



© Pierre GILLARD/2020-532276

Préliminaires à la radionavigation

Avant de débiter le cours ...



Merci !

Présentation du cours



Photo © Pierre GILLARD/2020-4-28050

- L'onde électromagnétique.
- Fréquence et longueur d'onde.
- Les gammes de fréquences.
Transmission des ondes radio.
- Les antennes.
- La propagation des ondes électromagnétiques.
- La modulation des signaux.
- La modulation CW – *Continuous Wave*.
- La modulation d'amplitude.
- La modulation FM.

Présentation du cours



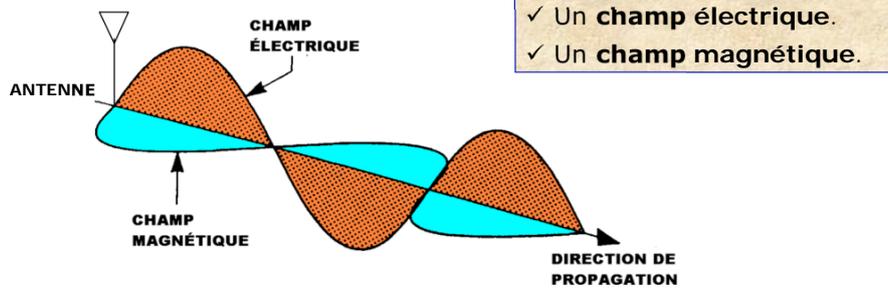
Photo © Pierre GILLARD/2020-4-28050

- La modulation de phase.
- Les transmissions numériques.
- Les oscillateurs.
- Les synthétiseurs de fréquences.
- Définitions.



L'onde électromagnétique

- Toute onde radio se propage dans l'espace sous forme de deux champs perpendiculaires :



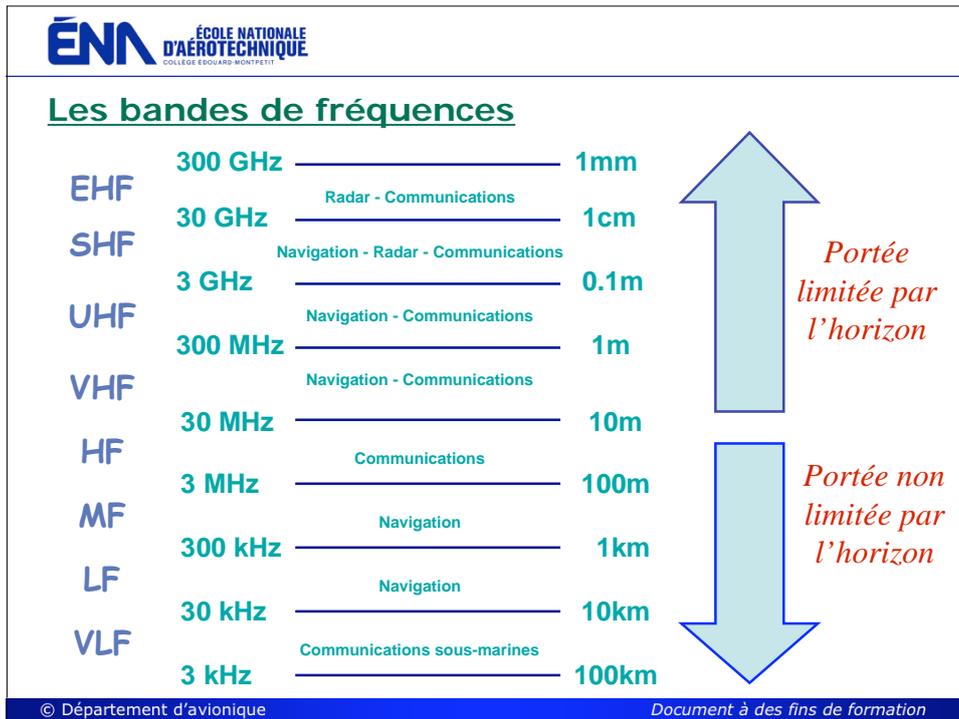
- Les deux champs sont électriquement en phase.
- Les deux champs demeurent en phase même s'il y a un changement de fréquence (période) ou de puissance (amplitudes).

Fréquence et longueur d'onde

- Les ondes électromagnétiques utilisées pour les communications radio se propagent dans l'atmosphère à la vitesse de la lumière ($c = 300\,000\text{ km/s}$).
- On peut établir une liaison de proportionnalité inverse entre une longueur d'onde « λ » exprimée en mètres et une fréquence « f » exprimée en hertz :

$$\lambda = c / f$$

- Cette propriété nous indique qu'il y aura des conséquences quant à la conception des antennes, les dimensions de celles-ci étant liées à la longueur d'onde.



ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Les bandes de fréquences

- Au-dessus de 1 GHz, on parle de micro-ondes :

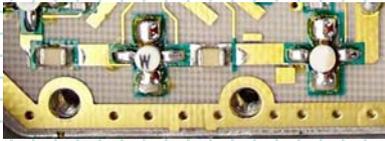
Dénomination de la bande	Fréquences	Longueurs d'ondes
L-band	1 GHz – 2 GHz	30 cm – 15 cm
S-band	2 GHz – 4 GHz	15 cm – 7.5 cm
C-band	4 GHz – 8 GHz	7.5 cm – 3.75 cm
X-band	8 GHz – 12.5 GHz	3.75 cm – 2.4 cm
Ku-band	12.5 GHz – 18 GHz	2.4 cm – 1.67 cm
K-band	18 GHz – 26.5 GHz	1.67 cm – 1.1 cm
Ka-band	26.5 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

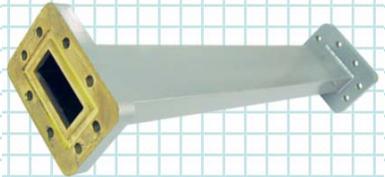
© Département d'avionique Document à des fins de formation

Transmissions des ondes radio

- Il existe différents procédés pour acheminer une onde radio RF d'un point à un autre :

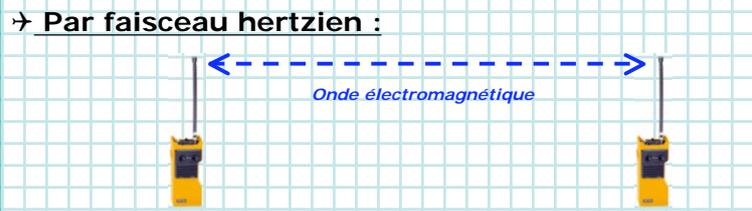
→ Par câble : Coaxial 50Ω ou 75Ω : 
« Flat Twin » 300Ω : 

→ Par ligne imprimée : 

→ Par guide d'onde : 

Transmissions des ondes radio

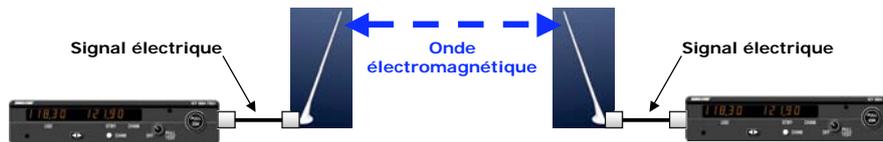
- Il existe différents procédés pour acheminer une onde radio RF d'un point à un autre :

→ Par faisceau hertzien : 
Onde électromagnétique

→ Par fibre optique : 

Les antennes

Rôle d'une antenne



- Lorsqu'une onde circulant dans un câble atteint une antenne, une onde électromagnétique est produite.
- Lorsqu'une onde électromagnétique frappe une antenne, un signal électrique est produit; celui-ci, bien que beaucoup plus faible, est semblable à celui qui a été émis à l'origine.
- Une antenne fonctionne donc « dans les deux sens »: en émission (TX) et en réception (RX).
- Une antenne est donc toujours l'interface entre un signal électrique et une onde électromagnétique.

Les antennes

Les caractéristiques des antennes

- On peut caractériser une antenne par les paramètres suivants :



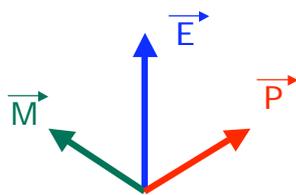
Image : Cooper Antennas

- Constitution, forme et dimensions mécaniques.
- Polarisation.
- Diagramme de rayonnement.
- Impédance.
- Gain.
- Bande passante.
- Pertes.

Les antennes

Polarisation des antennes

- Nous avons vu qu'une onde électromagnétique était constituée d'un champ électrique perpendiculaire à un champ magnétique.
- À l'émission, l'onde électromagnétique se propagera d'une façon bien précise : selon la polarisation de l'antenne.



\vec{E} est le vecteur représentant la direction du **champ électrique**

\vec{M} est le vecteur représentant la direction du **champ magnétique**

\vec{P} est le vecteur représentant la direction de la **propagation**

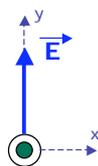
- La polarisation de l'antenne sera donnée par la direction du champ électrique; ce sera également la direction de l'orientation physique de l'antenne.

Les antennes

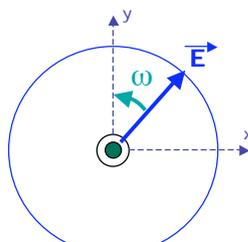
Polarisation des antennes

- Il existe quatre types de polarisations :

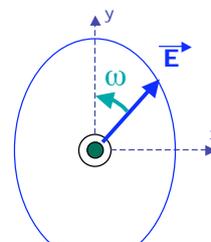
- Polarisation **verticale** (linéaire).
- Polarisation **horizontale** (linéaire).
- Polarisation **circulaire**.
- Polarisation **elliptique**.



Linéaire



Circulaire



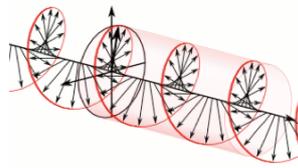
Elliptique

Les antennes

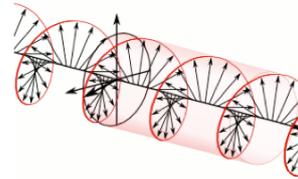
Polarisation des antennes

- Dans le cas d'une polarisation circulaire ou elliptique, la propagation de l'onde électromagnétique en rotation peut avoir lieu tant dans le sens horaire (dextrogyre) que dans le sens anti-horaire (lévogyre) :

Images : Wikipedia



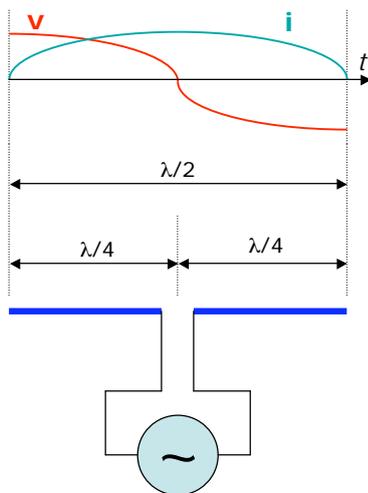
Polarisation circulaire dextrogyre



Polarisation circulaire lévogyre

Les antennes

Dipôle de Hertz (doublet)

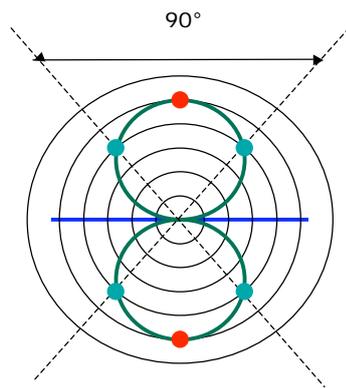


- Un dipôle de Hertz est constitué de deux conducteurs correspondant chacun à un quart de la longueur d'onde de la fréquence à émettre ou à recevoir.
- Ces deux conducteurs sont alignés dans le même plan.
- Le dipôle est équivalent à un circuit résonnant.
- À la fréquence de résonance, le dipôle correspond à une résistance pure de 73 Ω.
- La tension et le courant dans les deux conducteurs correspondent à une demi période.

Les antennes

Dipôle de Hertz (doublet)

- Du fait de la configuration des champs électrique et magnétique du dipôle, le rayonnement de l'antenne est directionnel :



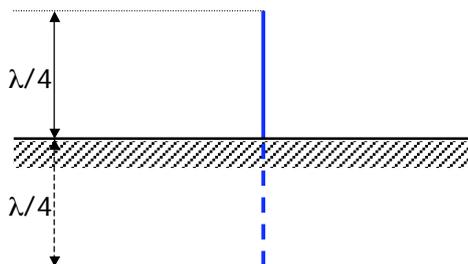
● **Points de rayonnement maximum**

● **Points à - 3dB par rapport au rayonnement maximum**

En trois dimensions, le diagramme de rayonnement à l'allure d'un « beigne ».

Les antennes

Monopôle de Marconi

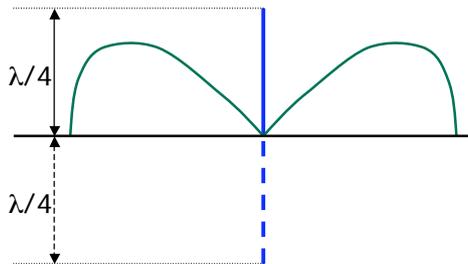


- Le monopôle de Marconi est un conducteur correspondant à un quart de la longueur d'onde de la fréquence à émettre ou à recevoir.
- Ce conducteur est placé perpendiculairement à un plan de masse.

- Le plan de masse « fait croire » à l'onde électromagnétique qu'il s'agit d'une antenne demi-onde.
- En effet, le plan de masse a un « effet de miroir » pour l'antenne et crée une antenne image.

Les antennes

Monopôle de Marconi

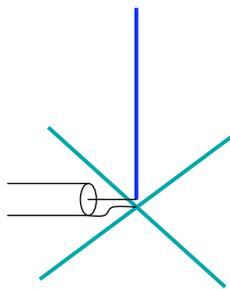


- Le monopôle de Marconi est un conducteur correspondant à un quart de la longueur d'onde de la fréquence à émettre ou à recevoir.
- Ce conducteur est placé perpendiculairement à un plan de masse.

- Le rayonnement a l'allure d'une « cuvette » et est omnidirectionnel dans le plan horizontal.
- Théoriquement, aucune onde ne se propage selon l'axe de l'antenne.

Les antennes

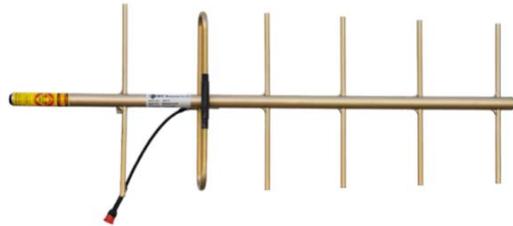
Monopôle de Marconi



- Le conducteur (élément radiant) est connecté à l'âme du câble coaxial.
- Les radiants constituant le plan de masse sont connectés au blindage du câble coaxial.
- Naturellement, un monopôle de Marconi est une antenne à polarisation verticale.
- Ce type d'antenne est utilisé en aéronautique pour les radiocommunications VHF et UHF ainsi que pour les transpondeurs et DME.
- C'est le revêtement en alliage d'aluminium de l'aéronef qui, en général, fait office de plan de masse.

Les antennes

Directivité et diagramme de rayonnement



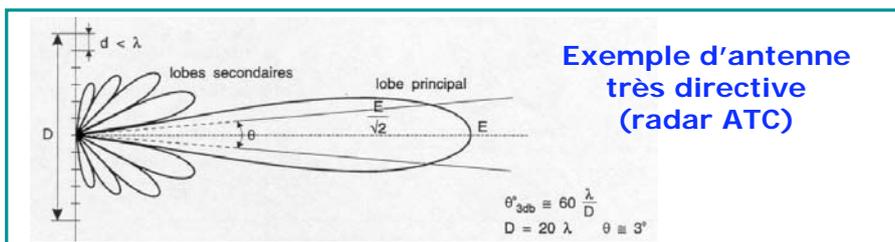
- Suivant la disposition des éléments d'une antenne ainsi que la phase de l'onde rayonnée par chacun de ces éléments, on peut définir deux grandes familles d'antennes :

- ✓ Antennes à rayonnement **omnidirectionnel**.
- ✓ Antennes à rayonnement **directionnel**.

Les antennes

Directivité et diagramme de rayonnement

- On peut déterminer la directivité d'une antenne en établissant son diagramme polaire :



La propagation des ondes électromagnétiques



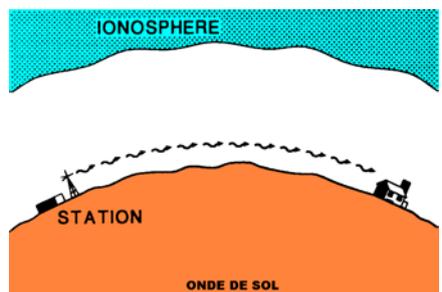
Photo © Pierre CHILLARD/ENACT/62

- Selon la fréquence porteuse utilisée pour une communication radio, la propagation de l'onde pourra être différente.
- On parlera de modes de propagation :

- ✓ Propagation par **ondes de sol**.
- ✓ Propagation par **ondes de ciel**.
- ✓ Propagation par **ondes d'espace**.

La propagation des ondes électromagnétiques

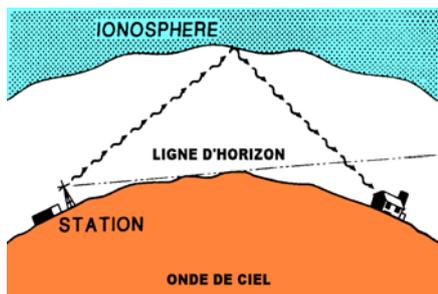
Propagation par ondes de sol



- L'onde électromagnétique suivra la courbure de la terre. La liaison peut donc s'établir entre deux points de la terre au-delà de la ligne d'horizon.
- Les gammes d'ondes concernées sont : VLF, LF et MF (LORAN C, par exemple).

La propagation des ondes électromagnétiques

Propagation par ondes de ciel

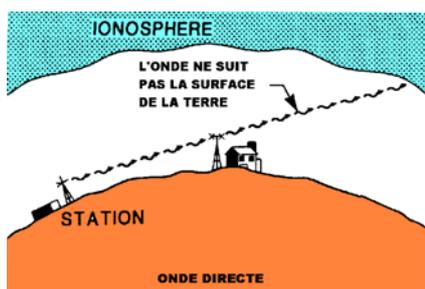


- La couche ionosphérique ceinture la terre à des altitudes variant entre 50 km et 500 km.
- Elle a une influence sur la réflexion des ondes; la réflexion des ondes sur la couche ionosphérique varie avec la saison et le moment de la journée.

- Suivant le moment du jour, on pourra utiliser certaines fréquences pour communiquer avec un point situé au-delà de l'horizon par réflexion de l'onde porteuse.
- Les bandes de fréquences concernées sont : MF, HF et VHF (exemple : communications HF).

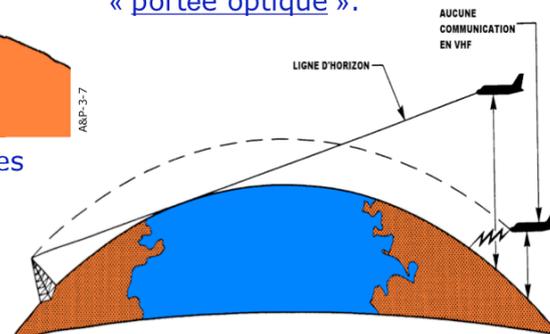
La propagation des ondes électromagnétiques

Propagation par ondes d'espace (directes)



- Dans ce cas, il n'est plus possible de communiquer avec un point situé au-delà de l'horizon; on parle alors de « portée optique ».

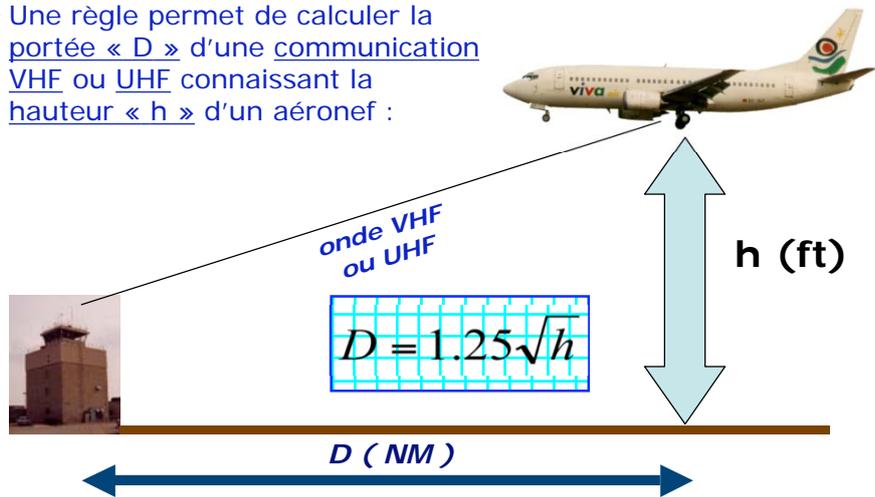
- Les bandes de fréquences concernées sont : VHF, UHF, SHF et EHF (exemple : communications VHF aéronautiques).



La propagation des ondes électromagnétiques

Propagation par ondes d'espace (directes)

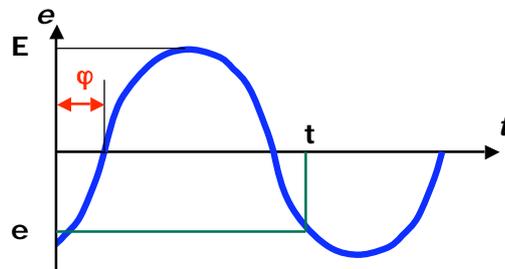
- Une règle permet de calculer la portée « D » d'une communication VHF ou UHF connaissant la hauteur « h » d'un aéronef :



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 :

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



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 dérivée : AM - SSB ⇒ radiocommunication et radionavigation analogiques.
- Modulation de fréquence : FM ⇒ radiocommunication et radionavigation analogiques.
- Modulation de phase : PM ⇒ radiocommunication et radionavigation numériques.

La modulation CW – *Continuous Wave*

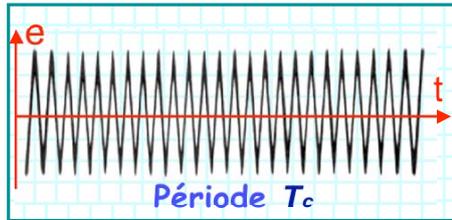
- Avant de parler de la modulation d'amplitude, effectuons un retour en arrière avec la modulation CW transmettant le code Morse.
- Il s'agit du premier moyen de transmission de messages par radio qui ait été utilisé.
- Son inconvenient est de ne pas pouvoir transmettre un message vocal en clair.
- De plus, les opérateurs à l'émetteur et au récepteur doivent connaître le code Morse de mémoire.

A ··	J ····	S ...	1 ····
B ···	K ···	T -	2 ····
C ···	L ···	U ...	3 ····
D ···	M --	V ····	4 ····
E ·	N ··	W ···	5 ····
F ···	O ···	X ····	6 ····
G ···	P ···	Y ····	7 ····
H ···	Q ···	Z ····	8 ····
I ··	R ···	0 ····	9 ····

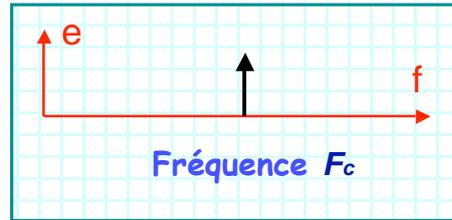


La modulation CW – *Continuous Wave*

Représentations d'une fréquence porteuse



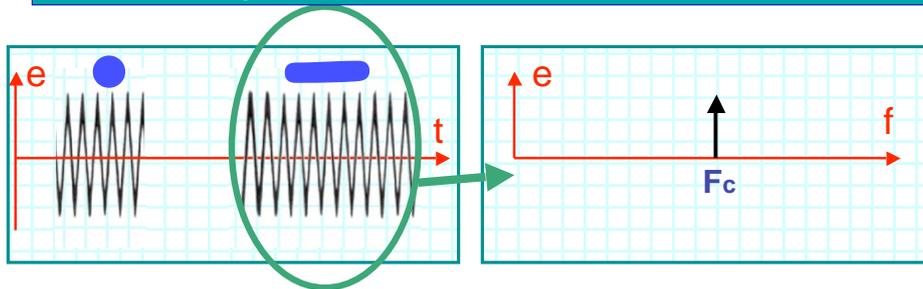
- On peut représenter un signal sinusoïdal dans un diagramme temporel.



- On peut représenter un signal sinusoïdal dans un diagramme fréquentiel.

La modulation CW – *Continuous Wave*

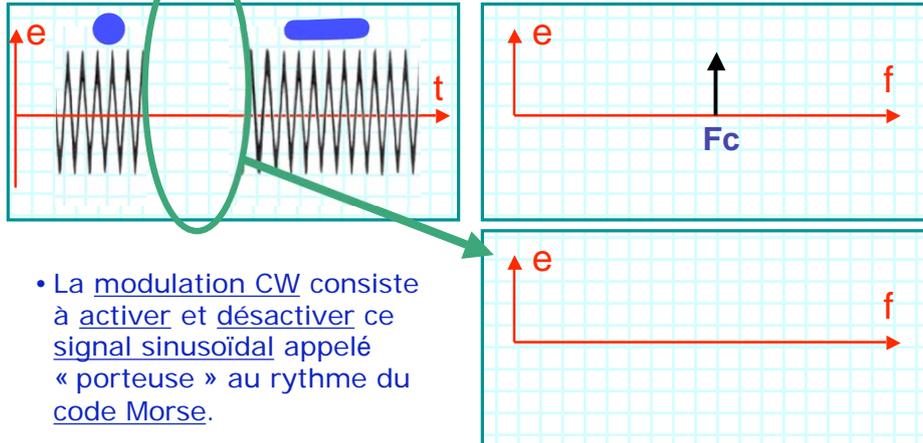
Représentations de la modulation CW



- La modulation CW consiste à activer et désactiver ce signal sinusoïdal appelé « porteuse » au rythme du code Morse.

La modulation CW – *Continuous Wave*

Représentations de la modulation CW



La modulation d'amplitude

Équation générale

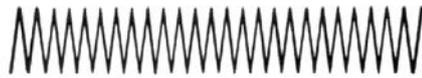
$$e = E \sin(\omega_c t + \varphi)$$

- Les variations de l'amplitude E en fonction du temps caractérisent la modulation ($E = f(t)$).
- Toute l'information (signal modulant) est transmise de cette manière.
- Avec la variante la plus courante de modulation en amplitude (modulation A3E), les variations d'amplitude sont l'image fidèle du signal modulant.
- Le spectre résultant fait apparaître la porteuse accompagnée de deux plages de fréquences placées symétriquement de part et d'autre : les bandes latérales.

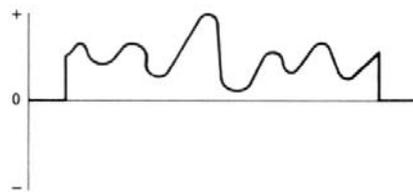
La modulation d'amplitude

Représentations de la modulation d'amplitude (AM)

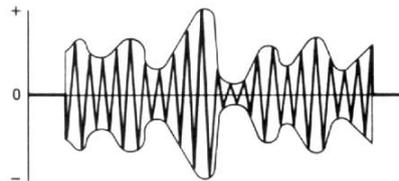
- Diagrammes temporels :



Porteuse F_c



Signal modulant F_m



Porteuse modulée en amplitude

La modulation d'amplitude

Analyse spectrale

- La fréquence porteuse : $v_c = V_c \sin \omega_c t$ $\omega_c = 2\pi f_c$
- La modulation : $v_m = V_m \sin \omega_m t$ $\omega_m = 2\pi f_m$
- L'enveloppe : $v_e = V_c + v_m = V_c + V_m \sin \omega_m t$
- Donc, on peut en déduire l'onde modulée en amplitude :

$$v = v_e \sin \omega_c t = (V_c + V_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$

$$v = V_c \sin \omega_c t + (V_m \sin \omega_m t \sin \omega_c t)$$

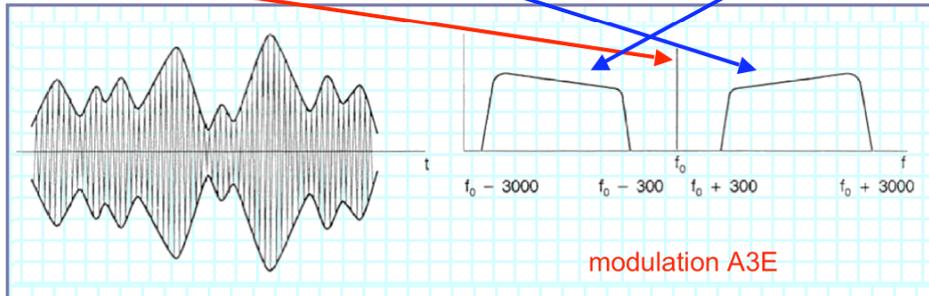
$$v = V_c \sin \omega_c t + \frac{1}{2} V_m \{ \sin(\omega_c + \omega_m)t + \sin(\omega_c - \omega_m)t \}$$

La modulation d'amplitude

Analyse spectrale

- Diagrammes temporel et fréquentiel :

$$v = V_c \sin \omega_c t + \frac{1}{2} V_m \{ \sin(\omega_c + \omega_m)t + \sin(\omega_c - \omega_m)t \}$$



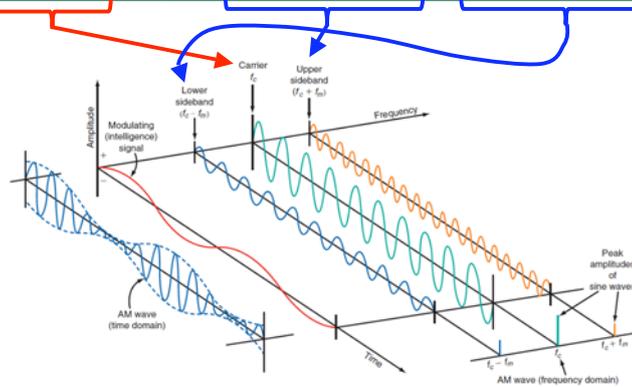
Ces deux diagrammes ont la même signification !

La modulation d'amplitude

Analyse spectrale

- Diagrammes temporel et fréquentiel :

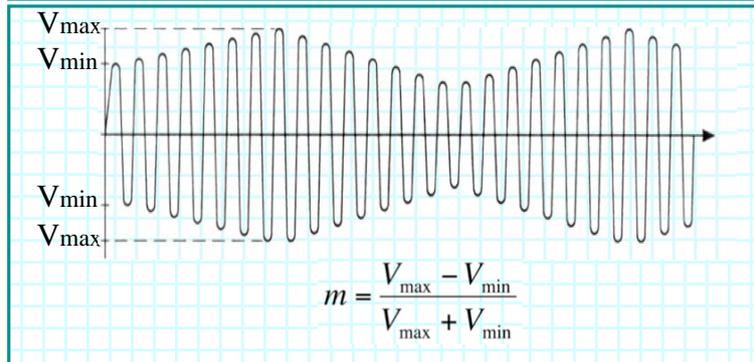
$$v = V_c \sin \omega_c t + \frac{1}{2} V_m \{ \sin(\omega_c + \omega_m)t + \sin(\omega_c - \omega_m)t \}$$



La modulation d'amplitude

Le taux de modulation

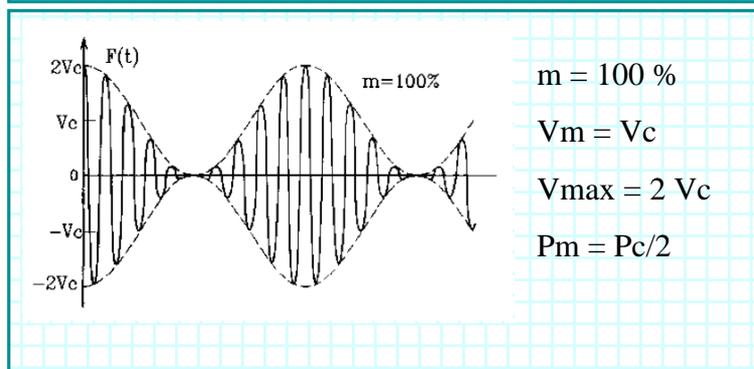
$$m = \frac{\text{Variation maximale d'amplitude de la porteuse}}{\text{Deux fois la valeur moyenne de cette amplitude}}$$



La modulation d'amplitude

Le taux de modulation

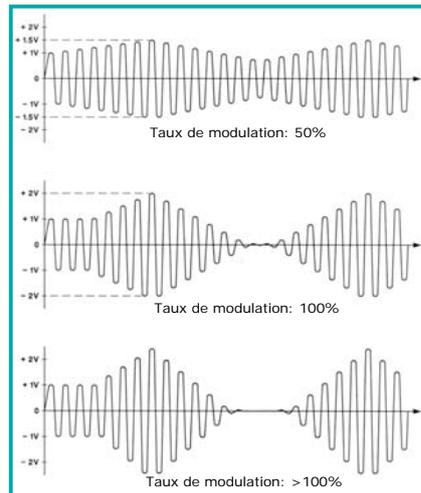
$$m = \frac{\text{Variation maximale d'amplitude de la porteuse}}{\text{Deux fois la valeur moyenne de cette amplitude}}$$



La modulation d'amplitude

Le taux de modulation

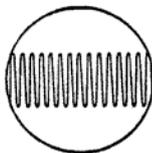
- Si le taux de modulation est faible (50 %), l'efficacité est pauvre.
- Si le taux de modulation est trop élevé (plus de 100 %), il y aura une distorsion du signal ou surmodulation.
- La plupart des émetteurs de transmission de la voix ont un taux de modulation d'environ 70 %.



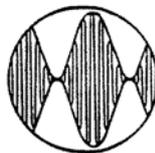
La modulation d'amplitude

Le taux de modulation

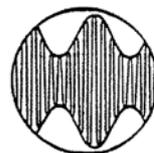
- Exercice : estimez le taux de modulation de chacun des diagrammes suivants :



0 %



100 %



50 %



> 100 %

La modulation FM

La modulation de fréquence

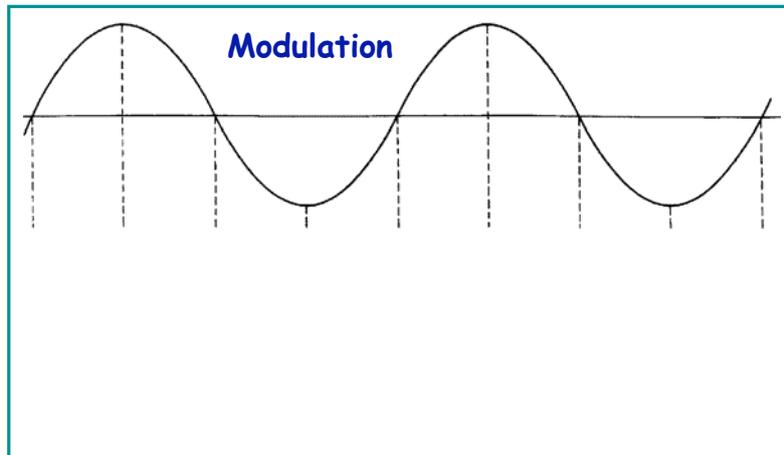
$$e = E \sin (\omega t + \varphi)$$

- 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.

La modulation FM

La modulation de fréquence

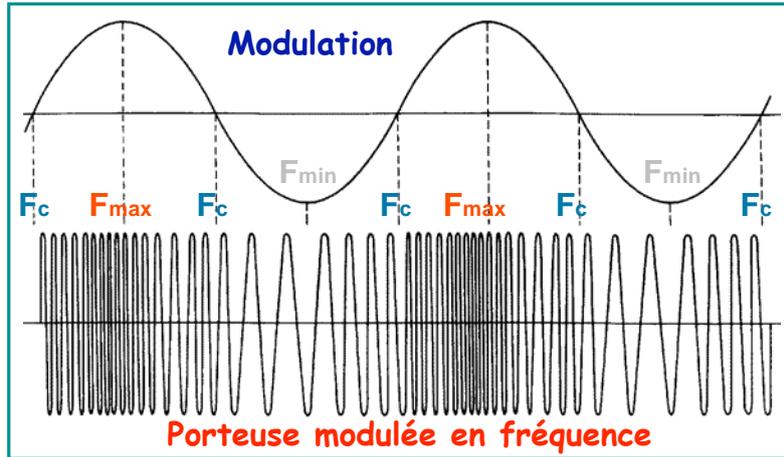
- Diagramme temporel :



La modulation FM

La modulation de fréquence

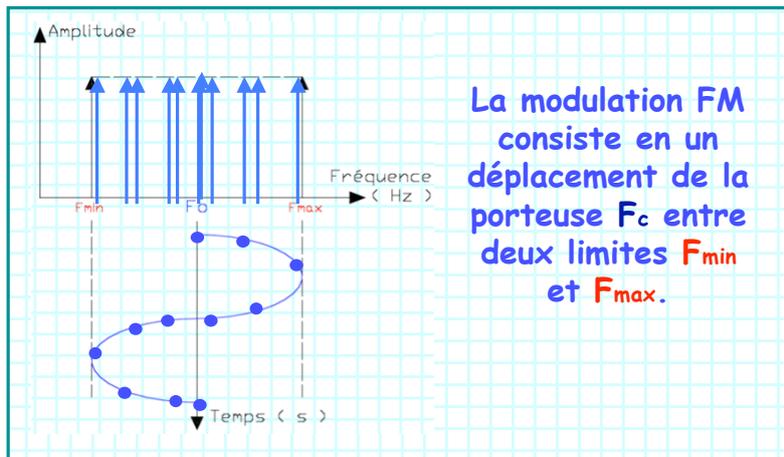
- Diagramme temporel :



La modulation FM

La modulation de fréquence

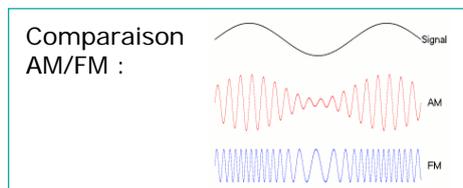
- Diagramme fréquentiel :



La modulation FM

La modulation de fréquence

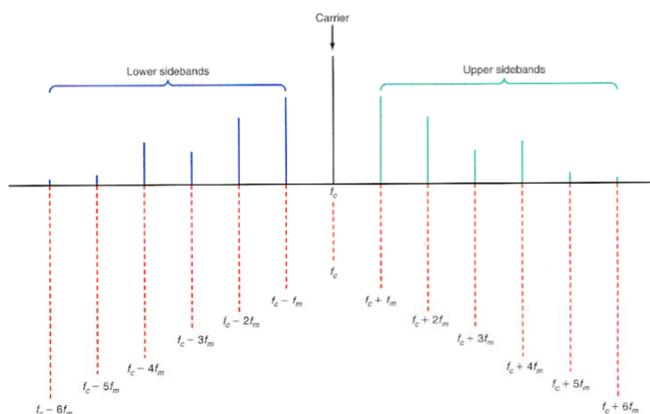
- Avantage :
 - Le signal résultant sera peu sensible aux parasites car les variations accidentelles d'amplitude induites par ces derniers ne sont pas significatives.
- Inconvénient :
 - La largeur de spectre est nettement plus grande que celle du signal modulé en amplitude si l'on souhaite émettre un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



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 :

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

- Où f_a est la déviaton de fréquence.

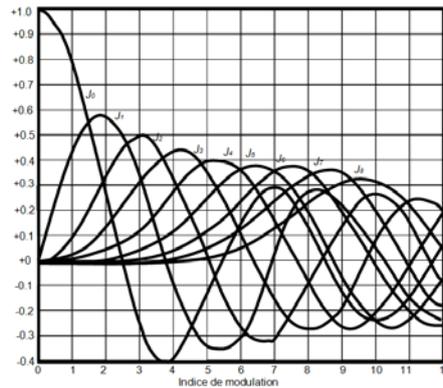
Principe de la modulation FM

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 :



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	0.36	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%.

La modulation de phase

La modulation de phase (PM)

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

- Les variations de la phase φ en fonction du temps caractérisent la modulation.
- $\varphi = f(t)$.
- Les variations de la phase de la porteuse transportent toute l'information du signal modulant.
- Un exemple de modulation de phase utilisée en aéronautique est la modulation « BPSK-Binary Phase Shift Keying » des données provenant des satellites GPS.

Les transmissions numériques

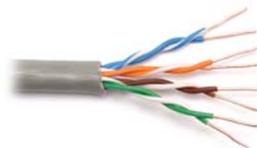
Méthodes de transmissions numériques

- 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



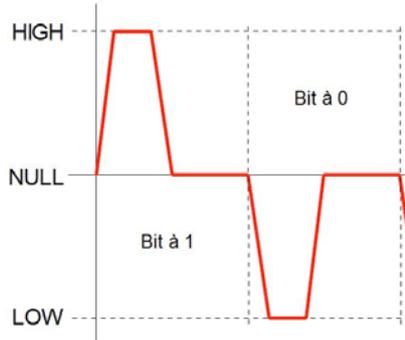
Câble coaxial



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 + 10 VDC (« 1 ») et de - 10 VDC (« 0 ») 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

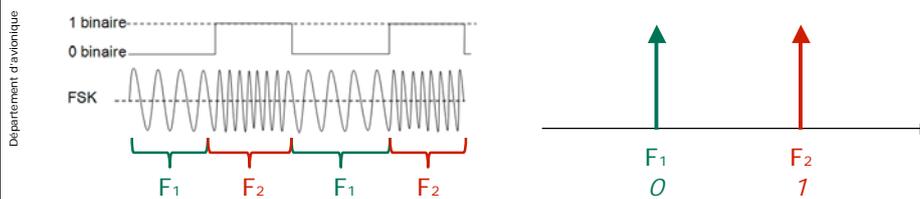
- Pour transmettre un signal numérique par radio, tout comme en analogique, il faut moduler une porteuse.
- On pourrait imaginer transmettre un signal numérique en AM ou en FM comme un signal audio.
- Or, un signal numérique est de forme carrée et la décomposition en série de Fourier nous a appris qu'un signal non sinusoïdal comprenait une infinité d'harmoniques.
- Dès lors, à moins que de moduler un signal à très faible débit (*Baud Rate*, nombre de symboles par seconde), le spectre qui serait occupé pour 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



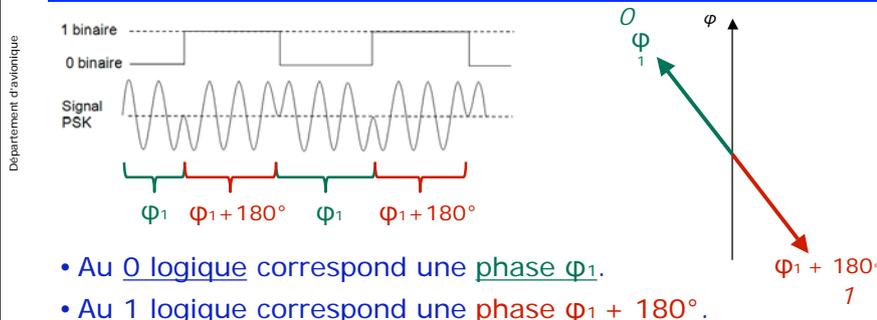
- Au 0 logique correspond une fréquence F_1 .
- Au 1 logique correspond une fréquence F_2 .

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 ϕ_1 .
- Au 1 logique correspond une phase $\phi_1 + 180^\circ$.

Les transmissions numériques

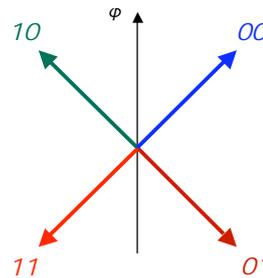
Techniques de modulation de signaux numériques

- 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
0	0	45°
0	1	135°
1	1	225°
1	0	315°



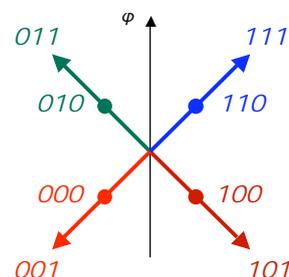
Les transmissions numériques

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.

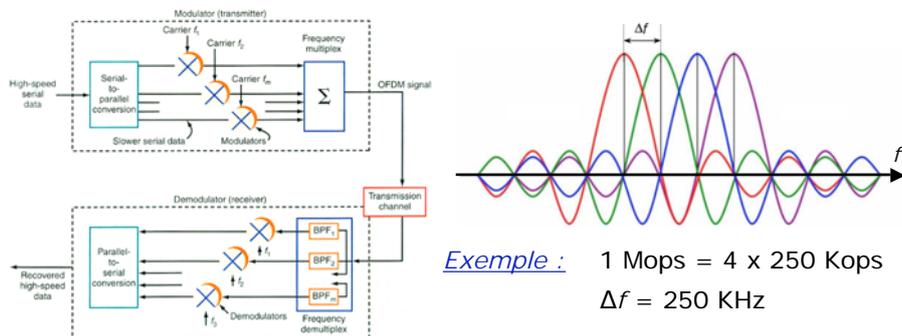


Les transmissions numériques

Techniques de modulation de signaux numériques

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

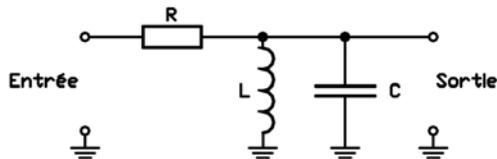
4 - OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing modulation d'amplitude en quadrature



Les oscillateurs

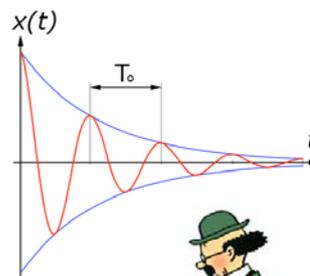
Principe de fonctionnement des oscillateurs

- 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 :

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



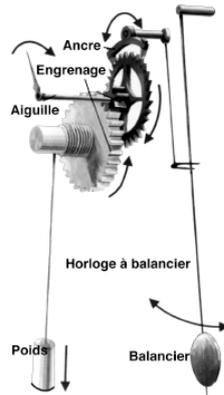
Les oscillateurs

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 poids entraînant le mécanisme

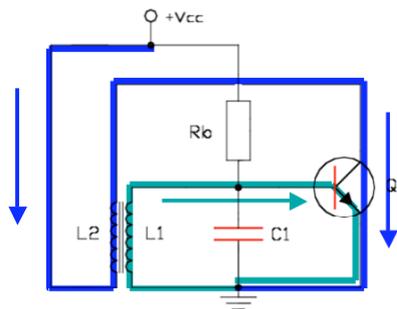


Images : auteur inconnu

Les oscillateurs

Principe de fonctionnement des oscillateurs

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

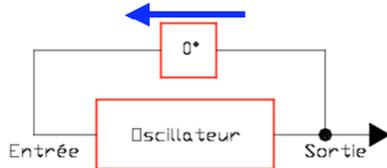


Pierre GILLARD

Les oscillateurs

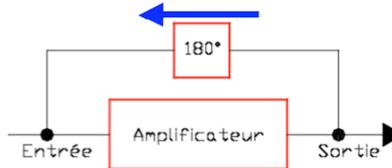
Réaction et contre-réaction

• Réaction :



- ✓ Signal injecté à l'entrée en phase.
- ✓ Effet « Larsen » (audio).
- ✓ **Instabilité.**
- ✓ Application : oscillateurs.

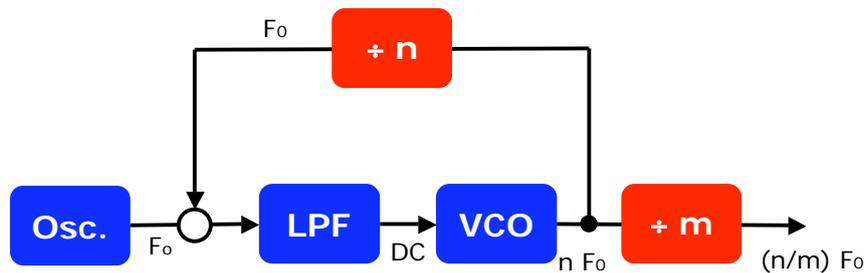
• Contre-réaction :



- ✓ Signal injecté à l'entrée en opposition phase.
- ✓ **Stabilité.**
- ✓ Application : amplificateurs.

Les synthétiseurs de fréquences

La boucle à verrouillage de phase (PLL)

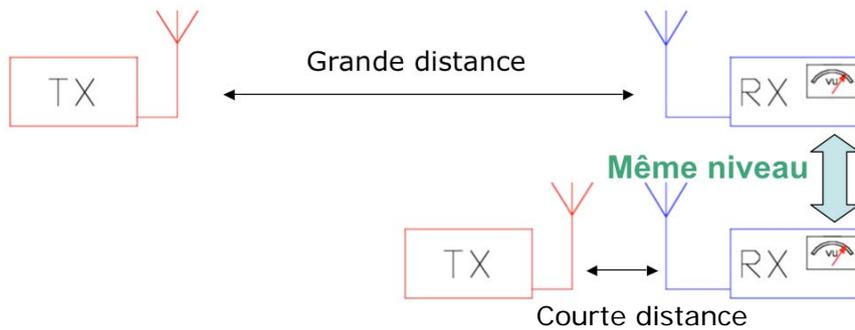


- ✓ En ajustant « n » et « m » à volonté, on peut créer une multitude de fréquences inférieures ou supérieures F_0 .

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.



Définitions

La sensibilité d'un récepteur

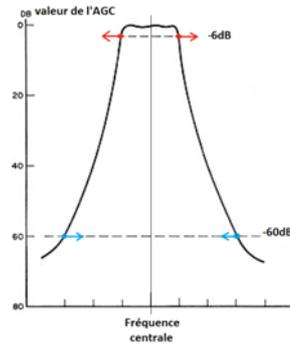
- Il s'agit de la capacité d'un récepteur à percevoir ou détecter un signal très faible.
- On l'exprime selon le rapport $\frac{S+N}{N}$ en dB.



Définitions

La sélectivité d'un récepteur

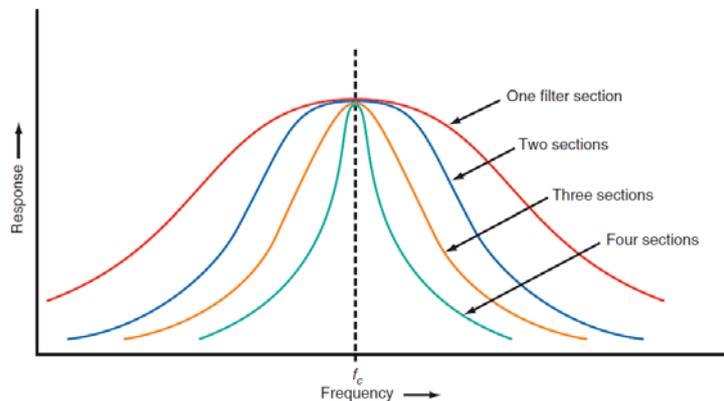
- Il s'agit de la capacité d'un récepteur à capter un canal défini et à rejeter le canal adjacent.
- Elle comprend la bande passante d'acceptation de -6 dB et celle de réjection de -60dB.
- On utilise la mesure de tension DC de l'AGC qui est proportionnelle au niveau de réception du signal détecté.

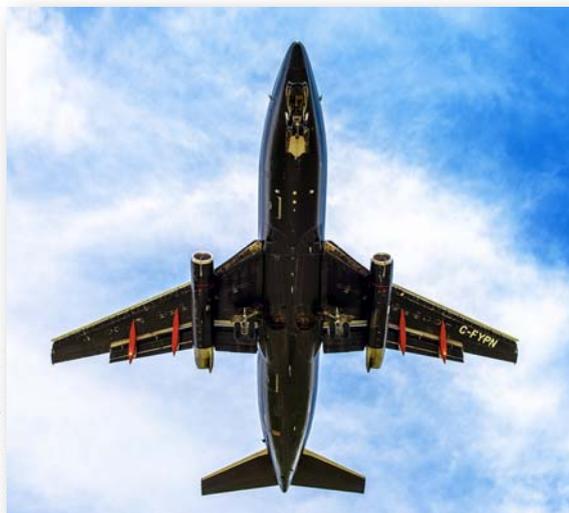


Définitions

Filtrage sélectif

- La sélection d'une onde reçue est réalisée généralement grâce à plusieurs étages de filtrage amenant à la sélectivité requise :





© Pierre GILLARD/2022-627474

Merci de votre attention