

Communications Hertziennes (COH)

Jean-Marie Gorce
Dept Télécommunications,
Services & Usages

• Historique :

• <http://www.francetelecom.com/fr/groupe/initiatives/savoirplus/histoire/telecoms/>

1873-1895 : découverte, expérimentation des ondes EM

1873 : JC Maxwell en prédit l'existence.

1887 : H. Hertz les observe.

1890 : E. Branly réussit à les capter (lère autographe)

1895 : l'Italien G. Marconi réalise la lère transmission radio en morse. (marconigrammes).

(1897 : démonstration aux investisseurs)

1912-1930 : inventions et mise en œuvre des premiers services grand public

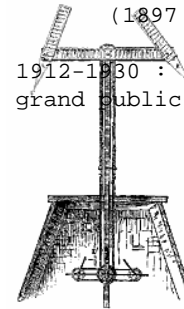
1912 : le SOS du Titanic est capté par le navire Carpathia et sauve 800 personnes

1920 : lère liaison radiotélégraphique France-Amérique ouverte au public.

1924 : Première utilisation de la radio mobile par la police américaine.

1927 : lère liaison radiophonique Londres-New-York.

Introduction



Plan du cours

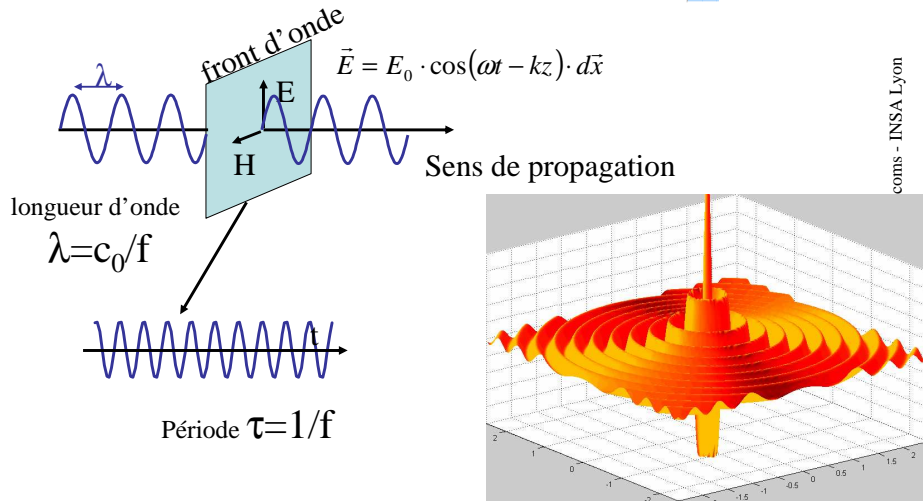
- **PARTIE I : ONDES – PROPAG : THEORIE (3h)**
 - Chap 1- Les ondes électromagnétiques (1h)
 - Chap 2- Rappels sur les mécanismes de propagation (1h)
 - Chap 3- Bilans de liaison (1h)
- **PARTIE II : LES ANTENNES: THEORIE (6h)**
 - Chap 4- Les antennes : propriétés générales (3h)
 - Chap 5- Les antennes filaires: du doublet aux éléments finis (2h)
 - Chap 6- Les différents types d'antennes → GVI (1h)
 - Chap 7- Les antennes en réseau (1h)
- **PARTIE III : SYSTEMES : CANAL RADIO et RECEPTION (6h)**
 - Chap 8- Modèles de propagation (2h)
 - Chap 9- Narrow-band flat fading (2h)
 - Chap 10- Wideband fast fading (2h)
- **PARTIE IV : INGENIERIE RADIO (4h)**
 - Chap 11- Le cellulaire : description du GSM / dimensionnement (2h)
 - Chap 12- Les wLANs : description du wLAN / déploiement (2h)

Introduction

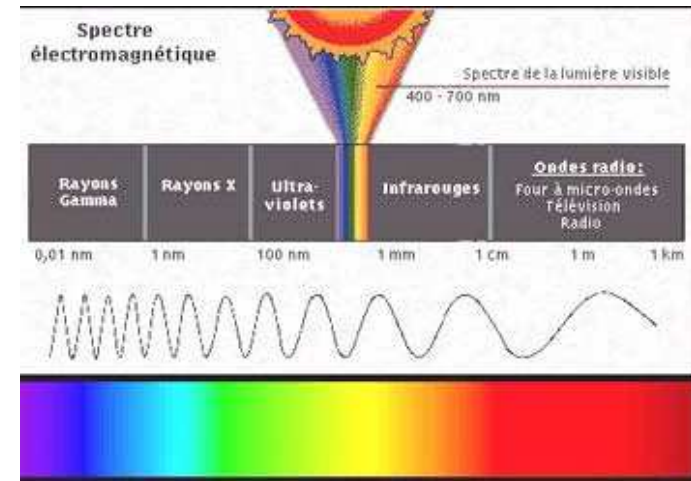


- 1 : Ondes et spectre électromagnétique
- 2 : Modélisation système
- 3 : Propagation / Antennes
- 4 : Modulation
- 5 : Capacité
- 6 : Canal radio
- 7 : Systèmes
- 8 : Interférences
- 9 : partage de ressources
- 10 : normalisation

1 – ondes et spectre



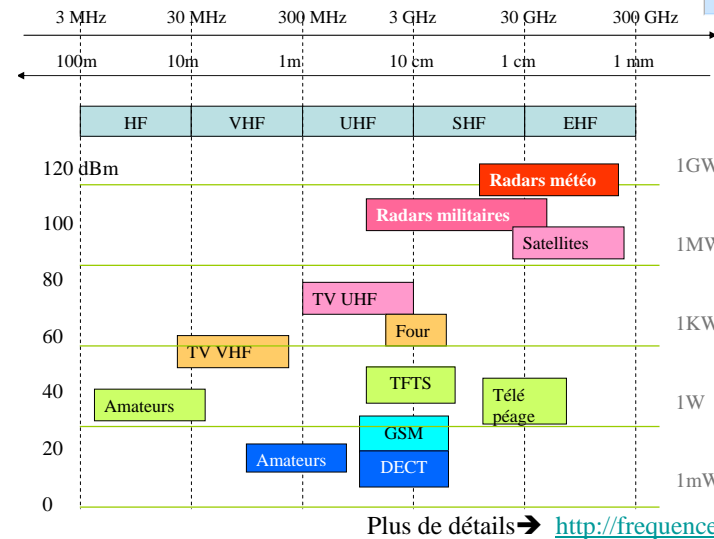
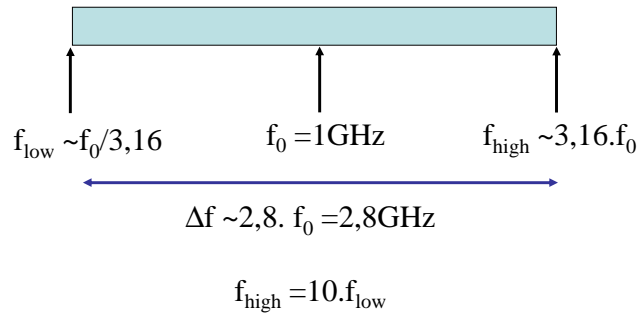
<http://www.ilemaths.net> → onde électromagnétique
<http://www.cndp.fr/revueTDC/699-40703.htm>



• Définition de bandes (ex: UHF)

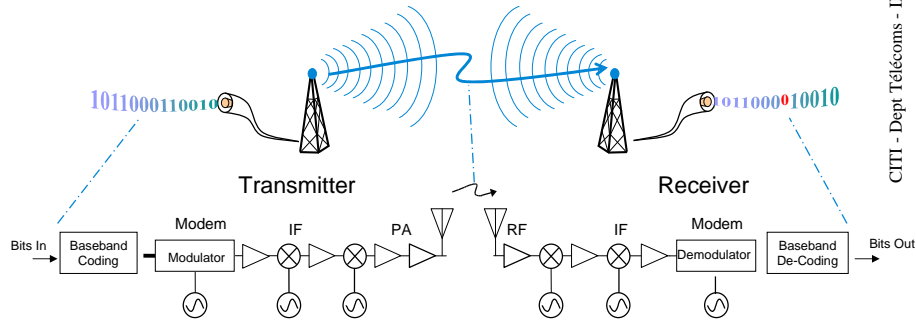
• normalisation

(régulier sur une échelle logarithmique*)

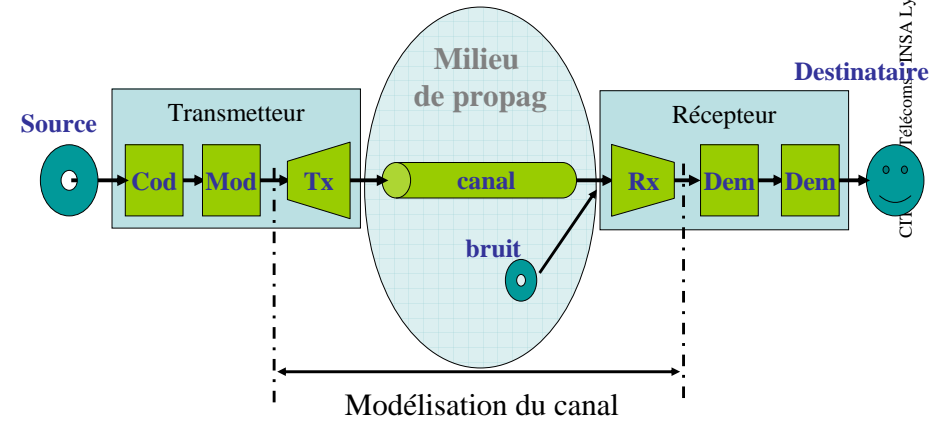


2 – modélisation

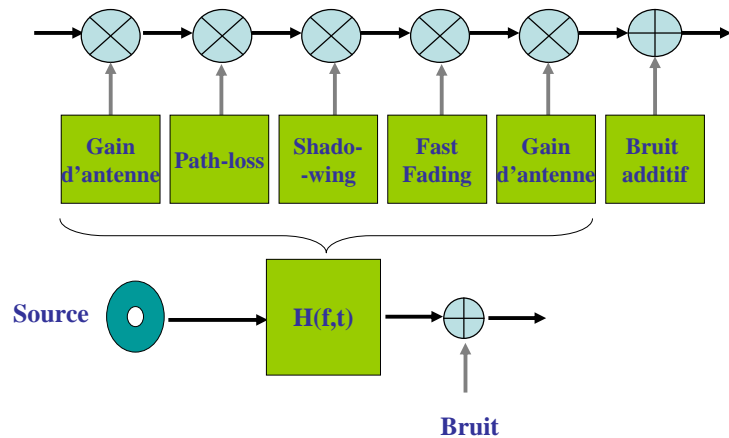
• Modélisation de la chaîne de transmission



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

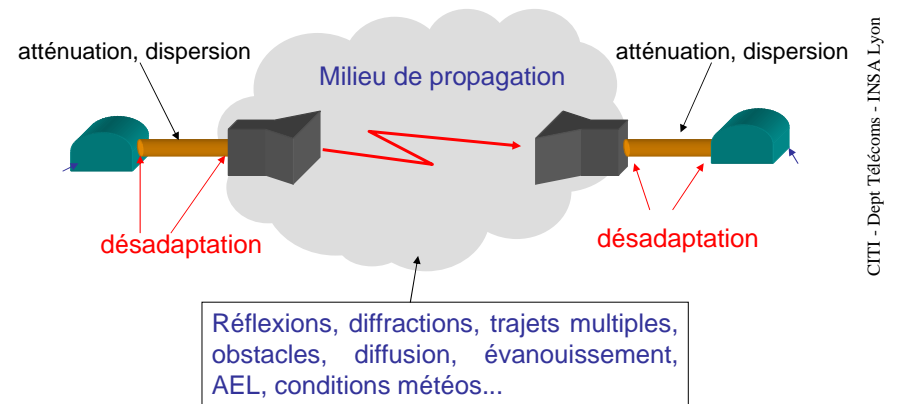


CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

3 – propagation



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

Et tous ces paramètres varient en fonction de la fréquence, du temps et même de la polarisation de l'onde.

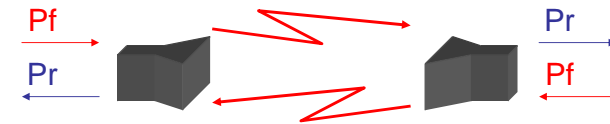
- La propagation est étudiée à l'aide des équations de Maxwell
 - Solutions ondulatoires : ondes planes/sphériques
 - Bilan de liaison : formule de Friis
 - Interactions avec l'environnement
- 4 grands théorèmes en découlent
 - le théorème de réciprocité de Lorentz
 - le théorème de Huygens-Fresnel
 - la théorie des images
 - le principe de Babinet

• Réciprocité de Lorentz

Si on considère deux distributions de courants I1 et I2 qui sont à l'origine de champs E1 et E2, on montre d'après les équations de Maxwell :

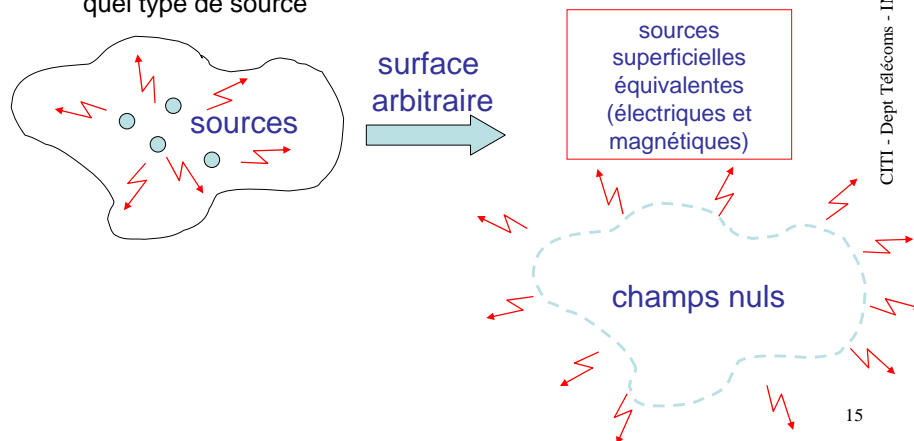
$$\iiint_V \vec{E}_2 \cdot \vec{I}_1 \, dv = \iiint_V \vec{E}_1 \cdot \vec{I}_2 \, dv$$

→ les systèmes rayonnants sont réciproques (attention seulement dans le cadre des antennes passives).



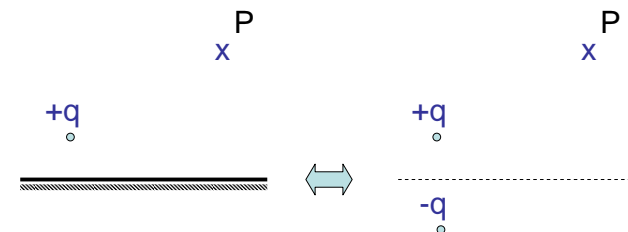
• Principe de Huyghens-Fresnel

Principe permettant de calculer le rayonnement à l'infini de n'importe quel type de source



• Théorème des images

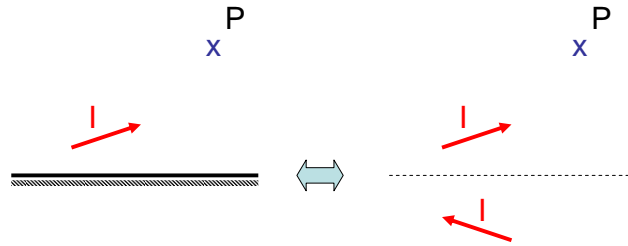
Au niveau d'un point d'observation, le champ créé par une source +q placée au-dessus d'un plan réflecteur parfait de dimensions infini est équivalent au champ créé par l'association de cette charge avec son image par symétrie par rapport au plan de charge -q.



→ images en courant

Le même principe s'applique pour les sources de courants.
L'image sera formée de la symétrie de la répartition de courant de signe opposé (opposition de phase).

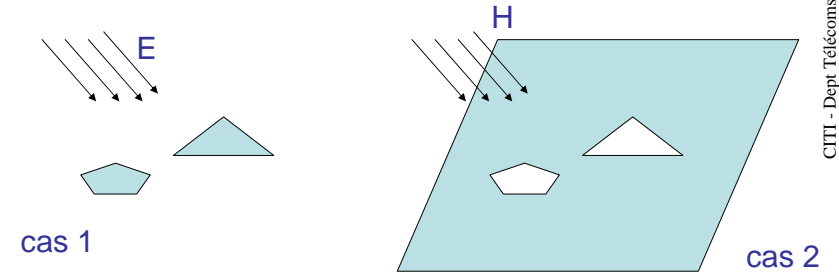
➤ à la base de très nombreuses applications en antennes



17

• Principe de Babinet

Le théorème de Babinet reprend l'aspect symétrique des équations de Maxwell

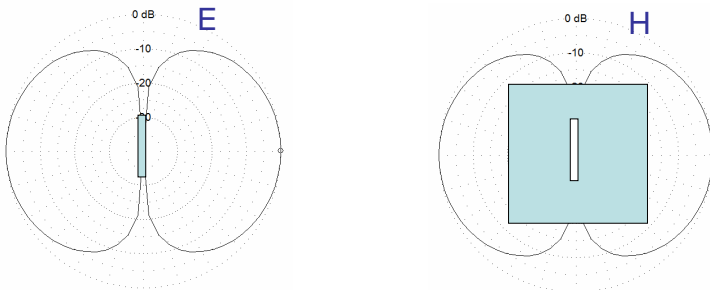


Le champ total du cas 1 va être égal au champ diffracté du cas 2 et inversement.

18

→ Application aux antennes

Toute fente pratiquée dans un plan de masse de grande dimension aura le même comportement en rayonnement que l'antenne métallique complémentaire à ceci près que les champs E et H sont inversés.

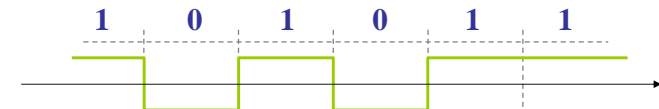


19

4 – Modulation

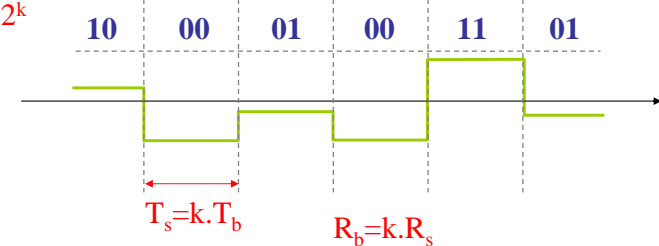
A) signal en bande de base

- signal binaire



- signal M-polaire

$$M=2^k$$

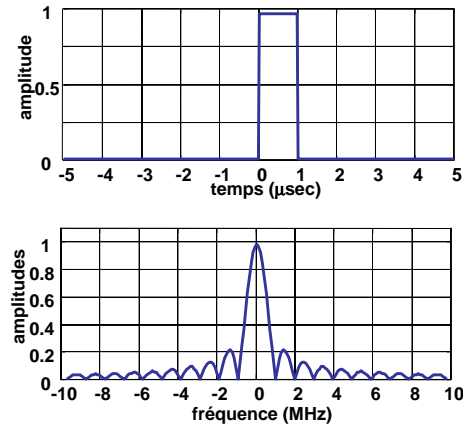


20

B) Propriétés spectrales

- spectre d'un symbole

$\Delta f = 2/T$ (lobe principal)
 $\Delta f = 1/T$ (lobes secondaires)

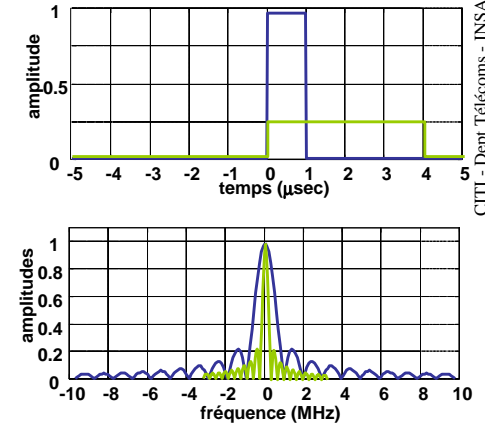


CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

B) Propriétés spectrales

- spectre d'un symbole

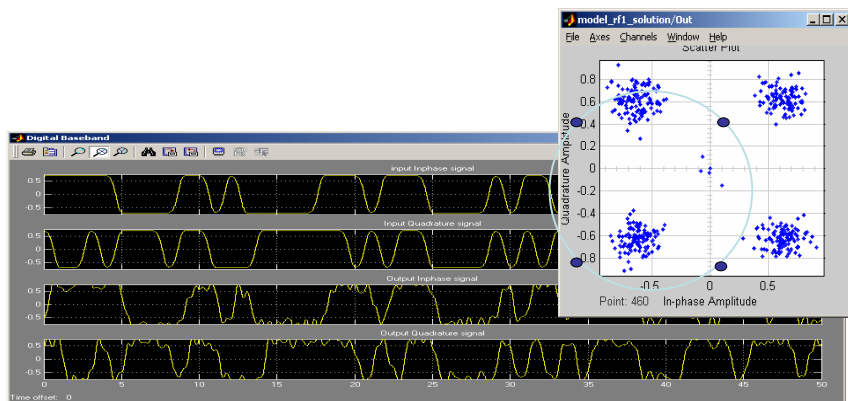
$\Delta f = 2/T$ (lobe principal)
 $\Delta f = 1/T$ (lobes secondaires)



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

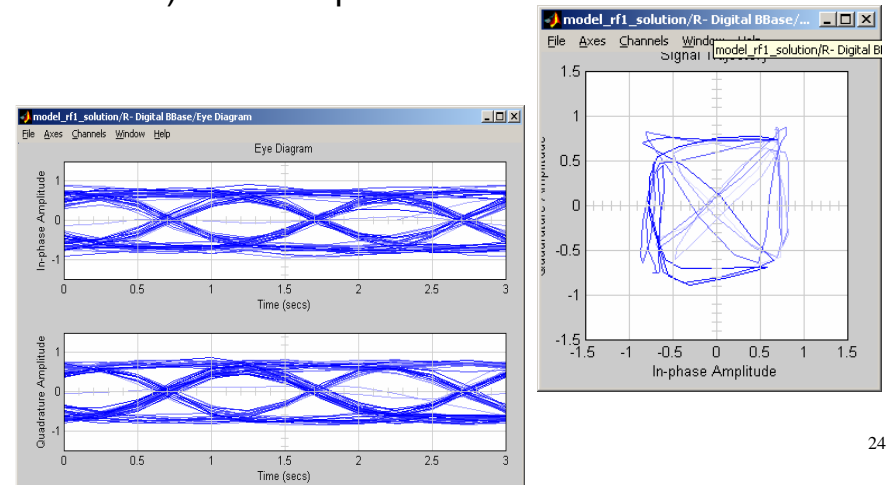
C) Constellations

$$s_{RF}(t) = m_I(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) + m_Q(t) \cdot \sin(2\pi f_0 t)$$



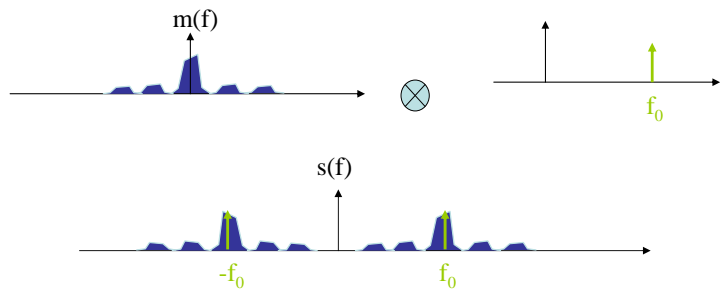
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

D) Autres représentations



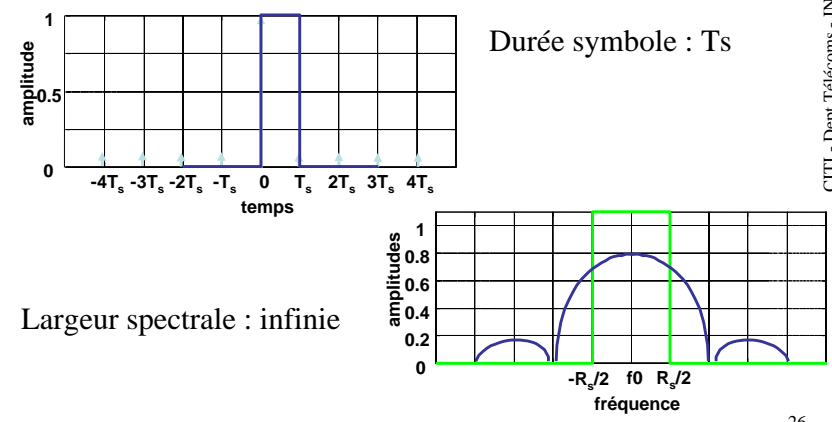
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

E) Spectre après modulation



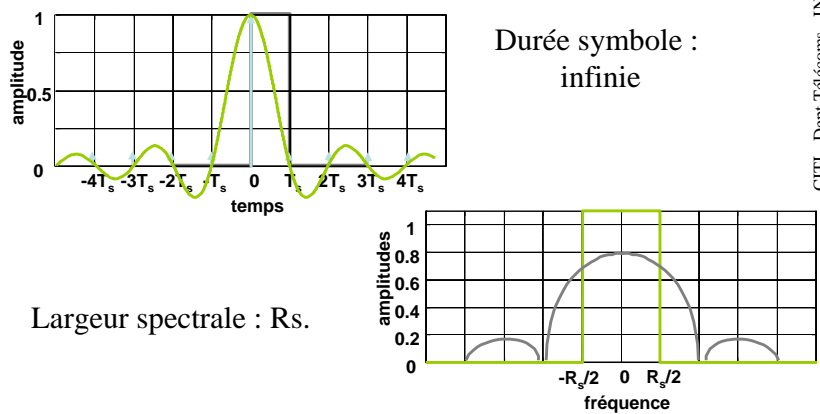
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

F) Réduire l'occupation spectrale



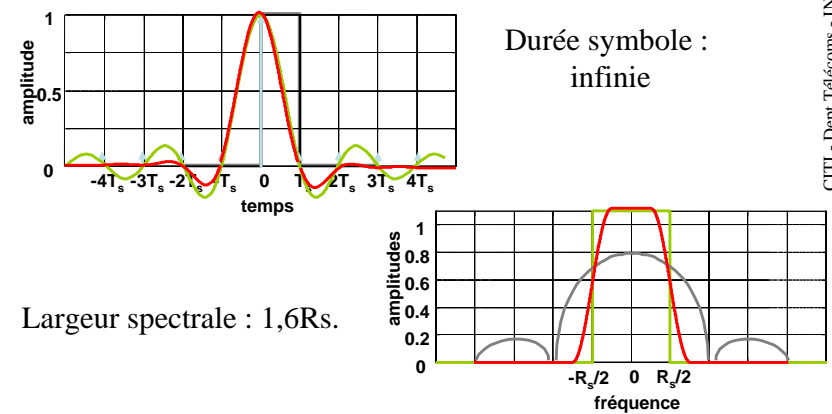
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

F) Réduire l'occupation spectrale



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

F) Réduire l'occupation spectrale



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

5 – Capacité

– A) Définition

- la capacité d'un canal est le débit maximal admissible soit :
 - sans erreur (théorique)
 - pour un taux d'erreur donnée (pratique)
- la capacité est égale au produit du débit symbole maximal par le nombre de bits/symbole.

$$C = \max(R_s) \cdot \max(Nb)$$

– B) Valeur théorique

- La capacité de Canal (Shannon-Hartley) :
 - le débit symbole max : $R_s=W$ (symbole=sinus cardinal)
 - le nombre de bits par symbole : $Nb=\log_2(1+SNR)$
- dans un canal à bruit additif gaussien, il est possible de trouver une méthode de codage, telle que pour tout $R_b \leq C$, la transmission soit sans erreur

$$C = W \cdot \log_2(1 + SNR)$$

SNR : rapport des puissances entre signal et bruit

– C) Valeur expérimentale

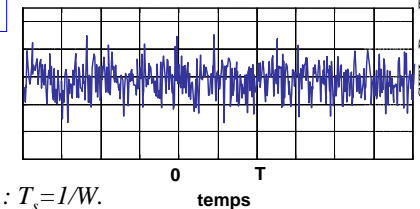
- La capacité de Canal pour un système donné :
 - le débit symbole max : $R_s \sim W/1,6$ (dépend de la qualité de la modulation, et des contraintes imposées en terme de largeur spectrale : bande à -3dB, -10dB, etc...)
 - le nombre de bits par symbole dépend du taux d'erreur acceptable : $Nb=f(SNR)$ (cf. courbes précédentes)
 - La capacité est donnée par le produit des 2.

– D) Le bruit AWGN

- bruit de réception des systèmes électroniques

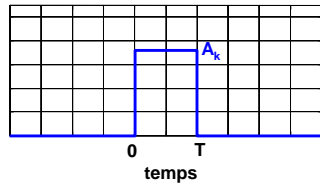
$$\begin{aligned} \text{Puissance du bruit : } N &= \kappa \cdot T^\circ \cdot W = N_0 \cdot W \\ \text{Energie sur une période : } E_N &= N_0 \cdot W \cdot T_s \end{aligned}$$

$\kappa = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
 $T_k = 290 \text{ K}$ (en réf. , T° en Kelvin)



*Remarque : si modulation idéale : $T_s=1/W$.
 alors, $E_N=N_0$*

On exprime souvent la qualité d'un système en fonction de E_b/N_0 .



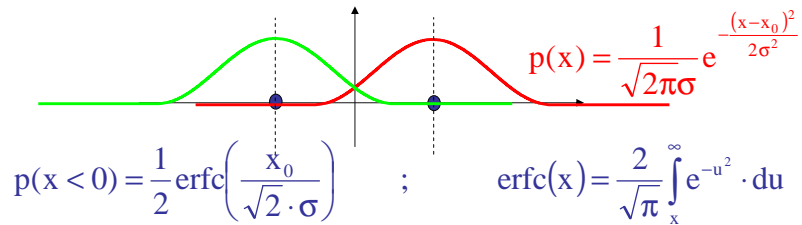
Puissance d'un symbole émis :
 $S_k = A_k^2 / 2$
 Energie 'bit' reçue :
 $E_b = A_k^2 \cdot T_b / 2$

Introduction

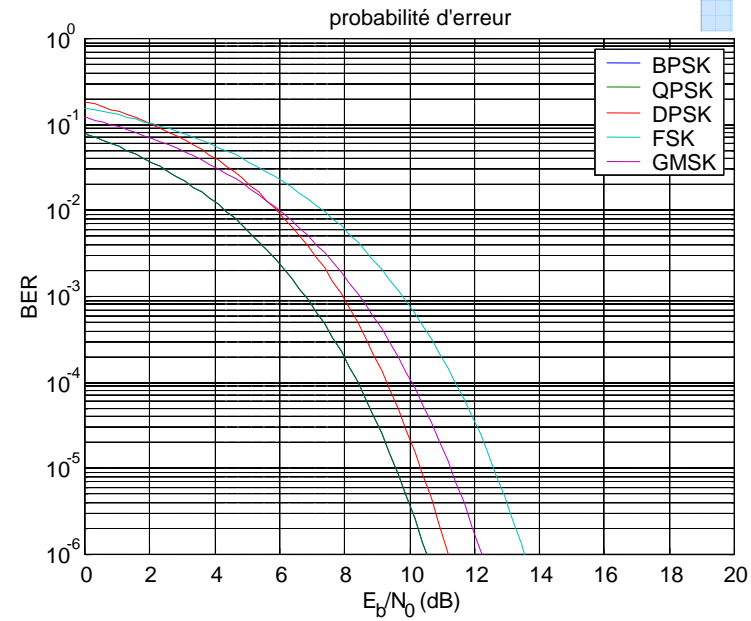
Capacité

- Taux d'erreur théorique d'une BPSK sur un canal AWGN avec le démodulateur optimal :

$$P(\text{err}(k)) = P(\hat{a}_k = -1/a_k = 1) \cdot P(a_k = 1) + P(\hat{a}_k = 1/a_k = -1) \cdot P(a_k = -1)$$



Introduction



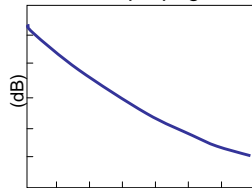
6 – canal radio

Introduction

- Phénomènes liés à l'environnement :

Path loss

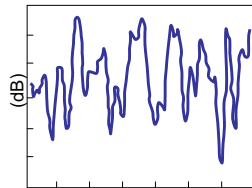
Affaiblissement proportionnel à la distance de propagation



Distance émetteur-récepteur

Shadowing

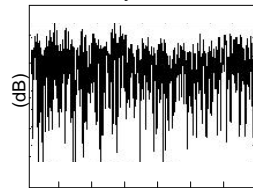
Variation lente du signal due aux obstacles



Distance émetteur-récepteur

Fading

Fluctuations rapides du signal liées aux multi trajets



Distance émetteur-récepteur

Introduction

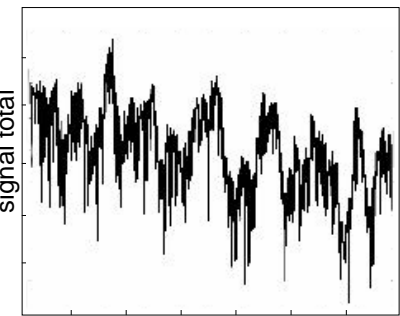
Canal radio

- En environnement réel, les 3 phénomènes se superposent

Path loss
 +
 Shadowing
 +
 Fading



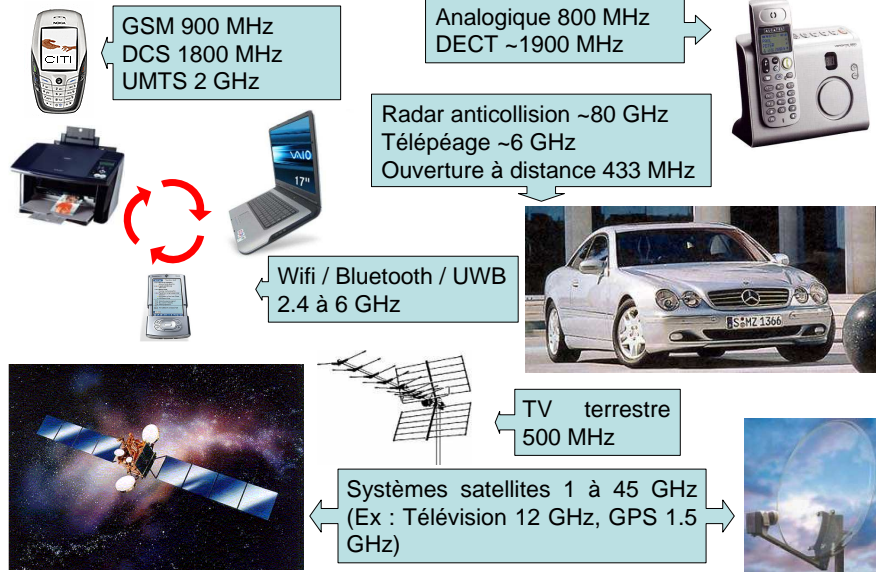
Puissance du signal total



Distance émetteur-récepteur

7 – les systèmes

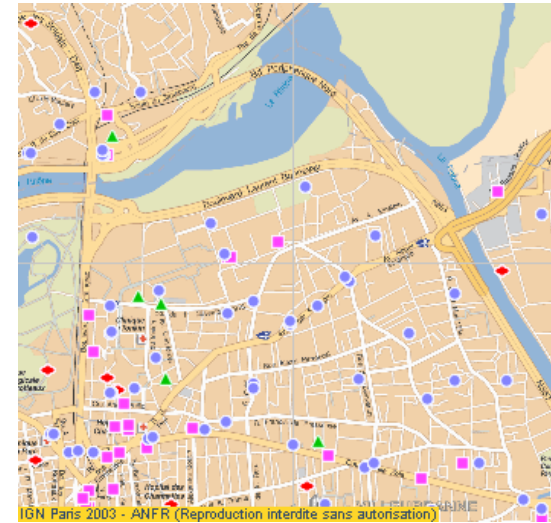
Introduction



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

Introduction

Systèmes



- Radiotéléphonie
- ▲ Radiodiffusion
- Autres stations
- ◆ Mesures de champs

© ANRF : <http://www.cartoradio.fr>

CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

Introduction

Systèmes

- La diffusion
- La liaison point à point
- L'accès fixe
- Les radio-mobiles
- Les réseaux cellulaires

CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

Introduction

Systèmes

- Diffusion d'information sur 1 zone géographique.
- Caractéristiques
 - 1 liaison simple (sens descendant)
 - 1 émetteur fixe omnidirectionnel
 - des récepteurs directionnels
- Applications
 - TV, radiophonie, signalisation...



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

- Faisceau hertzien : liaison inter-sites
- Caractéristiques :
 - 1 liaison simplex ou duplex
 - 2 E/R fortement directionnels et bien orientés
 - points relais (terrestres, satellites)
- Applications
 - ponts radios, liaisons satellites



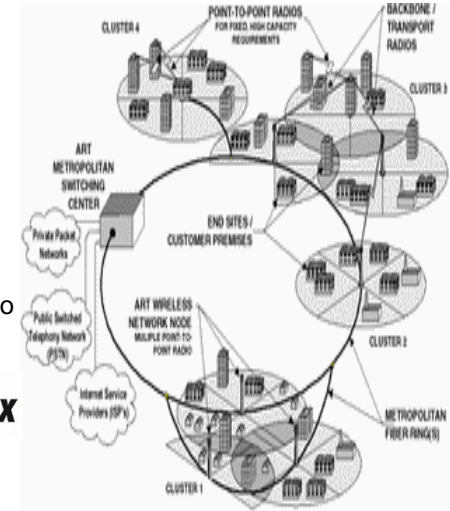
<http://www.sfe-france.com>

CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon



<http://panneauxcols.free.fr/Relais/relais.htm>

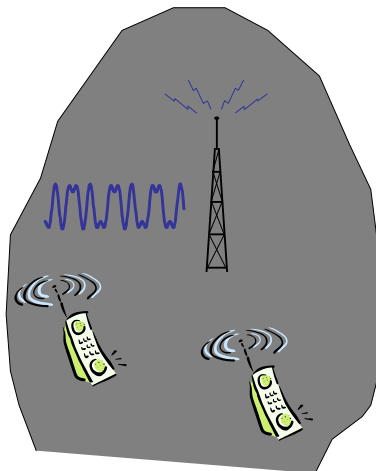
- L'accès fixe
- Relais Multi-points
- Caractéristiques :
 - 1 liaison duplex
 - 1E/R omnidirectionnel
 - 1 E/R fortement directif
- Applications
 - La Boucle Locale (Radio ou satellite)



42

CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

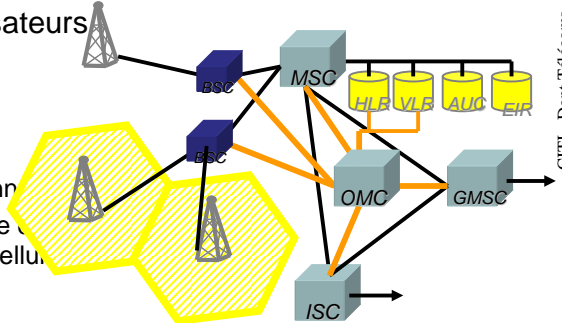
- Radio-mobiles: transmission entre 1 point d'accès fixe et 1 utilisateur mobile
- Caractéristiques :
 - 1 liaison duplex
 - 2 E/R omnidirectionnel
- Applications
 - radio-taxis, médecins ...



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

43

- Cellulaire : extension de la zone géographique couverte et augmentation du nombre d'utilisateurs
- Caractéristiques :
 - liaisons duplex
 - E/R omnidirectionnel
 - 1 sous-réseau fixe et points d'accès (cellules)
- Applications
 - la téléphonie mobile, les réseaux radio



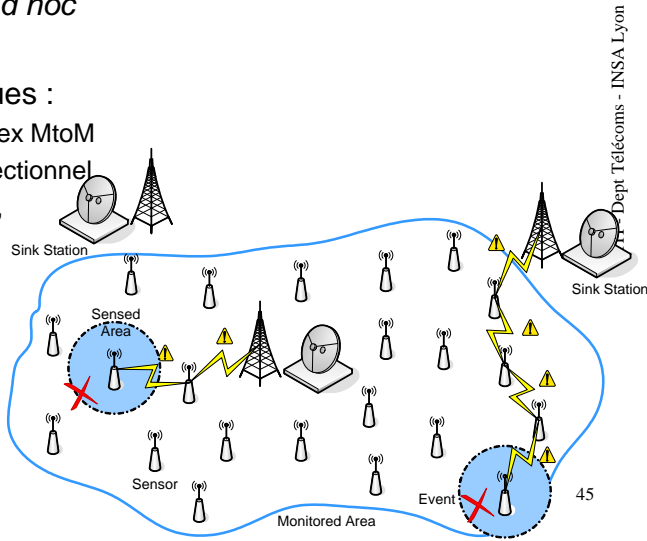
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

44

- Capteurs et *ad hoc*

- Caractéristiques :
 - liaisons duplex MtoM
 - E/R omnidirectionnel
 - Énergie rare,
 - coût faible

- Applications
 - Surveillance
 - Détection
 - domotique

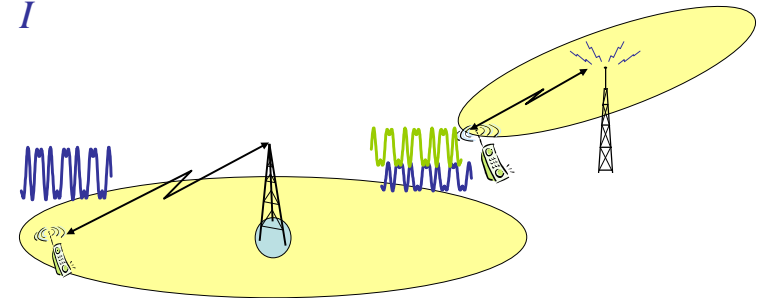


8 – Interférences

A) Interférences co-canales (*spatial*)

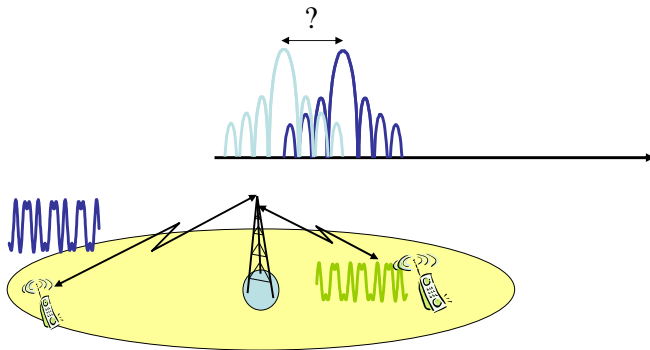
$$\frac{C}{I} \geq SIR + 3dB$$

Icc :



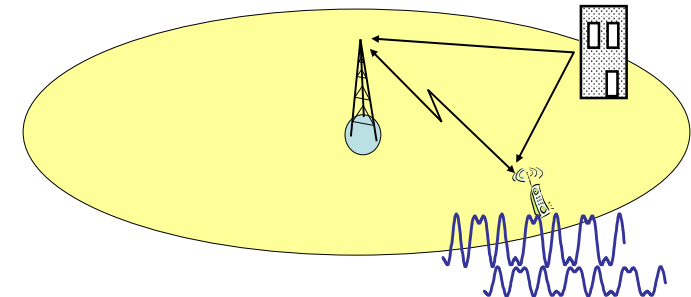
B) Interférences canaux adjacents (*fréquentiel*)

Ica :

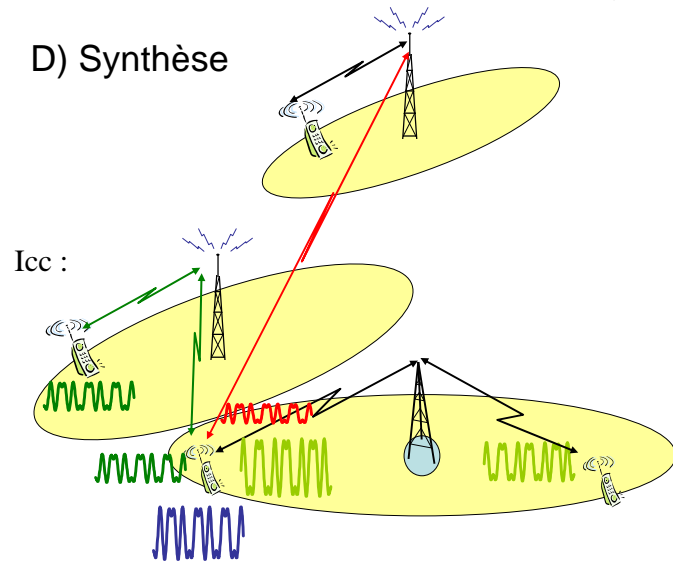


C) Interférences inter-symboles (*temporel*)

Iis :



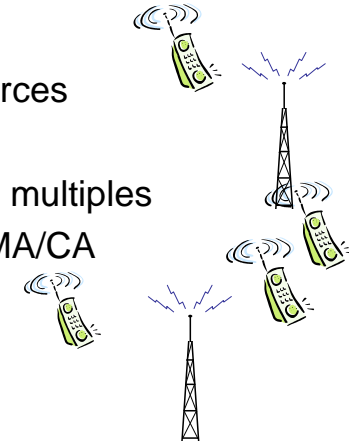
D) Synthèse



9 – Partage des ressources

« resource sharing »

- A) Attribution de ressources
- B) Duplexage
- C) Techniques d'accès multiples
- D) Cas particulier : CSMA/CA



A) Attribution de ressources globales

- La bande de fréquence est choisie en fonction :
 - de la portée voulue, de la capacité souhaitée...
- Partage entre sous-réseaux

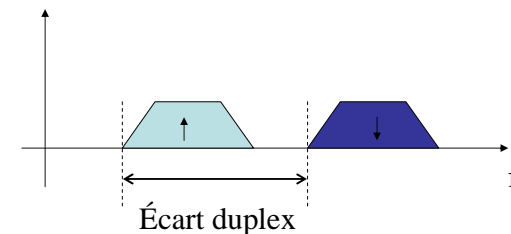
Approche centralisée	Approche partagée
réserver des ressources spécifiques à différents opérateurs	Interférences non contrôlables, QoS non garantie

• exemples

- GSM : 880-915/925-960 MHz
- DCS1800 : 1710-1785/1805-1880 MHz
- DECT : 1880-1900MHz
- WiFi: ISM ~2,4GHz

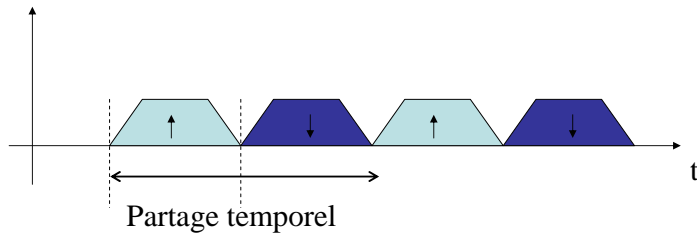
B) Duplexage (voix montantes/descendantes)

- duplexage en fréquence (FDD)
: frequency division duplexing



Intérêt : permet d'éviter les interférences entre lien montant et lien descendant (signal en réception << signal en émission)

- Duplexage en temps (TDD : *time division duplexing*):
voix montantes/descendantes

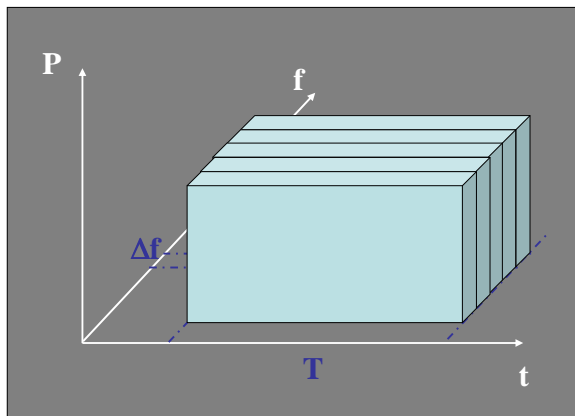


Intérêt : un seul canal fréquentiel à gérer
rem : attention aux interférences entre lien montant et lien descendant

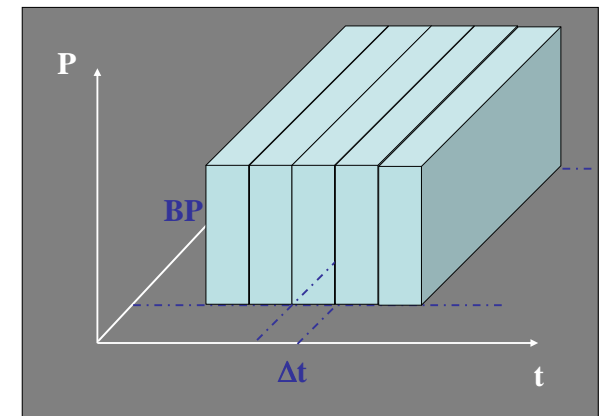
C) Méthodes d'accès multiples

- 1 bande globale : W ; $C=Rs \times Nb$; $Nb=f(SNR)$
 - théorique $C=2xW$ (2porteuses, 1 bit/porteuse)
 - pratique : $W=1,6Rs$; $C=2/1,6 \times W=1,25xW$.
 - » $BER \sim 10^{-4} \Rightarrow Eb/No=8dB$; $SNR=9dB$.
- On veut partager ce débit global :
 - choix parmi : FDMA, TDMA, FTDMA (GSM) ou CDMA (IS-95, UMTS).
- Critères :
 - Maximiser l'utilisation des ressources (bits/s/hertz)
 - Gérer le niveau d'interférences

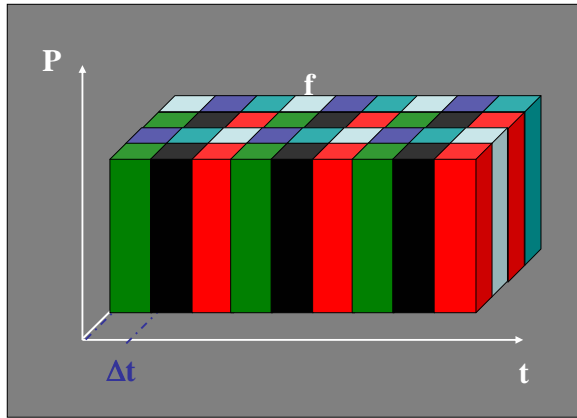
– FDMA (AMRF)



– TDMA (AMRT)

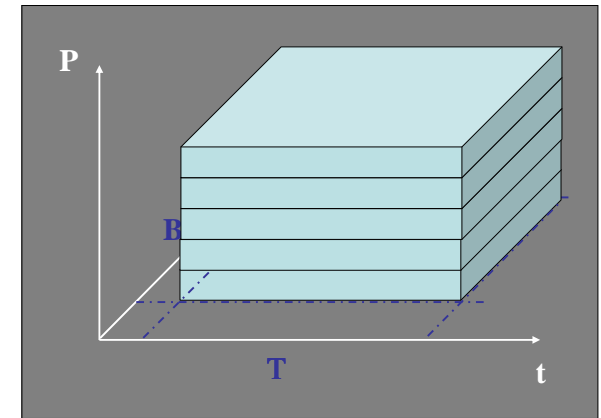


- F-TDMA



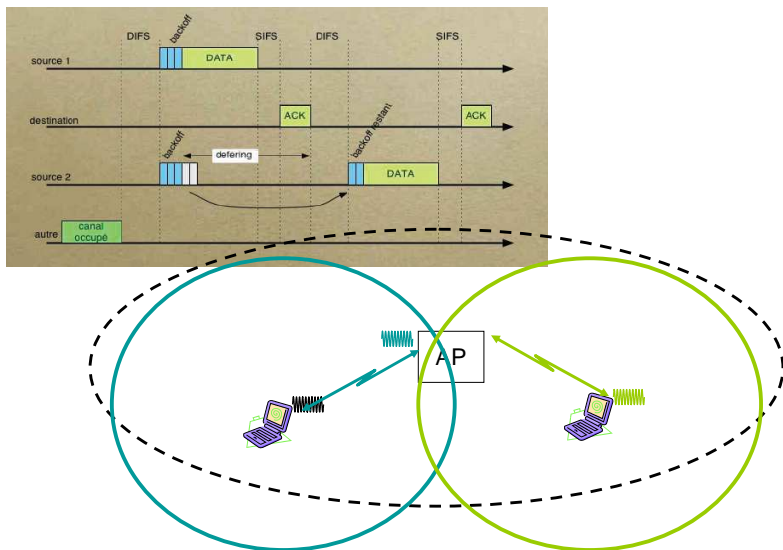
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

- CDMA (AMRC)



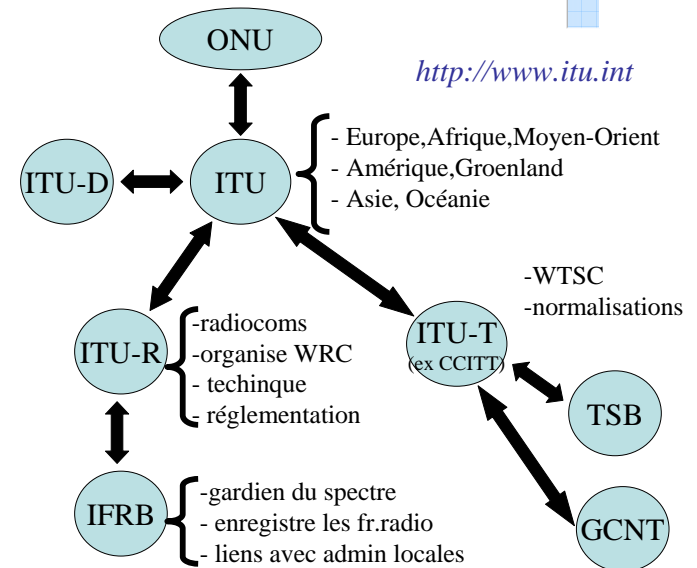
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

D) Cas particulier : CSMA/CA



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

10 - Normalisation

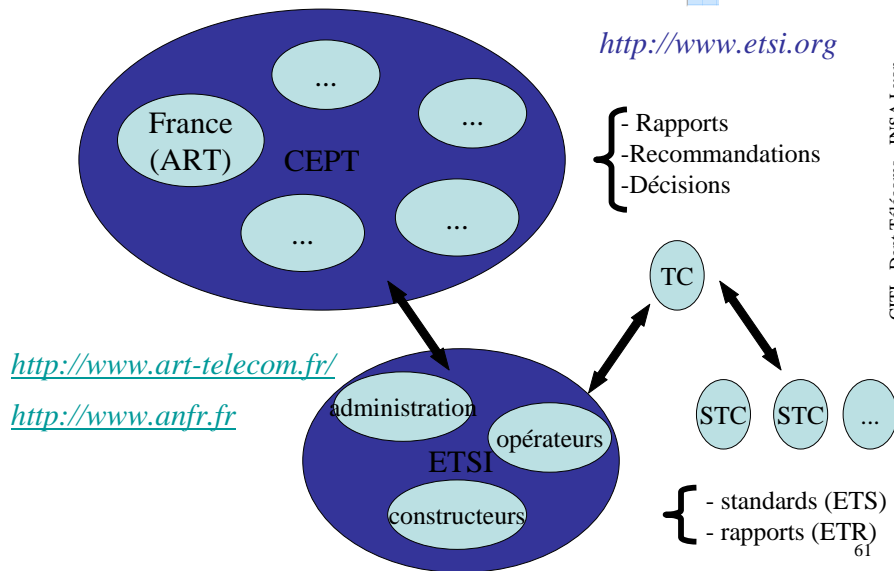


CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

Introduction

<http://www.etsi.org>

CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon



Résumé de l'introduction (à savoir 😊)

- Les bandes de fréquences (f, λ)
- La modélisation en blocs (pour se repérer dans le cours)
- Les grands principes/théorèmes de propagation
- Modulation/capacité : qu'est-ce qui limite les systèmes?
- Les familles de systèmes radio
- Les types d'interférences
- Les méthodes de partage de ressources
- Qui règle l'utilisation des fréquences

CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon