

Synthèse Télécommunication LELEC1930

Jacques HOGGE

12 juin 2023

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Canaux de communication	5
1.2	Transformation de Fourier	6
1.3	Bande de Fréquence	7
1.4	Exemples	7
1.4.1	Son	7
1.4.2	Stéréo	7
1.4.3	TV analogique	8
1.5	Signaux numériques	8
1.6	Numérisation	8
2	Lignes	10
2.1	Modélisation d'une ligne	10
2.2	Effet pelliculaire	10
2.3	Atténuation	11
2.4	Dispersion	11
2.5	Impédance caractéristique	11
2.6	Exposant de propagation	12
2.6.1	Cas 1	12
2.6.2	Cas 2	12
2.7	Pupinisation	13
2.8	Lignes Bifilaire	13
2.9	Câble coaxial	14
2.10	Fibre optique	15
2.10.1	Manières de gérer les modes	15
2.10.2	Transmission dans une fibre optique	16
3	Propagation atmosphérique et Antennes	17
3.1	Ondes directes	17
3.2	Ondes de sol	17
3.3	onde ionosphérique	17
3.4	Onde par satellite	18
3.5	Antennes	19
3.5.1	Dipole $\lambda/2$	20
3.5.2	Endfire	20
3.5.3	Yagi	21
3.5.4	Parabolique	21
3.5.5	Réseau d'antenne	21
4	Modulation	23
4.1	Modulation en bande de base	23
4.2	Modulation d'amplitude (AM)	23
4.2.1	Modulation autour d'un porteuse	24
4.2.2	Filtrage	25
4.2.3	Bandes latérales	25
4.3	A CONTINUER	25

5 Application	27
5.1 Réception superhétérodyne	27
5.2 Radio	27
5.2.1 Pouquoi plus radio FM que AM ?	27
5.3 Signal stéréo Radio	27
5.3.1 Modulation	27
5.3.2 Emetteur	27
5.3.3 Récepteur stéréo	28
5.4 TV noir et blanc	28
5.4.1 Modulation	28
5.4.2 Emetteur	29
5.4.3 Recepteur	29
5.5 TV couleurs	31
5.5.1 Système NTSC	31
5.5.2 Système PAL	31
5.5.3 Création du signal PAL	31
5.5.4 Système SECAM	31
5.6 TV numérique	33
6 Transmission de données	34
6.1 Protocoles de liaison	34
6.2 MAC : Multiplexage	34
6.2.1 Frequency Domain Multiple Access (FDMA)	34
6.2.2 Time Domain Multiple Access (TDMA)	34
6.2.3 Code Division Multiple Access (CDMA)	34
6.3 Gestion des erreurs	35
6.3.1 Causes des erreurs	35
6.3.2 Code détecteur et correcteur d'erreur	36
6.3.3 Codes et redondance	38
6.3.4 Code VS. encodage	39
6.3.5 Théorie des codes	39
7 Compression	40
7.1 Codage sans pertes	40
7.1.1 Codage entropique	40
7.1.2 Code de Huffman	40
7.1.3 Lempel-Ziv	40
7.2 Codage avec pertes	41
7.2.1 JPEG	41
7.3 Vidéo	44
8 Communications Mobiles	45
8.1 GSM (2G)	45
8.2 Réutilisation des fréquences	45
8.3 Modulations	46
8.4 Multiplexage	46
8.4.1 Structure timeslot	47
8.5 Distorsion	47

8.6	Alignement dynamique	47
8.7	Accès au système	47
8.8	Handover	48
8.9	Internet sur GSM	48
8.9.1	GPRS (2.5G)	48
8.9.2	Edge (2.75G)	48
8.9.3	UMTS (3G)	48
8.9.4	LTE (4G)	48
9	WIFI	50
9.1	Modulation	50
9.2	Standard	50

1 Introduction

Quelques définitions :

Télécommunication : Transmission d'information sous la forme de signaux électriques sur un canal de communication.

Signal : Évolution de la tension en fonction du temps.

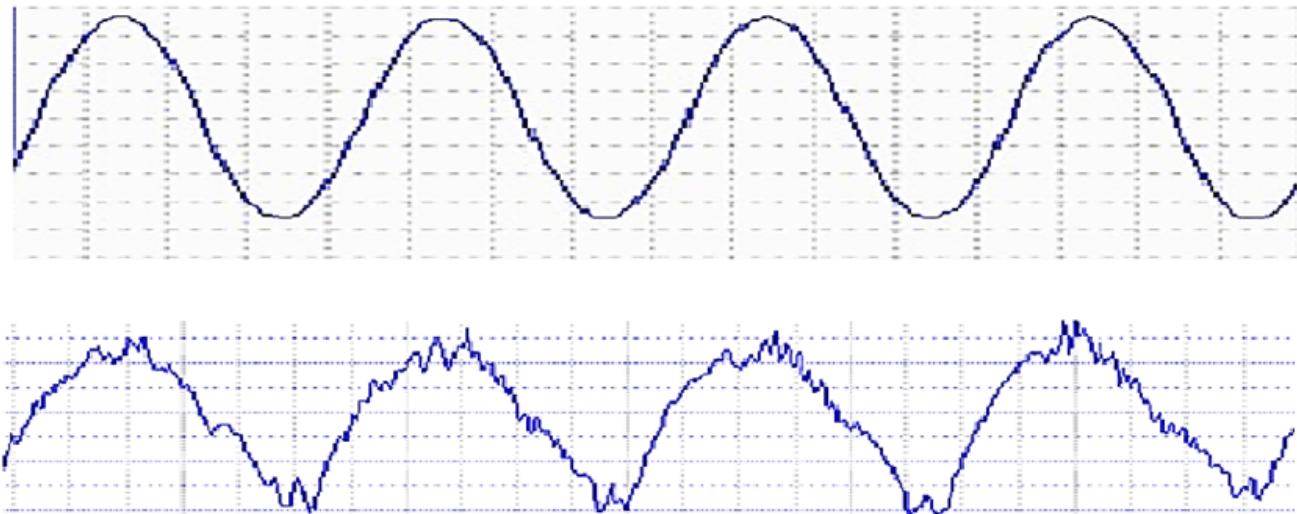
1.1 Canaux de communication

2 type de canaux :

- **Filaire** : Ligne téléphonique, câbles coaxiaux, fibre optique, ...
- **Sans fils** : Onde électromagnétique dans l'air ou espace.

3 éléments les caractérisent :

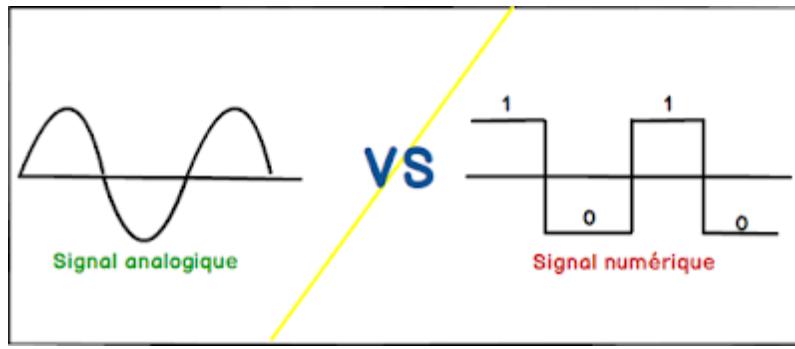
- **Atténuation** : Diminution de l'amplitude ou de la puissance d'un signal lors de sa transmission. Il augmente avec la distance
- **Bruit/Interférence** : Partie du signal ou on ne peut pas tirer de l'information.
- **Distorsion/Dispersion** : Ensemble des modifications indésirable d'un signal. Il existe plusieurs source
 - **Multitrajet** : Soit le signal arrive directement à la source, soit il rebondit sur des obstacles, le signal est alors découpé en plusieurs morceaux de moindre intensité mais répartis sur le temps.
 - **Effet Doppler** : La fréquence des signaux qui s'approchent de nous est différente de ceux qui s'éloignent de nous.



L'information est représentée sous la forme d'un signal. Cela veut dire que changer l'amplitude du signal ne change pas l'information. Mais la distorsion elle change l'information car le signal change de forme et donc modification du signal et de l'information.

3 moyens de représenter le signal :

- **Signaux analogiques**
- **Signaux numériques**
- **Numérisation** : Transformation de signaux analogique en numérique.



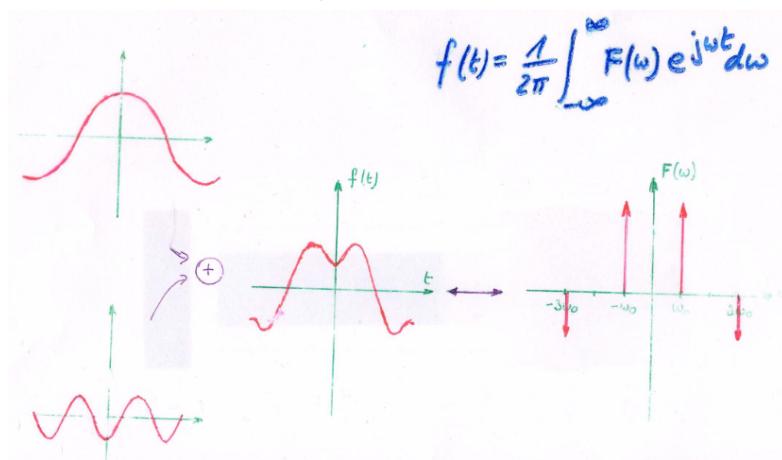
1.2 Transformation de Fourier

Moyen de représenter un signal par un ensemble de fréquence. Elle permet d'analyser un signal en une somme de sinusoïde = **Contenu fréquentiel**.

- Transformée mathématique
- Représentation équivalente / inversible d'un signal
 $f(t) \Leftrightarrow F(\omega)$
- Représente le « contenu fréquentiel »

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$



On peut voir sur les schémas que la fonction $f(t)$ est la somme des 2 sinusoïdes dans l'exemple donné. Mais la fonction $F(\omega)$, si on ne regarde que du côté positif, $F(\omega)$ représente qu'il y a une sinusoïde à 10kHz (première flèche vers le haut) et un sinusoïde à 30kHz, celle-ci pointe vers le bas car elle commence à un nombre négatif sur le schéma.

1.3 Bande de Fréquence

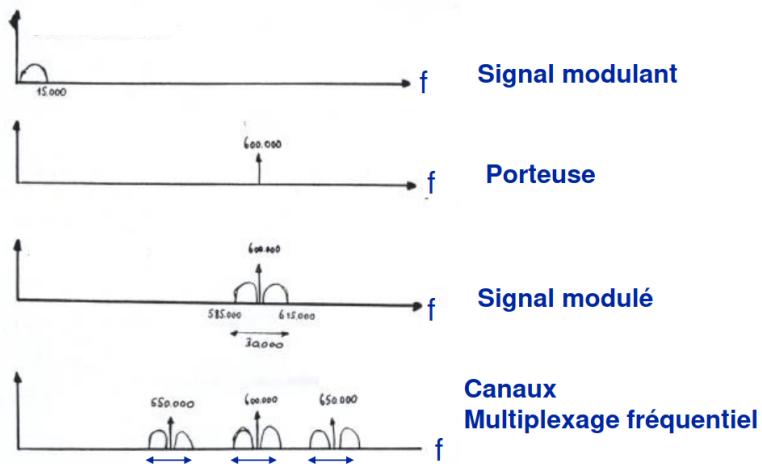
Tous les systèmes de télécom sont limités en fréquence = la bande de fréquence du système.

La **Modulation** permet de transposer un signal autour d'un fréquence définie, c'est utilisé pour partager les différentes bandes de fréquence.

Un signal **modulé** est un signal **modulant** mis sur une **porteuse** à la fréquence désirée.

Le **Multiplexage** permet de faire passer plusieurs informations sur un seul support de fréquence. Les différents symboles sont combinés grâce à un multiplexeur. Deux types :

- Temporel
- Fréquentiel



1.4 Exemples

1.4.1 Son

Un micro capture les ondes de pressions dûes à la voix sous la forme d'un signal électrique.

Le haut-parleur lui reçoit le signal électrique et fait vibrer une membrane pour recréer le son.

1.4.2 Stéréo

Les sons gauches (G) et droites (D) sont envoyés ensemble sous un signal $S_1 = G + D$ donc la somme des 2. Grâce à ça les radios Mono peuvent recevoir le signal aussi. Un autre signal est aussi envoyé par la stéréo : $S_2 = G - D$. Le signal stéréo peut alors être recréé avec l'opération suivante

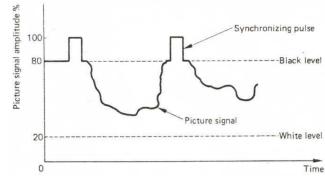
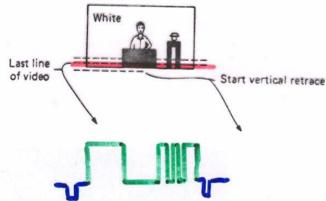
$$G = S_1 + S_2 = (G + D) + (G - D) = 2G$$
$$D = S_1 - S_2 = (G + D) - (G - D) = 2D$$

On va avoir un effet de compression car S_2 est souvent très petit par rapport à S_1 . S_2 a un contenu fréquentiel faible et aura donc une bande de fréquence plus faible.

1.4.3 TV analogique

On joue sur la luminance (niveau de gris) des lignes est envoyée par pulsation de synchronisation (Synchronizing pulse) entre chaque ligne.

Un canon à électrons envoie la lumière ligne après ligne sur l'écran pour afficher une image



Pour les couleurs, on fait pareil que la stéréo, on garde l'envoi de luminance pour que les vieilles TVs fonctionnent encore.

On a donc *RGB* (red, green, blue) et *YUV* les signaux (luminance Y et chrominance U V)

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

$$U = 0.493(B - Y)$$

$$V = 0.877(R - Y)$$

1.5 Signaux numériques

C'est simple, c'est du binaire.

Si on a un signal analogique et que on veut en faire un numérique → Numérisation.

Il peut y avoir des erreurs dans ce que on a transmis et ce que on lit.

1.6 Numérisation

Passer d'un signal analogique à un signal numérique. On va devoir **Échantillonner** le signal (captures de valeur à intervalles fixes). Car le signal numérique a des avantages :

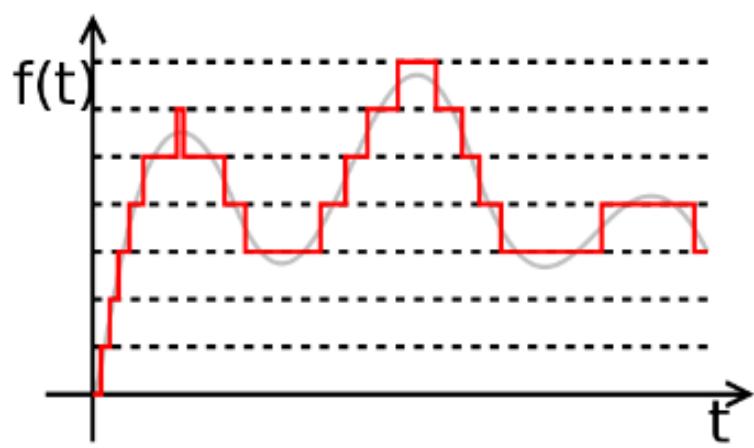
- Traitement et stockage de l'information.
- Régénération du signal par des codes correcteurs et détecteurs d'erreur.

Signal analogique représenté par des valeurs continues (\mathbb{R}) et signal numérique par des valeurs discrètes (0 ou 1).

Le procédé de transformation est appelé **Quantification**, on remplace les valeurs continues reçues par les valeurs discrètes qui s'en rapprochent le plus.

Avantage du numérique est que le bruit dans l'analogique sera filtré s'il est faible.

Lors de l'échantillonnage, il ne faut pas prendre une fréquence trop grande sous peine d'avoir beaucoup d'erreur. Le **Théorème de Shannon** certifie que il n'y a aucune perte si la fréquence d'échantillonnage est au moins 2 fois supérieure à la fréquence maximum du signal.



2 Lignes

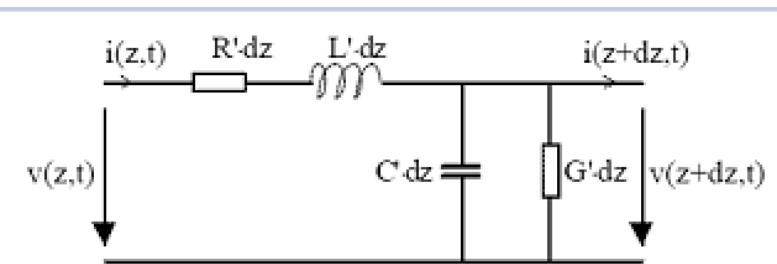
Il existe plusieurs types de lignes :

- unifilaire
- bifilaire
- coaxiale
- fibre optique
- à ruban
- ...

Elles dépendent de leur géométrie, des matériaux et des conditions, ...

2.1 Modélisation d'une ligne

Une ligne est représentée comme une résistance R' (Ω/m), une conductance G' , une inductance L' et une capacité C' . Le morceau représenté ci-dessous se répète tous le long de la ligne.



- R' : Résistance du matériau (cuivre) qui transmet le signal → atténuation.
- L' : Inductance champ magnétique produit par un fil et qui impacte l'autre.
- C' : Effet de capacité entre les 2 fils.
- G' : Conductance, très grande résistance entre les 2 fils (air ou isolant) mais courant peut tout de même parfois passer légèrement à travers.

Ces paramètres varient suivant le type de ligne, la fréquence ou le matériel utilisé.

L'équations des télégraphistes nous donnent la relation suivante :

$$\frac{\delta^2 v}{\delta z^2} = LC \frac{\delta^2 v}{\delta t^2} + (RC + LG) \frac{\delta v}{\delta t} + RGv \quad (1)$$

Si les pertes sont négligeables ($R = G = 0$) :

$$\frac{\delta^2 v}{\delta z^2} = LC \frac{\delta^2 v}{\delta t^2} \quad (2)$$

Elle fait le lien entre la variation de la tension en fonction de la position et une variation de la tension en fonction du temps.

2.2 Effet pelliculaire

Effet électromagnétique qui repousse les lignes de courant vers la surface du conducteur. Les électrons vont s'amasser sur les bords. Diminue la surface de la ligne qui est effectivement parcourue

par du courant et donc augmente la résistance de celui-ci comme \sqrt{f} , il est causé par la création d'un champ magnétique.

\nearrow fréquence $\Rightarrow \nearrow$ effet pélliculaire $\Rightarrow \nearrow$ résistance $\Rightarrow \nearrow$ pertes

2.3 Atténuation

Peut être calculé comme $10 \log(P_1/P_2)$, avec P_1 la puissance d'entrée et P_2 la puissance de sortie. Cette atténuation se calcule en dB(décibels).

On sait que $P = \frac{V^2}{R}$, donc $\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_1^2}{v_2^2}$

$$10 \log(P_1/P_2) = 10 \log\left(\frac{v_1^2}{v_2^2}\right) = 20 \log\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \quad (3)$$

2.4 Dispersion

La **Dispersion** est une sorte de distorsion du signal et donc qui impacte l'information.

Soit le nombre de pulsion $\omega = 2\pi f$, le vecteur d'onde $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$, et λ la longueur d'onde, on a la vitesse de phase (vitesse de propagation).

$$v_{ph} = \frac{\omega}{\beta} \quad (4)$$

La dispersion d'un signal vient des différentes vitesses de déplacement des fréquences constituant une onde. L'onde a tendance à s'étaler sur le temps plus la ligne est longue.

2.5 Impédance caractéristique

Permet de connaître le rapport de tension/courant utile dans beaucoup de systèmes pour savoir quelle tension on va récupérer en envoyant un certain courant. **Impédance caractéristique** désigne l'impédance en supposant que la ligne est infinie.

La loi de Ohm caractérise une tension v en fonction d'un résistance r (ou z pour résistances avec des nombres complexes) et d'un courant i .

$$v = ri \text{ ou } v = zi \quad (5)$$

z est totalement réel pour une résistance pure et totalement imaginaire pour une inductance/capacité pure.

Dans le cas d'une ligne infinie, l'impédance d'entrée est égal à l'impédance caractéristique de la ligne $Z_{in} = Z_c$ ¹.

1. Voir slide 26 chap 2

2.6 Exposant de propagation

Il arrive que il y ait de la dispersion (déphasage) et de l'affaiblissement linéique (atténuation). Soit α l'atténuation et β le déphasage, on peut calculer l'exposant de propagation γ :

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (6)$$

Normalement, dans une ligne, G est négligeable. Deux cas se présentent :

2.6.1 Cas 1

Dans le cas où, $\omega L \ll R$, correspond au cas où le fil a beaucoup de résistance.

L'exposant de propagation en considérant G et ωL nuls (car ils sont négligeables au vu des hypothèses de ce cas) devient :

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \\ &\simeq \sqrt{(R + j\omega L)(j\omega C)} \\ &\simeq \sqrt{j\omega RC} \\ &\simeq \sqrt{\frac{\omega RC}{2}} + j\sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \end{aligned}$$

L'impédance caractéristique en considérant G et ωL nul devient :

$$\begin{aligned} Z_c &= \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \\ &\simeq \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} \end{aligned}$$

2.6.2 Cas 2

Dans le cas où, $\omega L \gg R$, correspond au cas où le fil a peu de résistance. C'est une bonne situation car il y a peu de distortion.

L'exposant de propagation en considérant G nul (car il est négligeable) devient :

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + j\omega\sqrt{LC}$$

L'impédance caractéristique en annulant G et R .

$$\begin{aligned} Z_c &= \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \\ &\approx \sqrt{\frac{L}{C}} \end{aligned}$$

α est indépendant de ω et β proportionnel à ω . À cela s'ajoute Z_c qui est réel et indépendant de ω .

2.7 Pupinisation

Le cas des anciennes lignes téléphonique basse fréquences. Plus utilisé maintenant avec ADSL/VDSL.

Pour le cas d'une ligne téléphonique $\omega L \ll R$, on va faire une pupinisation. C'est le fait d'insérer des inductances le long de la ligne pour augmenter artificiellement L . Avec ça, on a une réduction de l'atténuation le long de la ligne. On crée un filtre passe-bas.

Mais cela n'est pas très bénéfique pour une certaine bande de fréquences car elle cause l'atténuation des fréquences supérieures. Vu qu'on a besoin de ces basses fréquences, on utilise plus cette technique².

2.8 Lignes Bifilaire

Lignes constituée de fils parallèles séparés par un isolant, souvent rassemblé dans des quartes torsadées (quatre fils ensembles) ou encore dans une bottes de quartes (50 fils).

On peut trouver de la Diaphonie (*Bruit / Crosstalk*). L'interférence d'un premier signal avec un autre (on peut par exemple entendre une autre conversation) qui passe dans un fil différent.

Avantage :

- Faible coût
- Connexion facile
- Pré-installation dans les bâtiments

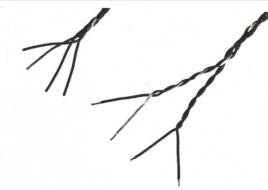
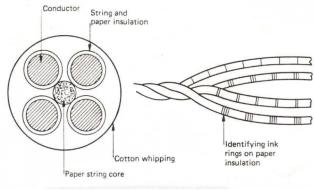
Déavantage :

- Faible atténuation aux basses fréquences
- Rayonnement important (problème de confidentialité, sensibilité aux interférences)

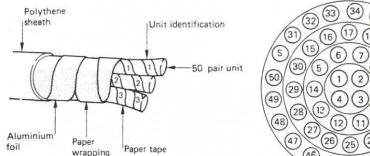
2. Voir graph Slides 34-35 chap 2

Quartes

Lignes bifilaires



Botte de quartes



50 pair-unit

2.9 Cable coaxial

Câble composé d'une partie centrale (fil de cuivre) enveloppée d'un isolant, puis d'un blindage métallique tressée et enfin d'une gaine extérieure. Ce câble est utilisé pour la transmission de la télédistribution.

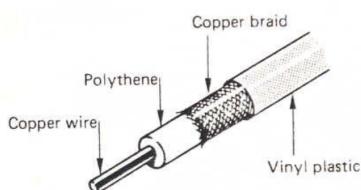
Avantages :

- Large bande passante (~ 500 MHz)
- Protection contre les interférences
- Technique éprouvée et répandue
- Facilité de réparation et de connexion

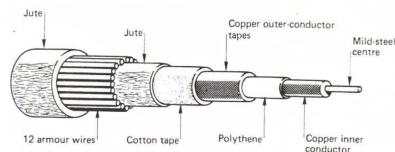
Désavantages :

- Fréquence limitée (~ 500 MHz)
- Blindage jamais parfait

Câble coaxial



Câble coaxial sous-marin



2.10 Fibre optique

C'est un conducteur de lumière en fil en verre ou plastique très fin qui transmet les données sous forme de lumière.

Un **Mode** est un chemin emprunté par la lumière par rapport à sa réflexion et réfraction dans la fibre optique.

La **Dispersion intermodale** c'est un phénomène correspondant à l'existence de différentes vitesses possibles pour la propagation des ondes. La distance parcourue par certains modes est différente de celle d'autre mode, il y a donc une dispersion du signal.

Il y a plusieurs moyens d'envoyer un signal lumineux :

- Diode LED
- Diode Laser
- Diode Infrarouge

Avantages :

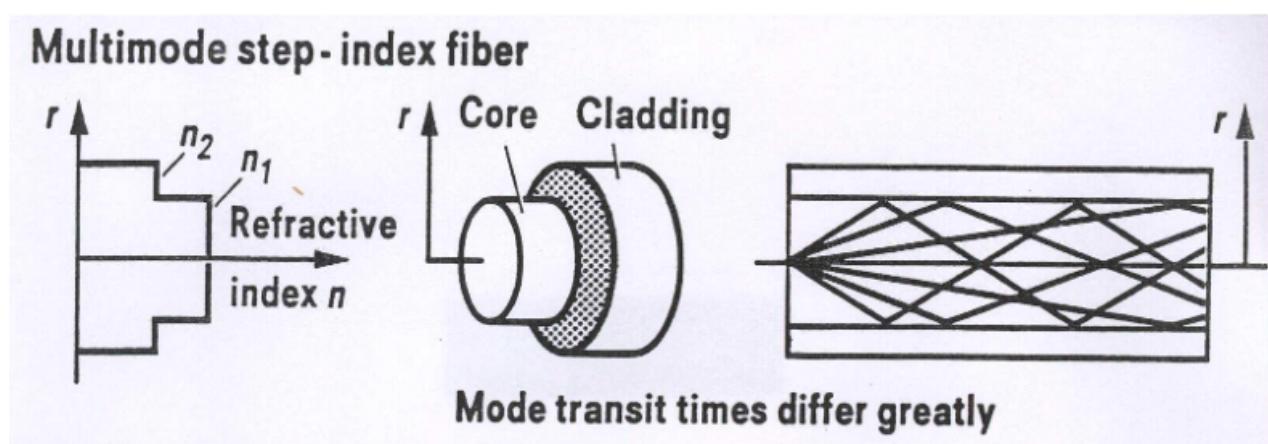
- Énorme bande passante
- Très faible atténuation
- Immunité à l'égard des rayonnements
- Isolation électrique
- Léger, fin, pas cher

Désavantages :

- Connexions difficiles
- Réparations difficiles
- Toujours en développement

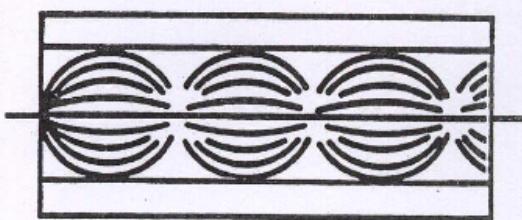
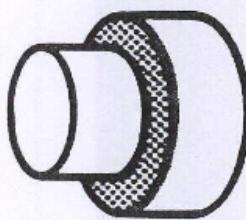
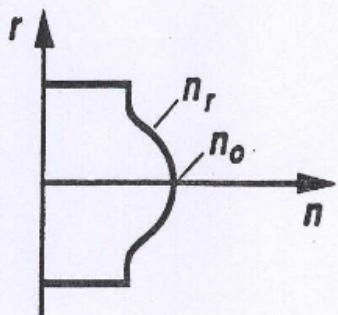
2.10.1 Manières de gérer les modes

1. **Fibre multimode à saut d'indice** : Les rayons réfléchissent plusieurs fois sur les parois avec une multitude d'angles différents. Le saut d'indice engendre des angles très fluctuants, il y a donc de la dispersion intermodale.



2. **Fibre multimode à gradient d'indice** : On fait varier l'indice de réfraction plus l'on s'approche des parois afin que les différents faisceaux lumineux convergent vers le centre de la fibre. La dispersion intermodale est réduite.

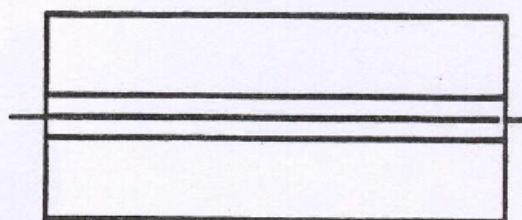
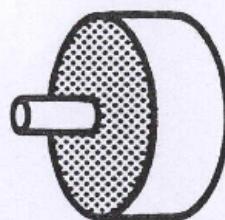
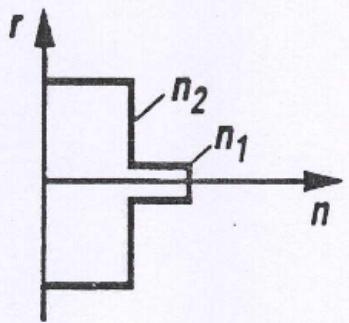
Multimode graded-index fiber



Mode transit times are almost equal

3. **Fibre Monomode** : un seul chemin au centre de la fibre. Une seule vitesse dans la fibre donc pas de dispersion intermodale.

Monomode step-index fiber



Only a single mode can propagate

2.10.2 Transmission dans une fibre optique

Un rayon rentre dans la fibre optique et est réfléchi à l'intérieur si celui-ci possède un angle adéquat qui est donc dans la range du cône d'appartenance et va parcourir la fibre optique en zigzag.

3 Propagation atmosphérique et Antennes

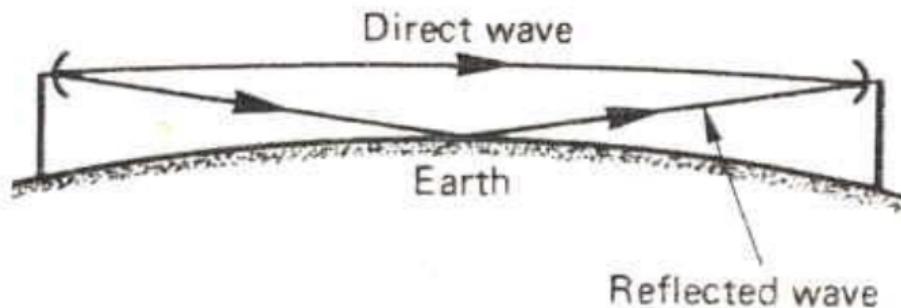
Les ondes intérragissons avec leur environnement, cela dépend de la fréquence, taille de l'objet rencontré, surface, matériaux, ...

il existe différentes manières de propager les ondes :

- onde satellite
- onde ionosphère
- onde direct
- onde de sol

3.1 Ondes direct

les ondes sont envoyées en ligne droite à une autre antenne. La portée est limitée par l'horizon. Il y a aussi des interférences (distortion/dispersion) avec les ondes réfléchies sur le sol.



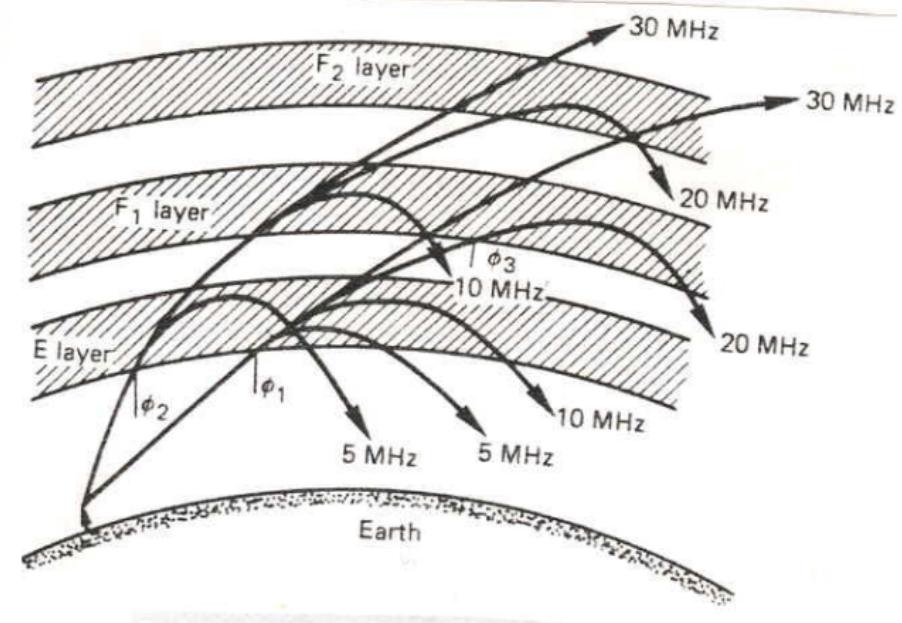
3.2 Ondes de sol

Ondes basses fréquences qui se propagent généralement le long du sol car les fronts des ondes basses fréquences se déplacent perpendiculairement au sol.

Fréquence	Range(Km)
100 kHz	200
1 MHz	60
10 MHz	6
100 MHz	1.5

3.3 onde ionosphérique

Avec l'effet de l'ionisation de l'air par les UV du soleil et crée un "mur" contre les ondes et les réfléchit. Il y a 4 couches précises de la plus proche à la plus éloignée, D, E, F_1, F_2 . pendant la nuit il ne reste que une seule couche nommée F

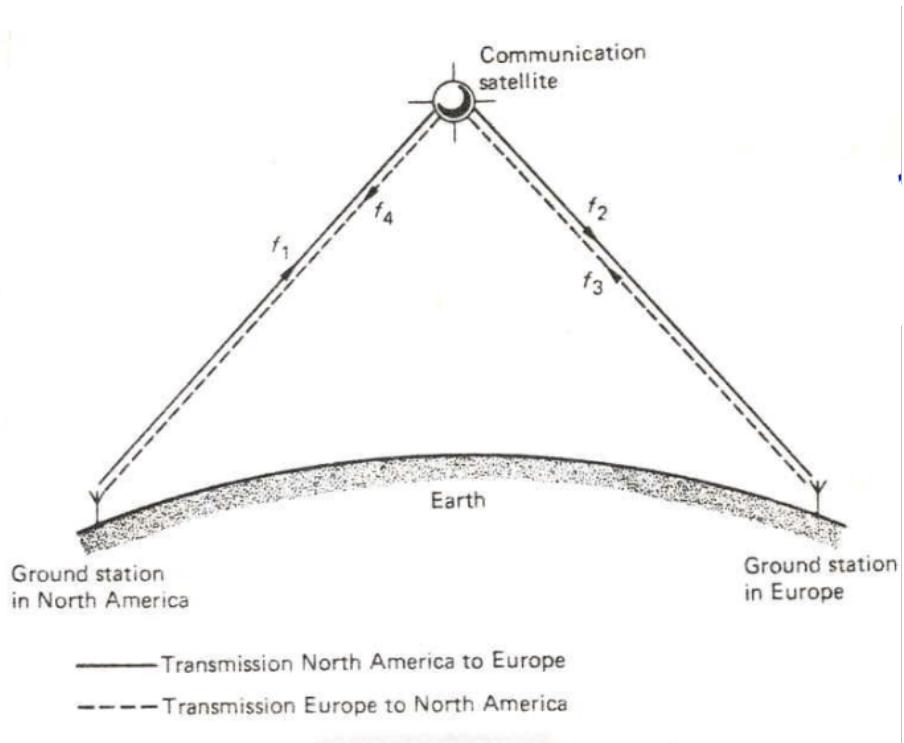


Grace a cela, on peut propager les ondes entre continent. Fort utiliser pour les hondes haute fréquences.

MUF est le Maximal Usable Frequency, c'est la fréquence max que on est sure a 50% que elle est réfléchie par la ionosphère. Elle est différente en fonction du jour ou de la nuit.

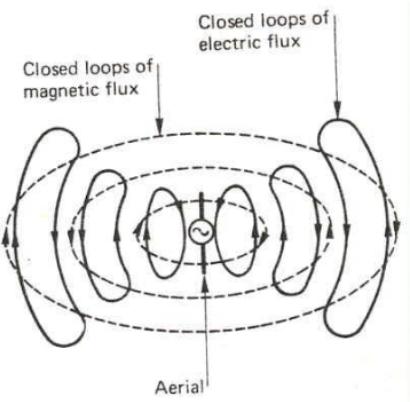
3.4 Onde par satellite

On a un satellite géostationnaire, qui reste au même endroit par rapport a la terre a qui on envoi le signal et qui le retransmet a d'autre antennes.

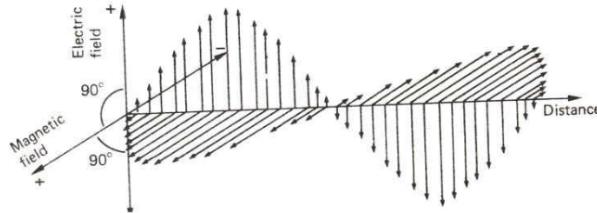


3.5 Antennes

C'est un dispositif qui peut émettre, ou recevoir des ondes électromagnétiques. Autour d'une antenne, on a des champs magnétique et électrique.



Onde TEM (Transverse Electrique-Magnétique), c'est un mode de propagation tel que les champs électrique et magnétique sont tous les 2 orthogonaux à la direction de propagation.



Rayonnement : Quand l'antenne envoie une rayonnement dans une direction, elle provoque aussi un rayonnement inverse non désiré. Ce rayonnement a un angle d'ouverture de ω . On peut en mesurer le gains :

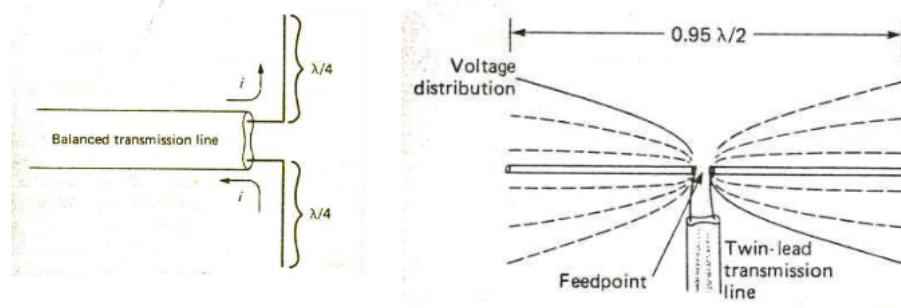
$$\text{Gain} = \frac{\text{puissance dans la direction de puissance max}}{\text{Puissance dans cette direction si l'antenne etais isotrope}} \quad (7)$$



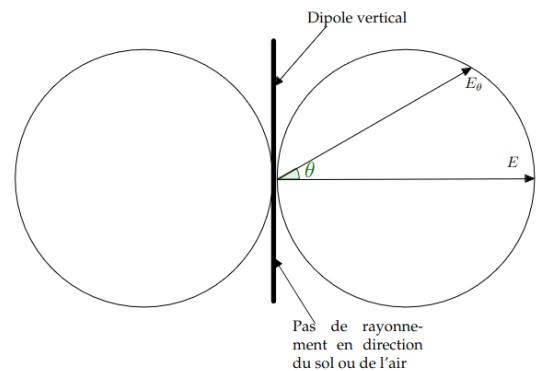
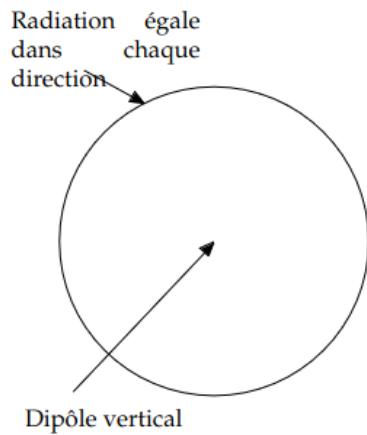
Il arrive que les ondes envoyées par des antennes, rencontrent des objets/obstacle (couche ionosphérique, bâtiment...). Ces objets refletent les ondes et entraînent un problème de trajet multiple. C'est un problème qui fait que le même signal arrive à des moments différents chez le récepteur ce qui entraîne des dispersions et de la désynchronisation du signal. On sait que un signal qui varie vite a plus de chance d'avoir un problème de trajet multiple

Il existe différents types d'antennes :

3.5.1 Dipole $\lambda/2$



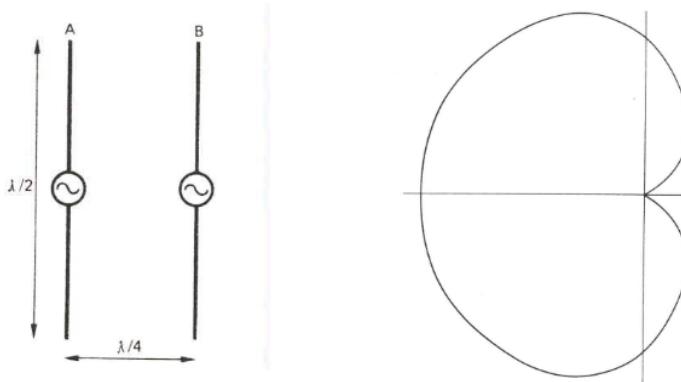
c'est une antenne avec 2 tige de taille $\lambda/4$, les tension au centre sont minime et maximales en extrémité



On peut minimiser l'antenne avec le principe de miroir qui reflète et simule le signal de l'autre branche.

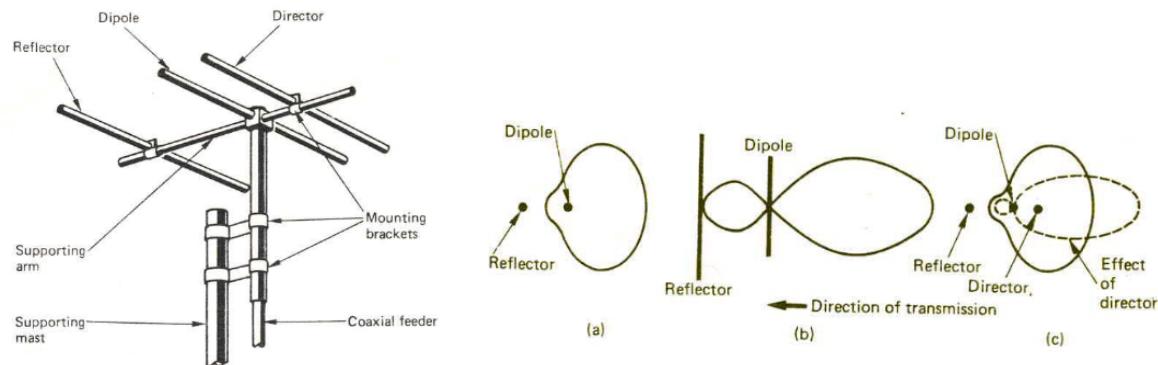
3.5.2 Endfire

2 dipole de longueur $\lambda/2$ séparé par $\lambda/4$, l'antenne de droite alimente avec une avance de phase de 90° (donc $\lambda/4$) se qui entraîne en renforcement vers la gauche



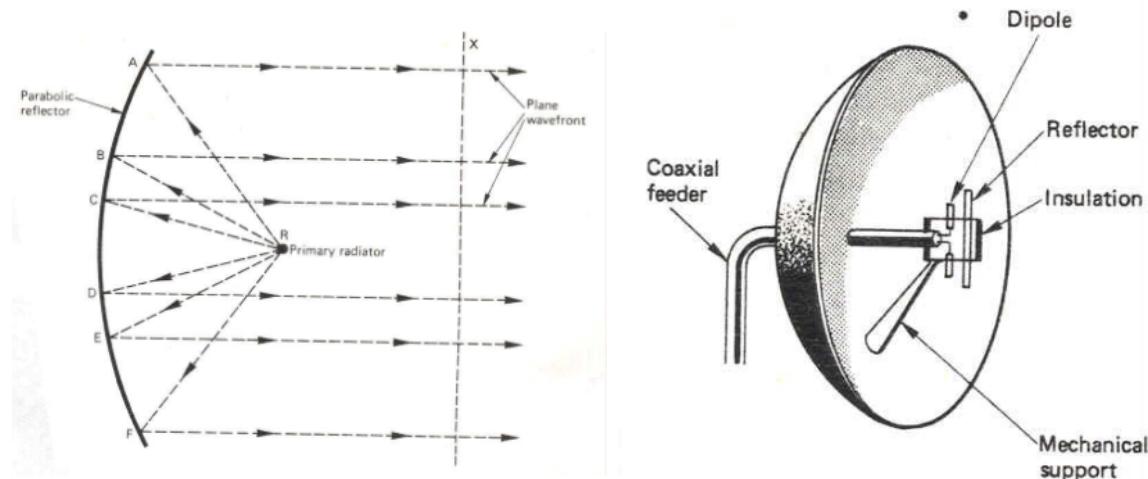
3.5.3 Yagi

Meme principe que les antennes endfire. Composé d'un réflecteur, dipôle et d'un directeur. Antennes très précise car directivité très étroite. On peut augmenter la directivité en ajoutant des directeur mais diminue la bande passante



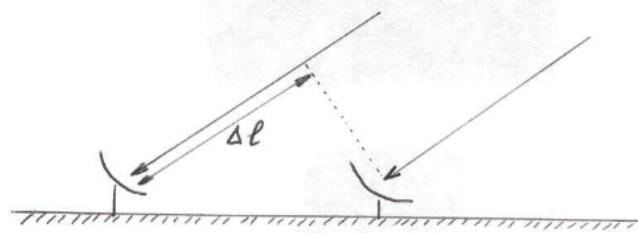
3.5.4 Parabolique

Utilise une parabole pour émettre/recevoir un signal en le point centre de la parabole



3.5.5 Réseau d'antenne

Utilisé pour récupérer un signal faible en "agrégant" des signaux similaires



Si $\Delta l = n \lambda \implies$ renforcement !

ou

Jouer sur le déphasage de l'alimentation d'une antenne par rapport à l'autre

;

4 Modulation

On va voir comment greffer l'information sur un signal.

La **modulation** permet de transposer un signal (signal modulant) autour d'une autre fréquence (fréquence porteuse). Le signal modulé ressemble à une sinusoïde et la variation contient l'information du signal modulant :

$$v_x(t) = A_c \cos(w_c t + \varphi_c) \quad (8)$$

Il y a 3 types de modulation :

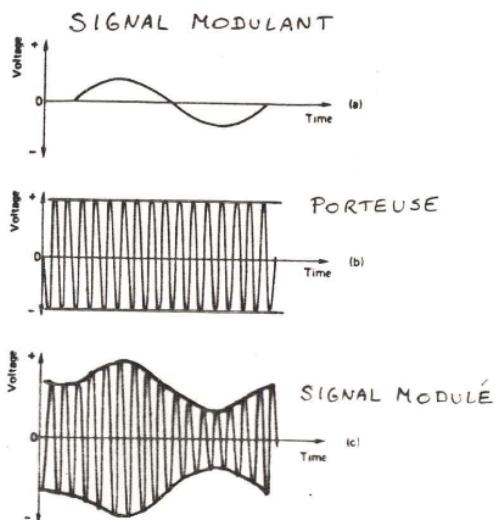
- modulation d'amplitude (joue sur A_c)
- modulation de fréquence (joue sur w)
- modulation de phase (joue sur φ_c)

dans cette section nous allons voir la modulation analogique

4.1 Modulation en bande de base

Bon j'ai menti il y en a 4. La transmission est dite en bande de base si elle ne subit aucune transposition de fréquence par modulation. Les fréquences initiales du signal émis sont donc préservées.

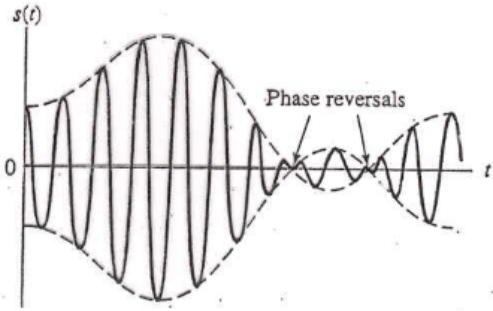
4.2 Modulation d'amplitude (AM)



Avec une porteuse et un signal modulant, on crée le signal modulé en appliquant les changements d'amplitude du signal modulant. Avec $s(t)$ le signal et l'on sait que $\varphi_c = 0$ on a :

$$\begin{aligned} v_x(t) &= A_c \cos(w_c t + \varphi_c) \\ v_{AM}(t) &= A_c \cos(w_c t) + ms(t)A_c \cos(w_c t) \\ &= A_c[1 + ms(t)] \cos(w_c t) \end{aligned} \quad (9)$$

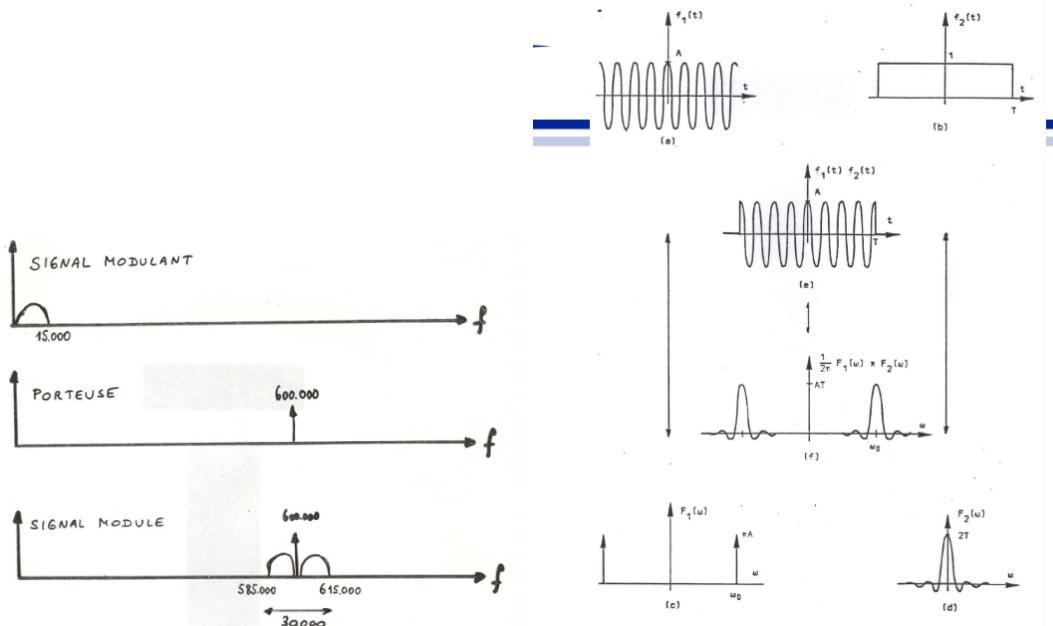
L'amplitude est multiplié par $(1 + ms(t))$. Si m (indice de modulation) est trop grand on a une **surmodulation** et donc une perte de l'information



4.2.1 Modulation autour d'un porteuse

Rappel de Fourier :

$$\begin{aligned}
 f(t) &\Leftrightarrow F(\omega) \\
 f(t - t_0) &\Leftrightarrow F(\omega) \exp(-j\omega t_0) \\
 f(t) \exp(jt\omega_0) &\Leftrightarrow F(\omega - \omega_0) \\
 f(t) \exp(-jt\omega_0) &\Leftrightarrow F(\omega + \omega_0) \\
 f(t) \cos(\omega_0 t) &\Leftrightarrow \frac{F(\omega + \omega_0) + F(\omega - \omega_0)}{2}
 \end{aligned} \tag{10}$$

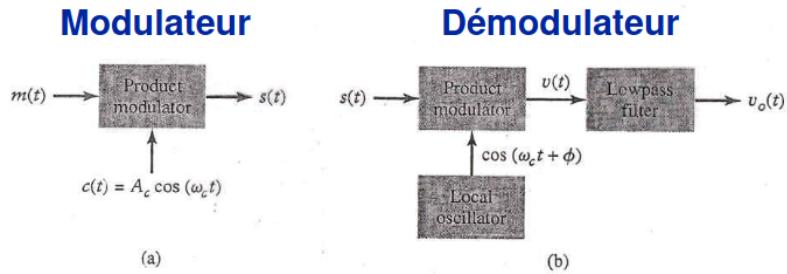


Multiplier le signal par la porteuse $\cos(\omega_0 t)$ en terme de Fourier, consiste de décaler le spectre des fréquences de ω_0 dans les 2 sens autour de la porteuse. Il y aura donc des fréquences "négative"

Modulation : le signal modulant $m(t)$ multiplié par une cosinusoïde résulte par le signal modulé $s(t)$

Démodulation : le signal modulé $s(t)$ multopilié par la même cosinusoïde que pour la modulation résulte en $v(t)$ et permet de retrouver le signal d'origine autour de la fréquence 0 sur la lequel on vient d'appliquer un filtre passe-bas pour conserver que le signal qui nous intéresse.

Le signal sortant du démodulateur ressemble à :

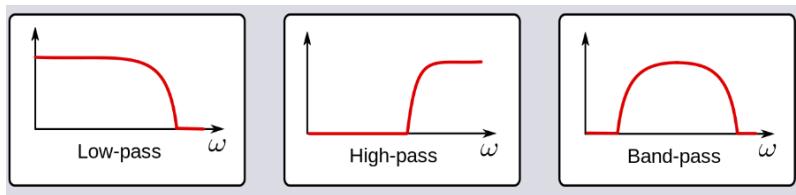


$$\begin{aligned}
 p(t) &= A_c s(t) \cos(\omega_c t + \varphi_c) \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c) \\
 &= A_c s(t) \cos^2(\omega_c t + \varphi_c) \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c) \\
 &= A_c s(t) \frac{A + \cos(2\omega_c t + 2\varphi_c)}{2}
 \end{aligned} \tag{11}$$

On va filtrer en passe-bas pour retrouver $s(t)$

4.2.2 Filtrage

Permet de filtrer un signal résultant d'un modulateur pour garder les composants intéressants du contenu fréquentiel



la fréquence de coupure ($freq_{coup}$)

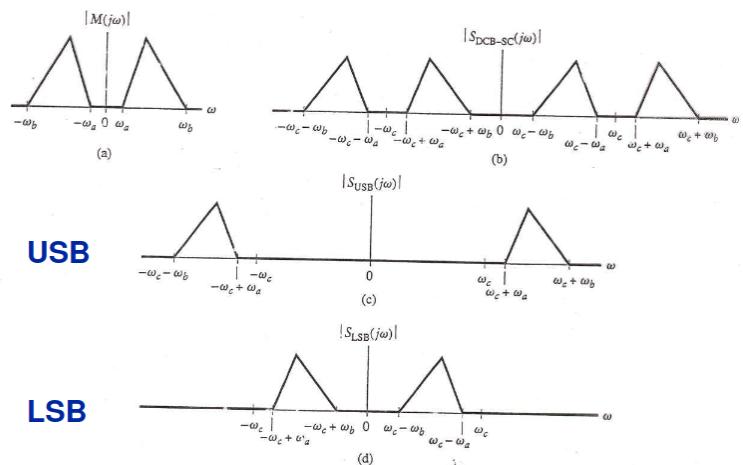
- **Filtre passe-bas (low-pass)** : Garde les composantes du contenu fréquentiel **en dessous** de la $freq_{coup}$ et retire celle **au dessus**
- **Filtre passe-haut (High-pass)** : Garde les composantes du contenu fréquentiel **au dessus** et retire celle **en dessous**
- **Filtre passe-bande (Band-pass)** : Garde les composantes du contenu fréquentiel **entre** la $freq_{coup_1}$ et la $freq_{coup_2}$ (ou $freq_{coup_1} < freq_{coup_2}$) et retire le reste.

4.2.3 Bandes latérales

Comme dit précédemment, de fréquence "négatives" sont envoyés il est donc inutile d'envoyer 2 fois la même info. Envoyer 2 bandes latérales est suffisant que on reconstruit après. Il y a 2 moyens pour savoir quelle bande envoyée.

- USB (upper side band) envoie les deux aux extrémités
- LSB (lower side band) envoie les 2 au centre

4.3 A CONTINUER



5 Application

5.1 Réception superhétérodyne

un réception superhétérodyne est un récepteur conçu sur le principe de mélange de fréquences. Permet de convertir le signal reçu en une fréquence intermédiaire plus basse qui est plus facile à utiliser. Avec une fréquence plus faible, il est plus facile d'amplifier et de démoduler.

$$f_{IF} = f_{rx} - f_{local} \quad (12)$$

$$f_{IF} = f_{local} - f_{rx} \quad (13)$$

les 2 fréquences sont symétriques autour de f_{local} et on récupère (13) qui est la fréquence plus basse du signal reçu via un filtre passe-bas

5.2 Radio

5.2.1 Pouquoi plus radio FM que AM ?

- **AM** : entre 600 et 900 kHz donc $= 300\text{kHz}$ donc $\frac{300\text{kHz}}{30\text{kHz}} \approx 10$ donc assez de place pour 10 chaînes de radio
- **FM** : entre 85 et 105 MHz donc 20MHz donc $\frac{20\text{MHz}}{30\text{kHz}} \approx 766$ donc assez de place pour 766 chaînes de radio

5.3 Signal stéréo Radio

C'est la composition de plusieurs signaux formant un signal composite :

- G+D signal mono
- G-D signal supplémentaire pour créer le stéréo

5.3.1 Modulation

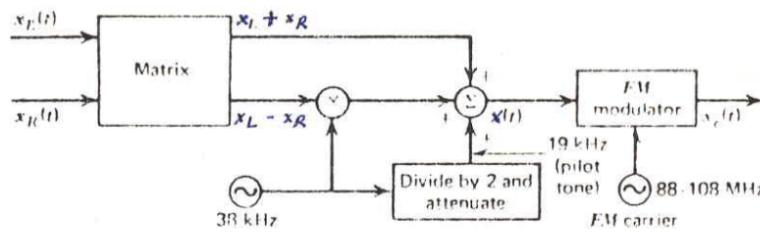
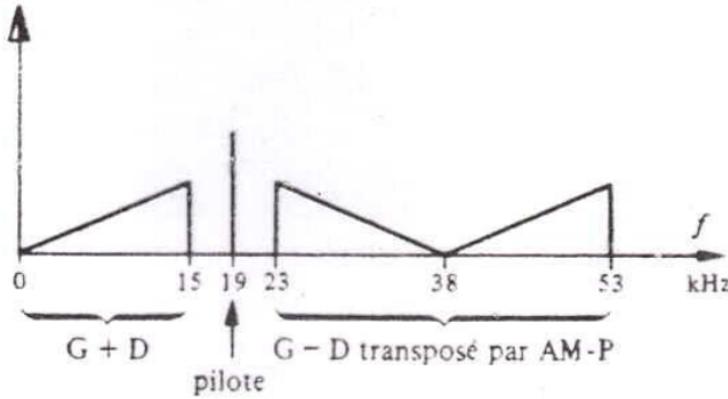
Création du signal composite dans une bande FM :

Un signal mono (G+D) + un modulation AM contenant à la fois G+D et G-D + pilote = porteuse de 30kHz divisé par 2 sinon interférence avec le signal G-D

5.3.2 Emetteur

Permet la création du signal stéréo

1. on a 2 signaux x_L et x_R pour gauche et droite
2. on va former $x_L + x_R$ (G+D) et $x_L - x_R$
3. on crée un sinusoïde localement à 38 kHz
4. on la multiplie avec $x_L - x_R$ pour former G-D transposé comme sur la figure au dessus
5. on divise par 2 la fréquence de la sinusoïde pour créer le pilote de 19 kHz
6. on additionne $x_L + x_R$, $x_L - x_R$ et le pilote et la somme vont former le signal composite qui est envoyé par le modulateur



5.3.3 Récepteur stéréo

Permet la réception du signal mono ou stéréo

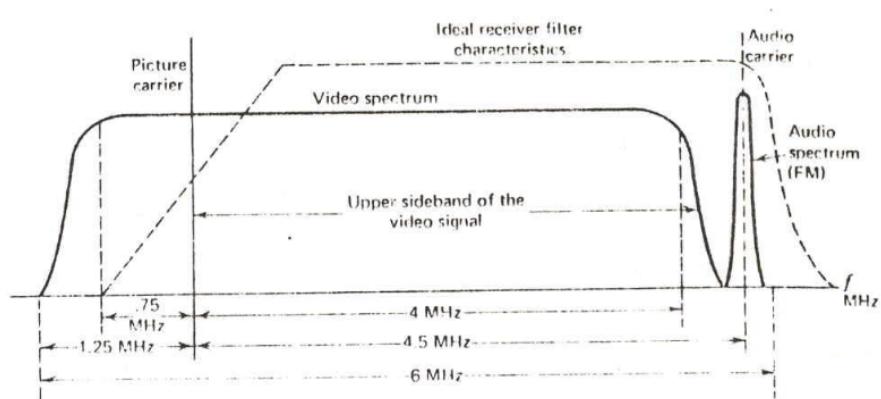
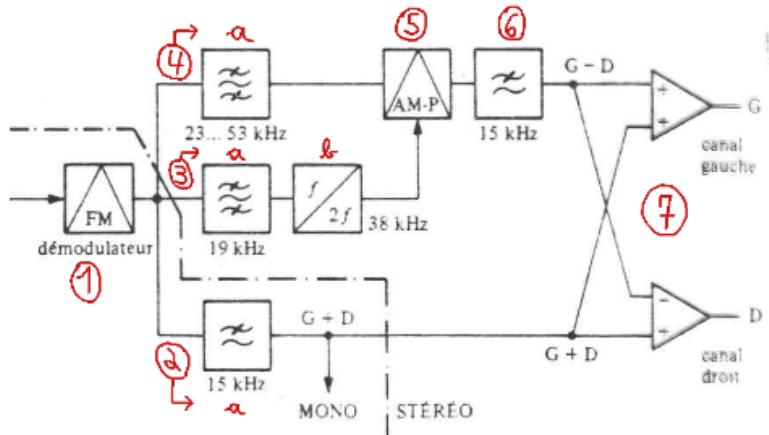
1. Effectue une démodulation FM pour récupérer le signal composite
2. récupère G+D
 - (a) utilise un filtre passe-bas 15 kHz (c'est la seul donnée nécessaire pour le MONO)
3. récupère le pilote
 - (a) utilise un filtre passe-bande 19kHz
 - (b) multiplication de la fréquence du pilote par 2 pour crée porteuse de 38 kHz
4. récupère G-D transposé
 - (a) utilise un filtre passe-bande entre 23kHz et 53kHz
5. démodulation du signal G-D transposé avec la porteuse de 38kHz (centre le signal autour de 0)
6. utilise un filtre passe-bas de 15 kHz pour récupérer le signal original G-D
7. Recombinaison des signaux G-D G+D pour crée le signal stéréo

5.4 TV noir et blanc

5.4.1 Modulation

Création d'un signal composite contenant

- signal vidéo (porteuse a ≈ 4 MHz)
- signal audio (porteuse a ≈ 4.5 MHz) modulé en FM



5.4.2 Emetteur

Audio :

1. Recupere le signal audio grace au micro
2. utilise le modulateur de fréquence audio 4.5 MHz (audio carrier) pour faire une modulation FM du signal audio

Vidéo :

3. Récupere signal audio par la caméra
4. Utilise modulateur de fréquence vidéo (vidéo carrier) pour faire modulation AM du signal vidéo

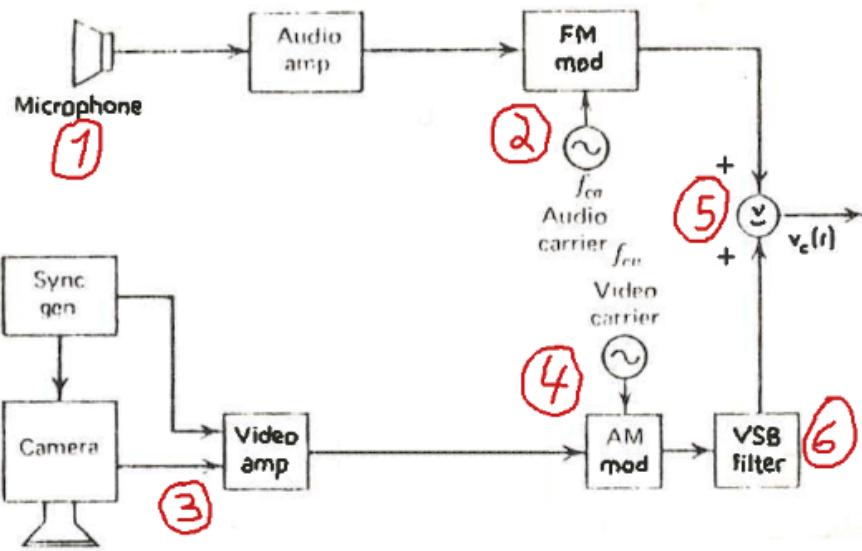
Final :

5. additionner signal audio et vidéo
6. modulation du resultat des signaux (VSB filter)

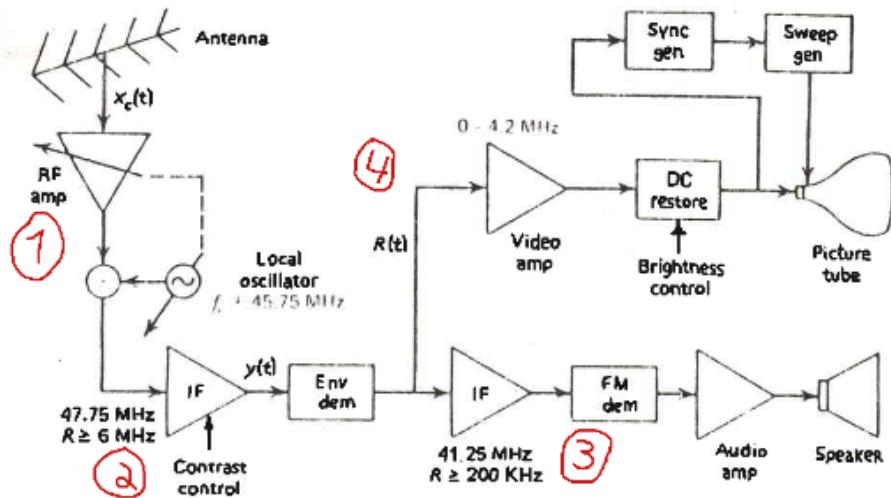
5.4.3 Recepteur

Permet réception signal TV noir et blanc

1. récupération signal par antenne



2. Démodulation pour arriver à une fréquence intermédiaire
3. Démodulation FM pour récupérer signal audio
4. Démodulation AM pour récupérer signal vidéo



5.5 TV couleurs

$R \text{ G } B \Rightarrow Y \text{ U } V$

$$Y = 0.30 R + 0.59 G + 0.11 B$$

$$U = 0.493 (B - Y) \quad V = 0.877 (R - Y)$$

Y = luminance \Rightarrow signal de noir et blanc U et V = Chrominances \Rightarrow Signaux pour récupérer les info de couleurs

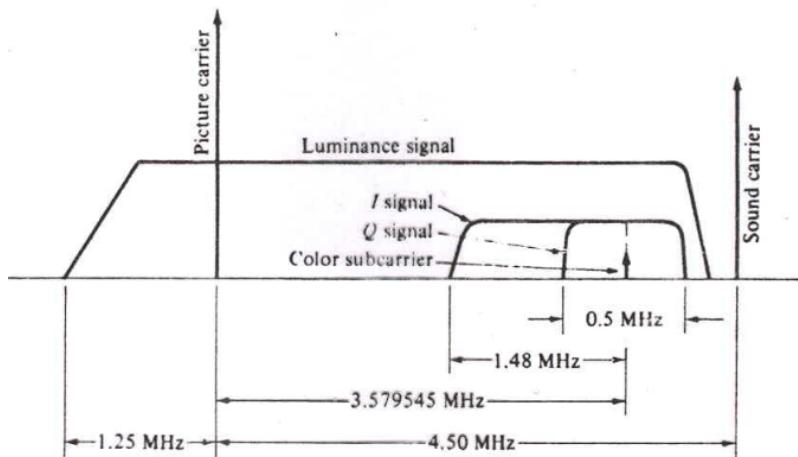
On envoie 3 signaux de couleur $R \text{ G } B$ pour pouvoir continuer à utiliser les tv en noir et blanc (Y)

5.5.1 Système NTSC

Luminance : VSB

Chrominances : QAM

Son : FM



5.5.2 Système PAL

Facilite la démodulation QAM des chrominances

$$v(t) = U \sin(\omega_c t) \theta \pm V \cos(\omega_c t) \quad (14)$$

Le \pm fait tous, \Rightarrow "Phase alternating line" : Plus de tolérance pour les erreurs de phase

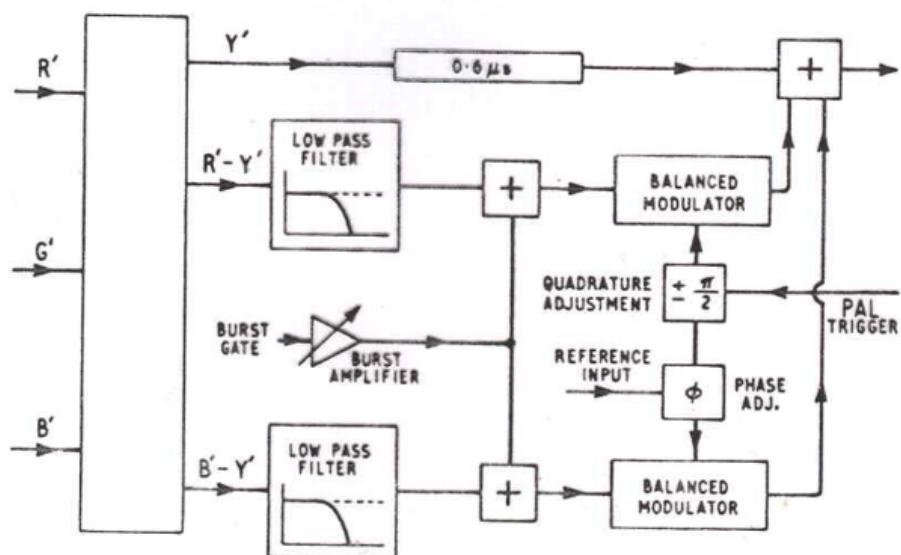
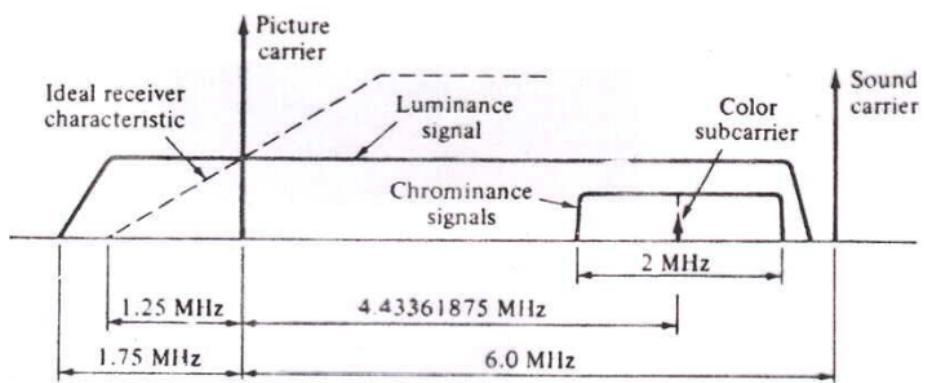
- U et V avec la même largeur de bande
- Spectre (contenu fréquentiel) plus compliqué
- Porteuse plus éloignée

5.5.3 Création du signal PAL

5.5.4 Système SECAM

"Séquentiel à mémoire"

On ne transmet chaque chrominance qu'une ligne sur 2 et on les modifie en FM pour éviter les difficultés de la QAM



5.6 TV numérique

$$y = 0.299 \text{ r} + 0.587 \text{ g} + 0.114 \text{ b}$$

$$Y = 219 y + 16$$

$$\text{CR} = \frac{112(\text{r} - y)}{0.701} + 128$$

$$\text{CB} = \frac{112(\text{b} - y)}{0.886} + 128$$

La luminance : Y échantillonné à 13.5MHz (864 éch/ligne) 13.5MHz car :

- Théorème de Shannon ($f_{ech} > 2f_{MAX}$)
- On travaille sur une bande de max 6MHz cf Système PAL
- Le signal vidéo a donc une fréquence de 6MHz
- La fréquence d'échantillonage doit être plus grande que 12MHz ($f_{ech} > 12MHz$)

CR et CB (signaux de chrominance) sont échantillonées à 6.75 MHz (432 éch/ligne)

Quantification 8 bits/échantillons \Rightarrow 216Mbs avant compression

Avantages :

- compression
- Code correcteur erreurs + "ré générations"
- Qualité optimale dès que la transmission est assez bonne
- Permet de transmettre + de canaux dans la même bande
- Possibilités d'enregistrements, etc ...

Désavantages

- Délais de zapping (codage)
- Dégradation rapide si mauvais signal

6 Transmission de données

6.1 Protocoles de liaison

Le protocole définit le format de la trame avec de bit de controles :

- Source/dest
- Etablissement de la liaison
- Gestion de l'accès
- ...

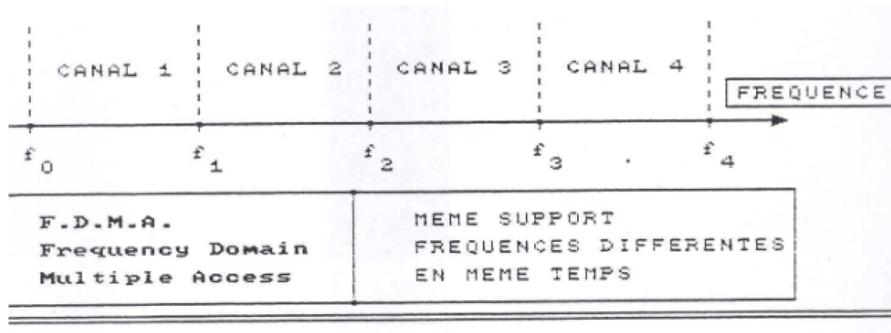
Certains rôles importants :

- Medium access control (MAC)
 - Gère le multiplexage entre utilisateurs du lien PHY
 - centralisé ou distribué
 - ex : 4G/GSM/LTE/...
- Forward Error Correction (FEC)
 - Codes correcteurs d'erreurs
- Automatic Repeat Request (ARQ)
 - Mécanisme de retransmission

6.2 MAC : Multiplexage

6.2.1 Frequency Domain Multiple Access (FDMA)

Principe des différentes radios FM : Chaque radio a une place en fréquence attribuée, Utilisé pour répartir plusieurs utilisateurs dans un système



6.2.2 Time Domain Multiple Access (TDMA)

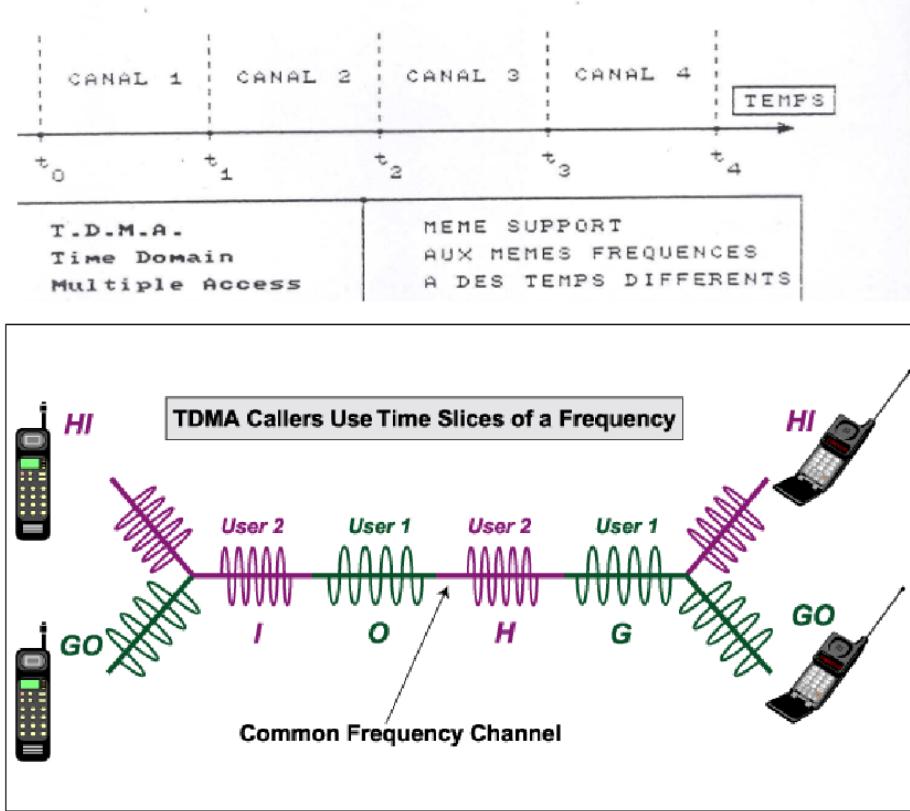
Même principe que FDMA

Définition d'une période de temps qui va se répéter et qui est divisée en timeslots TDMA. Un timeslot est attribué à un utilisateur et ne pourra envoyer que pendant le timeslot assigné à chaque période répétitive.

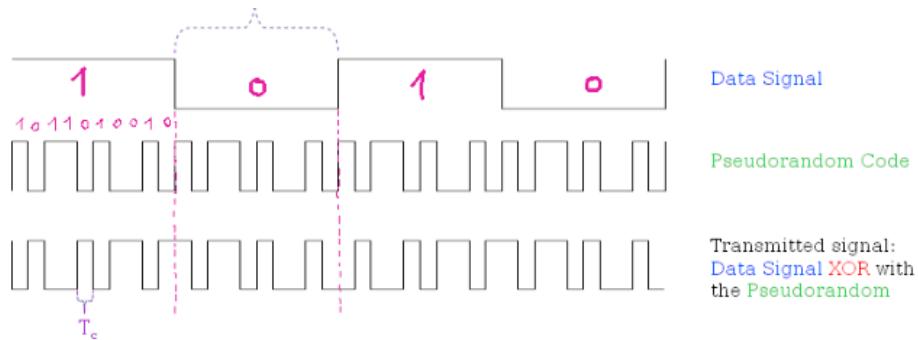
6.2.3 Code Division Multiple Access (CDMA)

Pour diviser les utilisateurs on utilise plus le temps ou la fréquence mais un code (comme pour le 3G)

Contient 3 signaux :



- **Data Signal** : Signal binaire composé d'une période T_b (durée d'un bit d'info envoyé)
- **PseudoRandom Code** : Code spécifique à chaque utilisateur permettant d'encoder/moduler le data signal
La durée du *Chip* ($T_c < T_b$)
- **Transmitted signal** : Signal transmit qui est le résultat d'un application XOR avec le **Data signal** et **PseudoRandom Code**



6.3 Gestion des erreurs

6.3.1 Causes des erreurs

- Dispersion dans les lignes
- Bruit thermique
- Bruit Impulsif
- Echos/diaphonie
- Perte de synchro

— Effet "amplifiés" en fonction de l'atténuations

6.3.2 Code détecteur et correcteur d'erreur

Principe de base : envoyer de la redondance

Ex1 : Code de parité :

Verifier si le nombre de bits est paire ou impaire pour chaque période d'envois

Limité si on a des erreurs doubles dans le même bloc

1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1

Ex2 : Langues/dictionnaire de mots valables

THE CAT LIKES THE MOUSE	O.K.
THE CAT LIKES THE MOVSE	erreur détectée corrigible
THE CAT LIKES THE HOUSE	erreur non détectée
THE CAT LIKES THE XOUSE	erreur détectée, mais non corrigible

Ex3 : Code à répétition

Répété chaque bit envoyé 1 fois :

- 0 → 00
- 1 → 11

donc 00 et 11 sont correctes et 01 et 10 sont faux

Ex4 : Code à double répétition Répété chaque bit envoyé 2 fois :

- 0 → 000
- 1 → 111

donc 000 et 111 sont correctes et 001, 010, 011, 100, 101 et 110 sont faux

Ex5 : Code de Hamming Code(15,11)

i = 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1

On a :

- 11 bits entrée
- 15 bits codé → 4 bits de redondance/parité

On place les bits de codage au rangs de "puissance de 2" pour déterminer les 4 bits de redondance

15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01
1	0	1	0	1	0	1	c_4	1	0	0	c_3	1	c_2	c_1

Ensuite on prend les rangs avec un bit = 1

15		1	1	1	1
13		1	1	0	1
11		1	0	1	1
9		1	0	0	1
7		0	1	1	1
3		0	0	1	1

Ensuite on calcule le module 2 (en additionnant les valeurs de chaque colonnes d'avant avec 0 si paire et 1 si impaire)

$$\begin{array}{r}
 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 1 & 1 \\
 \hline
 0 & 1 & 0 & 0 \\
 c_4 & c_3 & c_2 & c_1
 \end{array}$$

On peut vérifier car seulement c_3 contient un 1 et est à la position 4 (0100)

$$\begin{array}{r}
 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 1 & 1 \\
 \textcolor{green}{0} & \textcolor{green}{1} & \textcolor{green}{0} & \textcolor{green}{0} \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 c_4 & c_3 & c_2 & c_1
 \end{array}$$

Réception d'un message avec une erreur :

$$\begin{array}{ccccccccccccccccc}
 15 & 14 & 13 & 12 & 11 & 10 & 09 & 08 & 07 & 06 & 05 & 04 & 03 & 02 & 01 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \textcolor{red}{0} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0
 \end{array}$$

Et donc on fait comme avant et on calcule le modulo 2

$$\begin{array}{r}
 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 1 \\
 \hline
 \textcolor{red}{1} & \textcolor{red}{0} & \textcolor{red}{0} & \textcolor{red}{1}
 \end{array}$$

Et donc $\textcolor{red}{1} \ 0 \ 0 \ 1 = 9$ donc le bit 9 est erroné

Avantage :

- redondance minimale pour la capacité correctrice voulue à la taille du bloc voulue
- facile à réaliser
- Peut trouver une seule erreur dans le block (inconvénient)

6.3.3 Codes et redondance

ajouter de la redondance = certains mots sont correct et d'autre incorrect

Cela permet détection/correction. Si on a plus de redondance, on a plus de mots espacés et donc avoir de meilleur possibilités de detections/corrections et mais cela a un cout en débit à transmettre

6.3.4 Code VS. encodage

En fonction du code/dictionnaire ça va impacté sur les performances

Choix de l'encodage = Table d'entrée / sortie du codeur

Input	Output
000	000000
001	001111
010	010100
011	011101
...	...

Avec k bits d'entrée et n bit de sortie, on peut déterminer que :

$$\#\text{mots code} = n = 2^k \quad (15)$$

6.3.5 Théorie des codes

Comment ajouter de la redondance/définir le dictionnaire pour obtenir de bonnes capacité correctrices/détectrices en augmentant le débit de moins possible

Distance de Hamming :

Code(n, k) Soit k le nombre de bits utile et n tel que $n - k$ est le nombre de bits de contrôle. Le **Taux du code** est k/n . On va choisir dans le dico le mots le plus proche trouvé en utilisant la distance. **code(n,k)** est de distance minimal d détecte les erreurs d'ordre $d-1$ et corrige les erreurs d'ordre $\text{floor}[(d-1)/2]$

ex : $\begin{array}{l} 0001101 \\ 1001001 \end{array}$ Distance de 2

ex2 :

$\begin{array}{l} 00000 \\ 11111 \end{array}$ on a reçu 11010, $d(00000, 11010) = 3$ et $d(11111, 11010) = 2$ on choisit donc 11111

TODO:A terminer

7 Compression

But : Reduire la taille de objets pour économiser de l'espace sans pour autant détruire les fichiers.
Ex : 50 films de 1min en 480p = 82GB ($640 \times 480 \times 24 \times 30fps = 27MB/film$).

Les données peuvent être comprimées à environ :

- text 2:1
- image 5:1
- son stéréo 6:1
- Vidéo 50:1

2 grandes familles de compression :

- Sans perte (lossless)
- Avec perte (lossy)

2 grands principes dans la compression, **supprimer la redondance** et garder les caractéristiques importantes

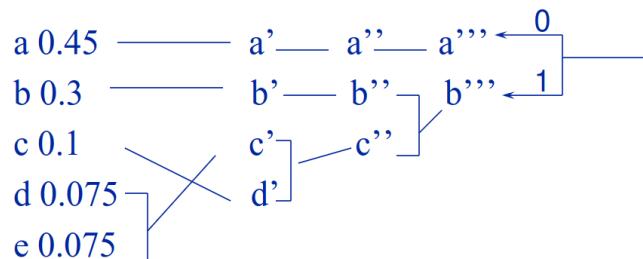
7.1 Codage sans pertes

7.1.1 Codage entropique

On utilise des codes courts pour les mots redondants. Se base sur le concept d'entropie. **Entropie** : Limite théorique de l'information que l'on peut transmettre sur un canal

7.1.2 Code de Huffman

On construit un nouvel alphabet sur un arbre qui représente la probabilité de voir cette lettre. Arbre organisé tel que la branche de gauche est 0 et droite de 1. On commence au top et on met la lettre la plus probable à gauche, et le reste à droite, et on fait pareil à chaque niveau



a: 0; b: 10; c: 111; d: 1100; e: 1101

7.1.3 Lempel-Ziv

Utilisé dans *gzip*. On regarde les données que l'on a déjà envoyées et on trouve le bout déjà envoyé, on va spécifier à quelle distance il se situe du point actuel sur quelle longueur il s'étend.

ABAAB -- BAA AA ABBA BBABBA ...

Longueur	Distance
3	4
2	2
4	7
6	3

7.2 Codage avec pertes

On va mesurer une *distorsion* (somme des carres des erreurs ou Distance de hamming) qui va dire le taux d'erreur acceptable. Plus il est élevé, moins on a besoin de débit pour les données

7.2.1 JPEG

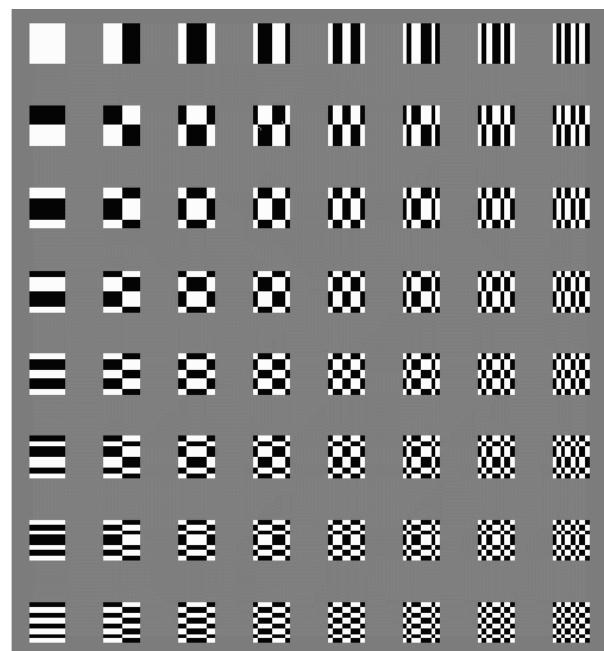
Les blocs de 8x8 pixel de l'image sont remplacés par des matrices de coefficients DCT de taille 8x8. Le but est de perdre que une partie des blocs de DCT. Virer des pixels non mais oublier un DCT ok

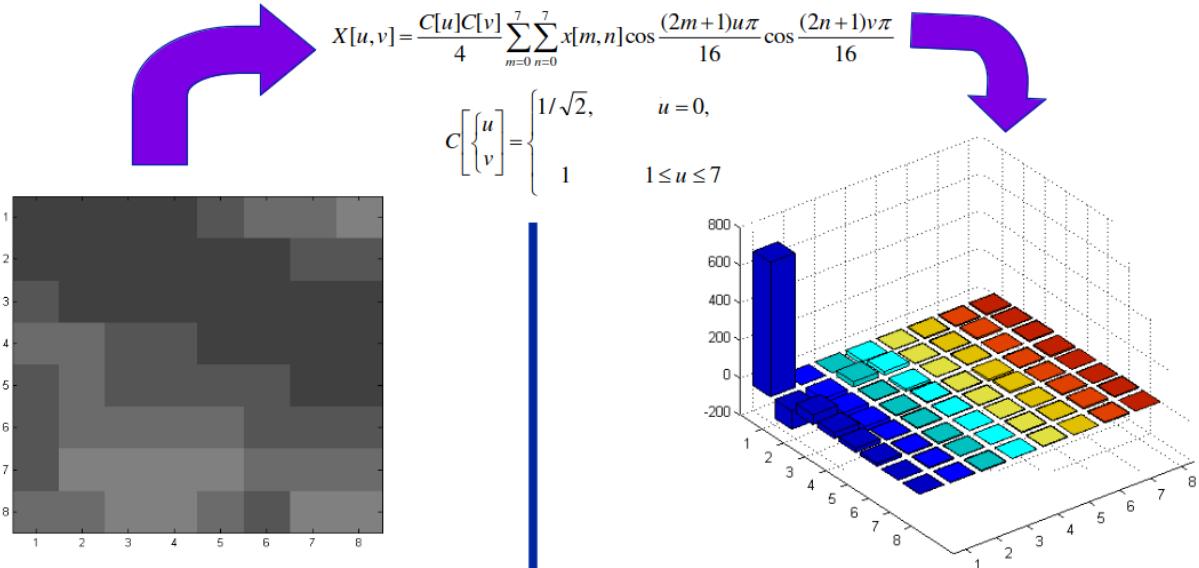
On applique ensuite la **quantification** sur la matrice de coefficient DCT. On divise la matrice de pixel en matrice de quantification dans le but d'atténuer les hautes fréquences (presque insensible pour l'humain). Certains coefficients sont à 0 (en bas à droite de la matrice).

Ensuite un codage en ZIG-ZAG permet de ne garder qu'un minimum de coefficients et de se débarrasser des nuls.

□ Discrete Cosine Transform (DCT)

- Bloc 8x8 de pixels
- Bloc 8x8 de coeff DCT
- Sans pertes
- Décorrélation
 - = Information contenue dans moins de coefficients
 - = suppression de la redondance
- Généralement:
 - Grande composante Basse fréq
 - Petites composantes Hautes fréq.



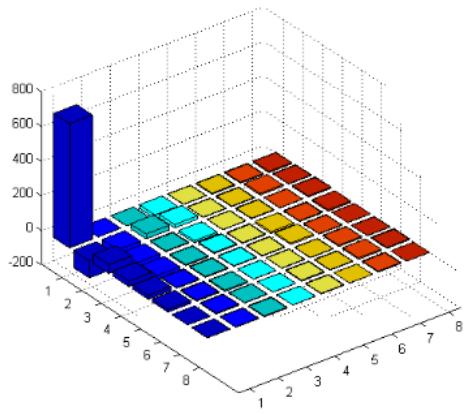


69	71	74	76	89	106	111	122
59	70	61	61	68	76	88	94
82	70	77	67	65	63	57	70
97	99	87	83	72	72	68	63
91	105	90	95	85	84	79	75
92	110	101	106	100	94	87	93
89	113	115	124	113	105	100	110
104	110	124	125	107	95	117	116

717.6	0.2	0.4	-19.8	-2.1	-6.2	-5.7	-7.6
-99.0	-35.8	27.4	19.4	-2.6	-3.8	9.0	2.7
51.8	-60.8	3.9	-11.8	1.9	4.1	1.0	6.4
30.0	-25.1	-6.7	6.2	-4.4	-10.7	-4.2	-8.0
22.6	2.7	4.9	3.4	-3.6	8.7	-2.7	0.9
15.6	4.9	-7.0	1.1	2.3	-2.2	6.6	-1.7
0.0	5.9	2.3	0.5	5.8	3.1	8.0	4.8
-0.7	-2.3	-5.2	-1.0	3.6	-0.5	5.1	-0.1

Step 1: DCT

28



717.6	0.2	0.4	-19.8	-2.1	-6.2	-5.7	-7.6
-99.0	-35.8	27.4	19.4	-2.6	-3.8	9.0	2.7
51.8	-60.8	3.9	-11.8	1.9	4.1	1.0	6.4
30.0	-25.1	-6.7	6.2	-4.4	-10.7	-4.2	-8.0
22.6	2.7	4.9	3.4	-3.6	8.7	-2.7	0.9
15.6	4.9	-7.0	1.1	2.3	-2.2	6.6	-1.7
0.0	5.9	2.3	0.5	5.8	3.1	8.0	4.8
-0.7	-2.3	-5.2	-1.0	3.6	-0.5	5.1	-0.1

÷

Q →

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99]

||

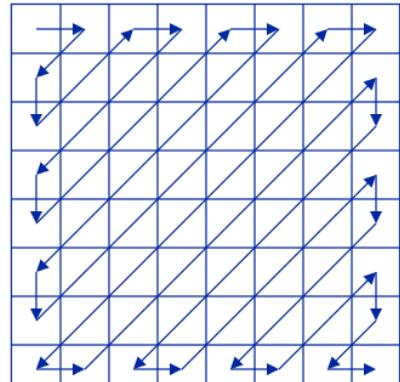
45	0	0	-1	0	0	0	0
-8	-3	2	1	0	0	0	0
4	-5	0	0	0	0	0	0
2	-1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Step 2: Quantization

Step 3: Coefficient-to-Symbol Mapping

45	0	0	-1	0	0	0	0
-8	-3	2	1	0	0	0	0
4	-5	0	0	0	0	0	0
2	-1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Input



Zigzag scan procedure

Result = 45, 0, -8, 4, -3, 0, -1, 2, -5, 2, 1, -1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0x23 times

Symbols defined as [run of zeros, nonzero terminating value]

Step 4: Entropy Coding

- Symbols are encoded using mostly Huffman coding.

7.3 Vidéo

Utilise le principe de prédiction (**Block matching algorithm**). Se base sur l'idée que 2 images successive d'un vidéo sont très peu différentes. Mais pendant changement de scène, il faut garder images au complet.

Un peu comme JPEG mais avec une prédictions temporelle en plus

3 types de frames :

- **Intraframe (I)** : Image complète (1 à 2sec)
- **Interframe (P)** : Image prédictive à partir d'une précédente
- **Bidirect (B)** : Prédite à partir d'une précédente ou suivante.

La prédiction consiste en la translation d'une série de blocs appartenant à l'image précédente utilisée

Encodage complexe et lent mais décodage très rapide Fixer niveau interférence admis

8 Communications Mobiles

8.1 GSM (2G)

Se base sur un système de cellules hexagonales de taille différente

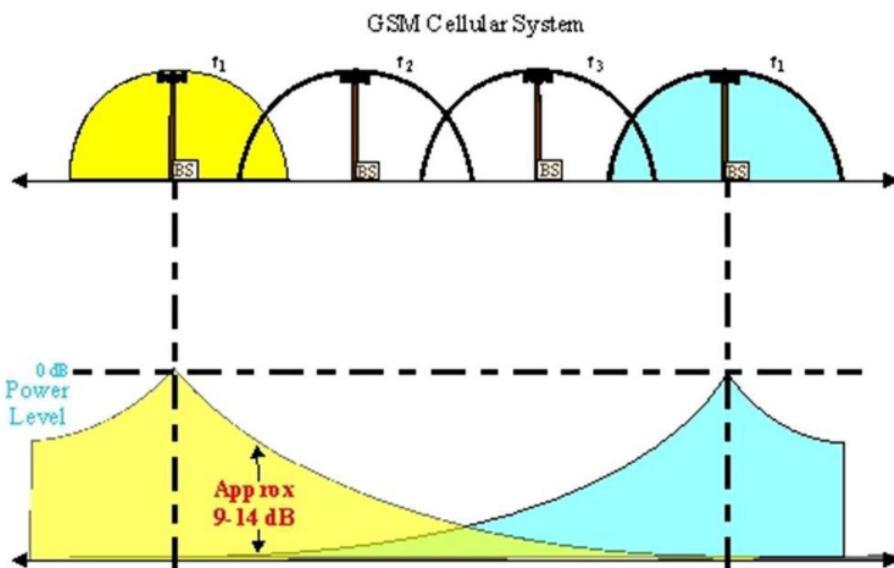
- Macrocell (30km)
- Microcell (2-4km)
- Picocell (200m)
- Femtocell

Une tour associé à chaque cellule, les **BTS** (Base Transceiver Station). Ces tours sont associées en groupes à une station, les **BSC** (Base station controller). Enfin les BSC sont associé à un centre **MSC** (Mobile service switching center). Ces centres sont reliés par 3G à internet.

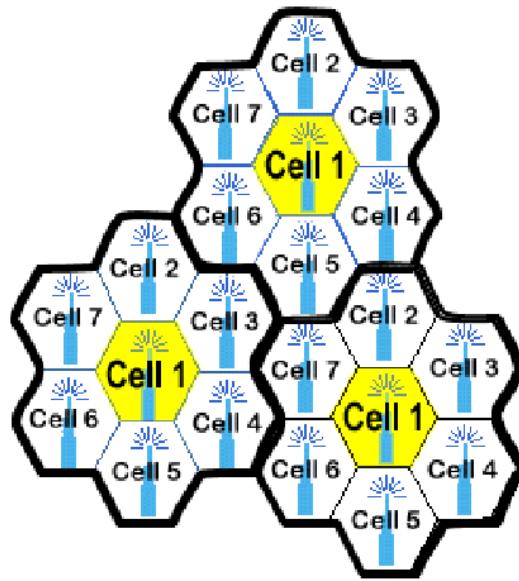
Les utilisateurs communiquent avec les BTS.

8.2 Réutilisation des fréquences

On fixe un niveau admissible d'interférence entre les différents tours (elle utilise la même fréquence), souvent à 10db. Il faut donc réfléchir au placement des tours.



On va utiliser un **Planning de fréquences**, qui va essayer de distribuer les fréquences entre les tours pour éviter au maximum les interférences.



Les bandes fréquences GSM Montantes (Envois donnée vers stations) est de 890 à 915 MHz et descendantes (Stations envoi donnée a user) 935 à 960 MHz

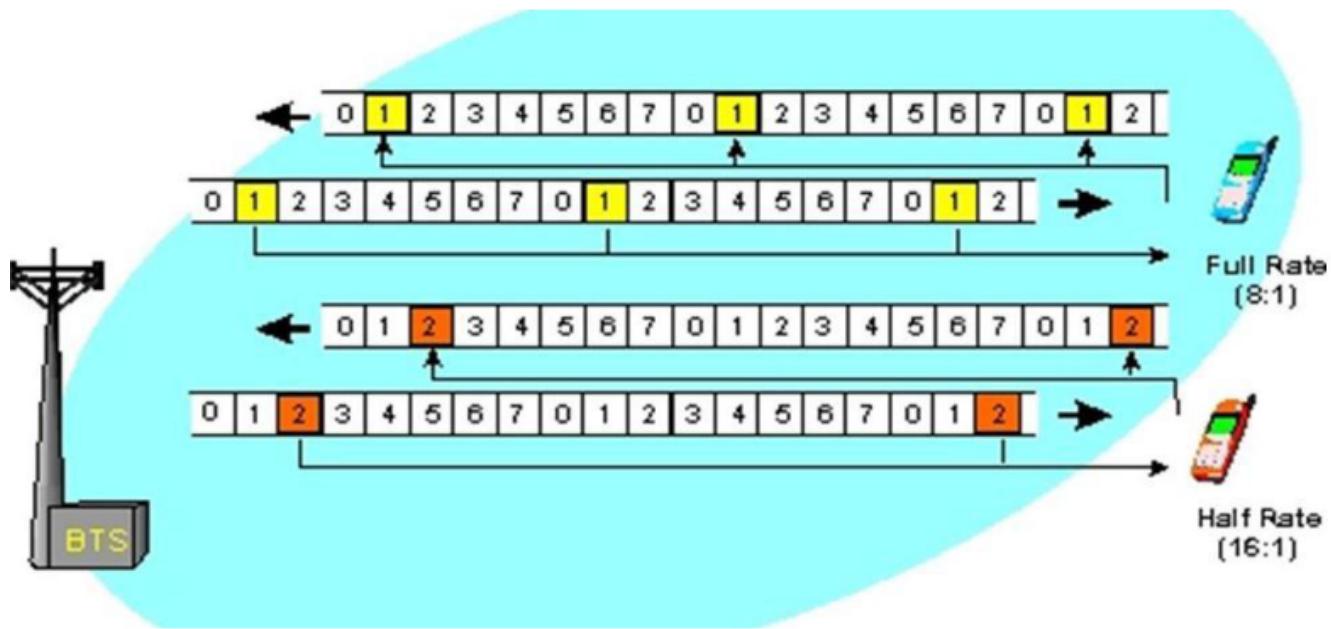
8.3 Modulations

GSM utilise **GMSK** (Gaussian minimum shift keying) pour l'envoi des données numériques la largueur de bande est de 200 kHz. Très robuste mais peu efficace

8.4 Multiplexage

Couplage du TDMA et du FDMA (cf section Transmission des données)

Chaque tour fournit 8 timeslots et 124 canaux de 200kHz. Deux utilisateurs peuvent partager un timeslot (**Half rate**, chacun son tour). Petit décalage entre les timeslots descendant et montant.



8.4.1 Structure timeslot

5 types de paquets (**burst**), l'émission d'un paquet correspond à l'émission de 156.25 bits :

- **Accès** : demande de contact avec le réseau
- **Synchronisation** : Localisation + réception d'un fréquence pour communiquer
- **Normal** : Envoi du message
- **Correction fréquence** : Prévention d'interférence possible (burst vide)
- **Bourrage** : Complete le vide

8.5 Distorsion

Problème est la perte du signal entre la tour et l'utilisateur, plusieurs raisons

- **Multi-trajet** : Signal prend plusieurs chemins pour rejoindre la station à cause des interférences (rebond sur un immeuble)
- **Shadowing** : Un objet obstrue la transmission
- **Effet doppler** : Décalage de fréquence d'une onde entre l'émission et la réception quand la distance entre les deux varie au cours du temps. Cet effet est causé par le déplacement de l'utilisateur par rapport à l'antenne

Plusieurs solutions :

- Codes correcteurs d'erreur
- diversifier les fréquences du signal (Frequency hopping)
- Jouer sur la modulation
- Égalisation du signal

Frequency Hopping : On transmet le premier burst à une fréquence f_1 , la deuxième à fréquence f_2 et le troisième à f_3 et on réutilise ces fréquences dans cet ordre

8.6 Alignement dynamique

Si 2 utilisateurs utilisent des timeslots différents mais que leur distance à la tour varie, il est pas impossible que les signaux s'interfèrent.

On doit adapter le time slot en fonction du temps que le signal va prendre pour arriver à la tour. Cela revient à ajouter du décalage temporel de façon à ce que la station de base tombe toujours bien sur le timeslot qu'il faut

Ne peut se faire que en montant car il peut y avoir plusieurs utilisateurs. En descendant, ce serait ridicule puisqu'il n'y a qu'un seul destinataire possible. (le GSM ne parle qu'à la station alors que la station parle à beaucoup de GSM)

8.7 Accès au système

La première connexion à la tour : GSM regarde les canaux libres et parle à la station qui va lui attribuer un canal et timeslots

Arrive quand :

- première connexion
- Pour initier un appel
- Pour répondre à un appel
- Envoyer ou recevoir des données

8.8 Handover

Quand le GSM change de BTS en brisant l'ancienne et puis crée une nouvelle liaison. A lieu quand un diminution de la qualité et donc propose nouvelle BST au GSM (par MSC)

8.9 Internet sur GSM

8.9.1 GPRS (2.5G)

Utilise les paquet de transmission pour transmettre internet. On tranmet un paquet que quand nécessaire car facturé au volume

Debit de 40-100 kb/s

8.9.2 Edge (2.75G)

Modulation 8-PSK qui permet 3/4 fois plus de débit. Implique du matériel adapté sur les stations et terminaux.

8.9.3 UMTS (3G)

Fréquence 1885-2025 MHz montant 2110-2200 MHz descendant. Compatible mondial. Largueur de bande de 5MHz

On utilise W-CDMA (Une sorte de CDMA)

- Plus d'alignement dynamique nécessaire
- Soft handover possible
- Plus d'interférence

Vitesse :

- 2 Mb/s stations fixe (pietons)
- 144 kb/s Station mobile (en voiture)

8.9.4 LTE (4G)

Utilise modulation OFDM (descendant) et SC-FDMA (montant). Très flexible. Utilise des fréquences de 450Mhz à 3.8Ghz selon les pays et modulation adaptative qui permet d'adapter la constellation utilisée. Si la liaison est bonne alors on aura une constellation avec beaucoup de points permettant un meilleur débit. Si mauvaise liaison, constellation avec peu de points pour éviter les erreurs et donc débit plus faible.

Différence avec anciens systèmes

- **AMC** : *Adaptive Modulation and Coding* : On adapte le débit à la qualité de la transmission. Si on a une transmission de qualité, on va augmenter la taille de la constellation pour augmenter le débit
- **Multiplexage/modulation** : Modulation OFDM : Consiste à diviser le temps et les fréquences utilisables en un quadrillage où chaque carré représente une ressource. On va alors allouer aux utilisateurs des ressources de manière dynamique (adaptative) en fonction des besoins de l'utilisateur, du trafic, des interférences et/ou de la mobilité de l'utilisateur.
- **Bandes variables** : Dû à l'OFDM, on peut utiliser une bande variante pour une transmission donnée. Cela rajoute une complexité au niveau des émetteurs et récepteurs 4G.

- **HARQ** : *Hybrid Automatic Repeat reQuest* : Lorsqu'un bloc n'est pas acquitté, on ne retransmet pas toute la frame mais plutôt certains bits.

9 WIFI

Faire un réseau une seul cellule sur lequel les utilisateurs sont séparés en fréquences (FDMA). Bande wifi autour 2.4Ghz avec 14 bande 5Mhz avec un débit de 1 a 11MB/s

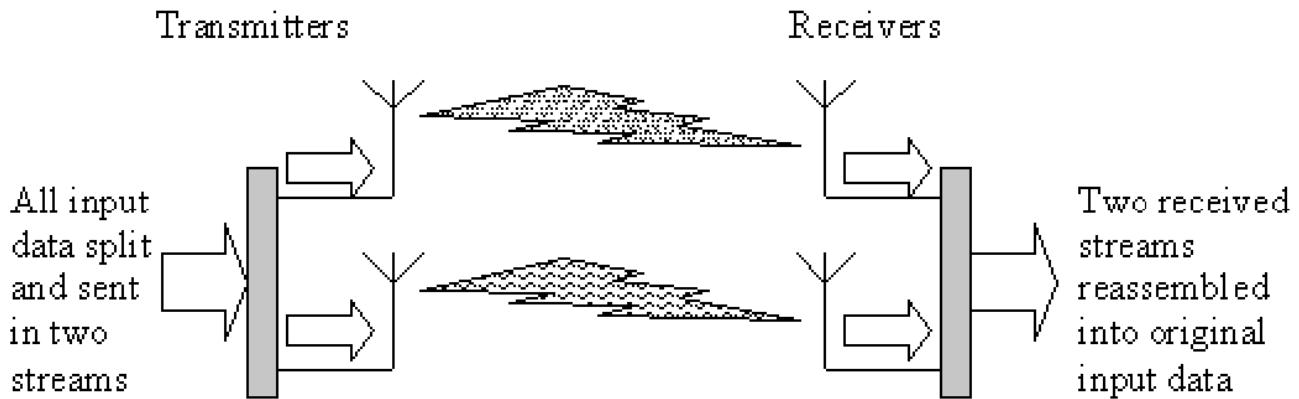
9.1 Modulation

Se fait en **DSSS**, aujourd’hui les nouveaux standards remplacent DSSS par OFDM. DSSS utilise du CDMA et possède une largeur de bande de 22Mhz, cette largeur couvre plusieurs canaux.

Les nouveaux standards OFDM utilisent une sorte de FDMA. La bande est divisée en beaucoup de petites sous-bandes qui sont rendues indépendantes par le traitement du signal. Ce qui a un énorme impact sur la bande passante

Le standard du futur est le MIMO (multiple input multiple output). Cette technique utilise plusieurs antennes en même temps. Ce standard lève 3 soucis de design :

- Beamforming : Le standard du futur est le MIMO (multiple input multiple output). Cette technique utilise plusieurs antennes en même temps. Ce standard lève 3 soucis de design :
- Multiplexage spatial : Les messages divisé doivent être réassemblé pour récupérer le canal sur lequel transite les données.



- Combattre les évanouissement : La réception peut varier énormément d'un endroit à un autre. Comme il y a plusieurs antenne envoyant un signal il y a la possibilité qu'un signal arrive et l'on choisit le meilleur signal arrivant. Il faut évidemment que les antennes soit suffisement espacé (Au moins $\lambda/2$). On lutte donc contre les trajets multiples !

9.2 Standard

Nom	Fréquence	Modulation	Bandé Passante	Portée
802.11a	5.0GHz	OFDM	30Mb/s	10m
802.11b	2.4GHz	OFDM	6Mb/s	100m
802.11g	2.4GHz	OFDM	30Mb/s	100m
802.11n	2.4 - 5.0GHz	MIMO	450Mb/s	