
Mechanical	
Weight	0.50 lbs
Height	15.2 inches
Material	Die Cast Housing / Fiberglass whip
Finish	White Polyurethane Enamel
Connector	BNC (Female)
Environmental	
Temperature	-55 C to +55 C
Altitude	10,000 ft
Federal Specifications	
FAA TSO	C37c, C38b
RTCA Environmental	DO-138
Garret	812807-3

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 138 MHz

Comant CI 292-3 FM Extended Band

COBHAM

CI 292-3 FM Extended Band

Designed to provide 3.0:1 VSWR or better over a bandwidth of 138-174 MHz and over 136-174 MHz. Features a high-strength die-cast 3-hole aluminum base. Radiating element is a bent whip tapered stainless steel rod suitable for bottom mounting.

Applications

Single engine piston aircraft for applications of this antenna design. Consult your FBO or installation shop for best application information.

Frequencies Covered

136-174 MHz
138-174 MHz



Specifications

Electrical	
Frequency	136-174 & 138-174 MHz
VSWR	3.0:1 Maximum
Antenna Gain	2.5dB Minimum at Beam Max.
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Omnidirectional
Impedance	50 Ohms
Power	50 Watts
Mechanical	
Weight	0.60 lbs Maximum
Height	9.5 inches
Material	Die Cast Housing / Stainless whip
Finish	White Polyurethane Enamel
Connector	BNC (Female)
Environmental	
Temperature	-55 C to +70 C
Altitude	50,000 ft
Federal Specifications	
FAA TSO	C37c (Class 1), C38b
RTCA Environmental	DO-160B
Garret	829205

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 138 MHz

Comant CI 295-250

Dual Port - Public Service Spectrum

COBHAM

CI 295-200 Dual Band - Dual Port

This single antenna offers frequency spectrum coverage for two of the most used Public Service bands by Search and Rescue teams around the world. Dual ports provide maximum effectiveness and flexibility, allowing the user connectivity to any radio set required for the mission.

Helicopter rated for some of the toughest vibration environments, Comant's CI 295 Dual Band / Dual Port antenna saves installation time and space with its small, single footprint. This permits space on the aircraft for other antennas and equipment vital to the many missions and operations tasked.

Frequencies Covered

136-174 MHz VHF
764-870 MHz UHF

Applications

Helicopters and fixed wing turbine powered aircraft. Consult your FBO or installation shop for best application information.



Specifications

RF Characteristics

Frequency	136-174 MHz 764-870 MHz
VSWR	1.0:1 Maximum
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Omnidirectional
Output Impedance	50 Ohms
RF Power	10 Watts CW Maximum

Mechanical / Environmental

Weight	2.00 lbs. Maximum
ETCA Environmental	DD-100G
Connectors	BNC / 136-174 MHz TNC / 764-870 MHz

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 406 MHz

Comant CI 106

Radiophone

COBHAM

CI 106 Radiophone

Stub antenna designed to withstand the environment associated with the underside of an aircraft. Antenna radiator is mechanically captivated and sealed against leakage. All exposed metal surfaces are nickel-plated for corrosion resistance and long service.

Applications

Single engine piston aircraft for applications of this antenna design. Consult your FBO or installation shop for best application information.

Frequencies Covered

450-470 MHz



Specifications

Electrical

Frequency	450-470 MHz
VSWR	1.2:1
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Typical of 1/4 Wave
Impedance	50 Ohms
RF Power	50 Watts Average

Mechanical

Weight	0.18 lbs.
Height	7.0 Max
Finish	Nickel plated brass
Material	Tin Nickel Alloy
Connector	BNC (female)

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 406 MHz

Comant CI 177-20

Radiophone

COBHAM

CI 177-20 Radiophone

A rugged monopole antenna particularly well-suited to the harsh environments experienced on the underside of an aircraft. Features standard 4-hole mounting, diecast metal base and radiator encased in glass laminate housing.

Applications

Single and twin engine piston aircraft for applications of this antenna design. Consult your FBO or installation shop for best application information.

Frequencies Covered

450-470 MHz



Specifications

Electrical	
Frequency	450-470 MHz
VSWR	2.0:1
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Omnidirectional
Impedance	50 Ohms
RF Power	30 Watts
Mechanical	
Weight	0.7 lbs Maximum
Height	7.6 inches Maximum
Material	Diecast Metal Base
Finish	Glossy White Polyurethane Paint
Connector	BNC (Remov)
Environmental	
Temperature	-55 to 55 C
Altitude	30,000 ft
Federal Specifications	
FAA TSO	N/A
Environmental RTCA	DO-160D
Galnet	812607

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 406 MHz

Comant CI 275 Series

UHF Radiotelephone

COBHAM

CI 275 Radiotelephone

Wide band UHF antenna designed for high-performance aircraft over the full frequency range of 406-512 MHz. Low profile, blade-type antenna is encased in a low drag, low weight molded body to ensure high reliability. The CI 275 is available with a selection of connectors as listed below.

CI 275
CI 275-2
CI 275-5

BNC
TNC
N

Applications

Single and twin engine piston aircraft for applications of this antenna design. Some light turbine and light jets. Consult your FBO or installation shop for best application information.

Approved for light helicopter installations.

Frequencies Covered

406-512 MHz



Specifications

Electrical	
Frequency	406-512 MHz
VSWR	2.0:1
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Typical 1/4 wave stub
Impedance	50 Ohms
RF Power	100 Watts Max. Average
Mechanical	
Weight	0.5 lbs
Height	3.3 inches
Material	Nickel Plated
Finish	White Polycarbonate
Connector	BNC, TNC, N (spec'fy)
Federal Specifications	
FAA TSO	N/A

Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 406 MHz

Comant CI 285

Radiotelephone

COBHAM

CI 285 Radiotelephone

UHF blade antenna design for high performance aircraft over the full range of 400-960 MHz. Low profile, low drag, light weight antenna is packaged in a molded body and metal mounting base to ensure stable performance in tough environmental conditions. Features vertically polarized/omni-directional pattern, extremely wide band/high efficiency electrical performance. DC grounding for lightning protection, 6 hole mounting.

Applications

Single and twin engine piston aircraft for applications of this antenna design. Some light turbine and light jets. Consult your FBO or installation shop for best application information.

Approved for light helicopter installations.

Frequencies Covered

400-960 MHz

Specifications

Electrical	
Frequency	400-960 MHz
VSWR	2.6:1
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Typical 1/4 wave stub
Impedance	50 Ohms
RF Power	100 Watts Max. Average
Mechanical	
Weight	0.73 lbs.
Height	5.20 inches
Material	Lexan
Finish	Polyurethane Enamel
Connector	N (female)
Environmental	
Temperature	-55 to 85 C.
Altitude	35,000 ft.
Federal Specifications	
FAA TSO	N/A
Environmental RTCA	DO-160C



Les antennes et leur implantation

Antennes pour la bande de 88 MHz à 108 MHz

Comant CI 222-1

FM Receive

COBHAM

CI 222-1 FM Receive

Efficient FM radio bent whip antenna is higher performance and moderately higher profile version of the CI 222. Features a 4-hole mounting, suitable for either top or bottom airframe installations or fixed wing/trotcraft. DC grounded.

Applications

Single engine piston aircraft for applications of this antenna design. Consult your FBO or installation shop for best application information.

Frequencies Covered

88-108 MHz

Specifications

Electrical	
Frequency	88 to 108 MHz
VSWR	3.0:1 Maximum
Polarization	Vertical
Radiation Pattern	Omnidirectional
Impedance RF	50 Ohms Nominal
Power RF	50 Watts
Mechanical	
Weight	0.50 lbs.
Height	8.5 inches Max Height (20.0 inch whip)
Material	Cast zinc housing / Stainless whip
Finish	White Polyurethane Enamel
Connector	BNC (female)
Gasket	812607-3



Les antennes et leur implantation

Implantation des antennes sur les aéronefs

- Les antennes VHF pour les radiocommunications FM peuvent être montées au-dessus ou en dessous de l'aéronef comme c'était le cas avec les radiocommunications VHF AM.
- En ce qui concerne les antennes UHF, il est préférable de les monter en dessous de l'aéronef pour avoir la meilleure liaison avec le sol qui n'est pas obstruée.



Photo © Pierre GILLARD/2016-415197

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

Les antennes et leur implantation

Implantation des antennes sur les aéronefs

- Exemple sur un Cessna 208B Grand Caravan de la GRC :



Photo © Pierre GILLARD/2013-312933

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

Programmation et utilisation des équipements

- Les émetteurs-récepteurs de radiocommunication FM ne permettent pas un accès direct à la fréquence porteuse.
- Il est nécessaire de passer par une étape de programmation de canaux comprenant les éléments suivants :

- Identification et /ou nom du canal.
- Fréquence(s) porteuse(s).
- Simplex ou duplex.
- Tonalités sub-audibles CTCSS ou DCS.
- Fréquence de garde.

- Les émetteurs-récepteurs compatibles P25 nécessiteront la programmation de bien plus de paramètres.



Merci de votre attention