

REPUBLIQUE DU CAMEROUN  
Paix - Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE  
POLYTECHNIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN  
Peace - Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

NATIONAL ADVANCED SCHOOL  
OF ENGINEERING

## MASTER PRO 2 EN TELECOMMUNICATIONS

# PLANNIFICATION ET INGENIEURIE DES RESEAUX DE TELECOMS

### Séquence 1 : CONCEPT RADIOMOBILE

Equipe des concepteurs :

- Emmanuel TONYE
- Landry EWOUSSOUA

-----  
*Le contenu est placé sous licence /creative commons/ de niveau 5 (Paternité, Pas d'utilisation commerciale, Partage des conditions initiales à l'identique)..*



# *réseaux mobiles*

# Les réseaux cellulaires

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

# les systèmes grand public

## n Systèmes cellulaires

- 1970, développement des systèmes analogiques

## n Systèmes sans cordon

- Débute dans les années 80, dépasse le téléphone fixe

## n Messagerie unilatérale

- Débute dans les années 1990, en cours de disparition

- n AMPS : Advanced Mobile Phone Service
    - USA
  - n HCMTS : High Capacity Mobile Telephone System
    - Japon
  - n NMT : Nordic Mobile Telephone system
    - Pays scandinaves
  - n Radiocom 2000
    - France
  - n TACS : Total Access Communications Systems
    - Angleterre
  - n C450
    - Allemangne
- Etc...**

- n GSM, DCS, IS95, IS98
  - Grand public
- n TETRA/TETRAPOL
  - Professionnel
- n DECT, PHS
  - Sans cordon
- n MOBITEX
  - WAN
- n 802.11b
  - LAN

# En savoir plus...

- Radiocommunications
  - n Wireless Communications, Theodore Rappaport, Prentice Hall (1996).
  - n Antennas and propagation for Wireless Communication systems, Simon Saunders, Wiley (1999).
- Réseaux radio-mobiles
  - n réseaux radiomobiles, Sami Tabbane, HERMES
  - n réseaux GSM/DCS, Lagrange, Godlewski & Tabbane, HERMES
- wLAN
  - n mobile communications, Jochen Schiller, Addison-Wesley (2000)
  - n Wireless LANs, Jim Geier, SAMS (2001).

# Plan général

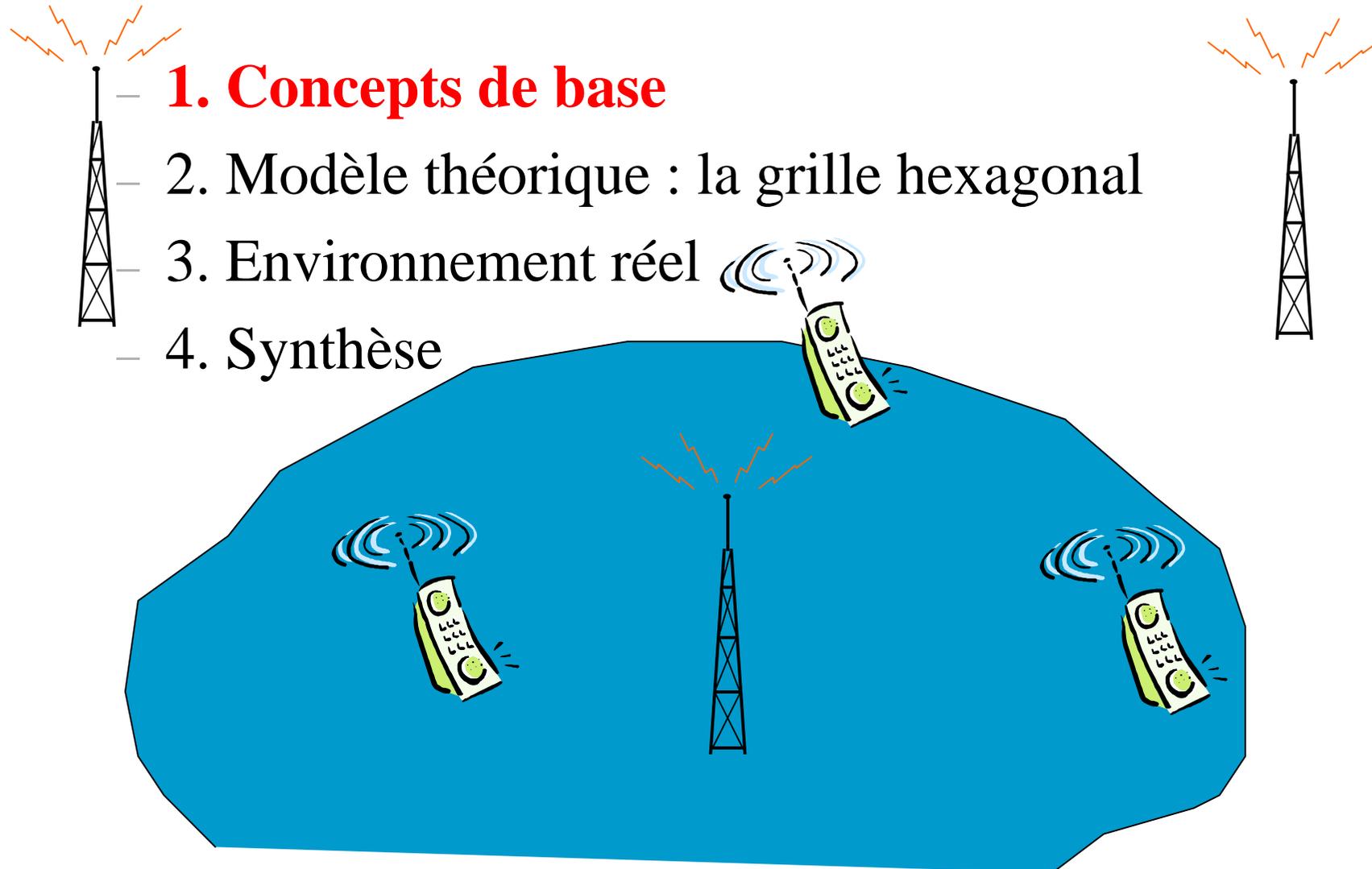
## **I. Principe des réseaux cellulaires**

II. Caractéristiques des ressources radio

III. Partage des ressources

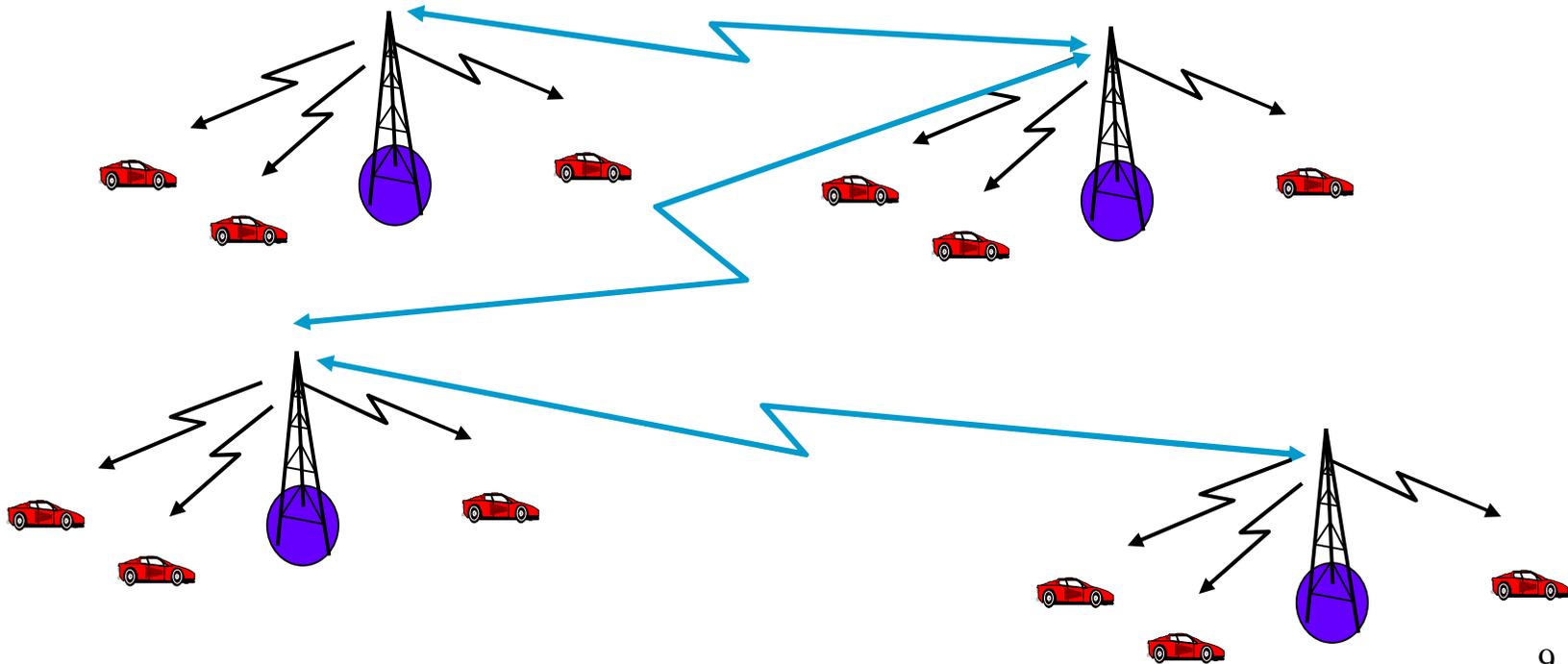
IV. Ingénierie cellulaire

# I- Pincipes des réseaux cellulaires



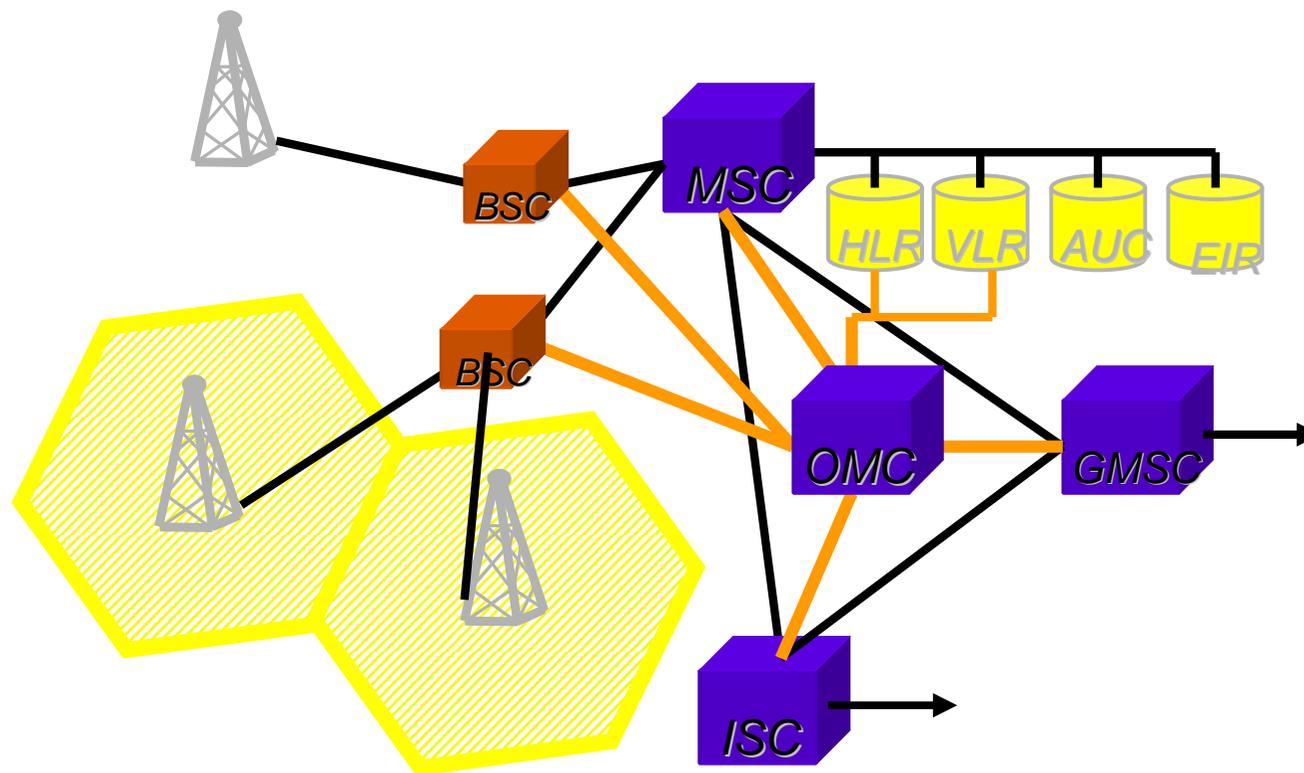
## *I-1. Concepts de base*

- A) Architecture fixe (core network)  
n les faisceaux hertziens



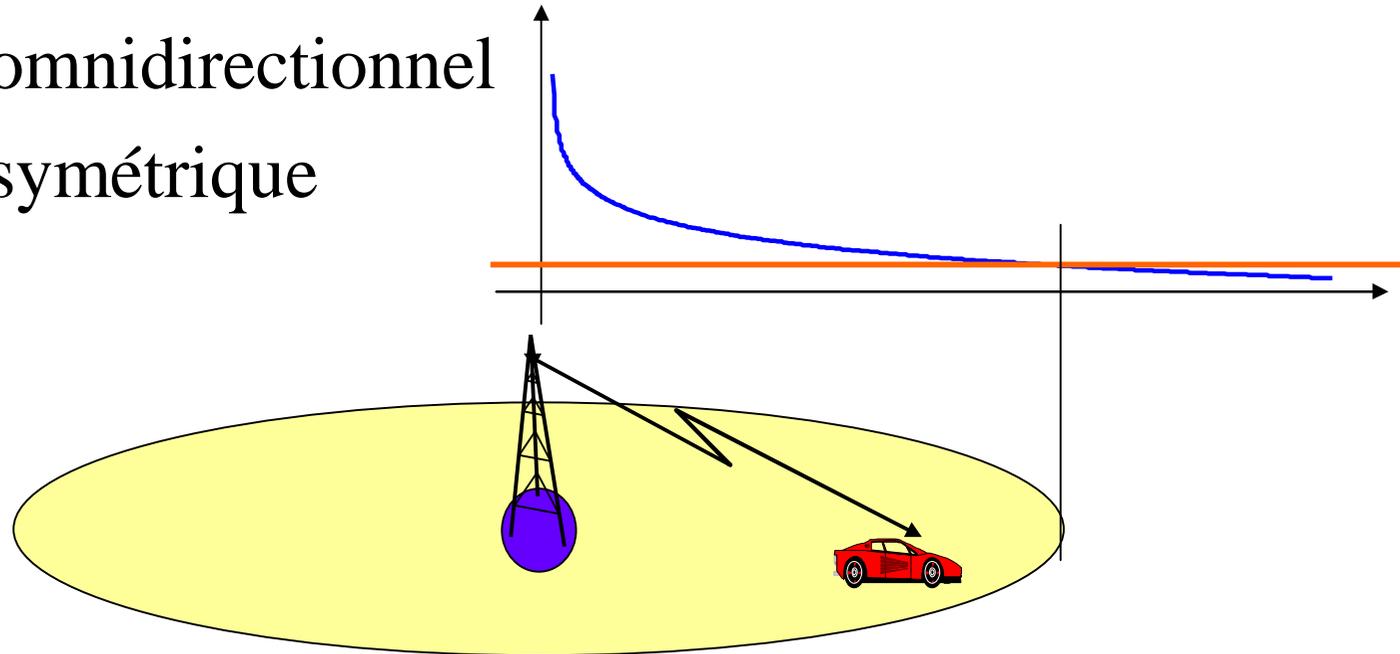
## *I-1. Concepts de base*

### – Architecture logique (GSM)



n B) Bilan de liaison

- affaiblissement logarithmique
- omnidirectionnel
- symétrique



## *I-1. Concepts de base*

### n Propagation, modèles

n bilan de liaison  $P_R = P_T + G_T + G_R - PL(f, \dots)$

n affaiblissement en espace libre, avec sol

$$PL(d, f) = 22 + 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{d}{1} \right)$$

$$PL(d) = 40 \log d - 20 \log h_T - 20 \log h_R$$

n Affaiblissements complémentaires

– diffraction, absorption (murs, obstacles, ...)

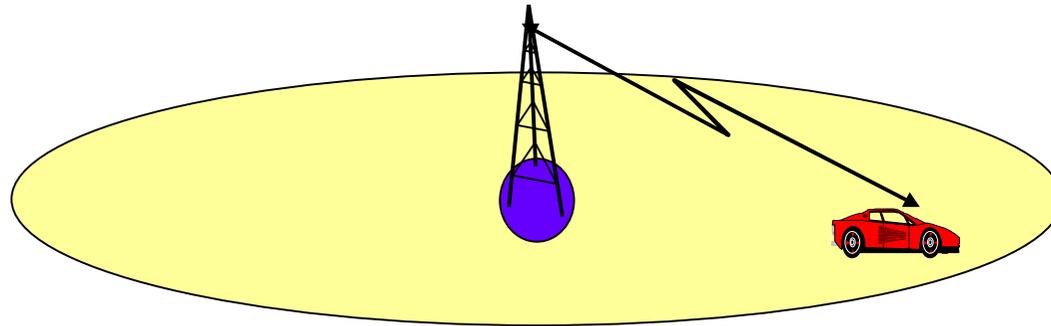
## I-1. Concepts de base

$$P_{dBm}(d) = P_{dBm}(d_0) - 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Loi d'affaiblissement

$$2 < n < 4$$

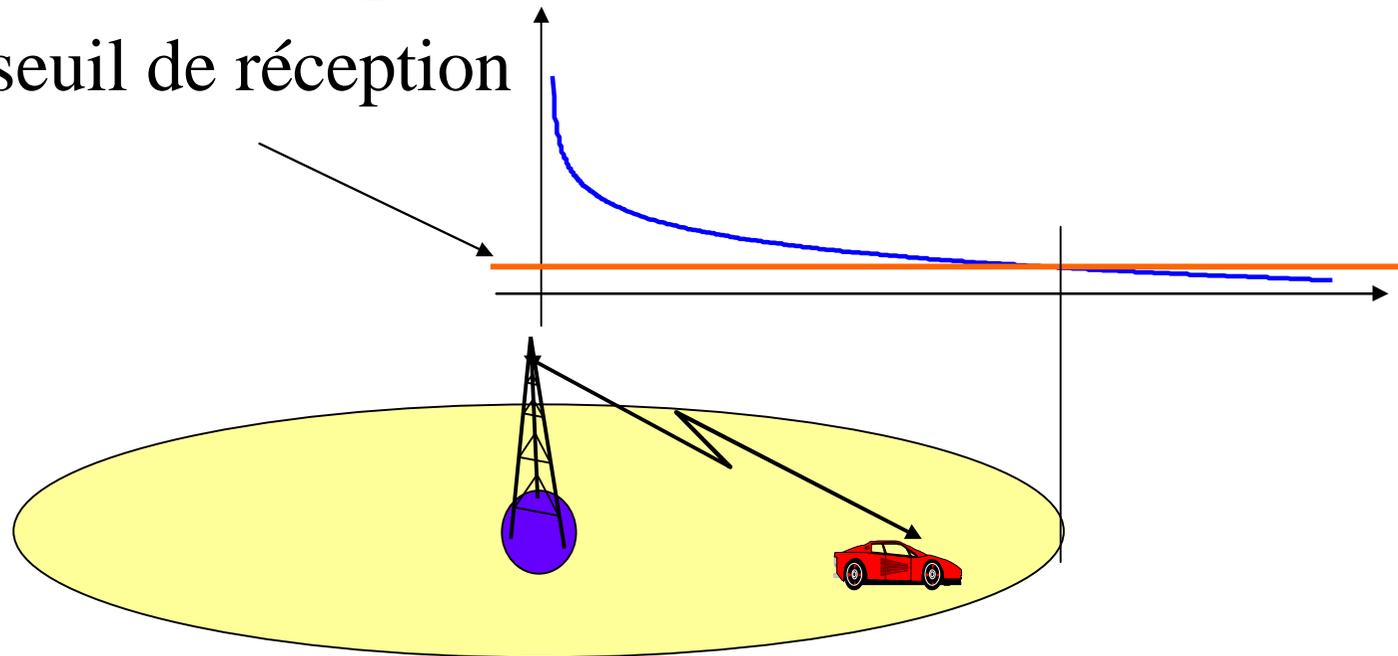
$$P_{mW}(d) = P_{mW}(d_0) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n$$



## *I-1. Concepts de base*

### n C) Seuil de réception

- bruit du récepteur :
- seuil de réception



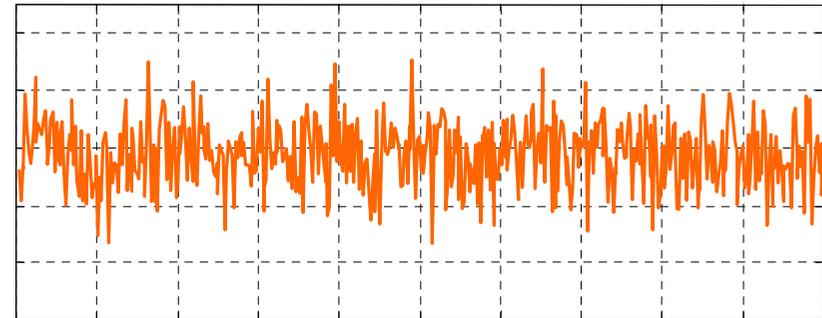
## *I-1. Concepts de base*

### n Propriétés du bruit AWGN lié aux systèmes électroniques de réception

Puissance du bruit :  $N = \kappa \cdot T^\circ \cdot W = N_0 \cdot W$

$\kappa = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K

$T_k = 290$  K (en réf. ,  $T^\circ$  en Kelvin)



Marge de réception (SNR) : XdB relativement au bruit

Exple en GSM :

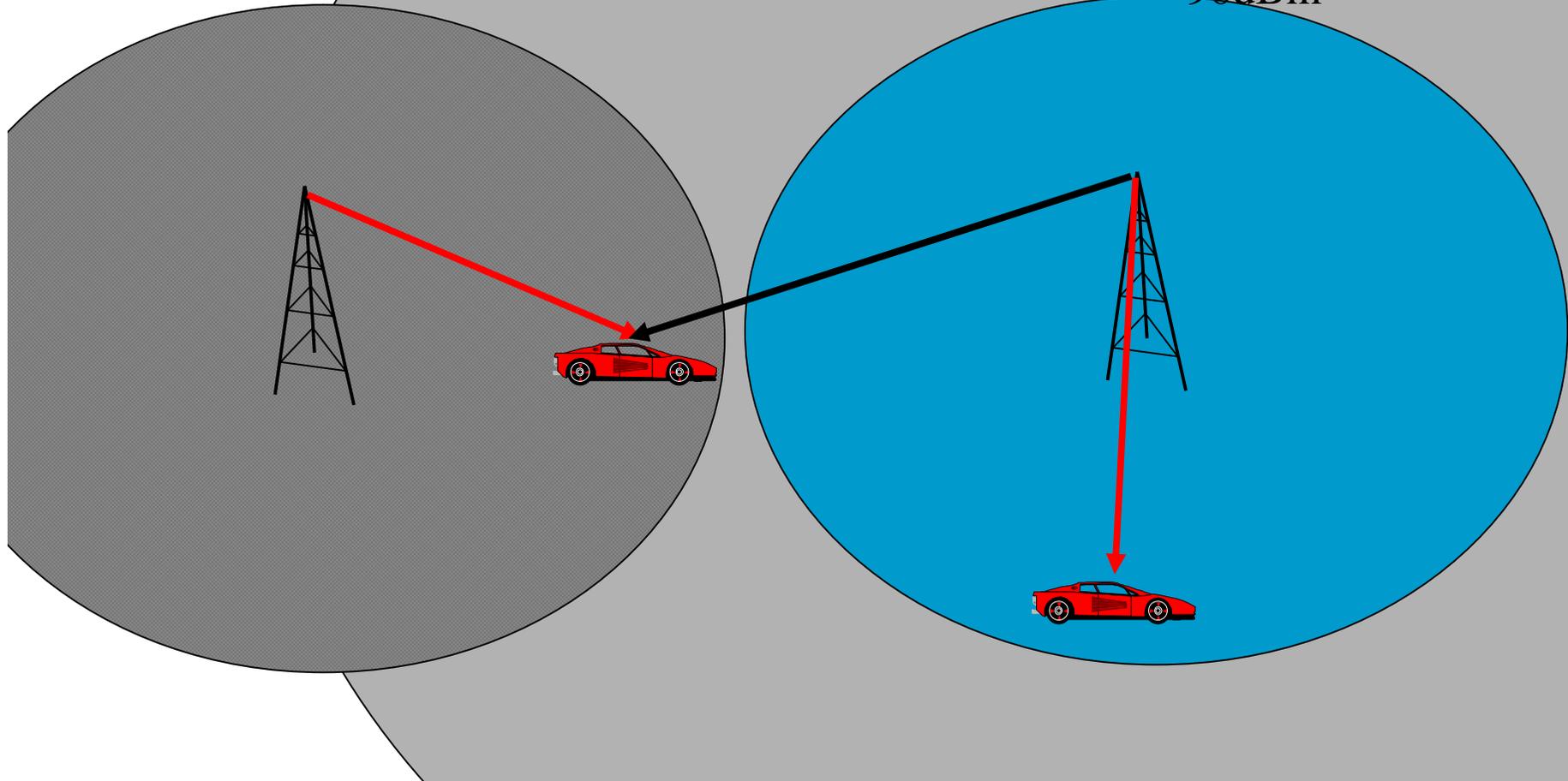
$$N \geq 10^{-6} \text{ nW} \approx -120 \text{ dBm} ; SNR \geq 9 \text{ dB}$$

-120dBm

*I-1. Concepts de base*

n D) Interférences

-90dBm



## I-1. Concepts de base

– 2 contraintes  $\frac{C}{N+I} = SINR \geq S_{I+N}$

$\frac{C}{N} = SNR \geq 2 \cdot S_{I+N}$

$\frac{C}{I} = SIR \geq 2 \cdot S_{I+N}$

Soit en dB :

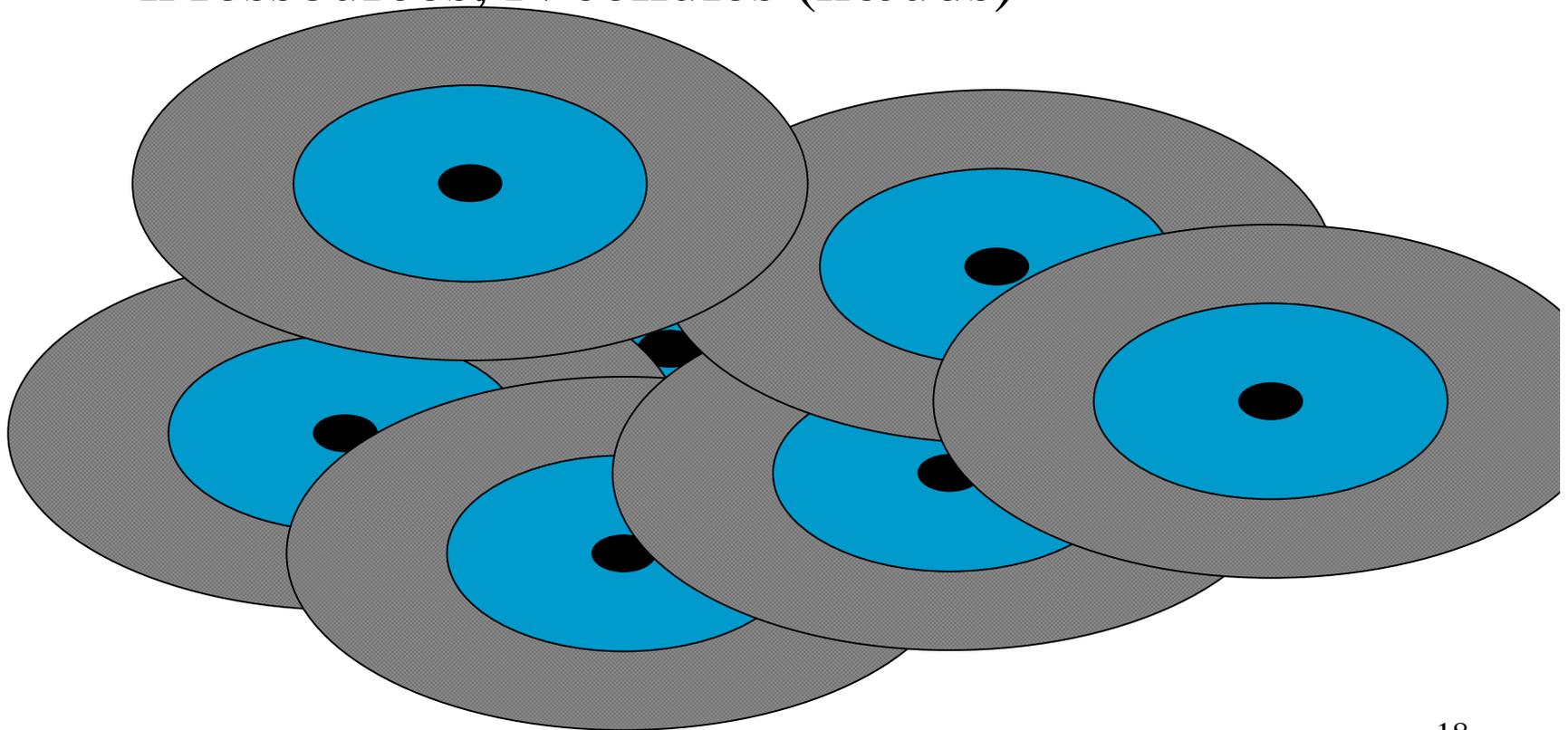
$\frac{C}{N} \geq S_N = S_{I+N} + 3dB$

$\frac{C}{I} \geq S_I = S_{I+N} + 3dB$

## *I-1. Concepts de base*

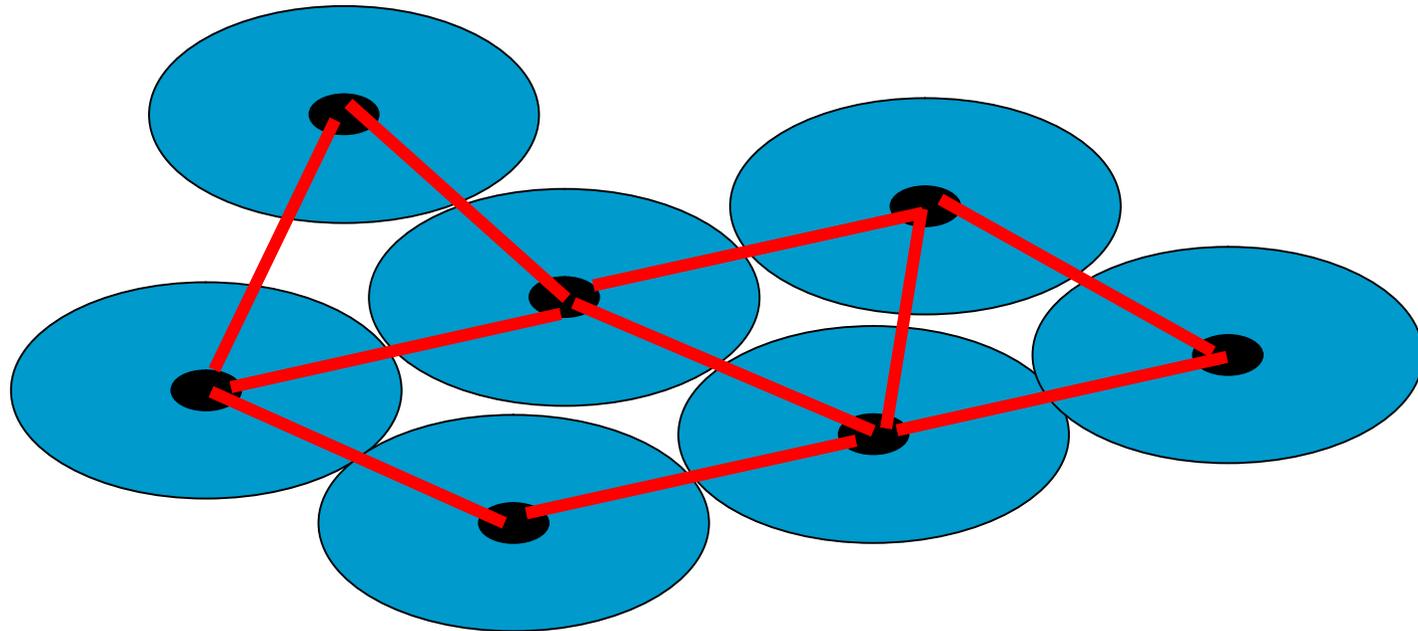
### n E) Affectation des ressources

- k ressources, N cellules (nœuds)



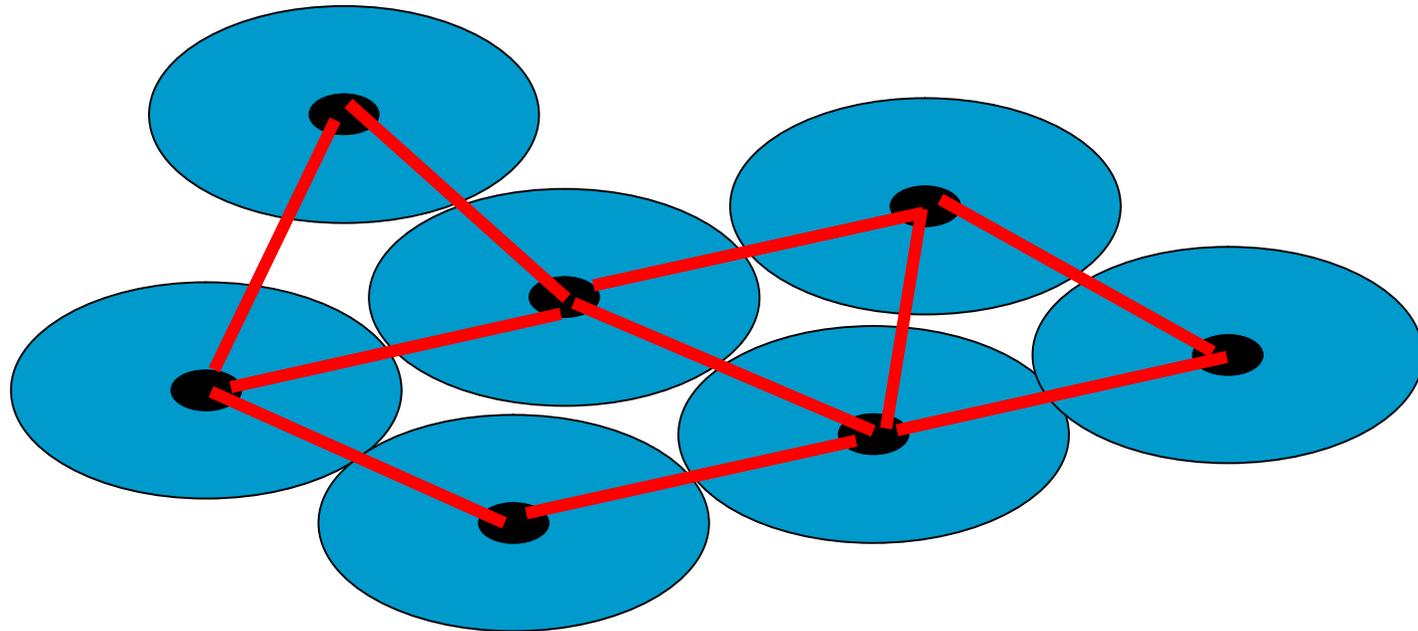
## *I-1. Concepts de base*

- n E) Affectation des ressources
  - coloriage de graphes, k-couleurs.

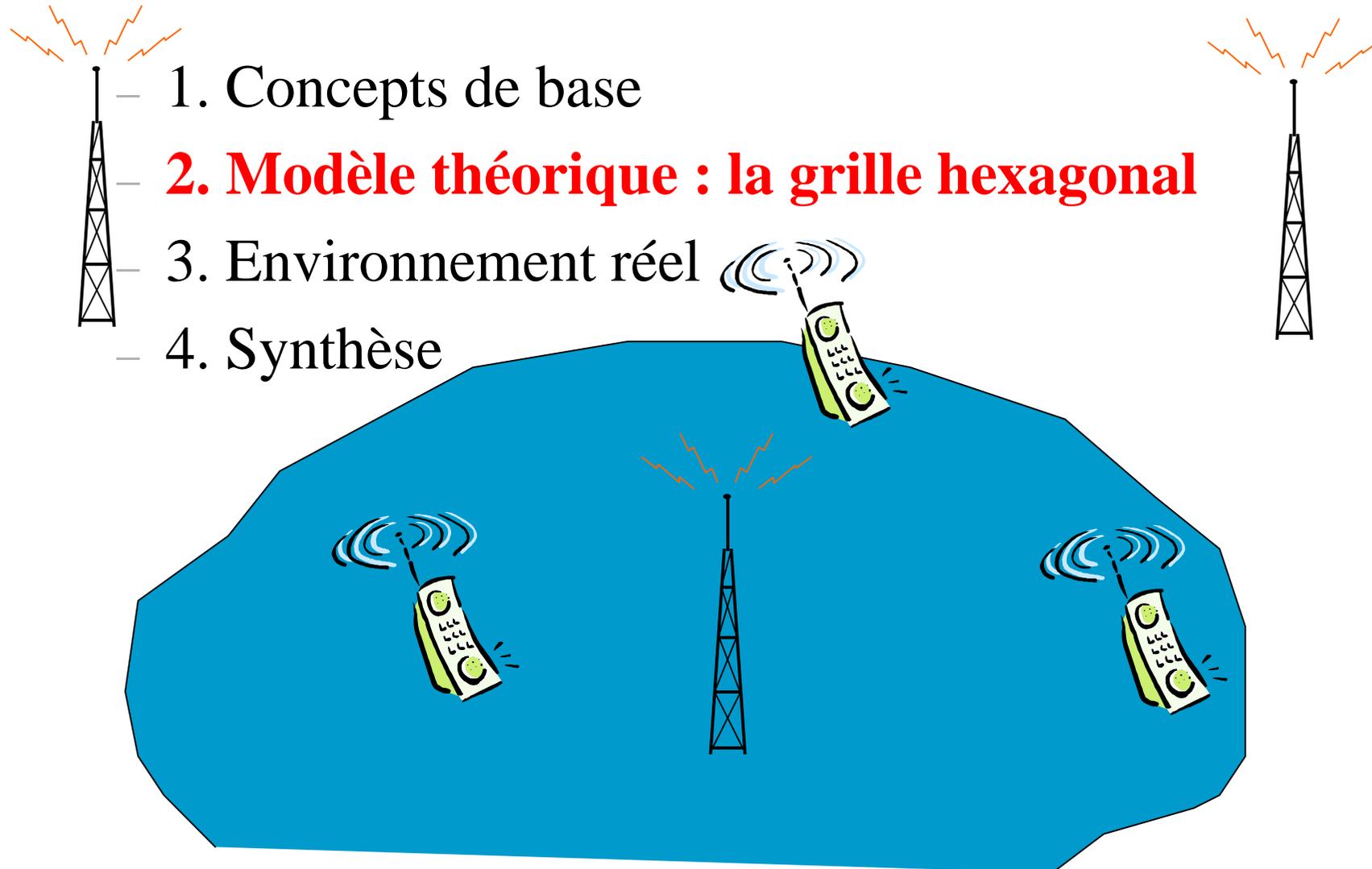


## *I-1. Concepts de base*

- n E) Affectation des ressources
  - répartition statique ou dynamique



# I- Principes des réseaux cellulaires



## *I-2. La grille hexagonale*

### n A) Choix d'un modèle

– problématique :

n théorique = espace libre = isotrope.

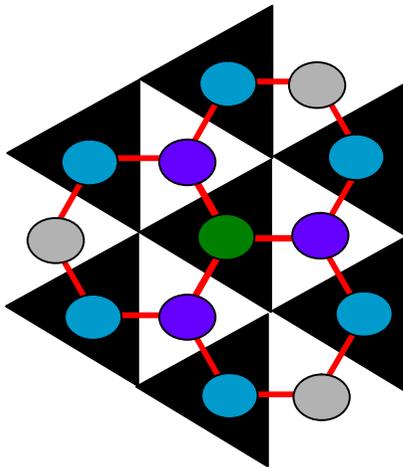
n Structure régulière = voisinage homogène

n 1 cellule = k voisines équidistantes

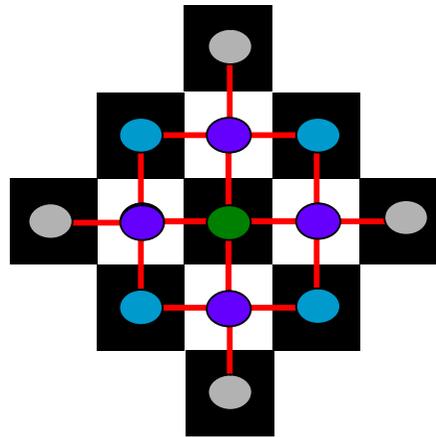
## I-2. La grille hexagonale

### n A) Choix d'un modèle

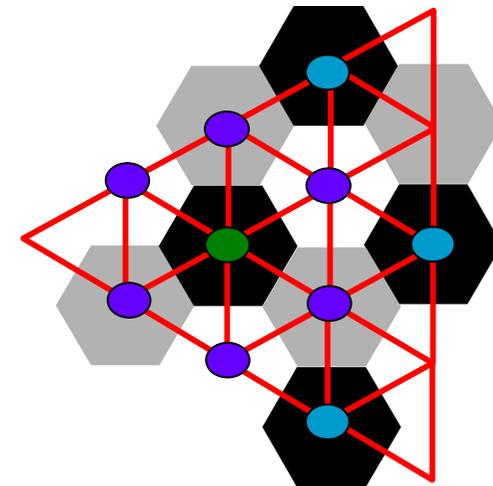
– solutions :



3-connexité  
>12 voisines



4-connexité  
>8 voisines



6-connexité  
>6 voisines

*Positionnement de cercles  
avec recouvrement minimal*

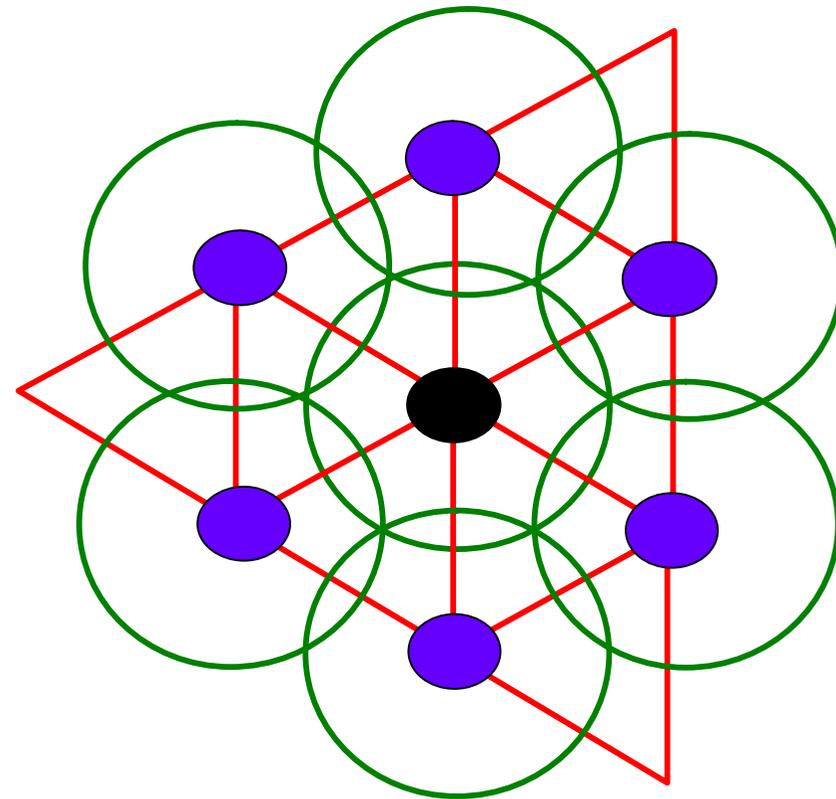
## *I-2. La grille hexagonale*

n B) Zone de service

– hexagonale

n définition :

– le plus fort signal

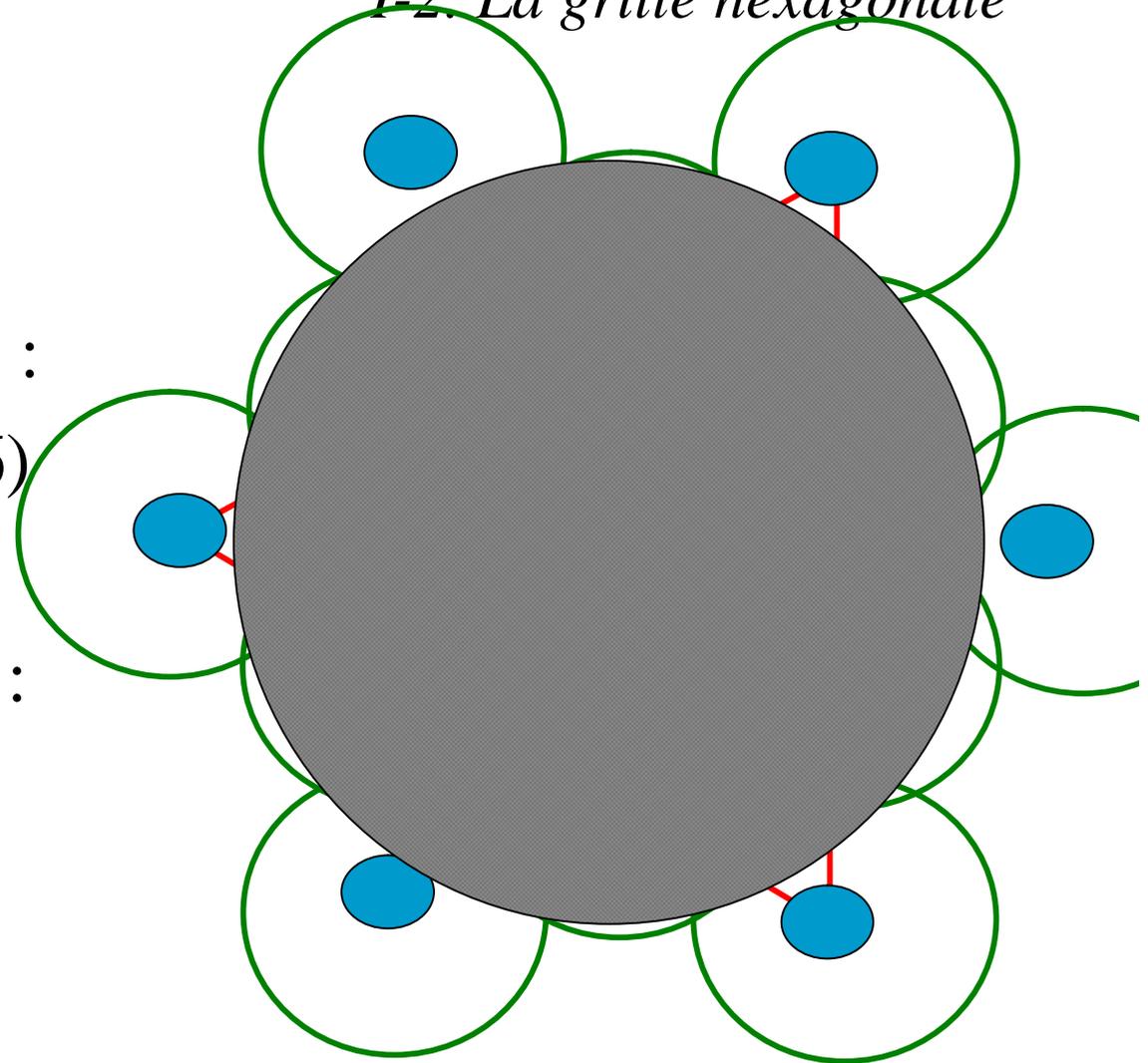


## I-2. La grille hexagonale

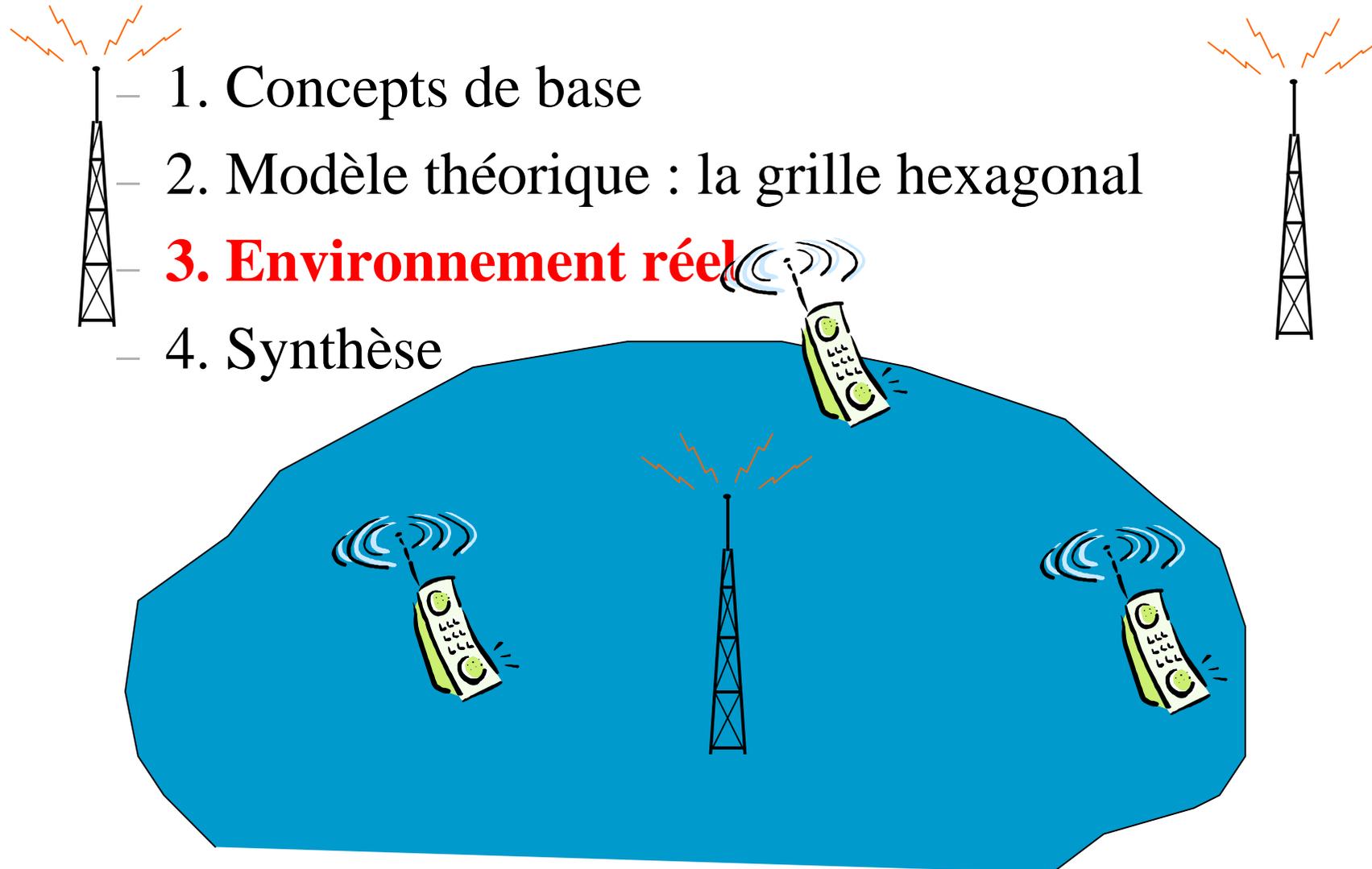
### n C) voisinage

– au sens réseau :  
recouvrement (6)

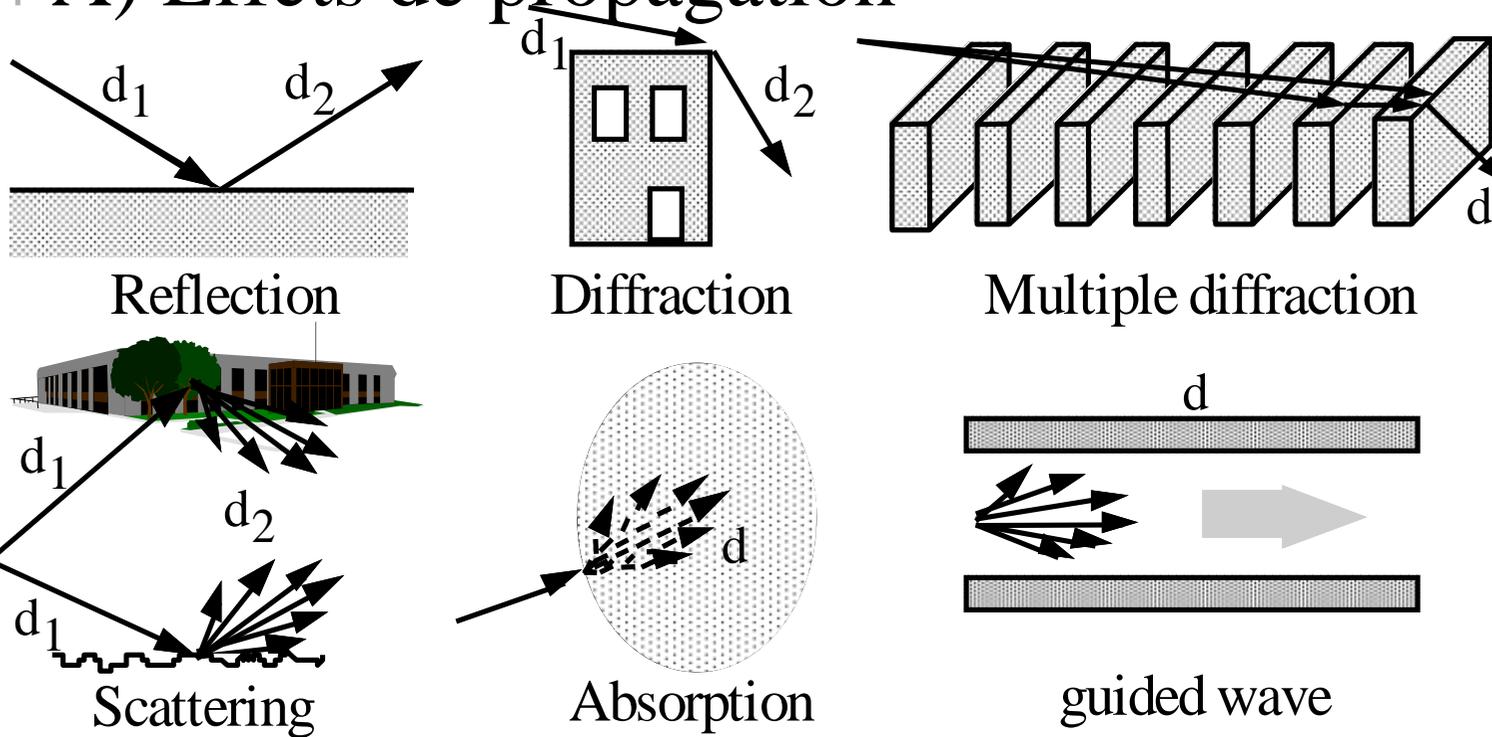
– au sens signal :  
brouillage (>6)



# I- Principes des réseaux cellulaires

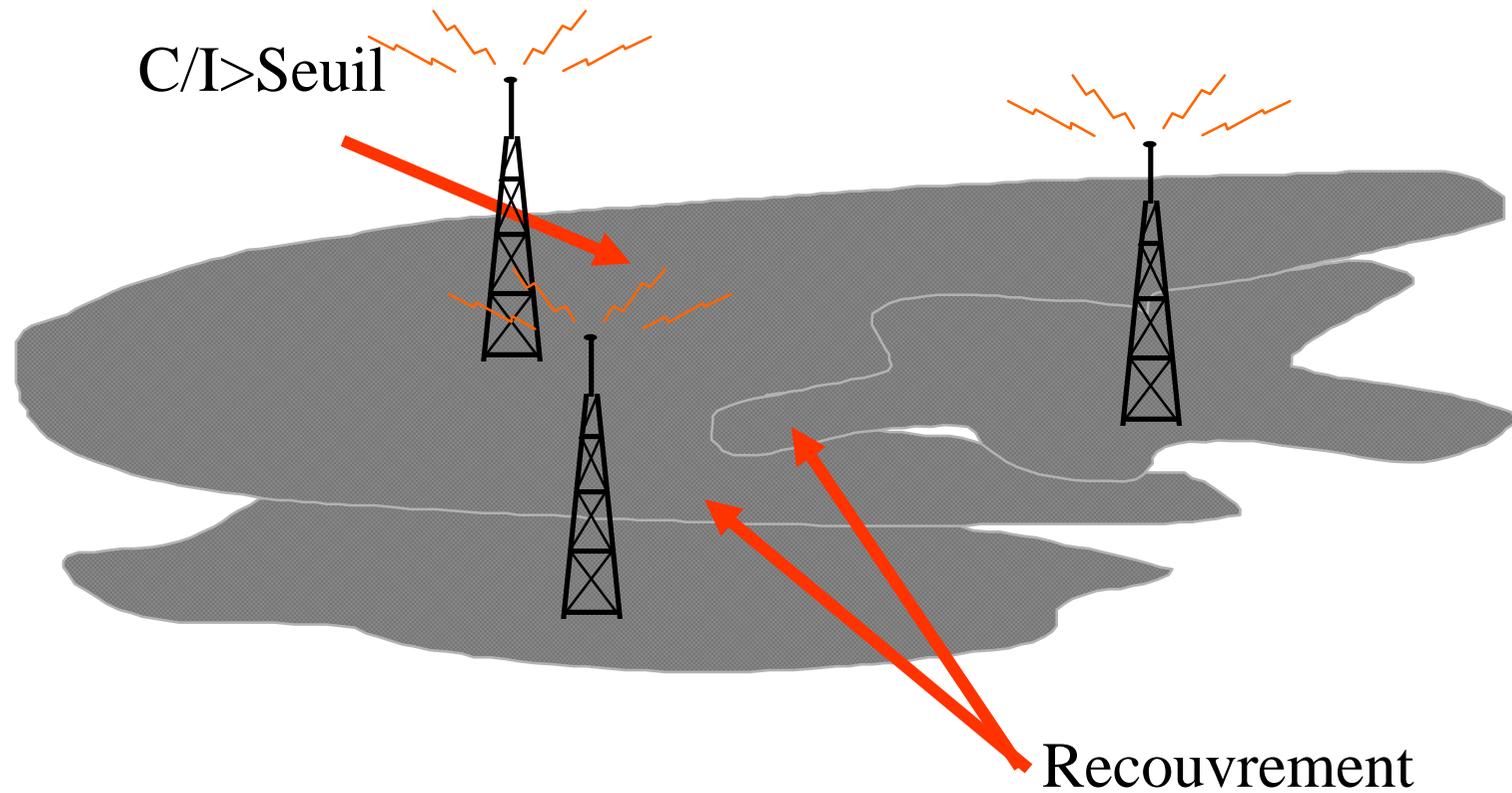


n A) Effets de propagation



## *I-3 Environnement réel*

### – B) Zone de services de la cellule



## *I-3 Environnement réel*

### n Définition de la zone de service

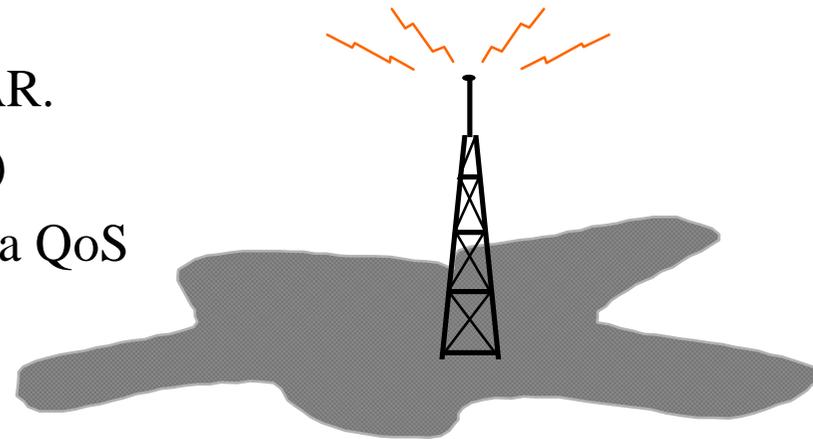
- $C/N > \text{limite}$  :  $P_r > P_{\text{seuil}}$  (-96dBm)  
(dépend de la puissance d'émission)

- $C/I > \text{limite}$

$$I = IIS + IIF + IIC$$

- $\text{distance} < \text{dist\_max}$   
temps AR.

- $\text{BER} < \text{limite}$  ( $< 10^{-3}$ )  
définir la QoS



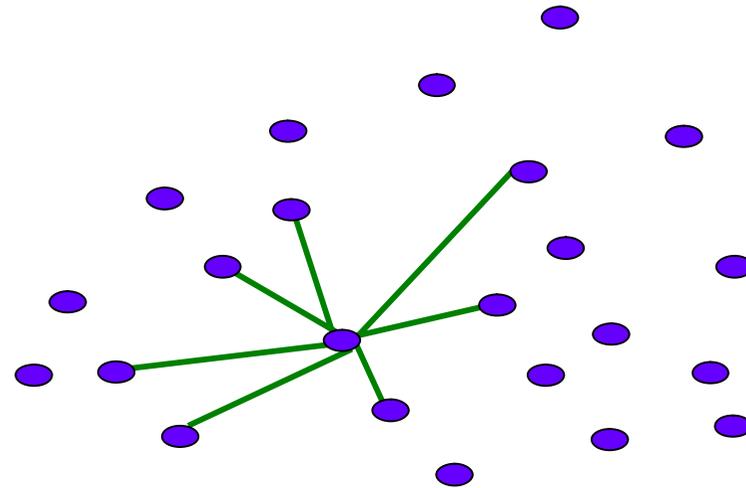
### *I-3 Environnement réel*

- C) Graphe associé

- n k cellules voisines

- (recouvrement)

- n n cellules brouillées

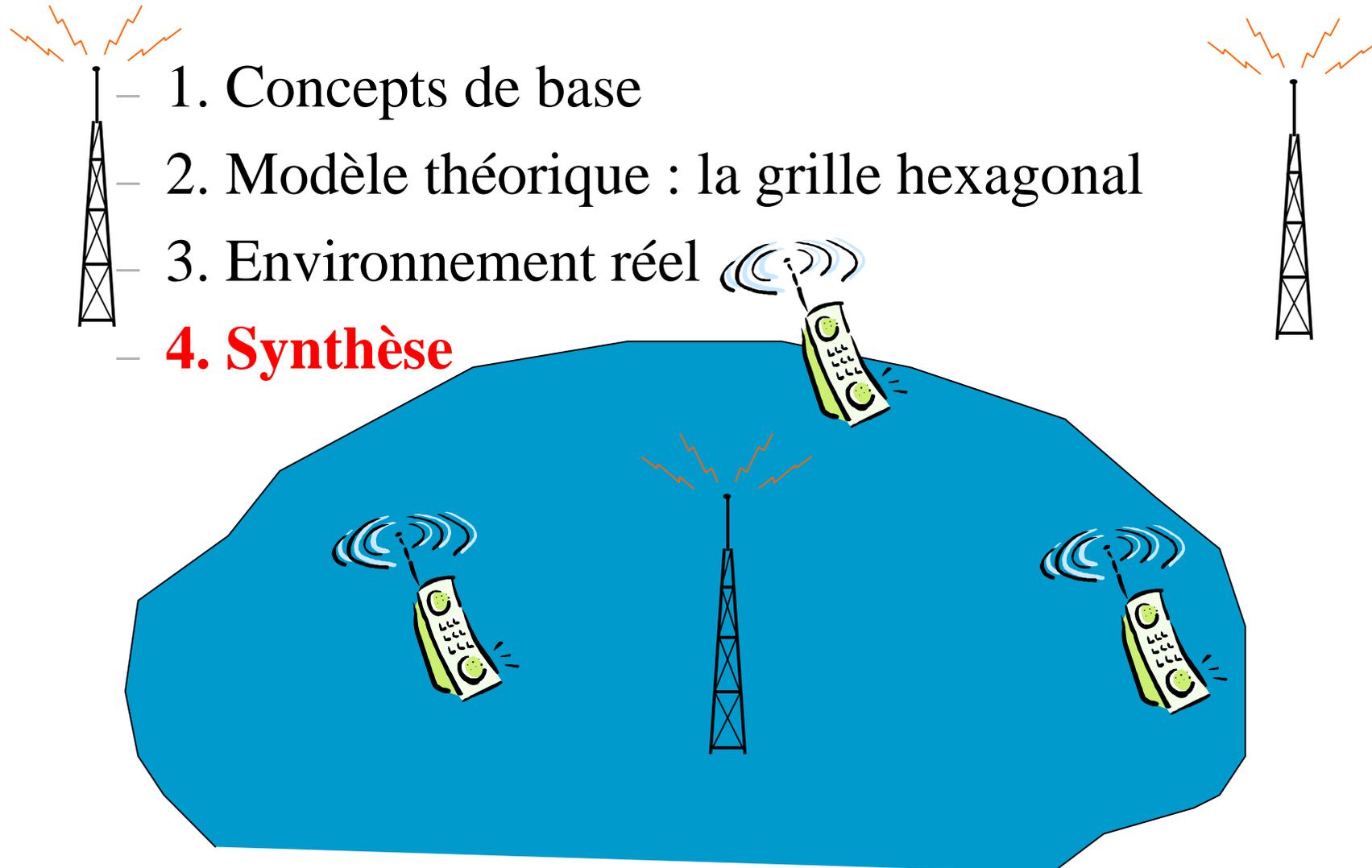


- graphe non régulier,

- zones de services non uniformes

n *objectif : se rapprocher d'une répartition équitable.*

# I- Principes des réseaux cellulaires



## *I-4 Synthèse*

- A) modèle théorique de référence : hexagonal
- B) modèle réel est défini par :
  - n sa zone de service
  - n sa zone de brouillage ou interférences
  - n 2 graphes sous-jacent :
    - *voisinage au sens réseau (recouvrement)*
    - *voisinage au sens signal (interférences)*
- C) objectif :
  - n *répartir des ressources de façon optimale*

# Plan général

I. Principe des réseaux cellulaires

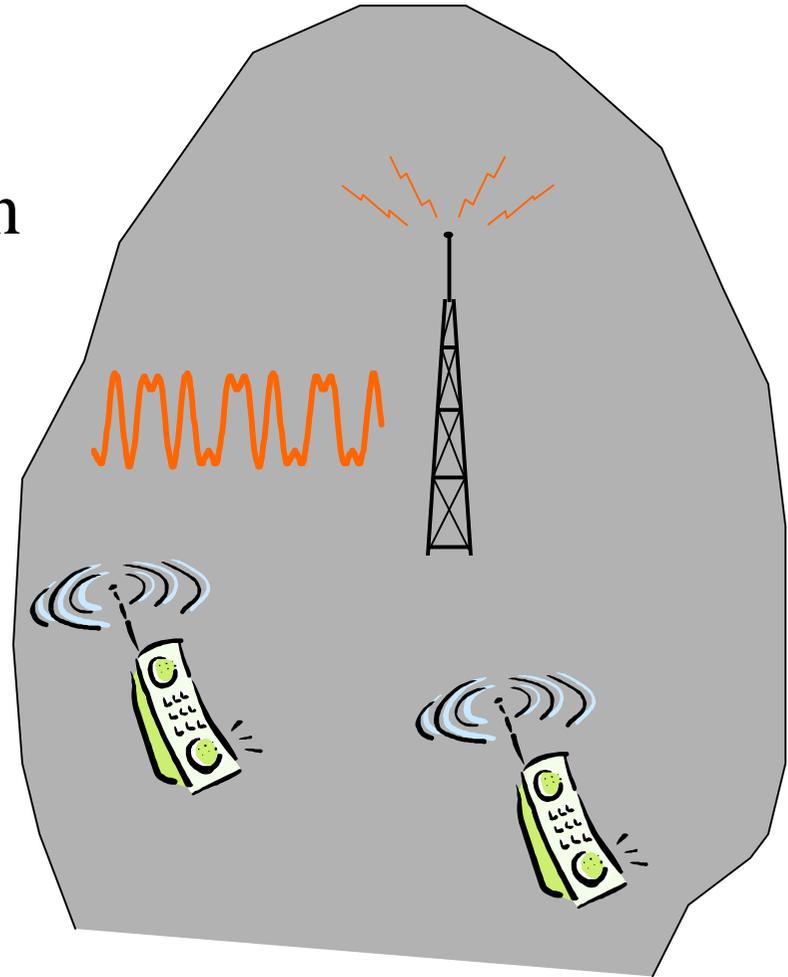
**II. Caractéristiques des ressources radio**

III. Partage des ressources

IV. Ingénierie cellulaire

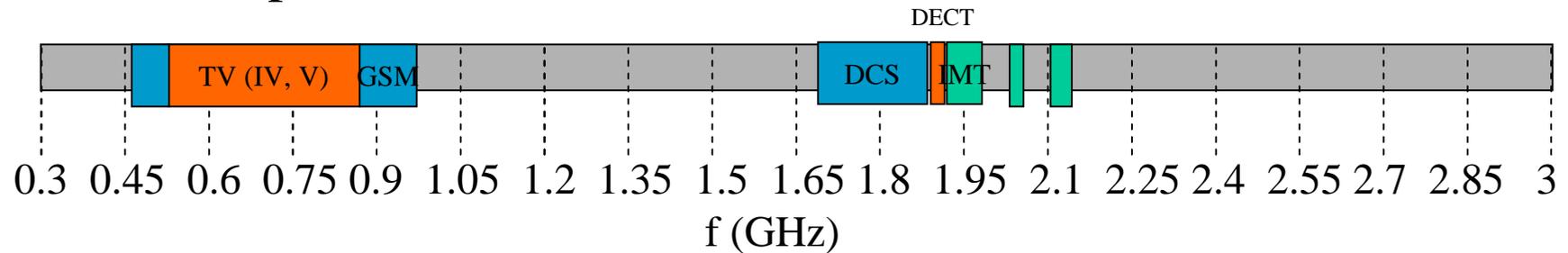
# II- Caractéristiques des ressources radio

- **1. Le spectre radio**
- 2. Principes de modulation
- 3. Notion de bruit
- 4. Capacité de canal
- 5. Interférences
- 6. Synthèse



## II-1. Le spectre radio

### – Exemples d'utilisation de la bande UHF

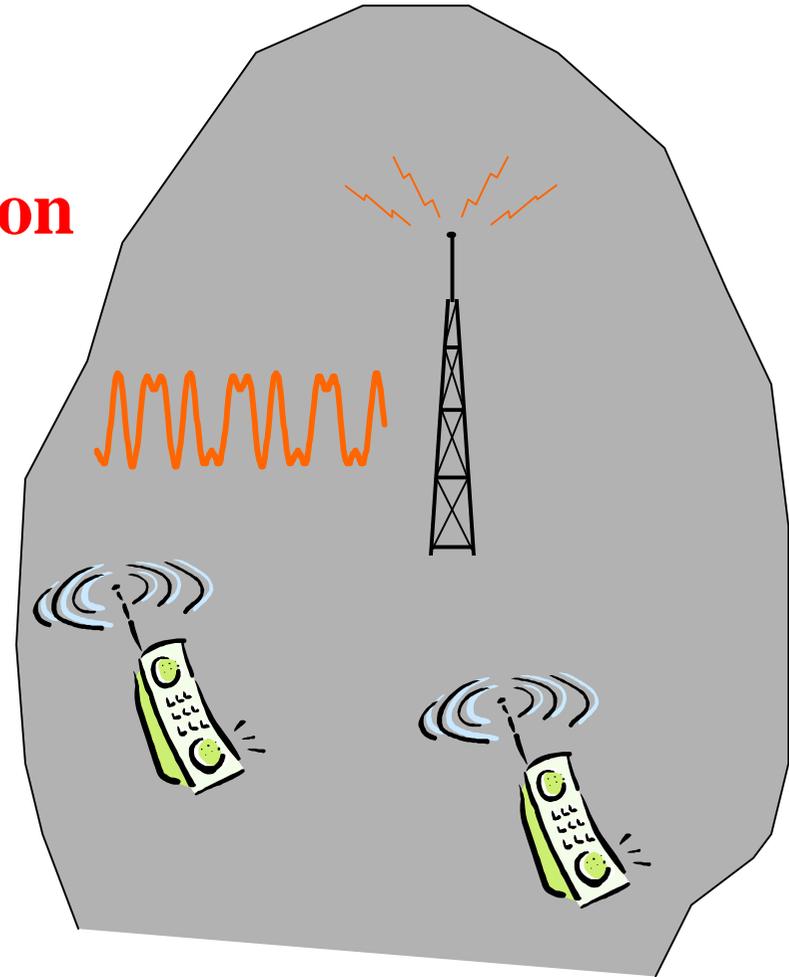


### – Applications :

- n diffusion TV
- n radiomobiles
- n faisceaux hertziens
- n satellites
- n surveillance radar
- n GPS

# II- Caractéristiques des ressources radio

- 1. Le spectre radio
- **2. Principes de modulation**
- 3. Notion de bruit
- 4. Capacité de canal
- 5. Interférences
- 6. Synthèse

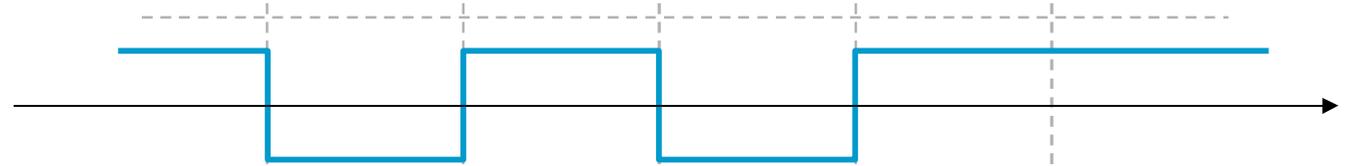


## II-2. La modulation

### – A) signal en bande de base

n signal bipolaire

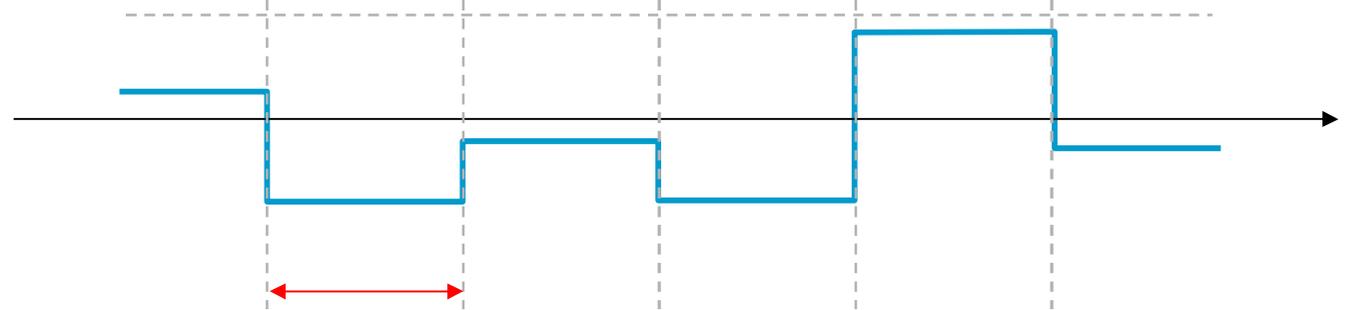
1 0 1 0 1 1



n signal M-polaire

10 00 01 00 11 01

$M=2^k$



$$T_s = k \cdot T_b$$

$$R_b = k \cdot R_s$$

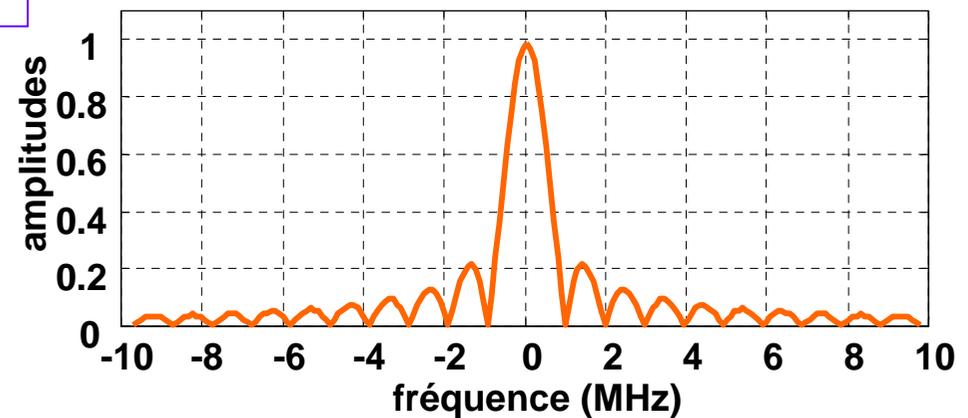
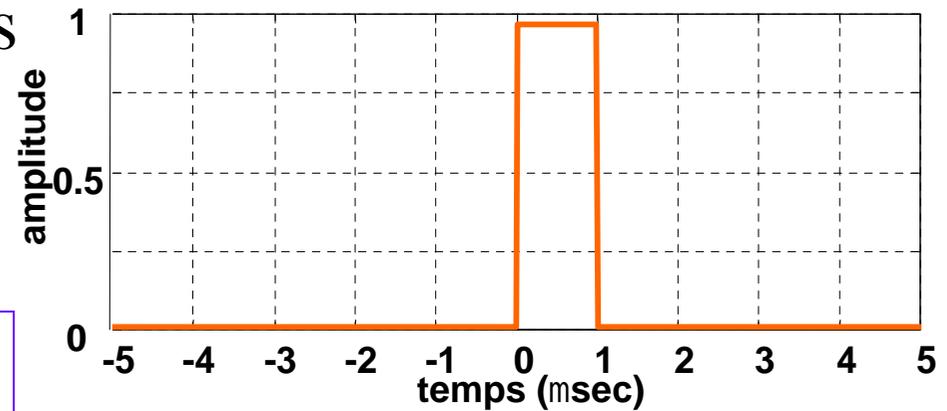
## II-2. La modulation

### – B) Propriétés spectrales

n **spectre d'un symbole**

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

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



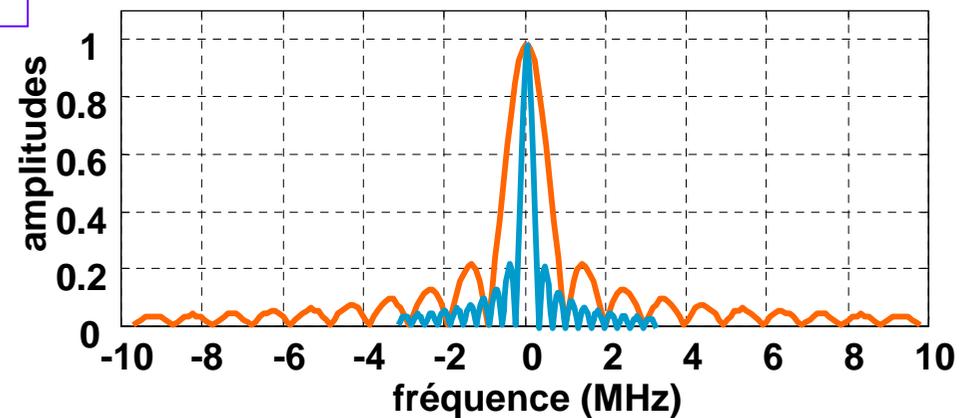
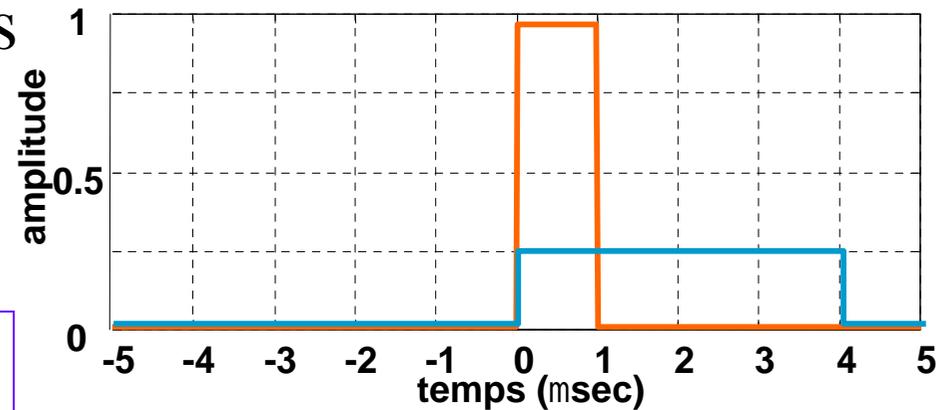
## II-2. La modulation

### – B) Propriétés spectrales

n **spectre d'un symbole**

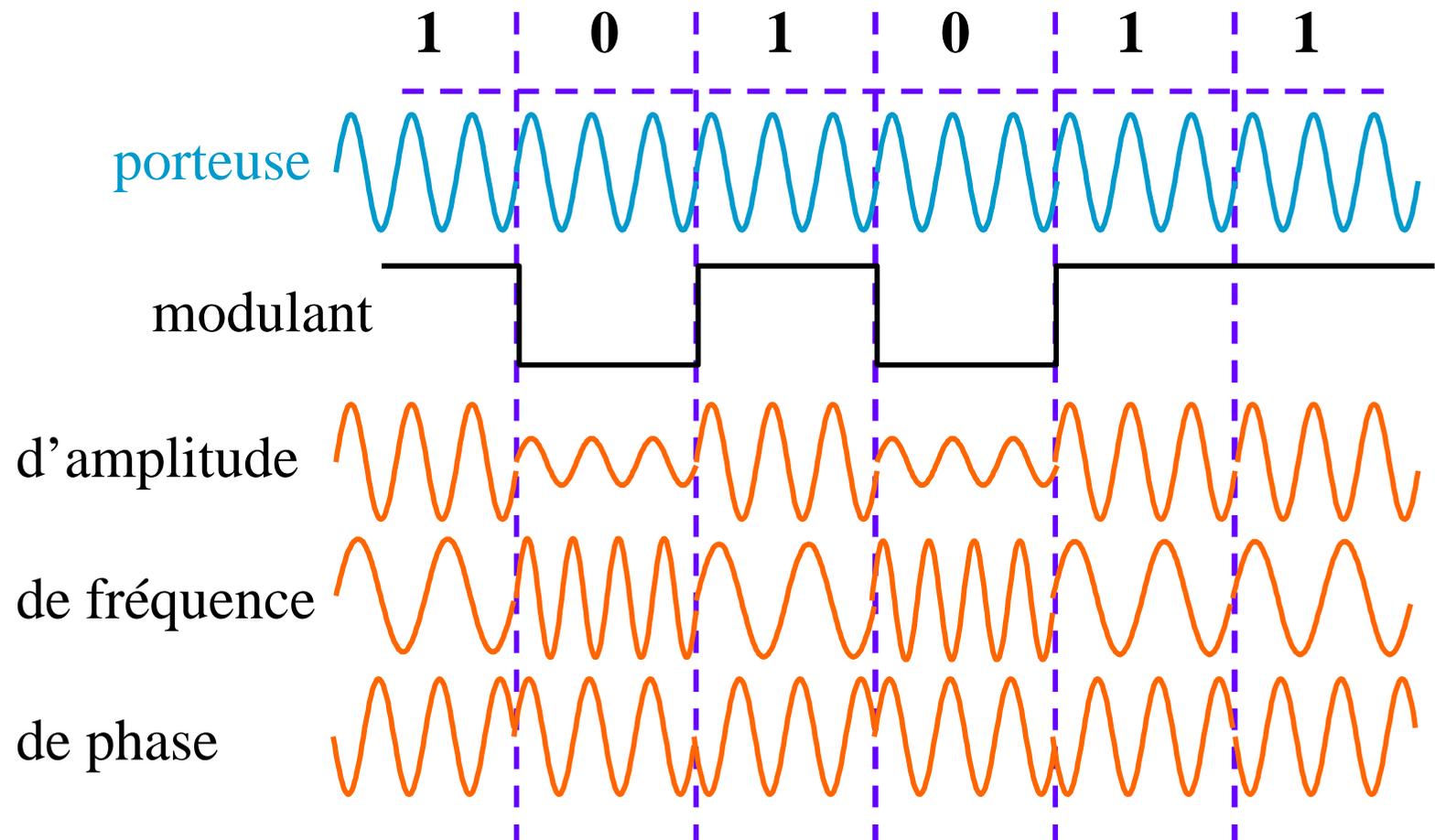
$\Delta f = 2/T$  (lobe principal)

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



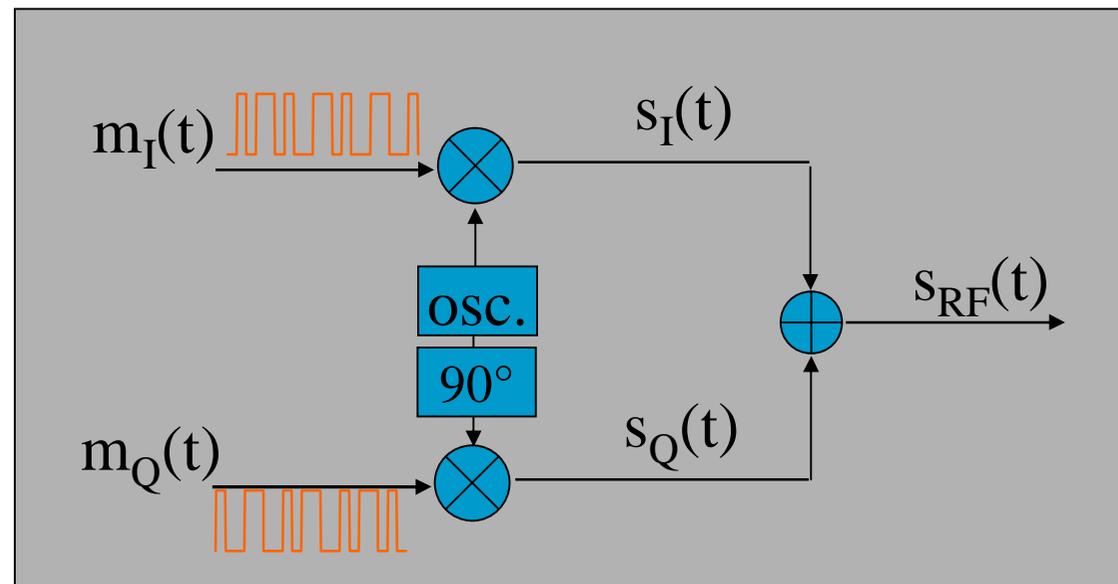
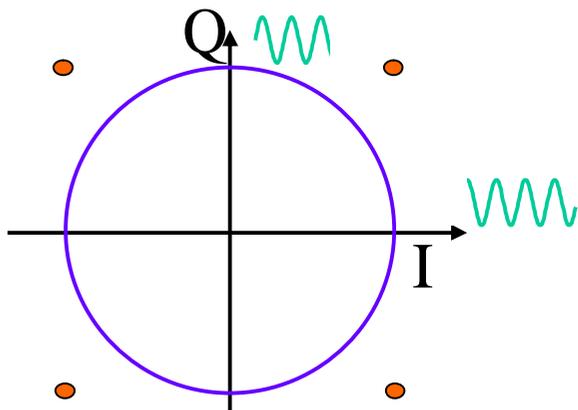
## II-2. La modulation

### – C) modulation



## II-2. La modulation

- Modulation sur 2 porteuses en quadrature

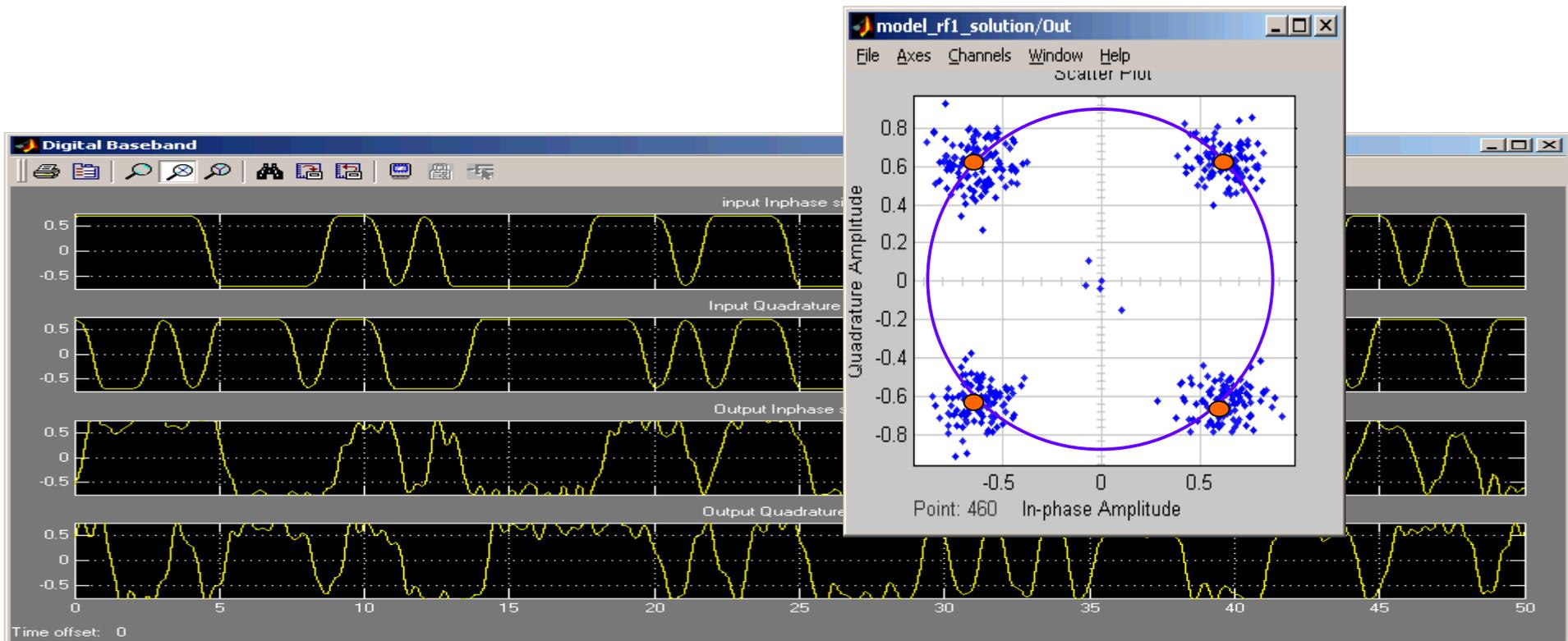


$$s_{RF}(t) = m_I(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) + m_Q(t) \cdot \sin(2\pi f_0 t)$$

## II-2. La modulation

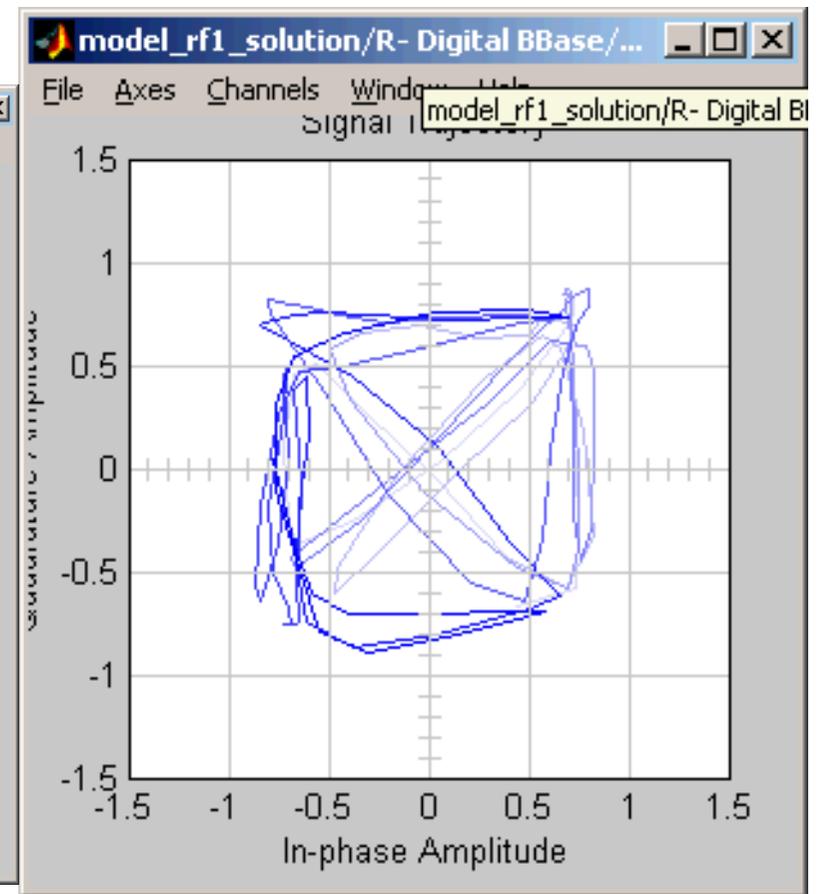
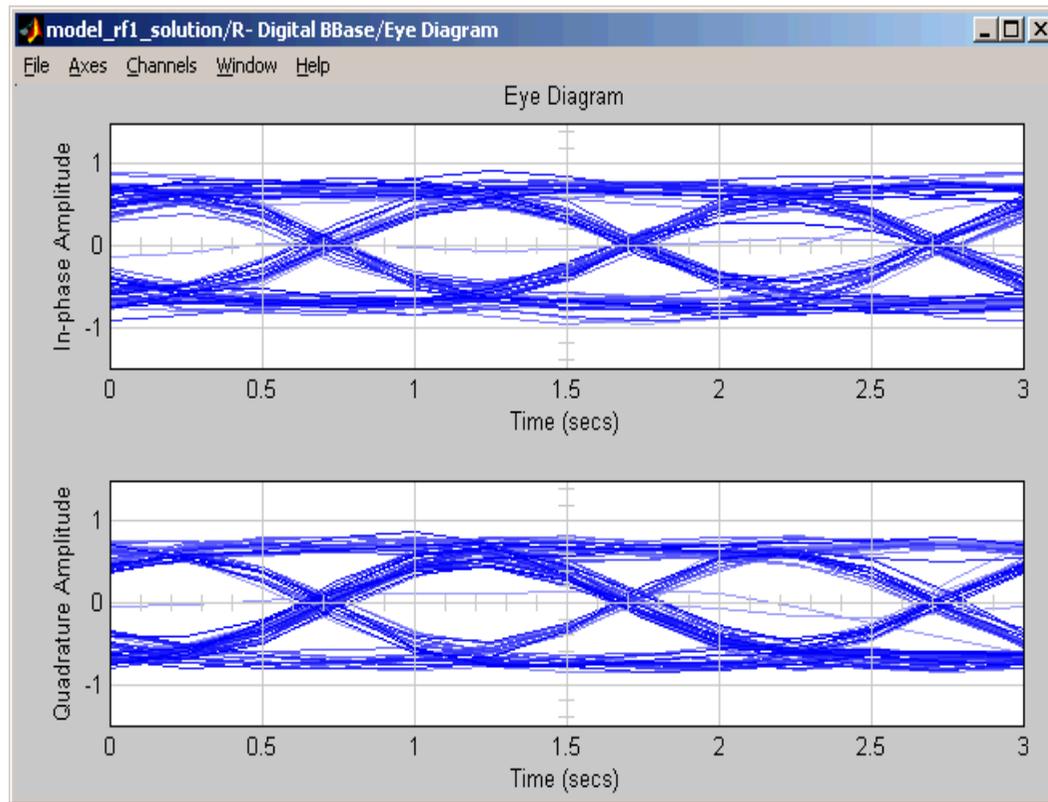
### – D) Constellations

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



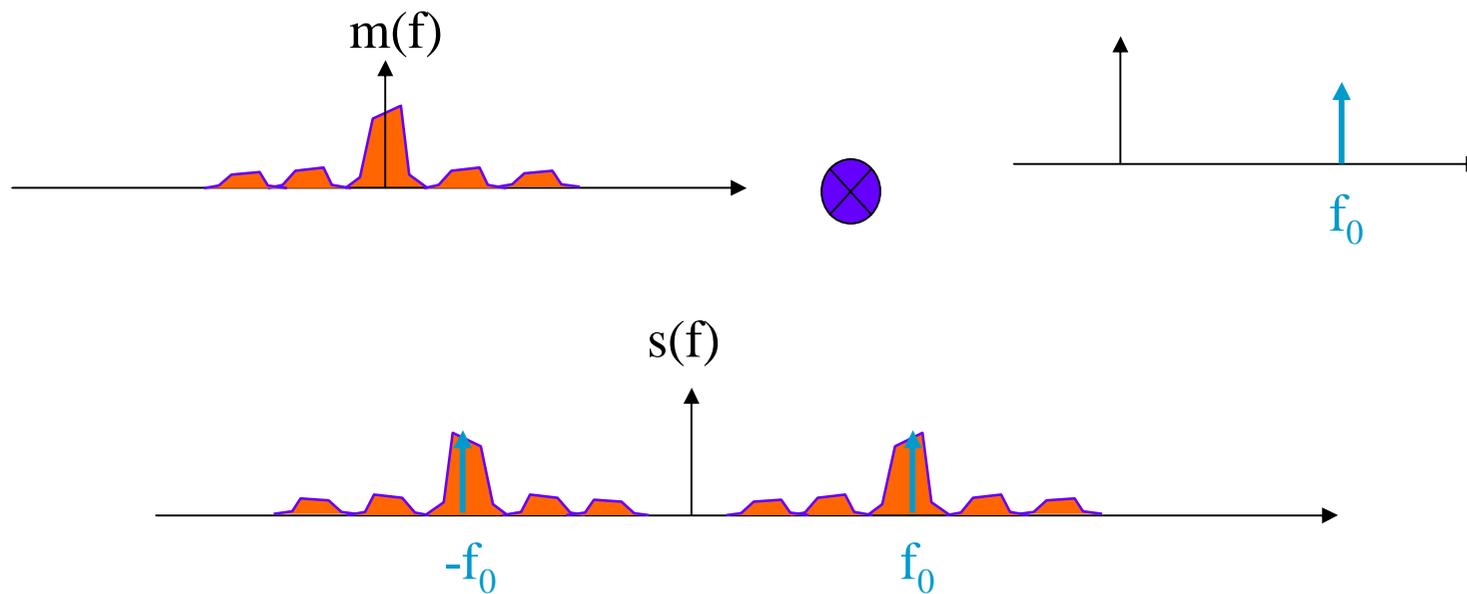
## II-2. La modulation

### – Autres représentations



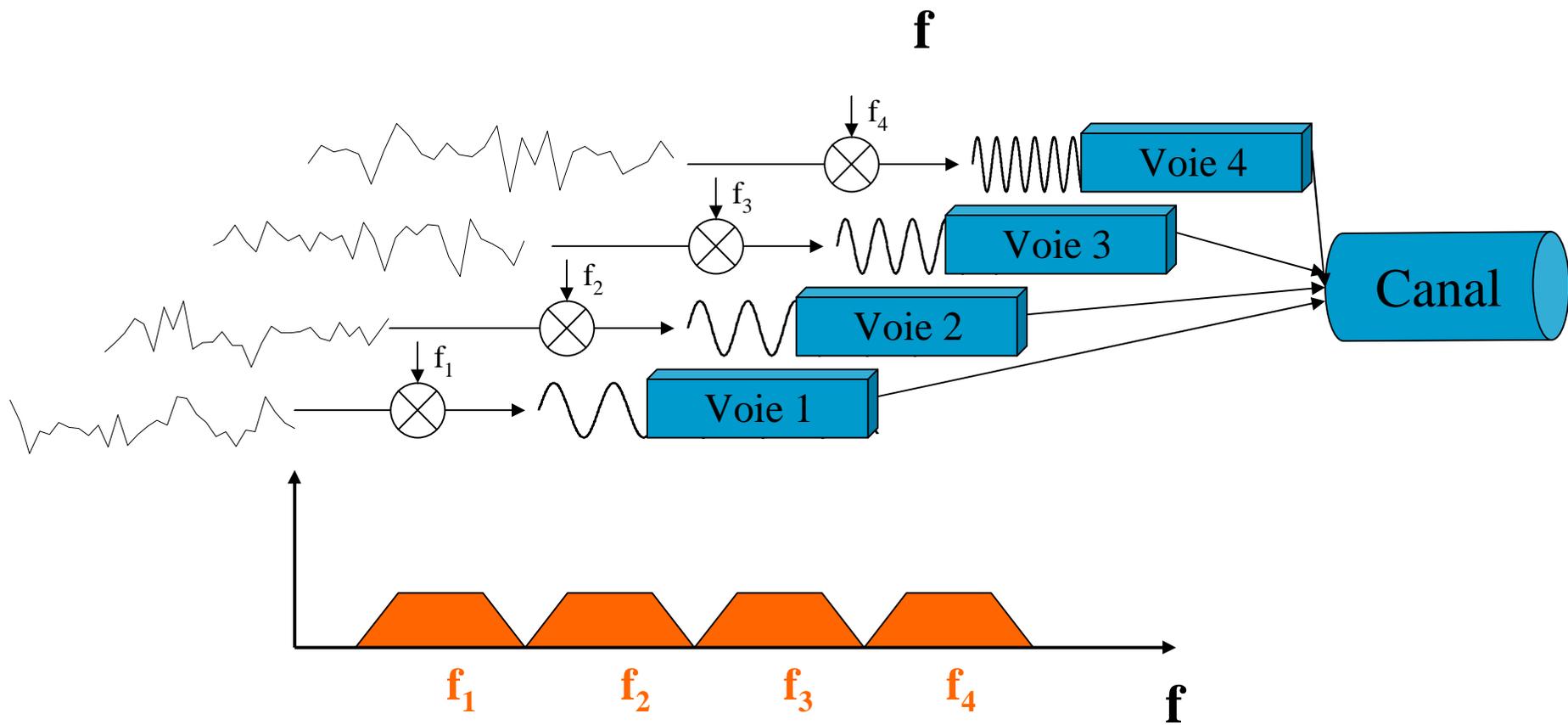
## II-2. La modulation

### – E) Spectre après modulation



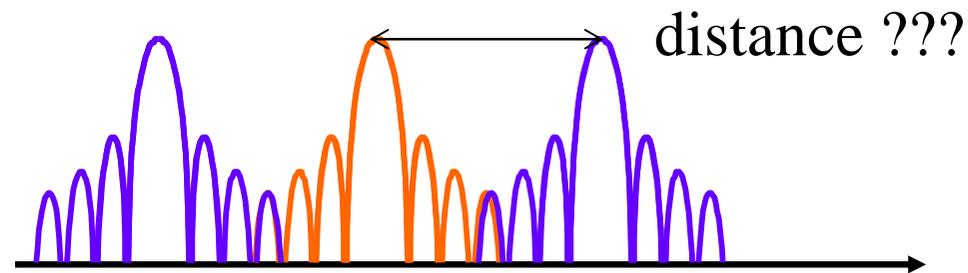
## II-2. La modulation

### – F) Multiplexage fréquentiel



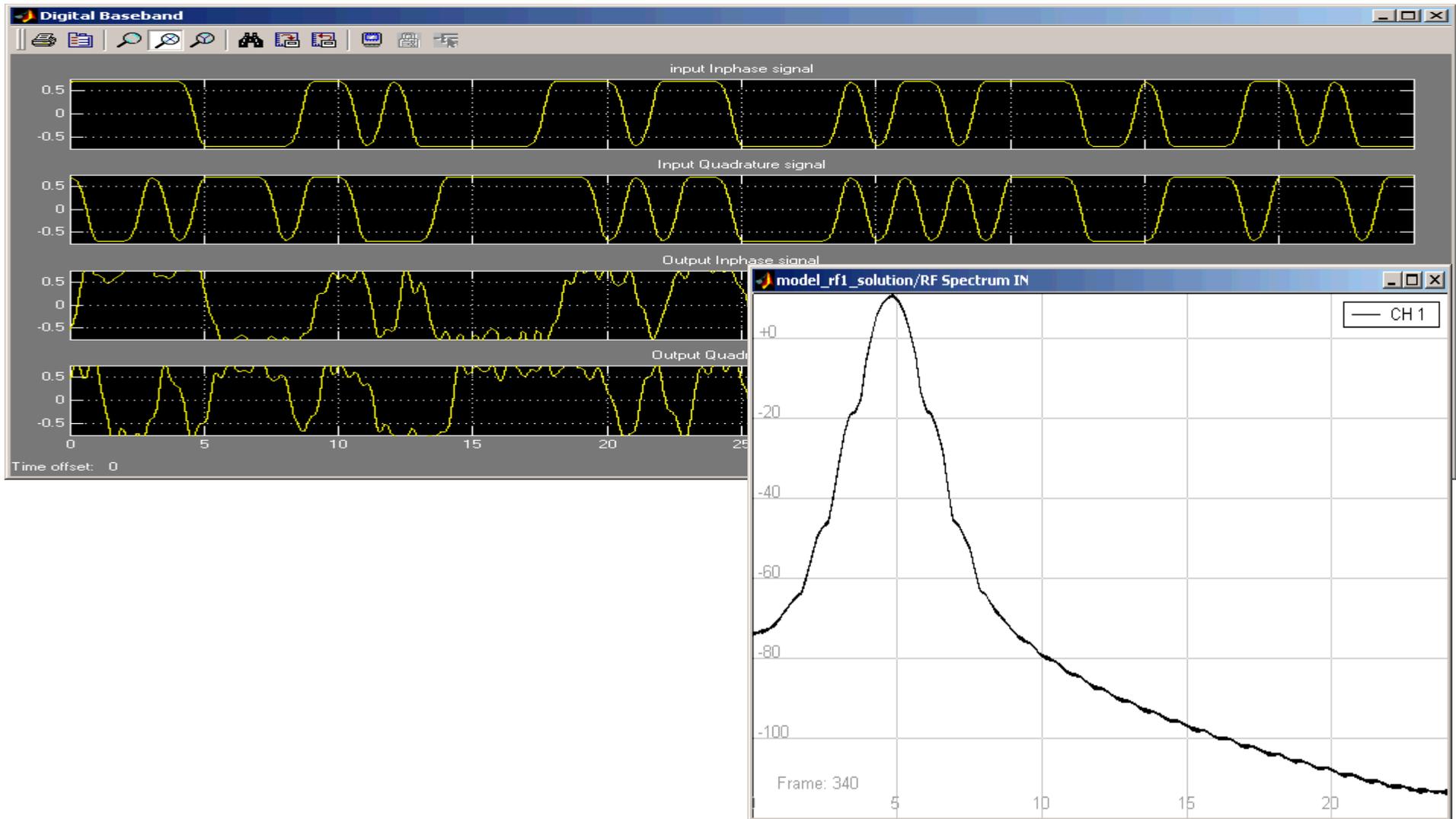
## *II-2. La modulation*

La distance entre porteuses est estimée en fonction d'un taux d'interférences acceptable



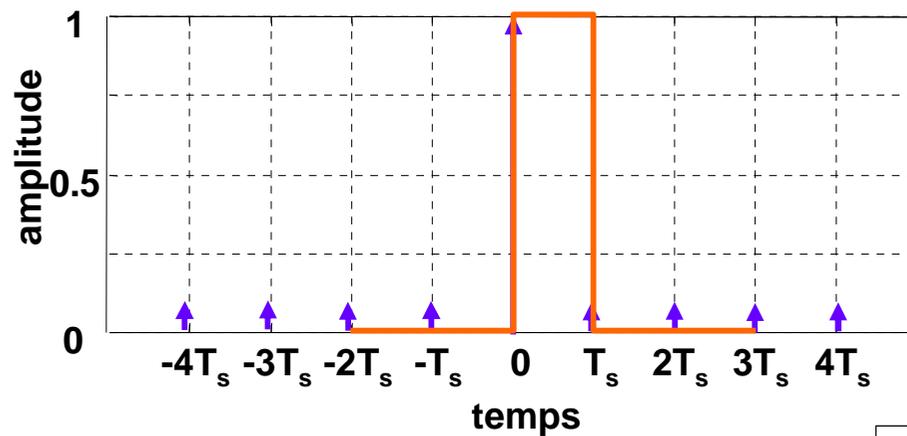
Le taux d'interférences engendre un taux d'erreur variable en fonction de la modulation choisie

## II-2. La modulation



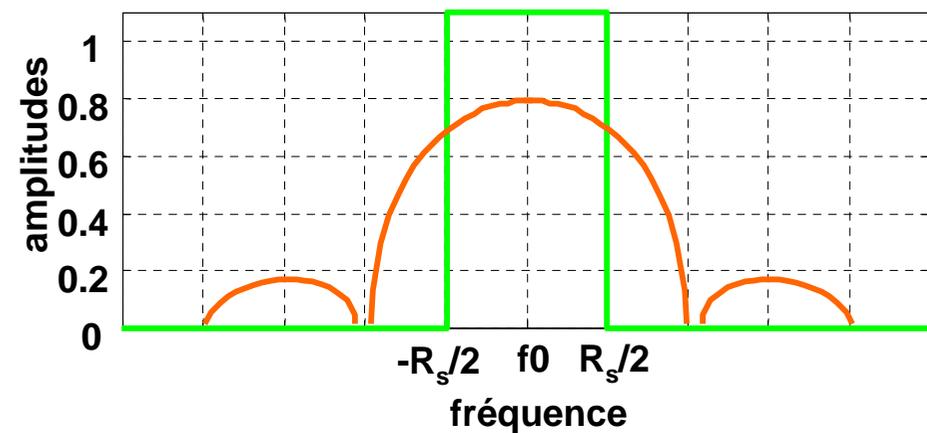
## II-2. La modulation

### – G) Réduire l'occupation spectrale



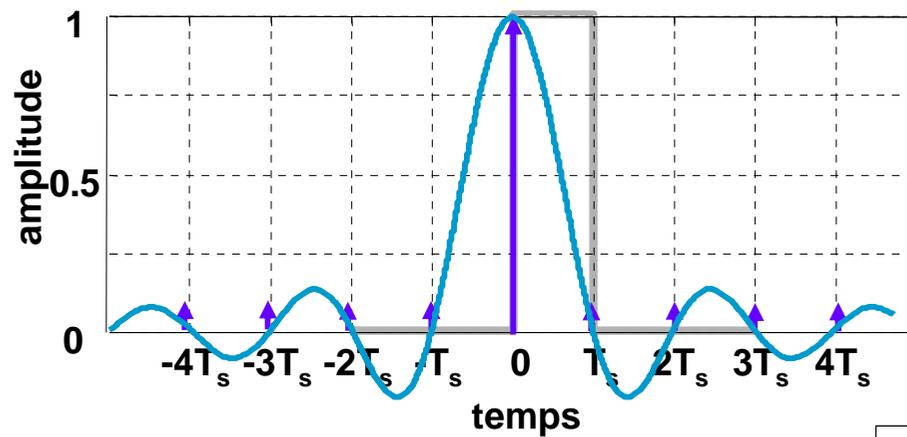
Durée symbole :  $T_s$

Largeur spectrale : infinie



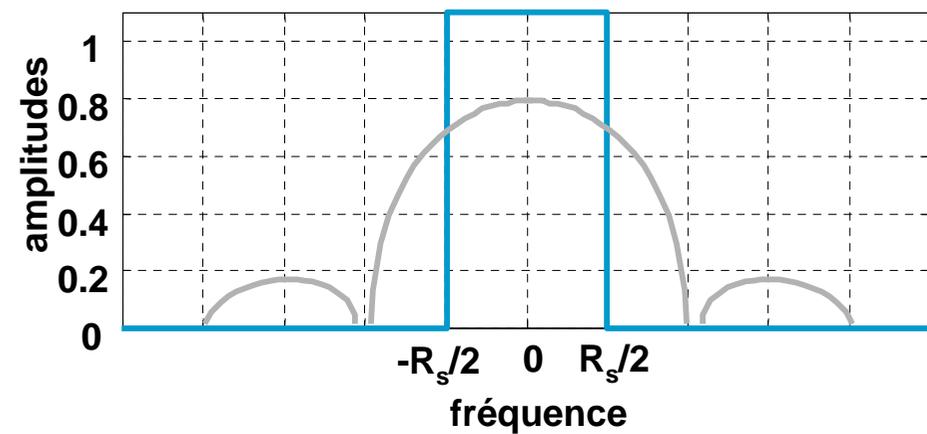
## II-2. La modulation

### – G) Réduire l'occupation spectrale



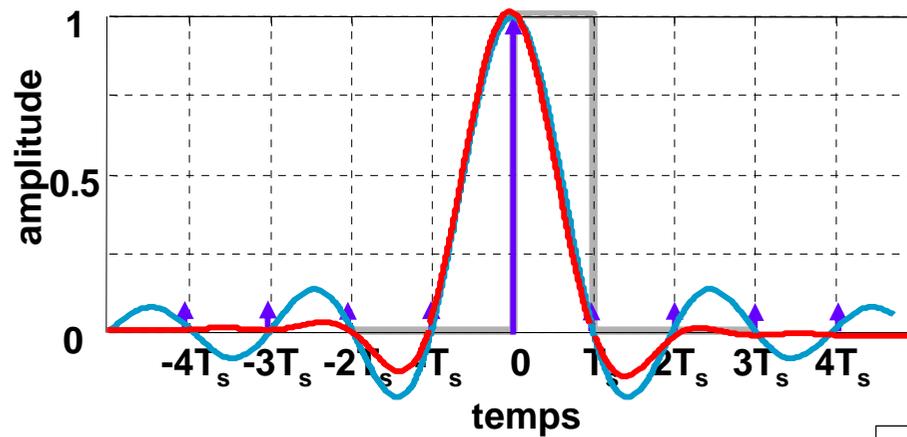
Durée symbole :  
infinie

Largeur spectrale :  $R_s$ .



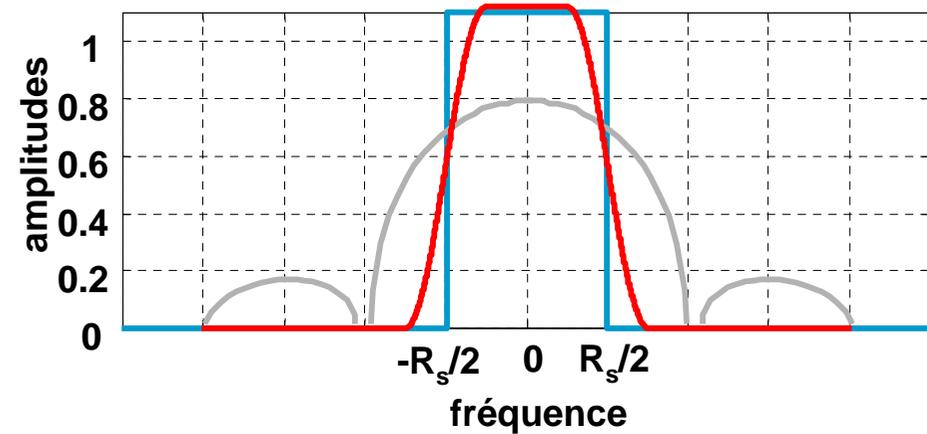
## II-2. La modulation

– G) Compromis : durée/occupation spectrale



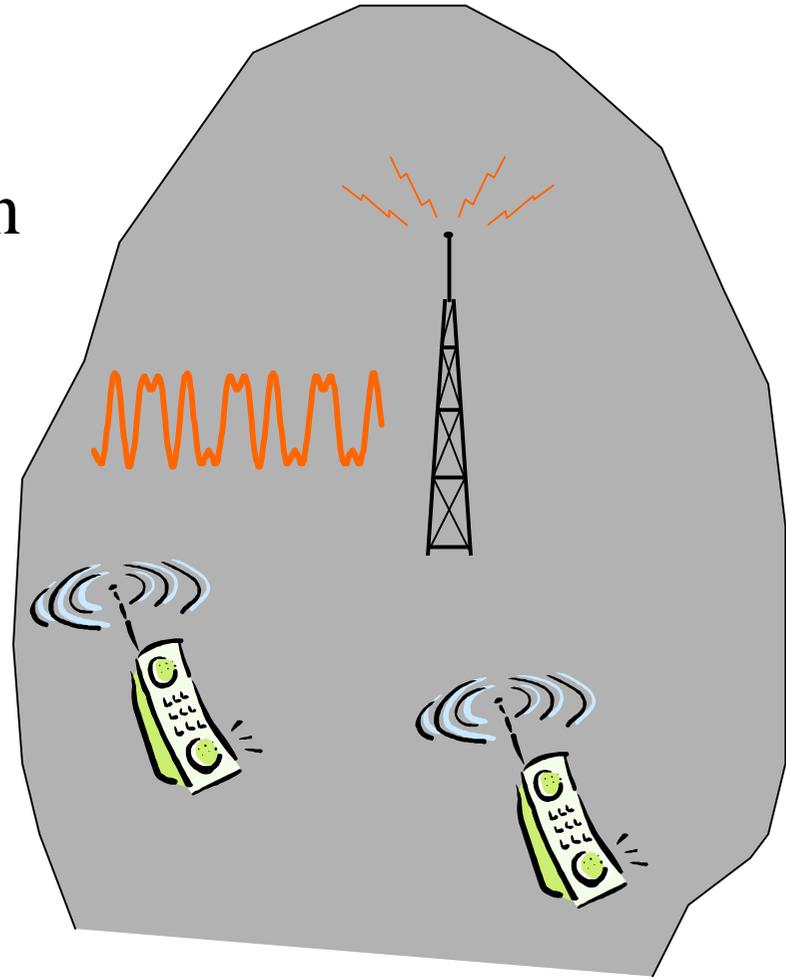
Durée symbole :  
infinie

Largeur spectrale :  $1,6R_s$ .



# II- Caractéristiques des ressources radio

- 1. Le spectre radio
- 2. Principes de modulation
- **3. Notion de bruit**
- 4. Capacité de canal
- 5. Interférences
- 6. Synthèse



## II-3. Notion de bruit

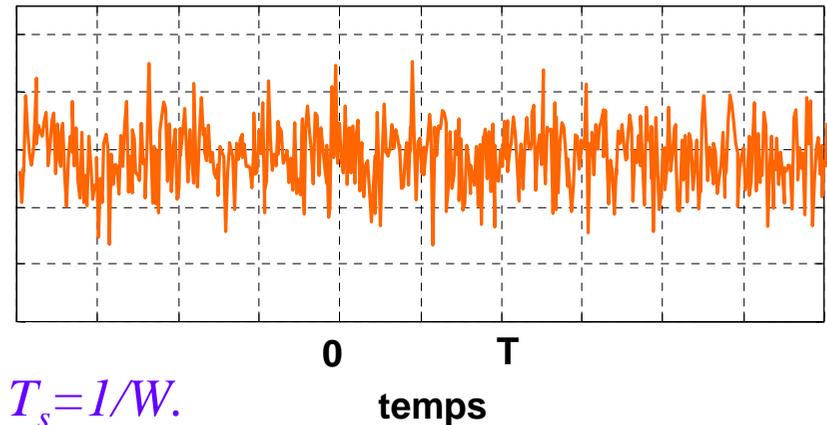
### – A) Le bruit AWGN

n bruit lié aux systèmes électroniques de réception

Puissance du bruit :  $N = \kappa \cdot T^\circ \cdot W = N_0 \cdot W$   
Energie sur une période :  $E_N = N_0 \cdot W \cdot T_s$

$\kappa = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K

$T_k = 290$  K (en réf. ,  $T^\circ$  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  $E_b/N_0$ .

## II-3. Notion de bruit

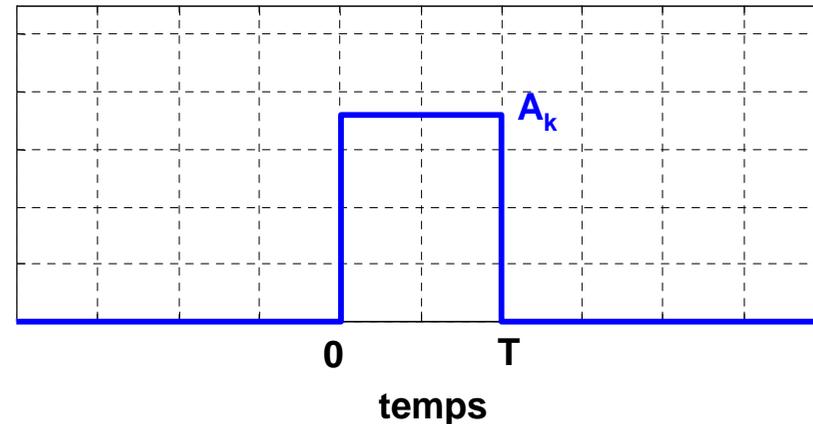
- n Pour connaître la capacité de canal, il faut estimer le rapport signal à bruit : SNR.
  - Propriétés du signal en émission :

Puissance d'un symbole émis :

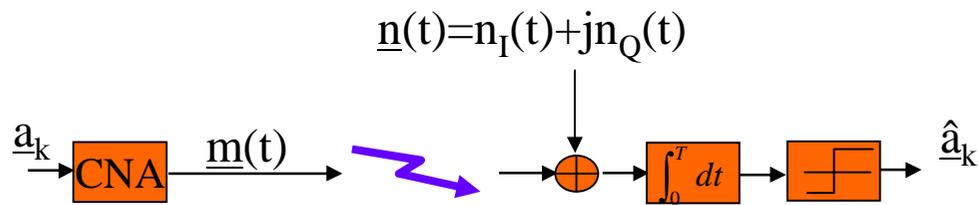
$$S_k = A_k^2 / 2$$

Energie 'bit' reçue :

$$E_b = A_k^2 \cdot T_b / 2$$



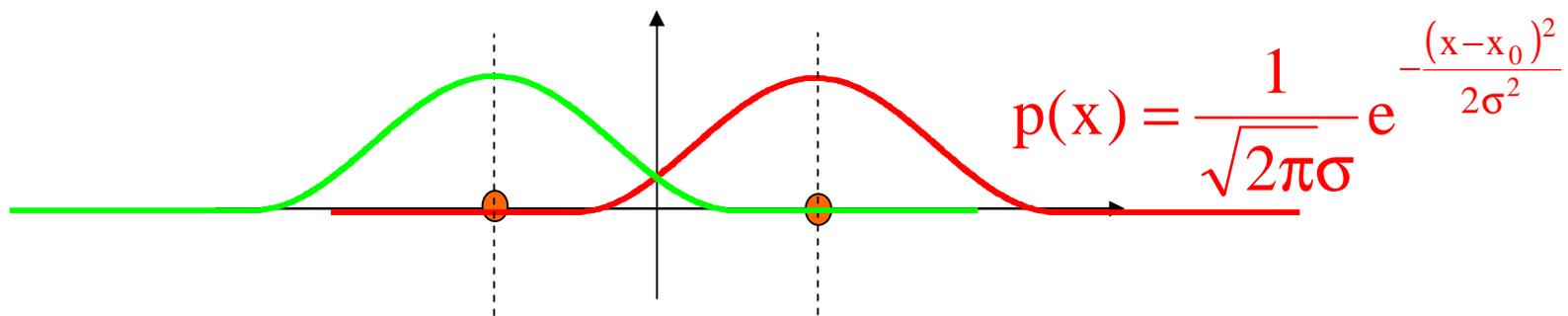
Rem : tenir compte de l'affaiblissement de propagation



### II-3. Notion de bruit

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

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



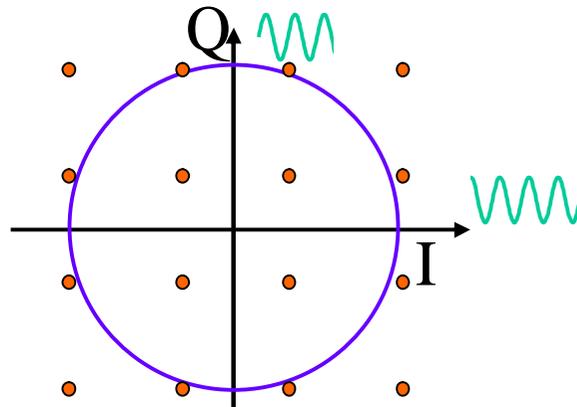
$$p(x < 0) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{x_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right) \quad ; \quad \text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2} \cdot du$$

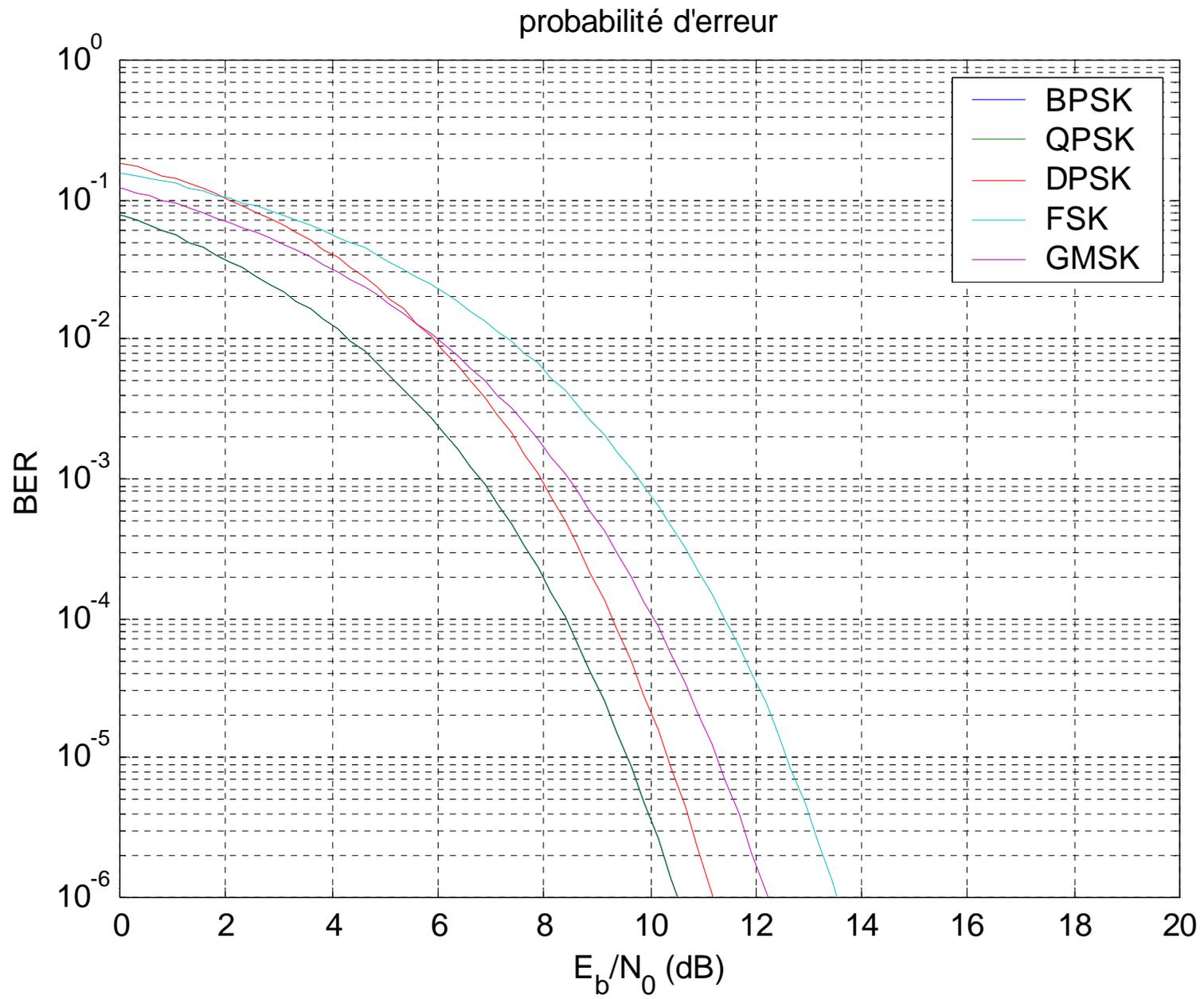
## II-3. Notion de bruit

n Nombre théorique d'états possibles :

$$M = \sqrt{1 + SNR}$$

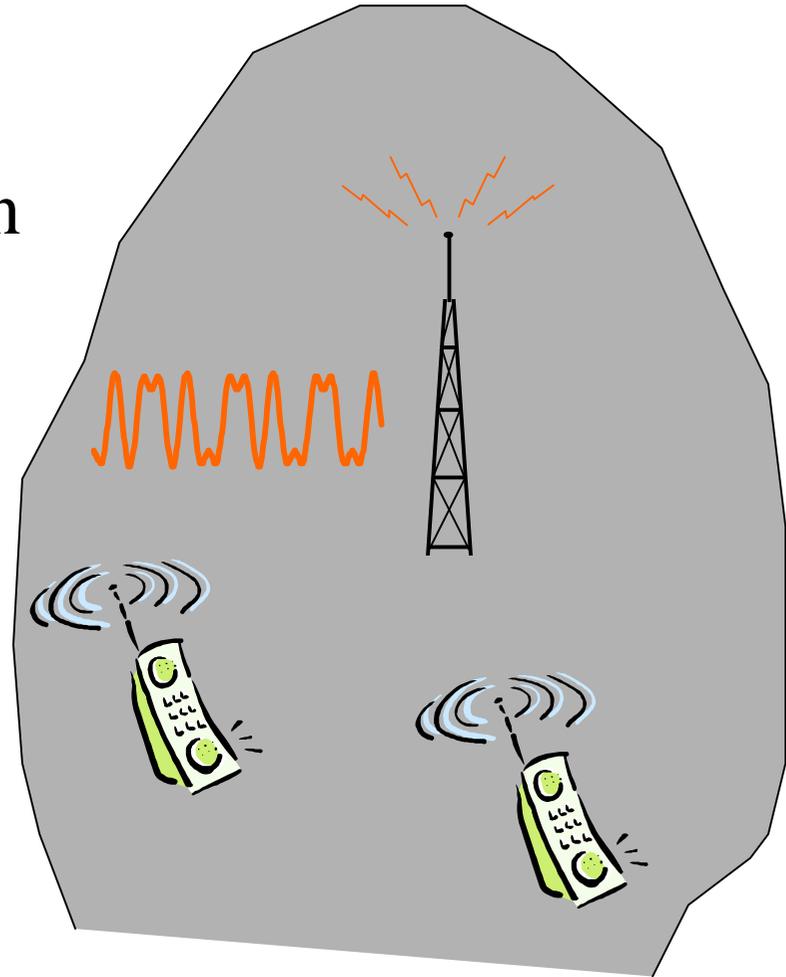
– sur 2 porteuses :  $M' = 1 + SNR$





# II- Caractéristiques des ressources radio

- 1. Le spectre radio
- 2. Principes de modulation
- 3. Notion de bruit
- **4. Capacité de canal**
- 5. Interférences
- 6. Synthèse



## *II-4. Capacité de canal*

### – A) Capacité de canal : définition

n la capacité d'un canal est le débit maximal admissible soit :

- sans erreur (théorique)
- pour un taux d'erreur donnée (pratique)

n la capacité est égale au produit du débit symbole maximal par le nombre de bits/symbole.

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

## *II-4. Capacité de canal*

### – B) Valeur théorique

n La capacité de Canal (Shannon-Hartley) :

- le débit symbole max :  $R_s = W$  (symbole=sinus cardinal)
- le nombre de bits par symbole :  $N_b = \log_2(1+SNR)$
- 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*

## *II-4. Capacité de canal*

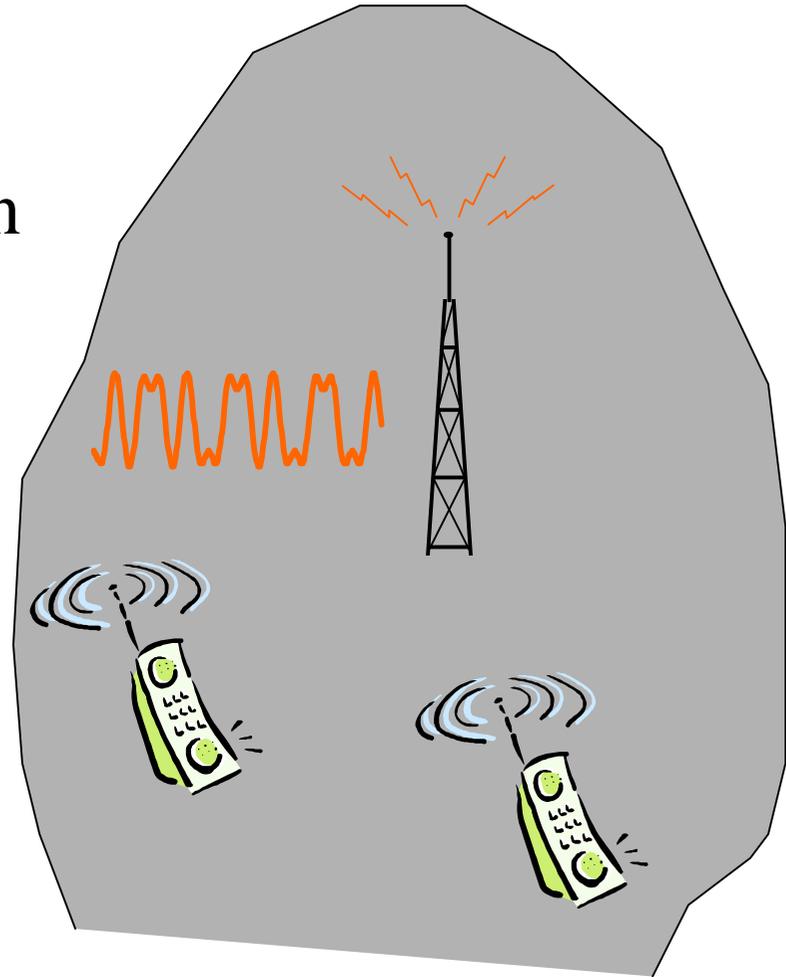
### – C) Valeur expérimentale

#### n La capacité de Canal pour un système donné :

- le débit symbole max :  $R_s \sim 1,6.W$  (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 :  $N_b = f(\text{SNR})$  (cf. courbes précédentes)
- La capacité est donnée par le produit des 2.

# II- Caractéristiques des ressources radio

- 1. Le spectre radio
- 2. Principes de modulation
- 3. Notion de bruit
- 4. Capacité de canal
- **5. Interférences**
- 6. Synthèse

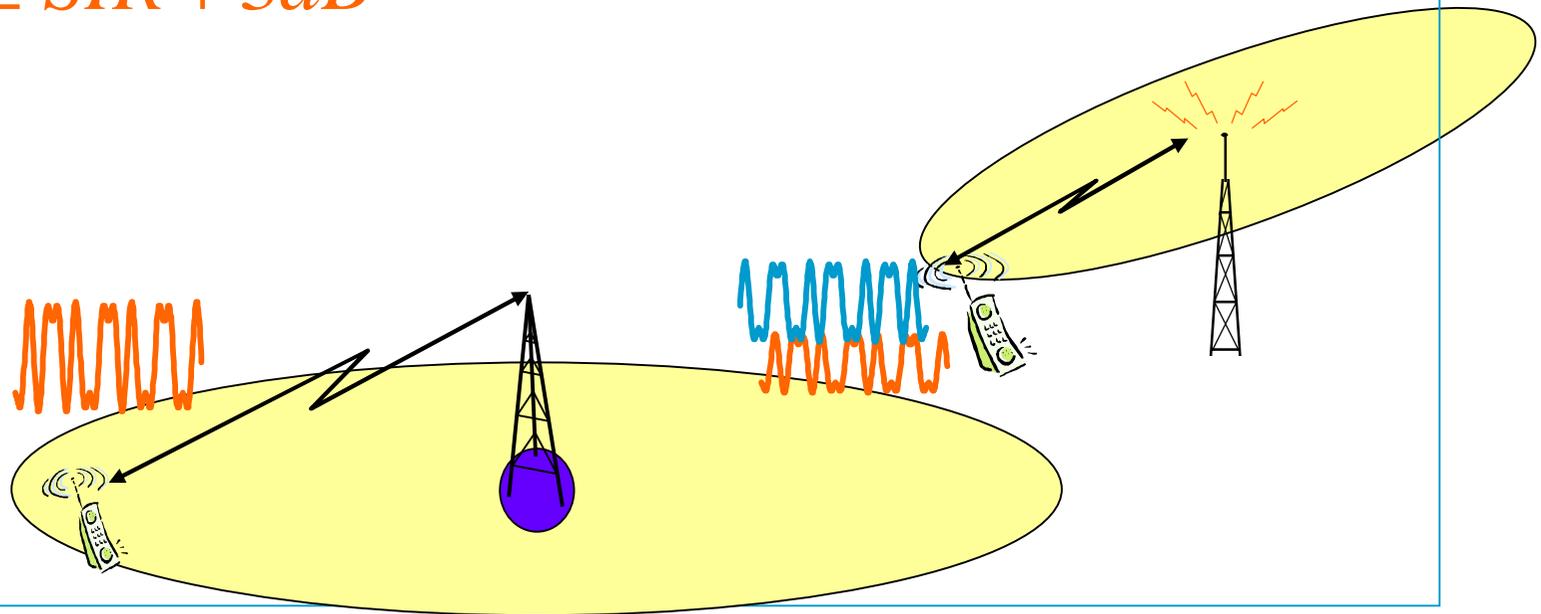


## II-5. Interférences

– A) Interférences co-canales (**spatial**)

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

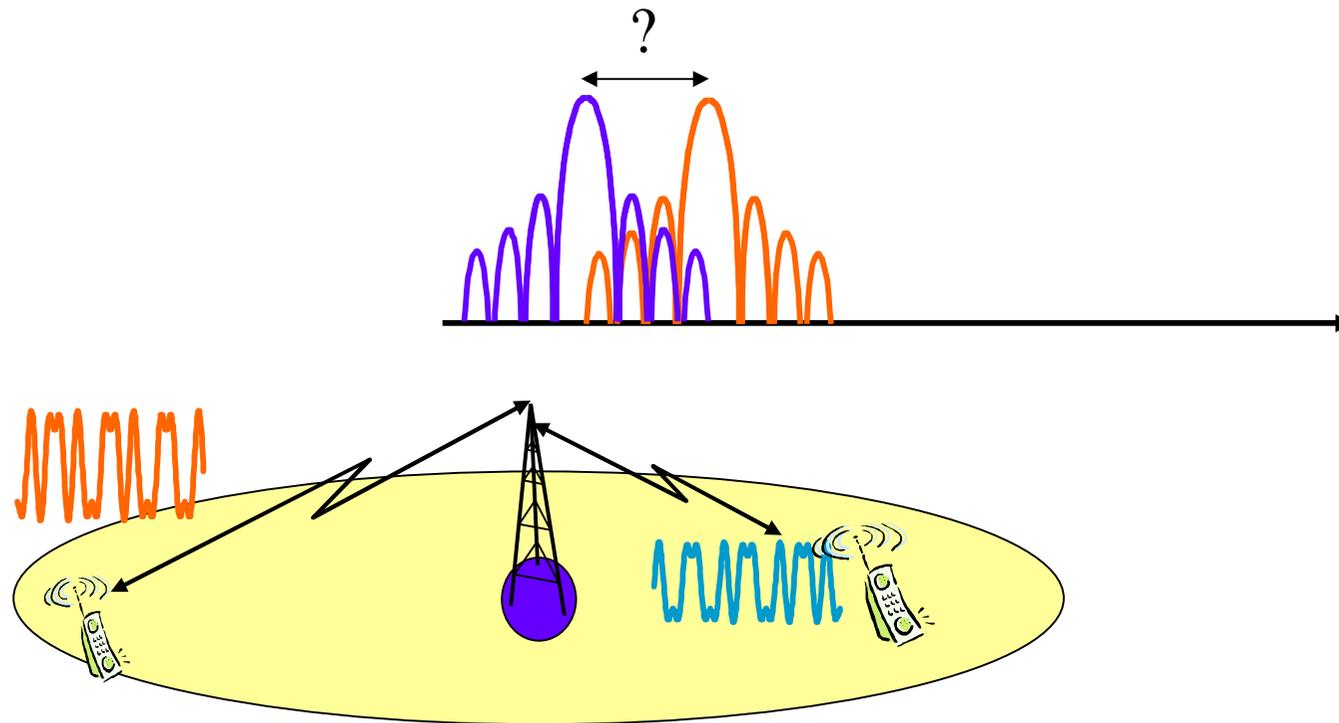
Icc :



## II-5. Interférences

### – B) Interférences canaux adjacents (**fréquentiel**)

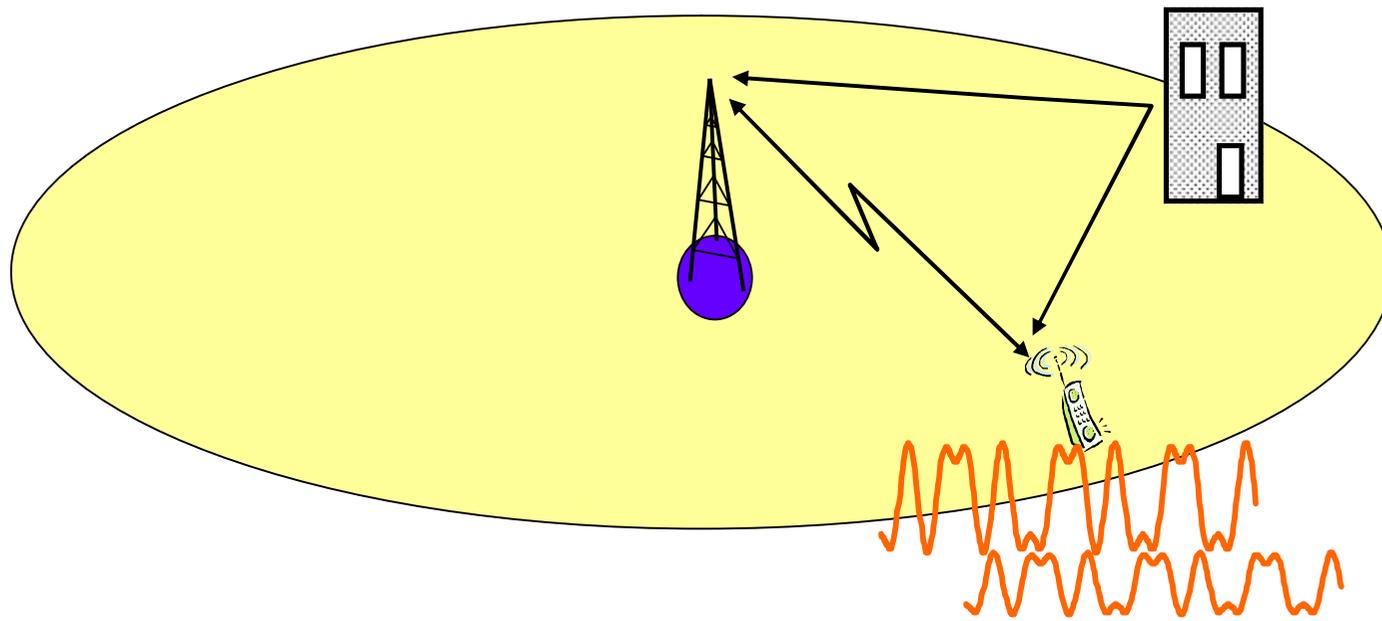
Ica :



## II-5. Interférences

- C) Interférences inter-symboles (**temporel**)

Iis :



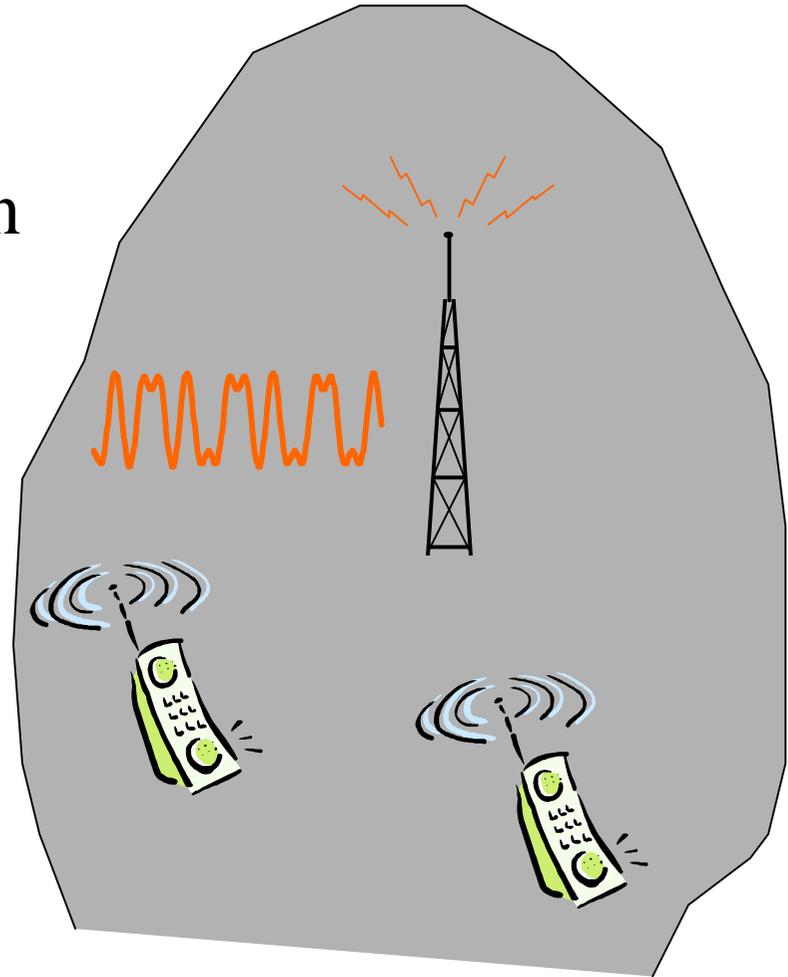
## *II-5. Interférences*

– D) Calcul d'interférences sur 1 cellule

$$I_k = I_{CC} + I_{CA} + I_{IS}$$
$$\sum_{s \in C(\text{cell})} I_{k,k(s)} + \sum_{j \in \text{incell}} I_{kj} + \sum_{s \in V(\text{cell})} \left( \sum_{j \in s} I_{kj} \right) + I_{IS}$$

# II-Caractéristiques des ressources radio

- 1. Le spectre radio
- 2. Principes de modulation
- 3. Notion de bruit
- 4. Capacité de canal
- 5. Interférences
- **6. Synthèse**



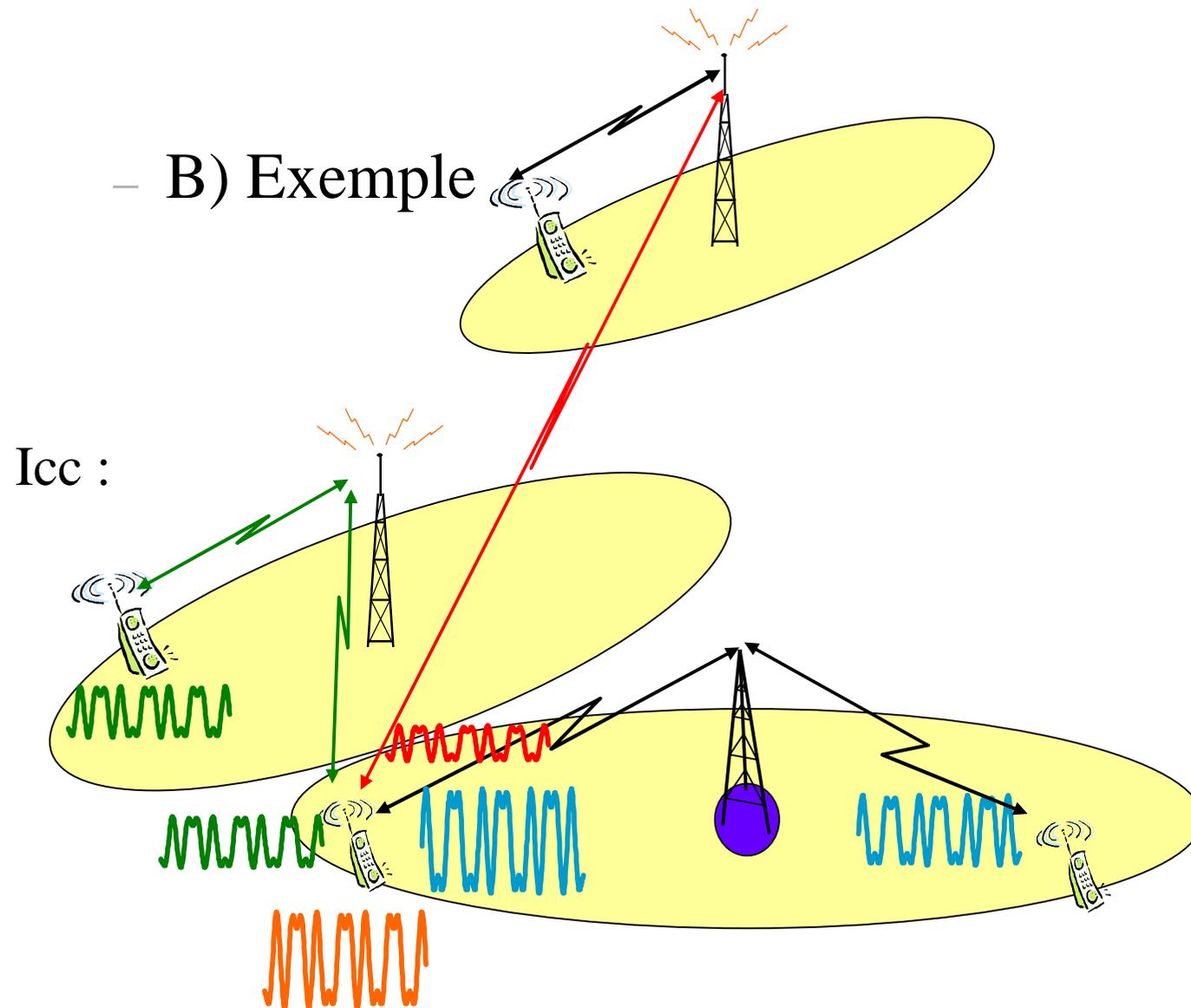
## *II-6. Synthèse*

### – A) propriétés

- n la capacité d'un lien radio est limitée par la largeur de bande du lien et le SNR admissible en réception.
- n Le SNR admissible en réception dépend du taux d'erreur acceptable et de la modulation choisie.
  
- n Le bruit résulte des propriétés du récepteur (sensibilité) mais également des interférences fréquentielles, temporelles et spatiales. L'ensemble doit être pris en compte pour déterminer la qualité du lien radio.

## II-6. Synthèse

– B) Exemple



## II-6. Synthèse

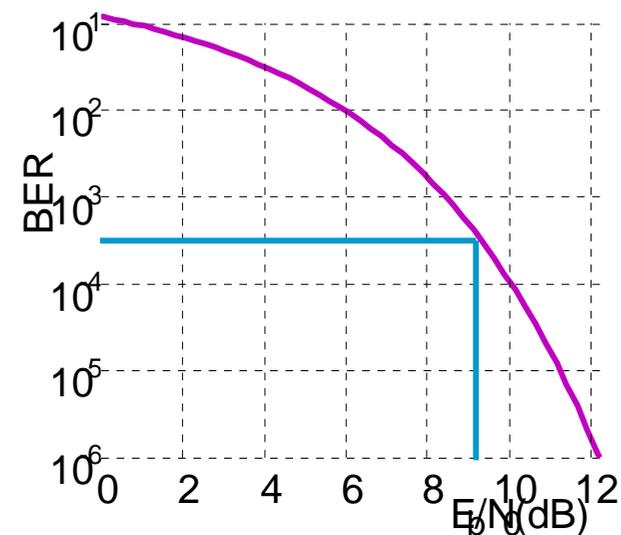
### – C) application : le GSM

n vitesse de modulation  $R_b=271\text{kb/s}$ .

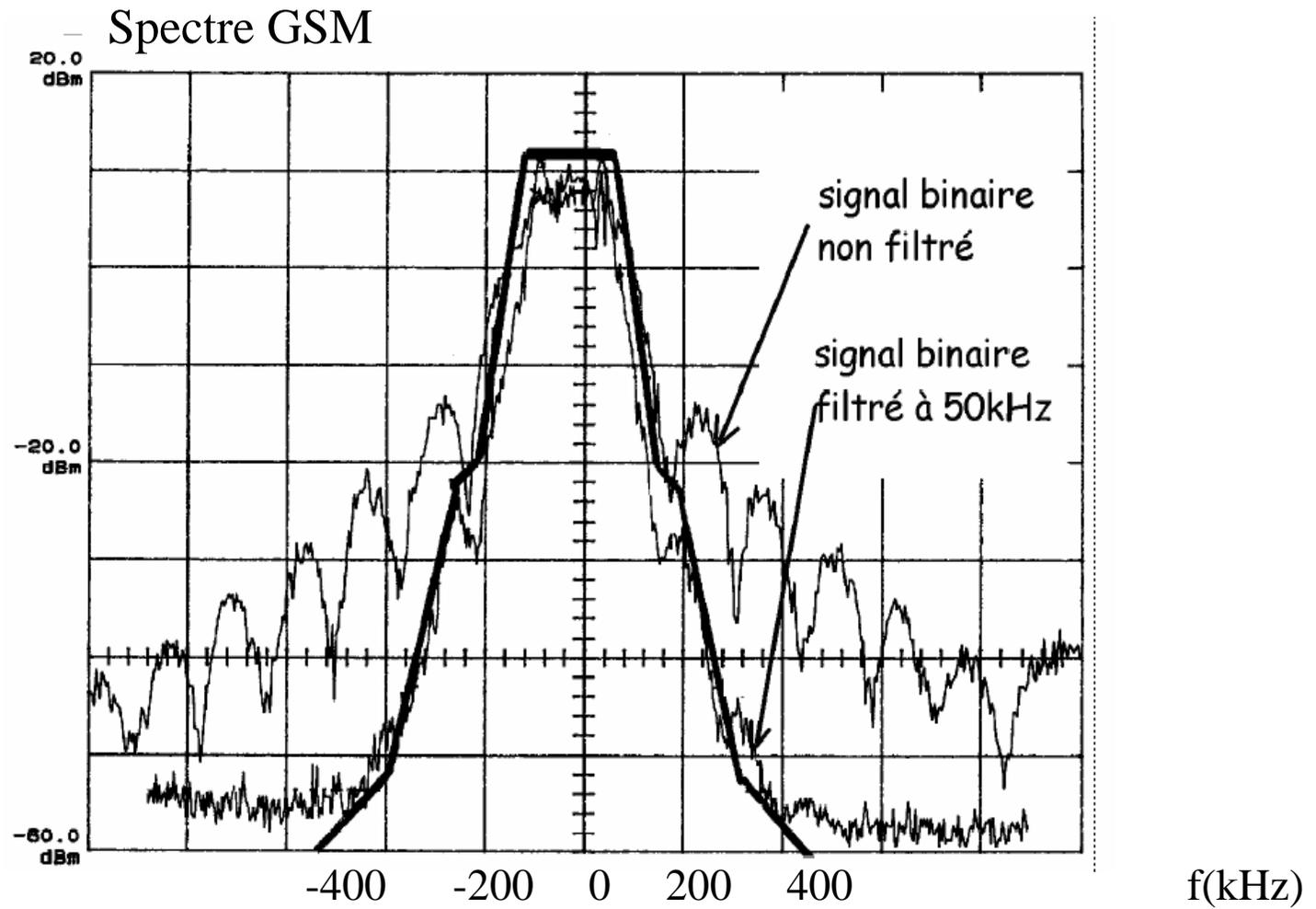
- (4 états sur 2 porteuses, modulation GMSK)
- occupation spectrale  $\sim 200\text{kHz}$ .

n Taux d'erreur requis :

- $\text{SNR}=9\text{dB}$

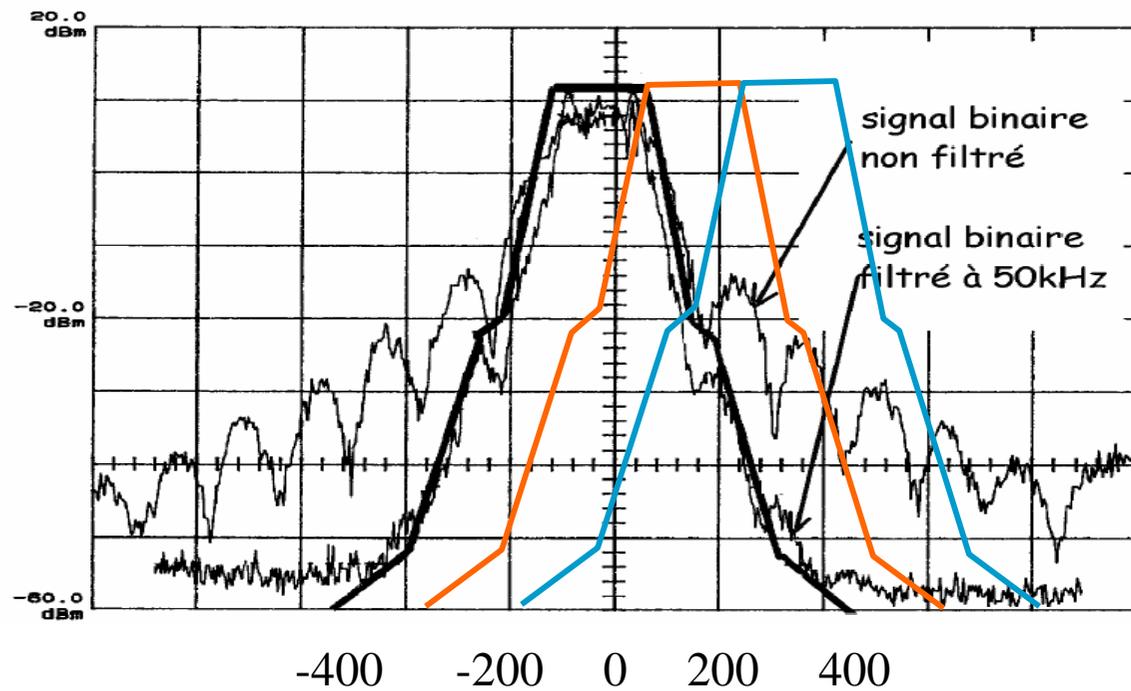


## II-6. Synthèse



## II-6. Synthèse

n Interférences canaux adjacents :



Marges  
prévues :

18dB

50dB

# Plan général

I. Principe des réseaux cellulaires

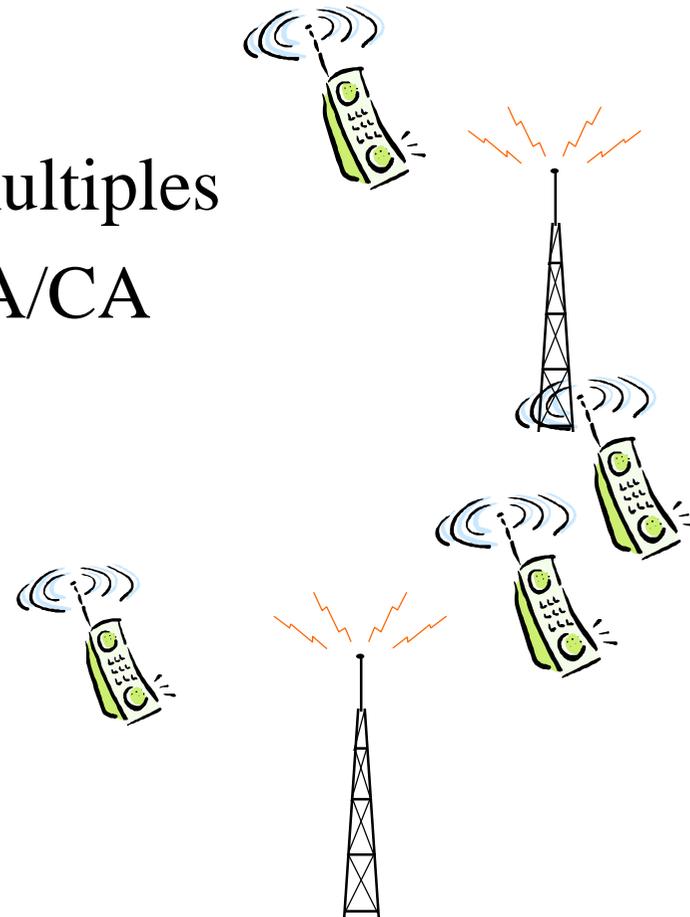
II. Caractéristiques des ressources radio

**III. Partage des ressources**

IV. Ingénierie cellulaire

# III-Partage des ressources

- **1. Modes de partage**
- 2. Techniques d'accès multiples
- 3. Cas particulier : CSMA/CA
- 4. Synthèse



### *III-1. Modes de partage*

#### – A) Attribution de ressources globales

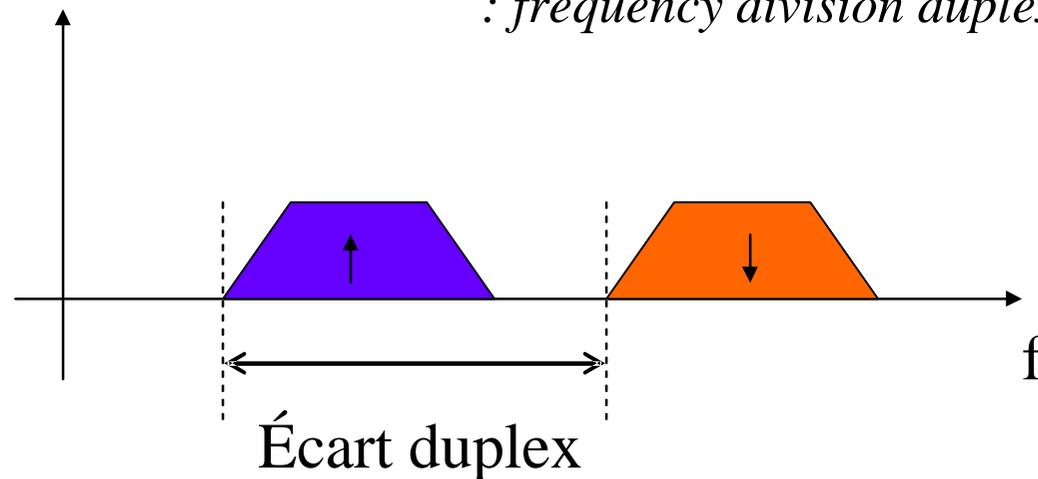
– la bande de fréquence est choisie en fonction :

- de la portée voulue.
- de la capacité souhaitée.
  
- GSM : 890-915/935-960 MHz
  - (GSM étendu : 880-915MHz, 925-960MHz)
- DCS1800 : 1710-1785/1805-1880 MHz
- DECT : 1880-1900MHz
- wLAN : ISM ~2,4GHz

### III-1. Modes de partage

- B) Duplexage (voix montantes/descendantes)  
n duplexage en fréquence (FDD

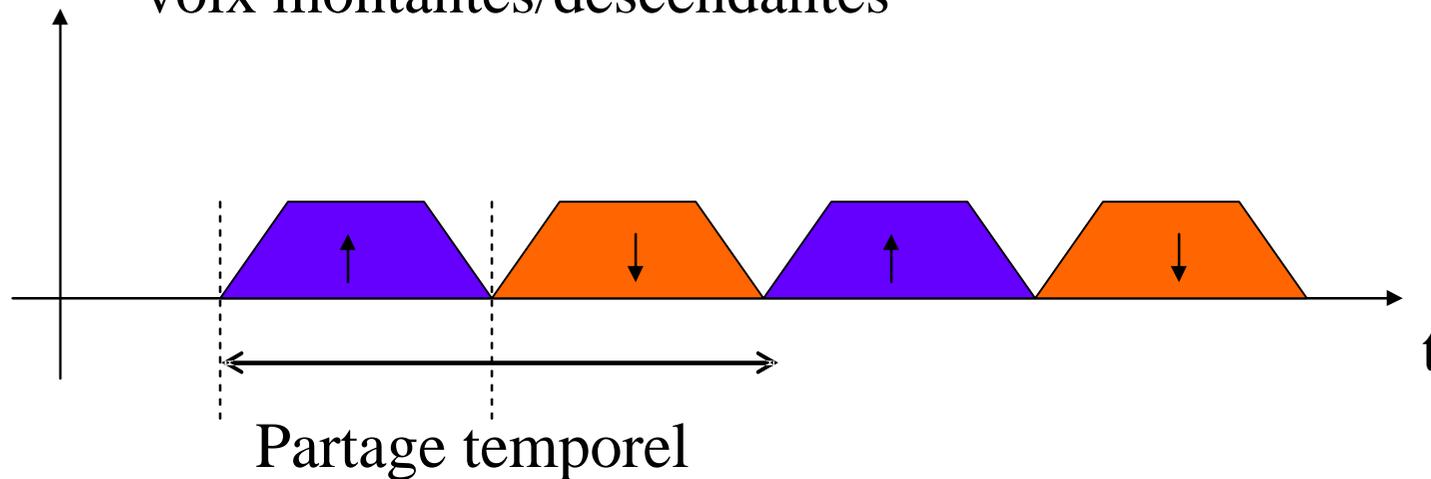
*: frequency division duplexing)*



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

### III-1. Modes de partage

n 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

### *III-1. Modes de partage*

#### – C) Partage entre sous-réseaux

##### n Approche centralisée :

- réserver des ressources spécifiques à différents opérateurs
- GSM, UMTS, IS-95 : bandes spécifiques à chaque opérateur = multiplexage fréquentiel.

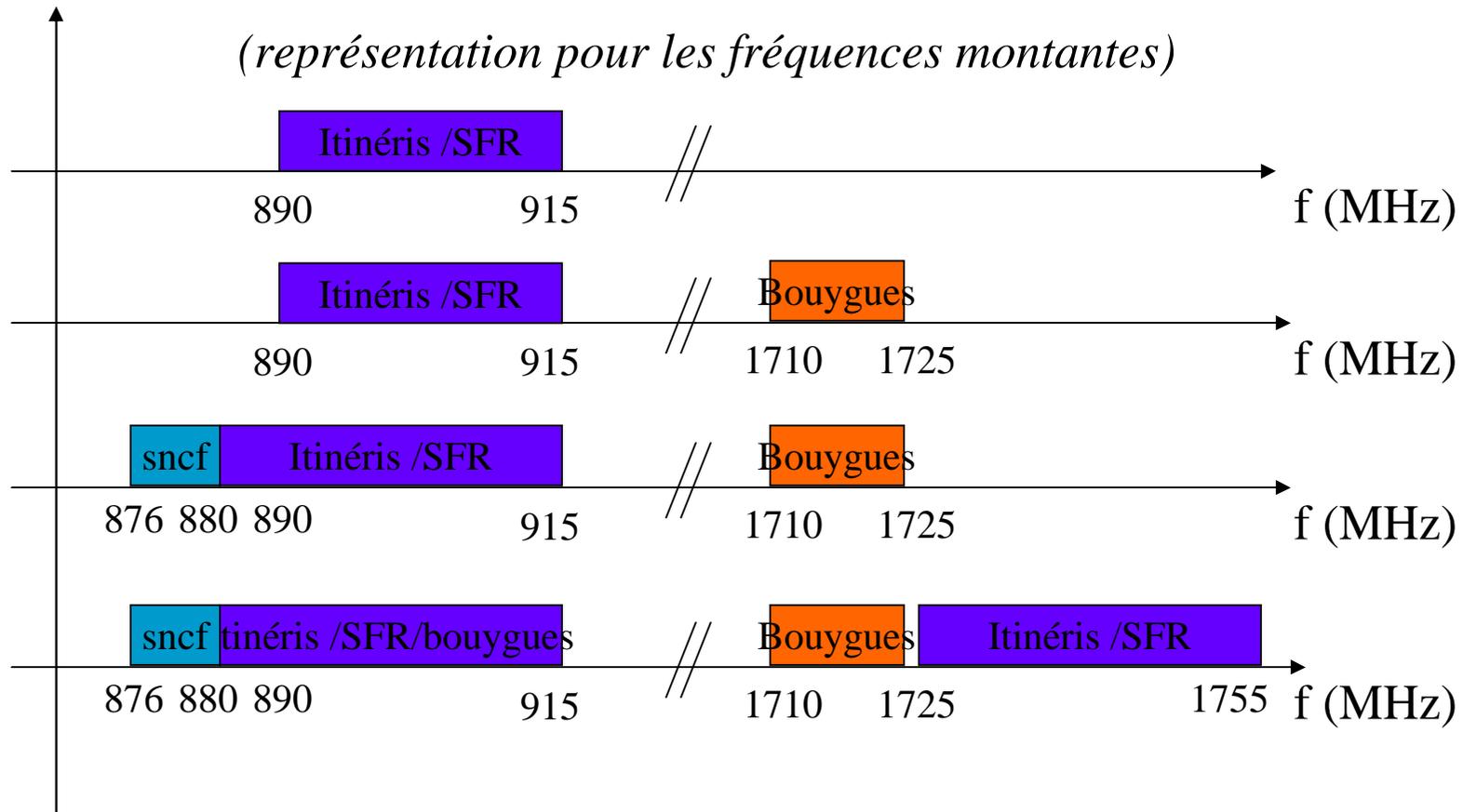
##### n Approche partagée

- wLAN, DECT : mêmes bandes pour tous.
  - Nécessite une technique pour limiter les interférences ( codes aléatoires, saut de fréquence, ...).
  - Interférences non contrôlables, QoS non garantie.

### III-1. Modes de partage

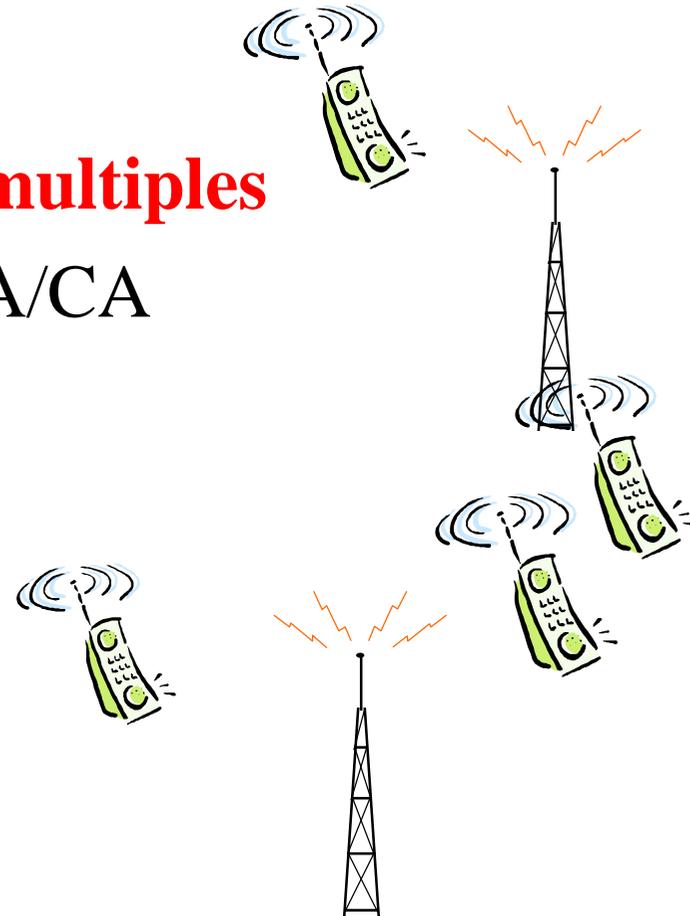
#### n Partage entre opérateurs pour le GSM

(représentation pour les fréquences montantes)



# III-Partage des ressources

- 1. Modes de partage
- **2. Techniques d'accès multiples**
- 3. Cas particulier : CSMA/CA
- 4. Synthèse



## *III-2. Accès multiples*

### – A) Méthodes d'accès multiples

n 1 bande globale :  $W$  ;  $C = R_s \times N_b$  ;  $N_b = f(\text{SNR})$

- théorique  $C = 2 \times W$  (2 porteuses, 1 bit/porteuse)
- pratique :  $W = 1,6 R_s$  ;  $C = 2/1,6 \times W = 1,25 \times W$ .
  - $\text{BER} \sim 10^{-4} \Rightarrow E_b/N_0 = 8\text{dB}$  ;  $\text{SNR} = 9\text{dB}$ .

n On veut partager ce débit global :

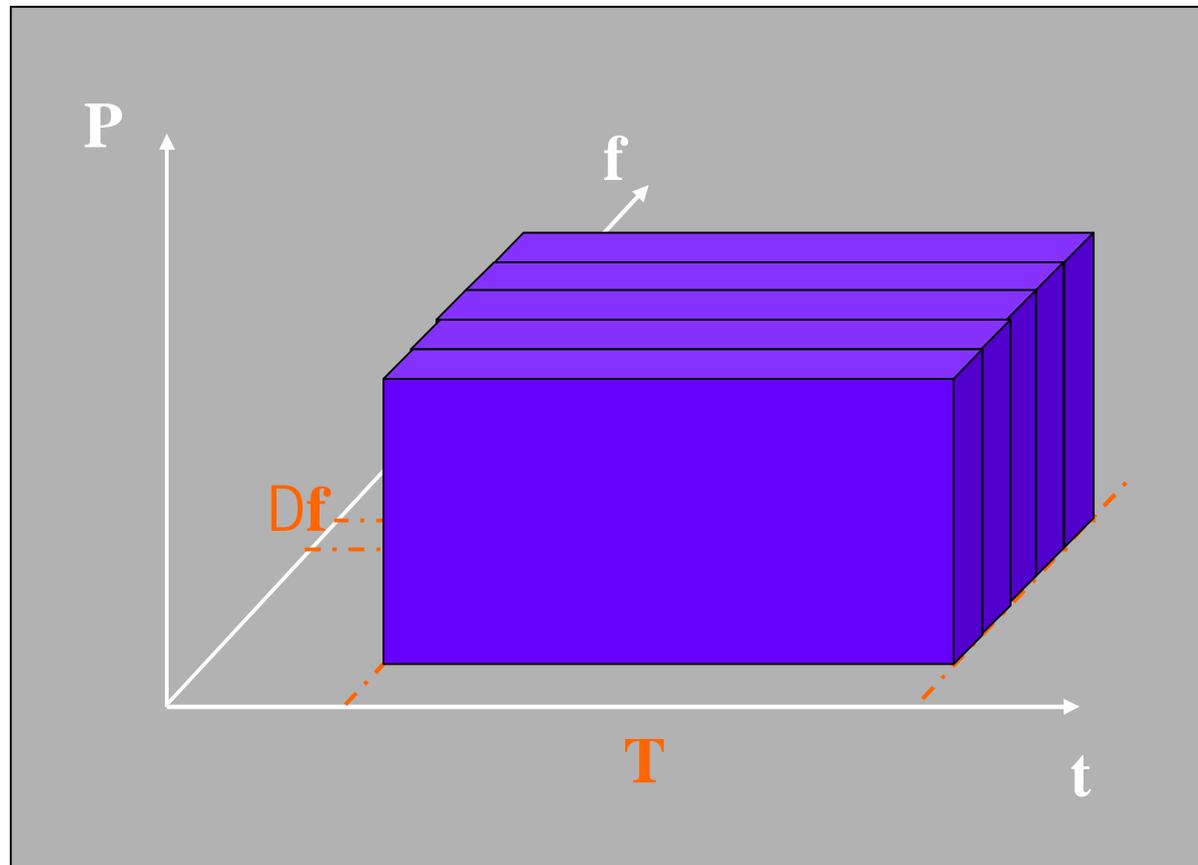
- choix parmi : FDMA, TDMA, FTDMA (GSM) ou CDMA (IS-95, UMTS).

n Critères :

- Maximiser l'utilisation des ressources (bits/s/hertz)
- Gérer le niveau d'interférences

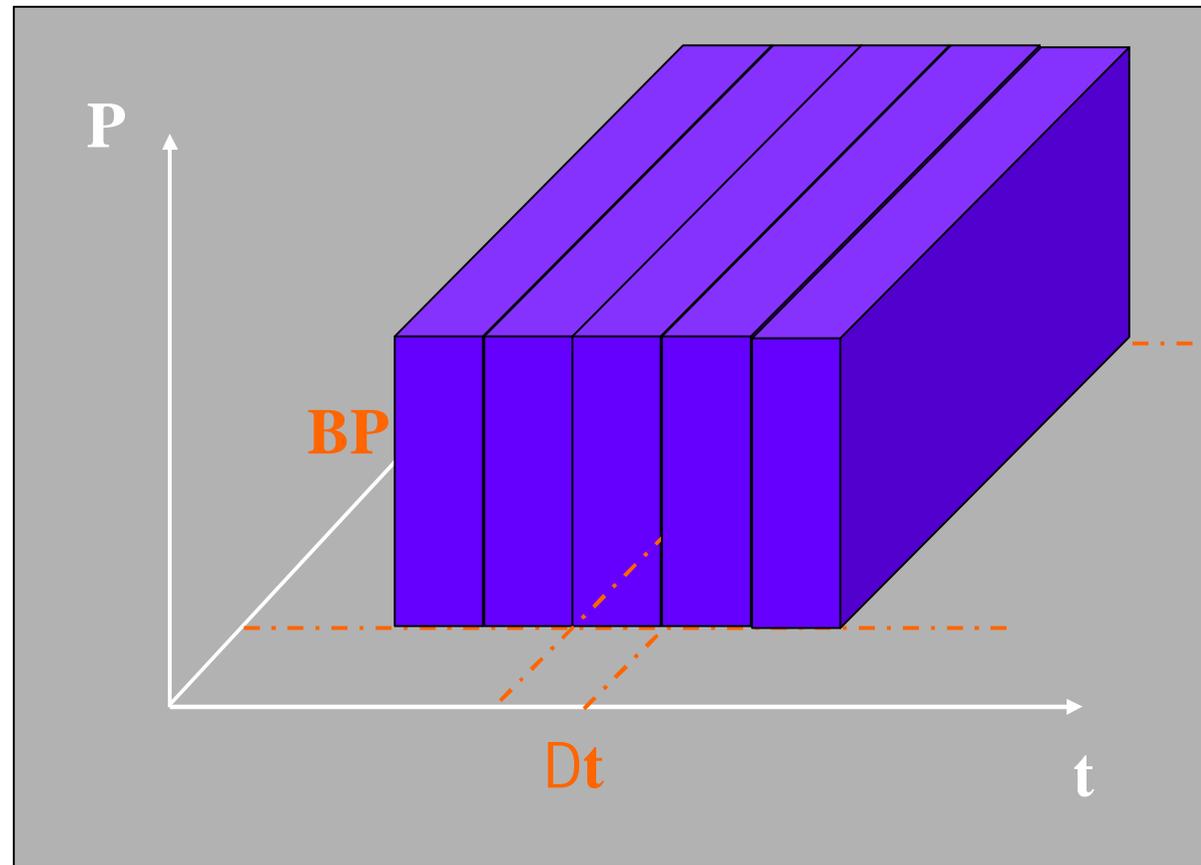
## III-2. Accès multiples

### – FDMA



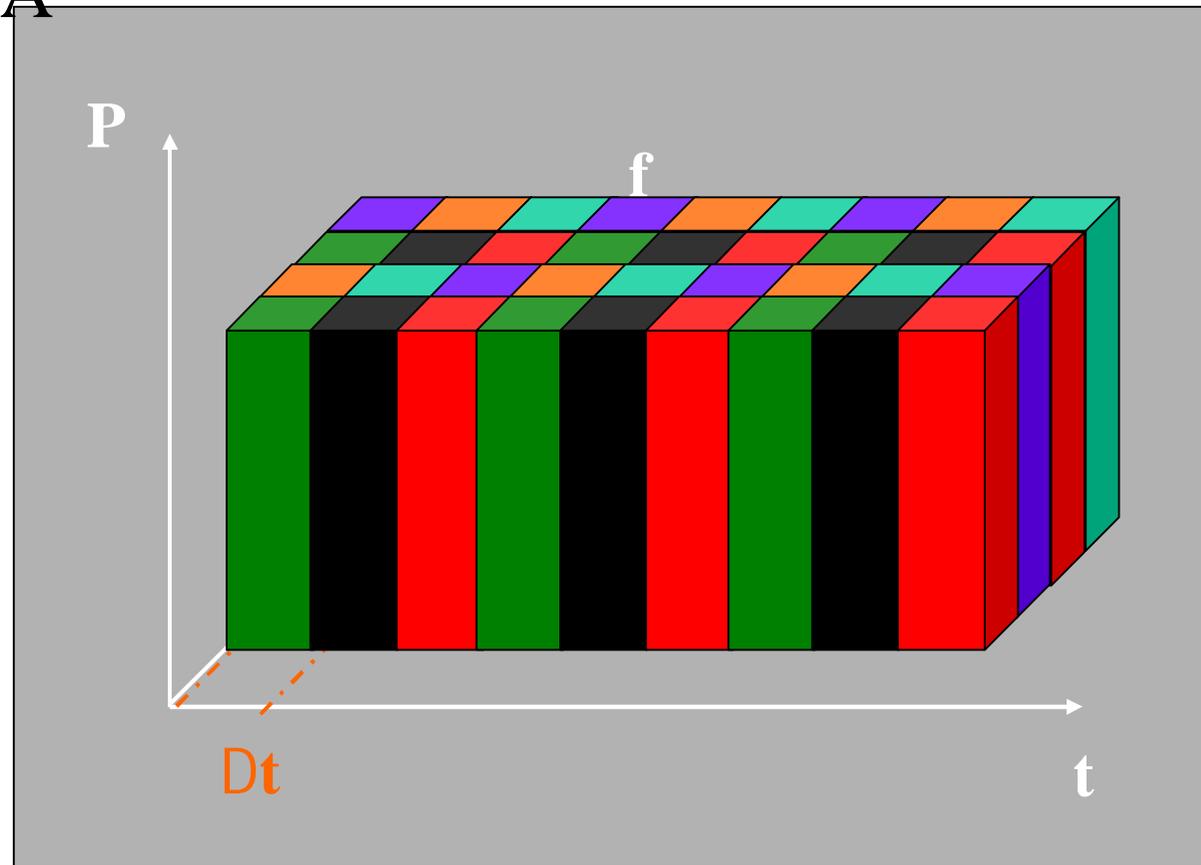
### *III-2. Accès multiples*

– TDMA



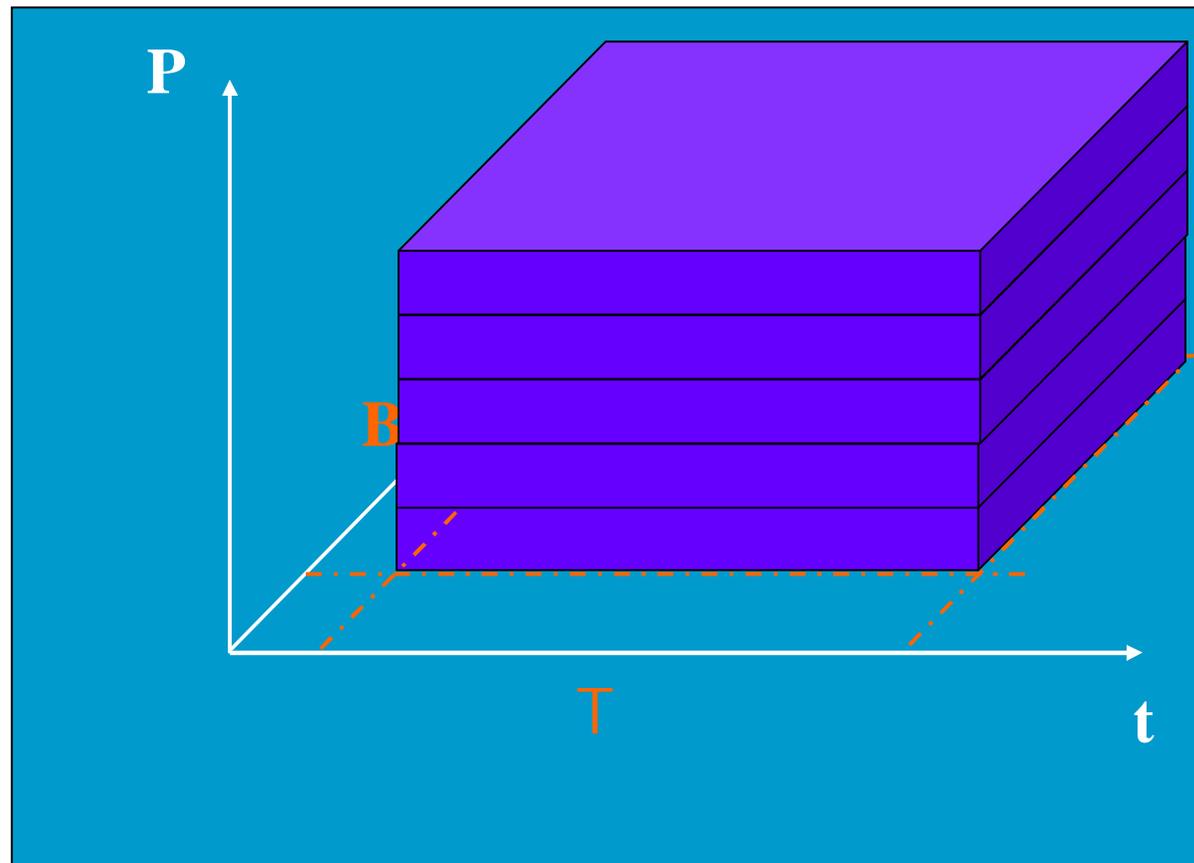
### III-2. Accès multiples

#### – F-TDMA



## *III-2. Accès multiples*

### – CDMA



– B) FDMA

(Frequency Division Multiple Access)

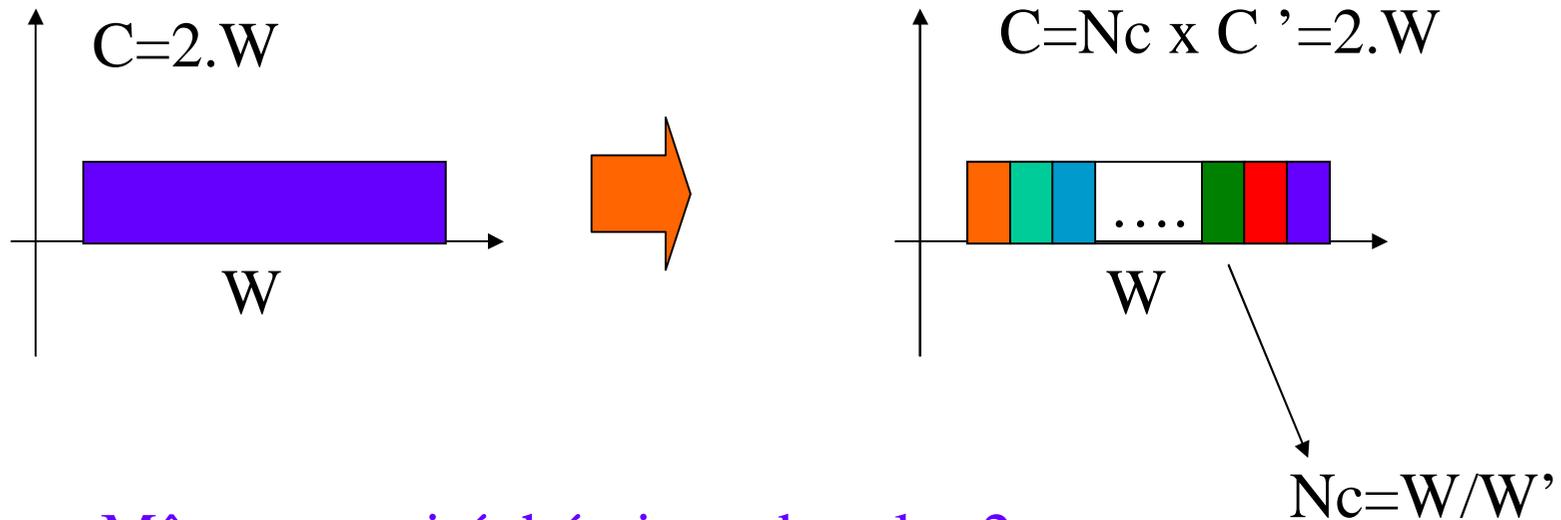
n découpage de la bande de fréquences en plusieurs porteuses (1 porteuse par canal).

n avantage : simplicité, proche d'un système analogique (radiocom2000).

n Inconvénient majeur : faible utilisation spectrale ou interférences élevées.

### III-2. Accès multiples

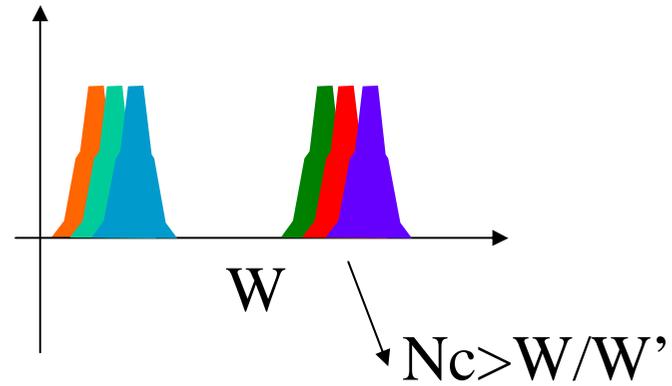
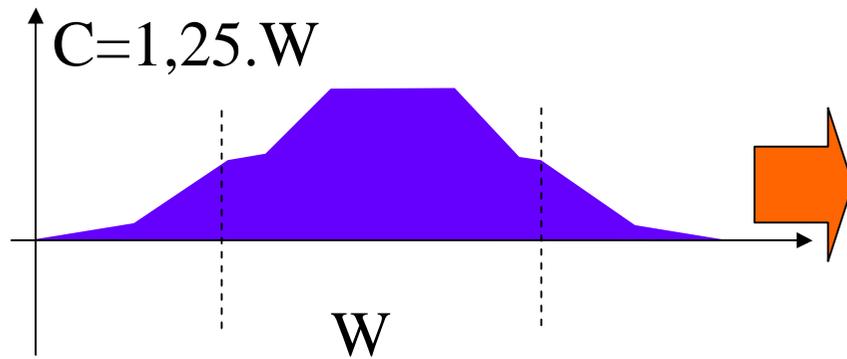
n Efficacité théorique



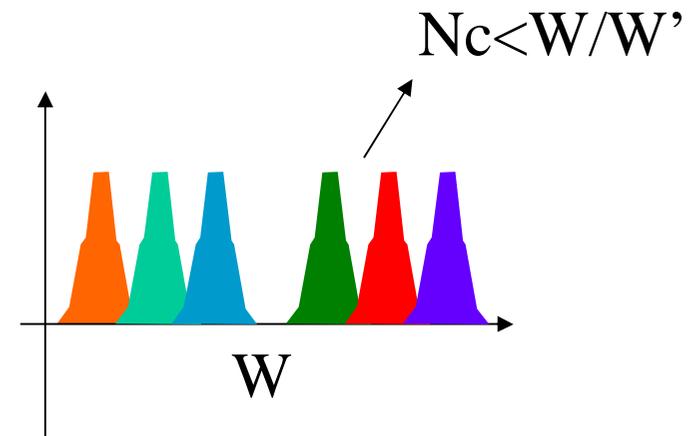
Même capacité théorique dans les 2 cas

### III-2. Accès multiples

n Efficacité réelle



$$C = N_c \times 1,25W'$$



## *III-2. Accès multiples*

### – Conclusion sur du FDMA ‘pur’

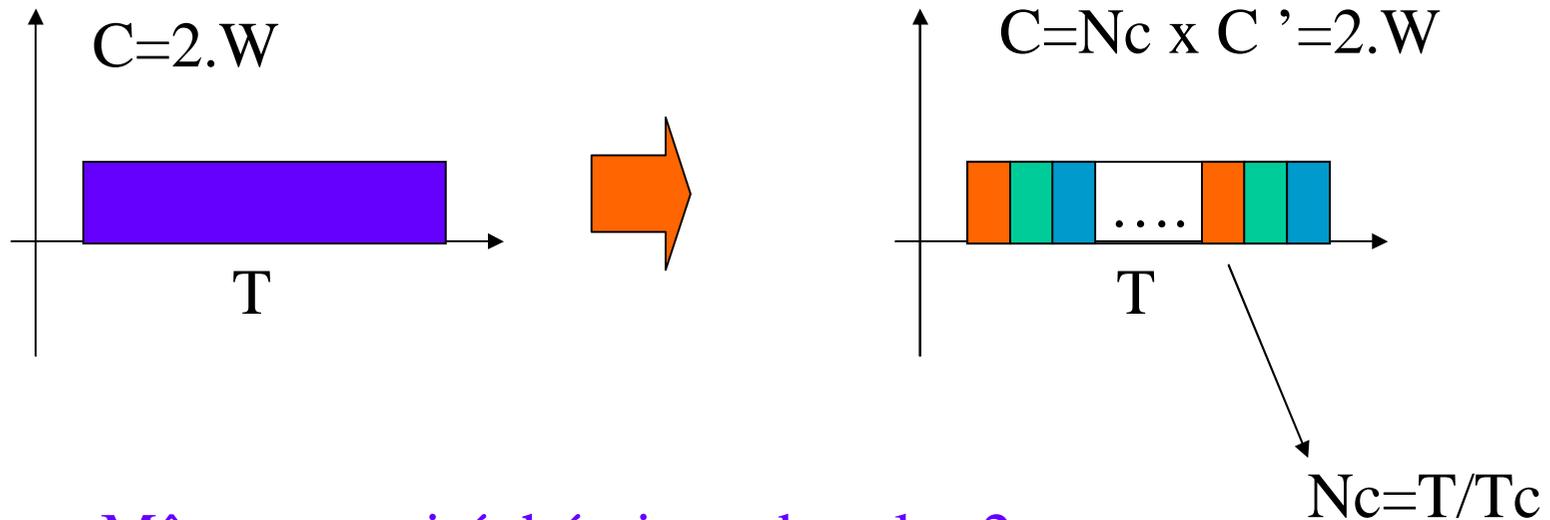
- n taux d ’interférences important entre porteuses voisines.
- n difficile de faire une planification des fréquences avec un grand nombre de porteuses.
- n mauvaise efficacité d ’utilisation du spectre.

## *III-2. Accès multiples*

- C) TDMA (Time Division Multiple Access)
  - n découpage du canal fréquentiel en trames (et slots)
  - n avantage : 1 seule porteuse, simplifie la partie RF.
  - n Inconvénients :
    - synchronisation temporelle fine
    - étalement temporel, délais (mobiles à distance différente).

### III-2. Accès multiples

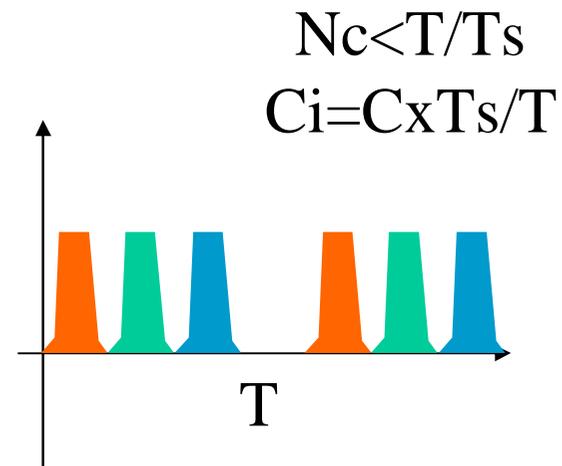
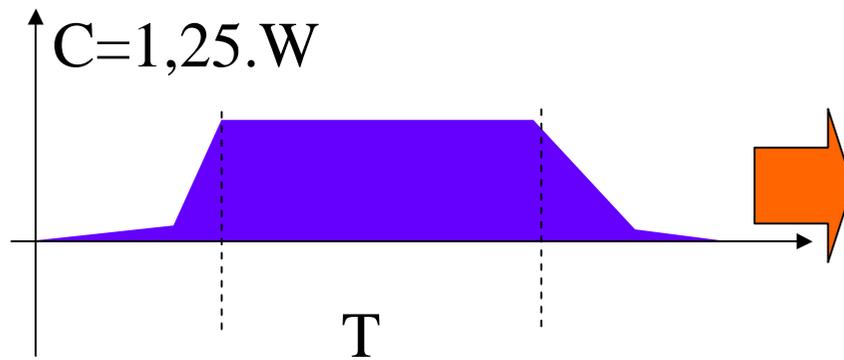
n Efficacité théorique



Même capacité théorique dans les 2 cas

### III-2. Accès multiples

n Efficacité réelle



$$C = N_c \times C_i < 1,25W$$

## *III-2. Accès multiples*

- Conclusion sur du TDMA ‘pur’
  - n Nécessité d ’un temps d ’attente entre slots
    - synchronisation
    - étalement temporels (échos multiples)
    - montée en puissance
  - n délais constants donc plus la durée slot est courte, plus l’efficacité est faible

## *III-2. Accès multiples*

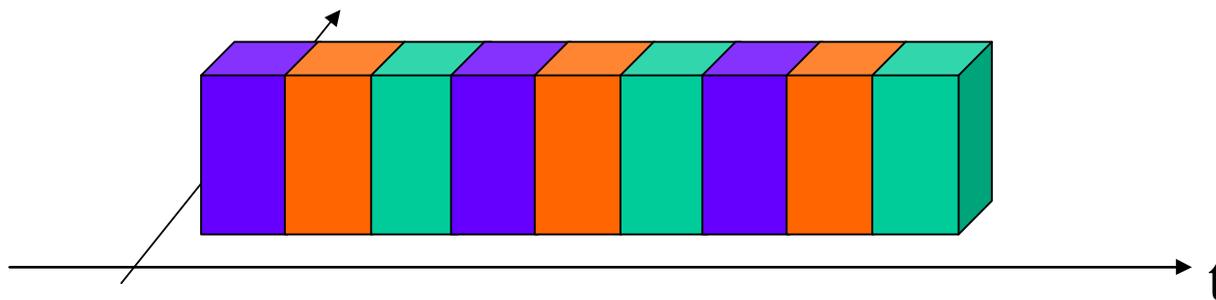
### – D) FTDMA (TDMA)

- n Le GSM est un système FTDMA, mais couramment appelé TDMA
- n Définition de canaux fréquentiels à débit largement supérieur au débit d'une voie.
- n Répartition de porteuses par cellule.
- n Répartition dans le temps: trames et slots
- n applications : GSM, DECT.

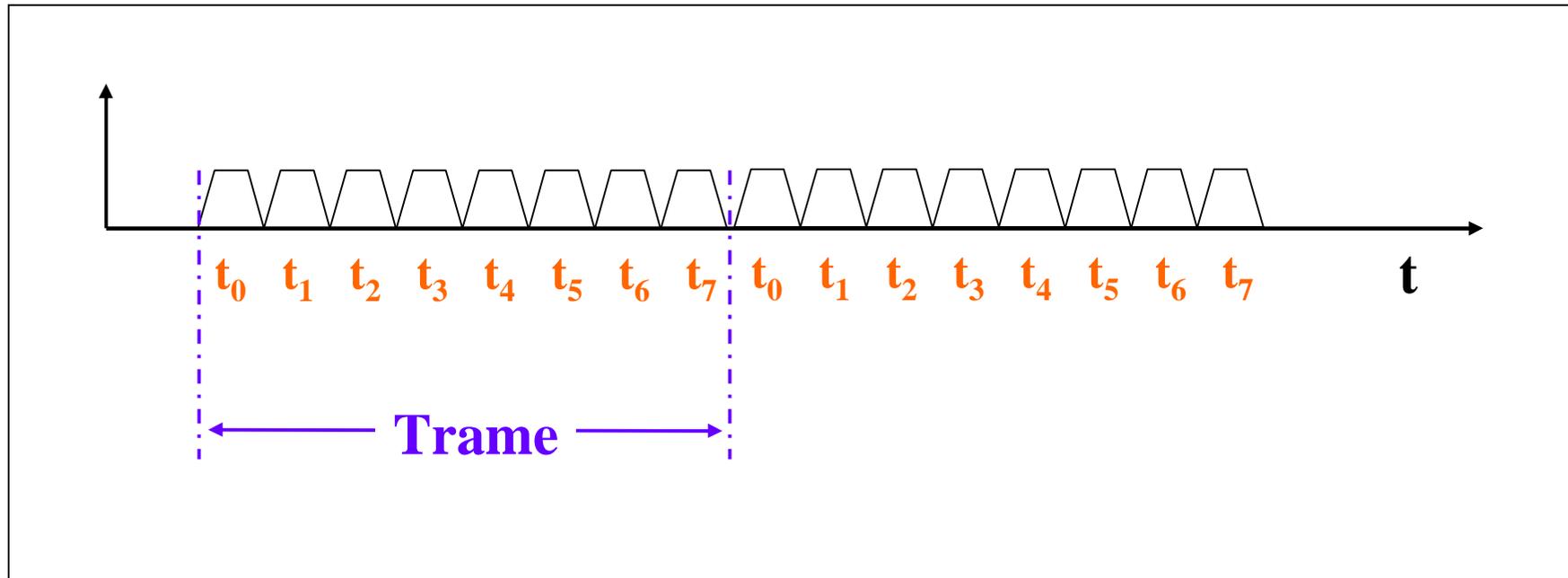
## III-2. Accès multiples

### n Regroupement de voies : multiplexage temporel

- augmentation de la cadence d'émission
- si synchronisés : pas d'interférences entre voies.
- Facile sur lien descendant
- Problème en lien montant (intervalle de garde, ou paramètre TA, contrôle de puissance)



### III-2. Accès multiples



1 canal en fréquence = 1 porteuse = 1 fréquence

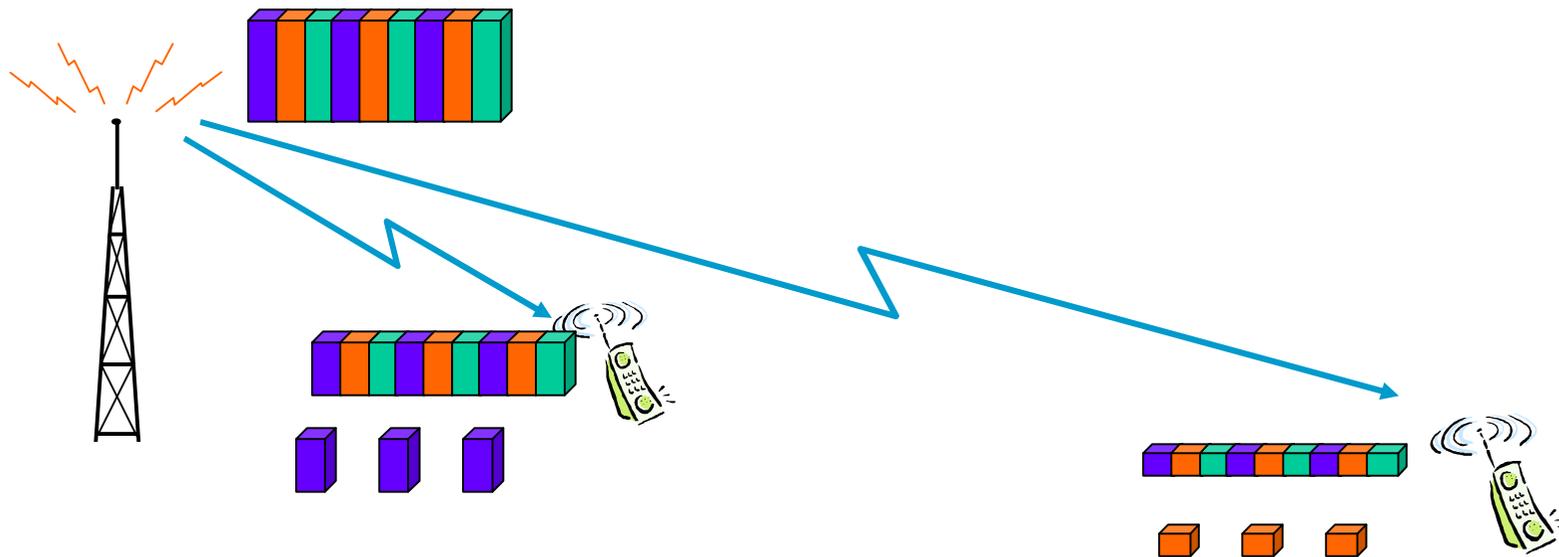
1 canal physique = 1 slot par trame

1 canal logique =  $n$  canaux physiques (ex  $n=1; n=0,5; n=4, \dots$ )

## III-2. Accès multiples

n sur lien descendant : facile

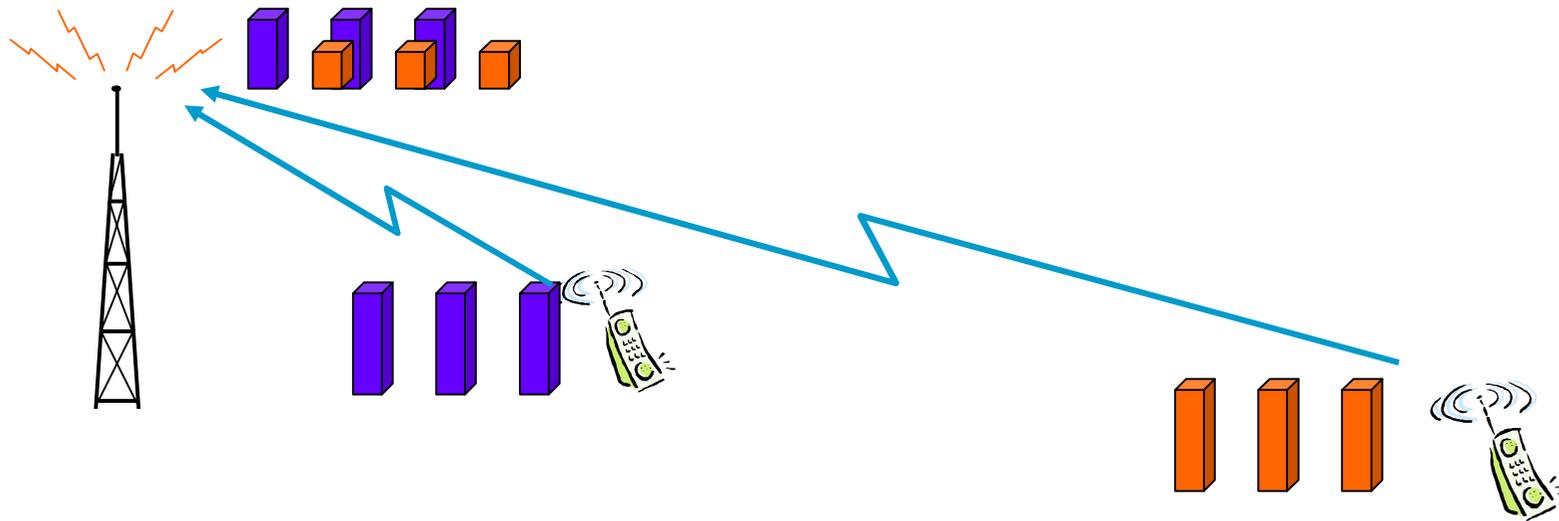
- pas de problème particulier car 1 seule source
- il faut juste synchroniser les récepteurs



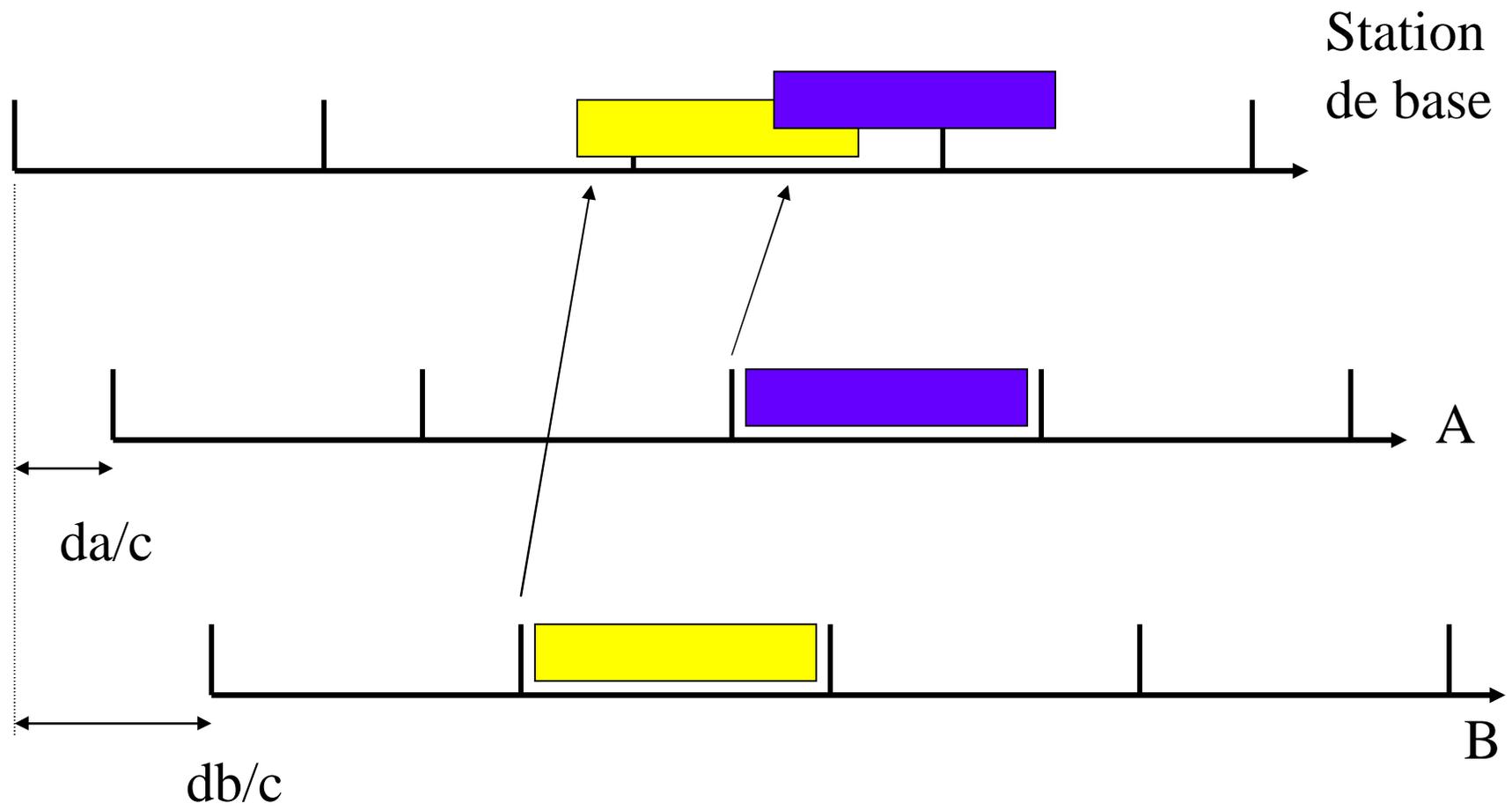
## III-2. Accès multiples

n sur lien montant : plus difficile

- problème de synchronisation
- problèmes de puissance



### III-2. Accès multiples



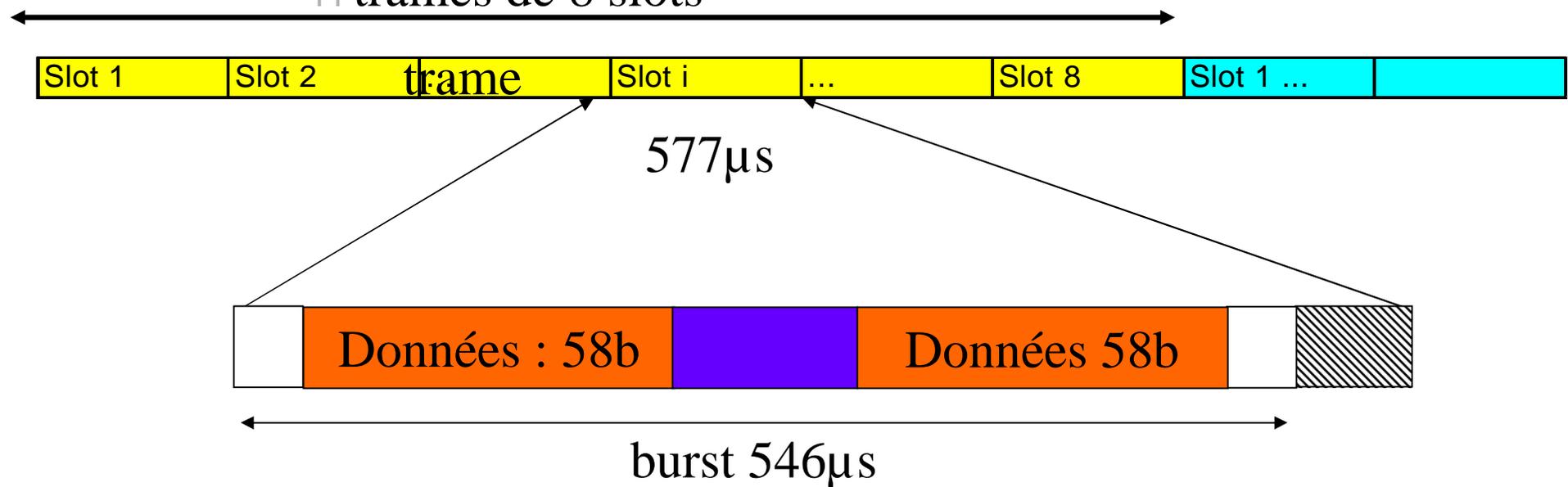
### III-2. Accès multiples

#### – E) Exemple : GSM

n largeur totale : 25MHz.  $C_{\text{theo}}=50\text{Mb/sec}$

n canaux fréquentiels : 124c, 200kHz; 271kb/sec

n trames de 8 slots



## *III-2. Accès multiples*

### – Capacité réelle

n Débit 1 canal logique 116bit/trame

n Débit 1 canal fréquentiel : 8x116bit/trame

n Débit réel :  $D_i = 116/577 \cdot 10^{-6} \sim 200 \text{kb/s}$

n Capacité globale :  $124 \times 200 \text{kb/s} = 24,8 \text{Mb/s}$

– à comparer à  $C_{\text{theo}} = 50 \text{Mb/sec}$

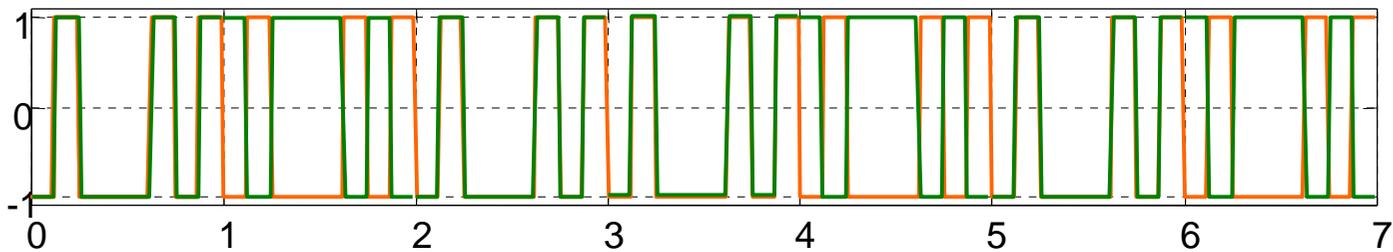
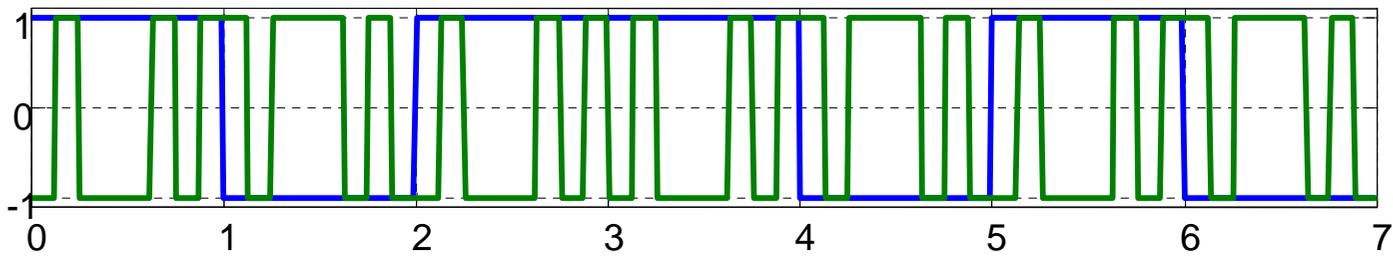
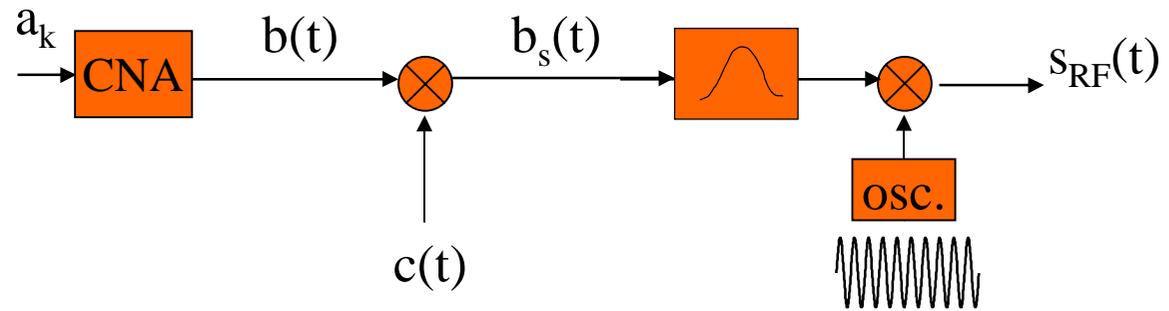
n efficacité spectrale :  $\eta \sim 1 \text{ b/s/Hz}$

## *III-2.Accès multiples*

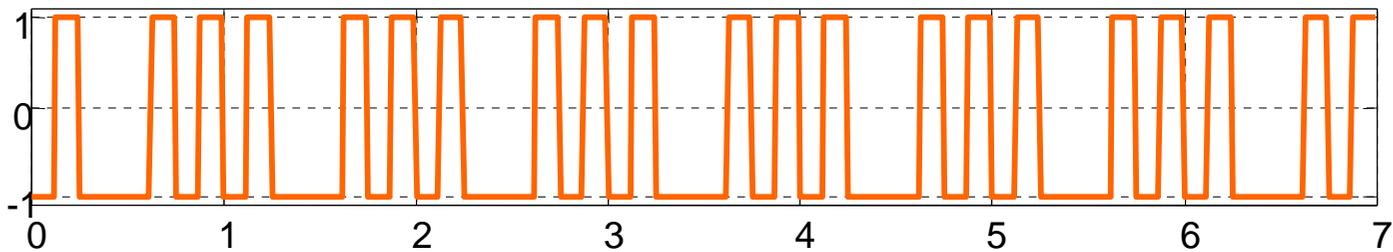
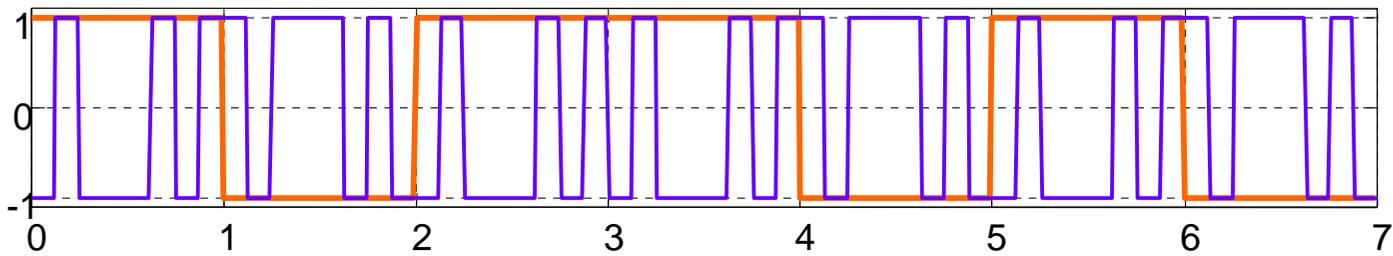
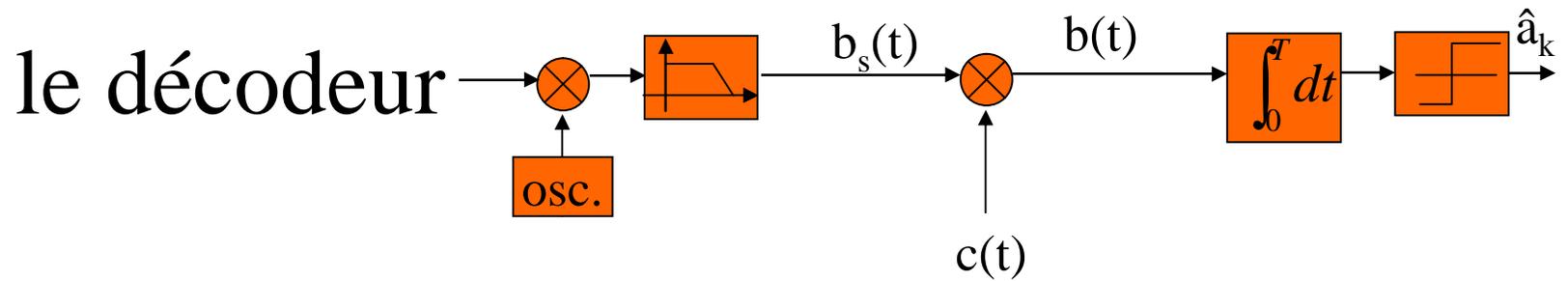
- F) CDMA (Code Division Multiple Access)
  - n L'UMTS est un système W-CDMA
  - n Définition de canaux fréquentiels à débit largement supérieur au débit d'une voie.
  - n Répartition de porteuses par cellule.
  - n Répartition dans le temps: trames et slots
  - n applications : GSM, DECT.

### III-2. Accès multiples

le codeur

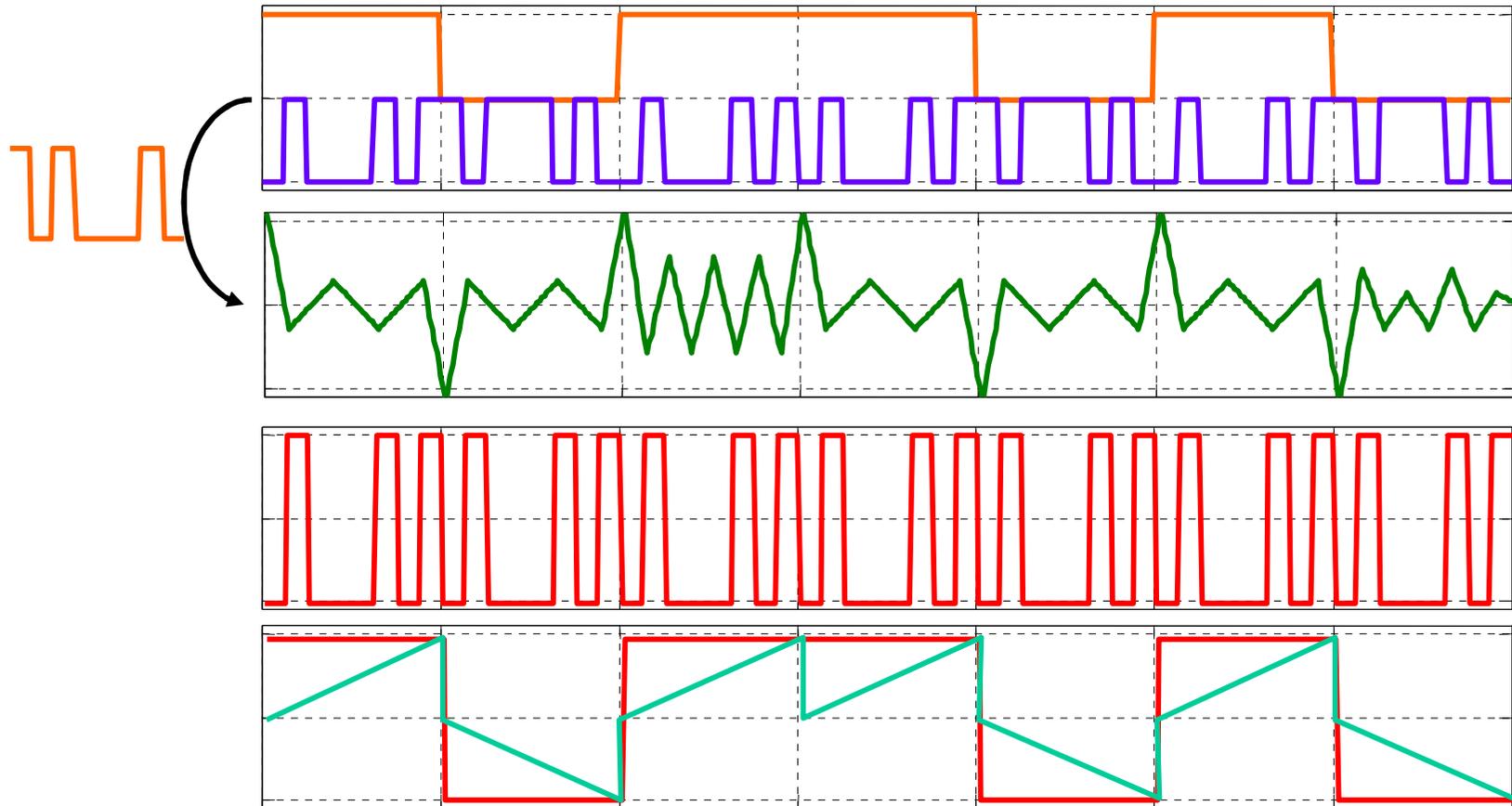


### III-2. Accès multiples



### III-2. Accès multiples

Recherche du maximum de corrélation



## III-2. Accès multiples

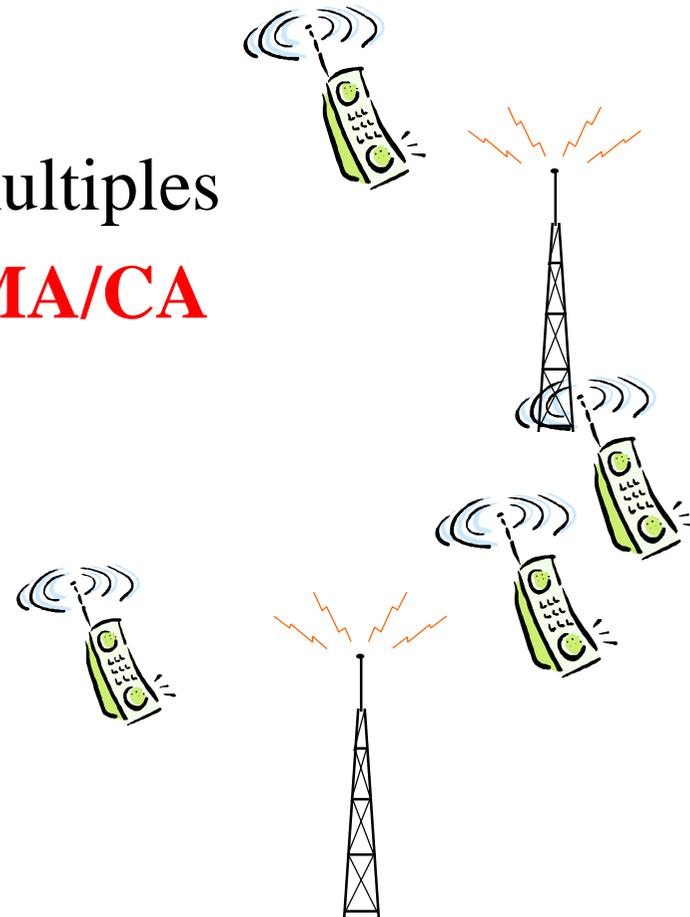
- n Propriétés du décodeur simple.
  - n Sélection du code : connu *a-priori* ou recherché.
  - n Synchronisation du code : matching filter.
  - n Synchronisation de phase : le phaseur utilise une séquence connue (pilote).
- Toutes ces opérations se font en quasi-temps réel :
  - n Matching filter : filtre RIF.
  - n Corrélateur : produit instantané.
  - n Phaseur : produit instantané.

– Paramètres du CDMA

- n Gain d'étalement : rapport entre  $T_c$  (durée chip) et durée symbole.
- n Capacité théorique = au système de référence
- n trouver des codes faiblement corrélés :
  - taux de corrélation
  
- n Avec des codes corrélés (grand nombre), il subsiste une corrélation, i.e. plus on utilise de code plus le niveau de bruit augmente

# III-Partage des ressources

- 1. Modes de partage
- 2. Techniques d'accès multiples
- **3. Cas particulier : CSMA/CA**
- 4. Synthèse

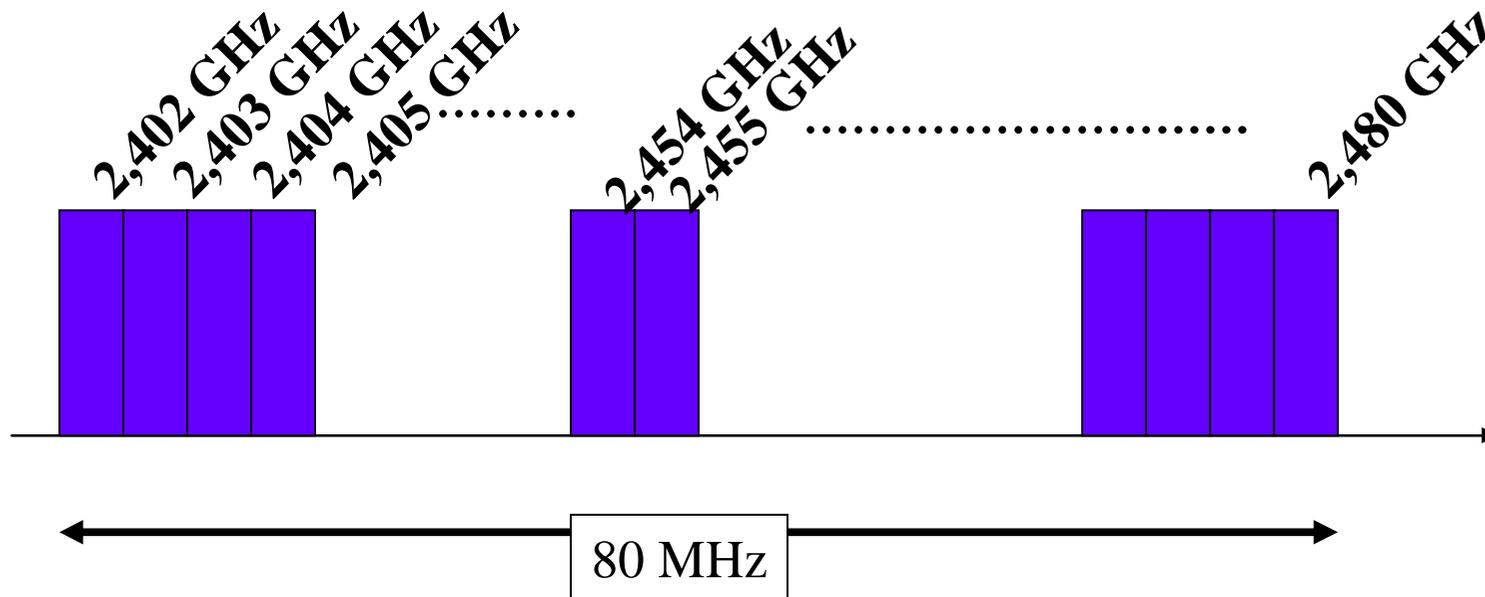


## *III-2.CSMA/CA : 802.11b*

- n Le débit global
- n Le débit réel utile en point à point
- n quelques configurations ‘types’

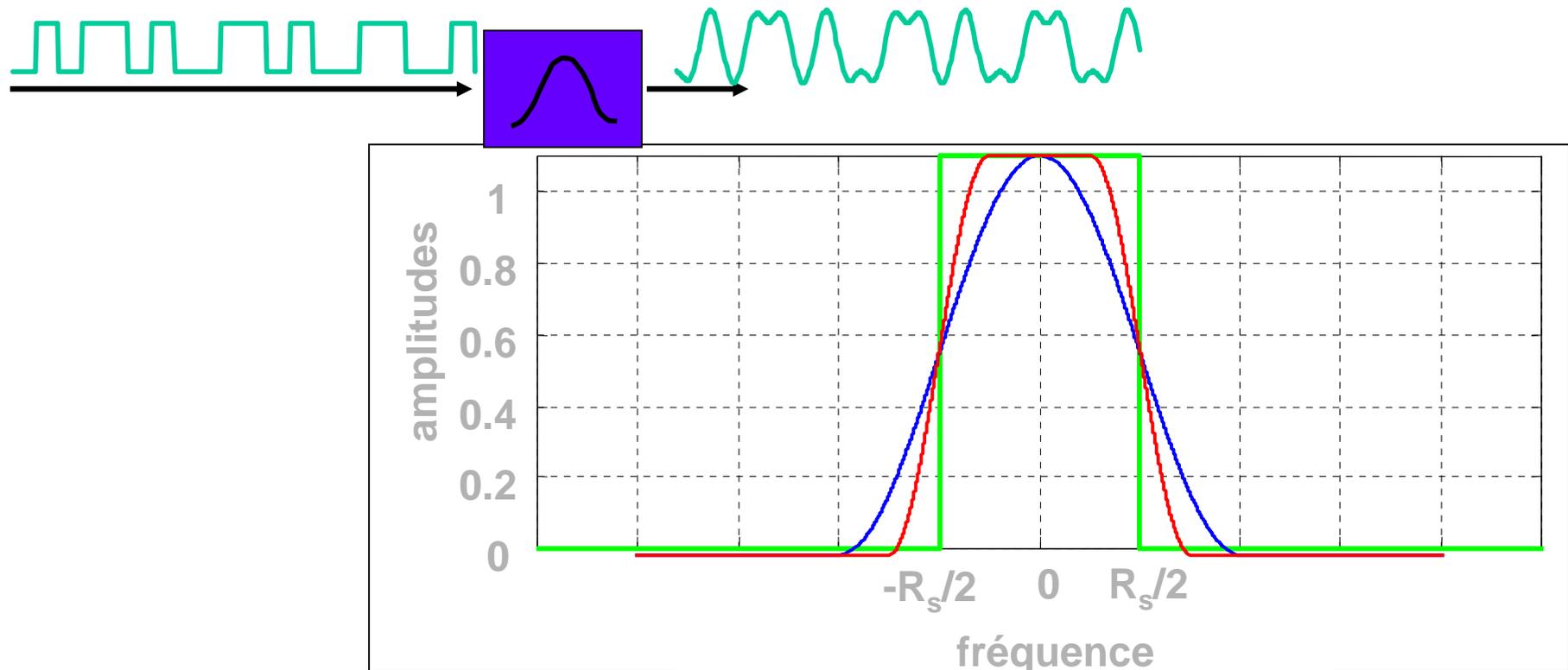
n Bande de fréquences ISM

- découpage en bandes de fréquences :



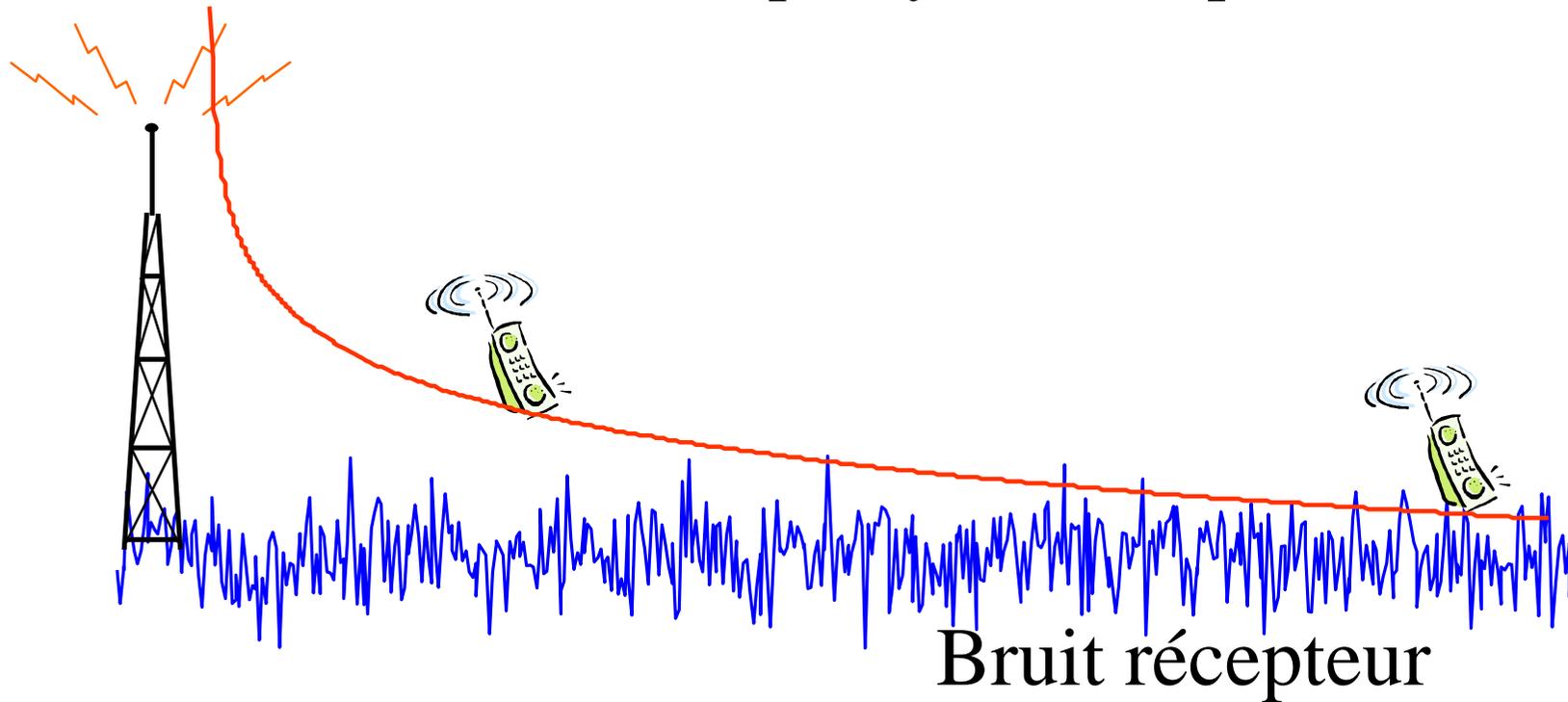
## n Bande de fréquences

n la BF permet de connaître le débit max en vitesse  
«symboles» :



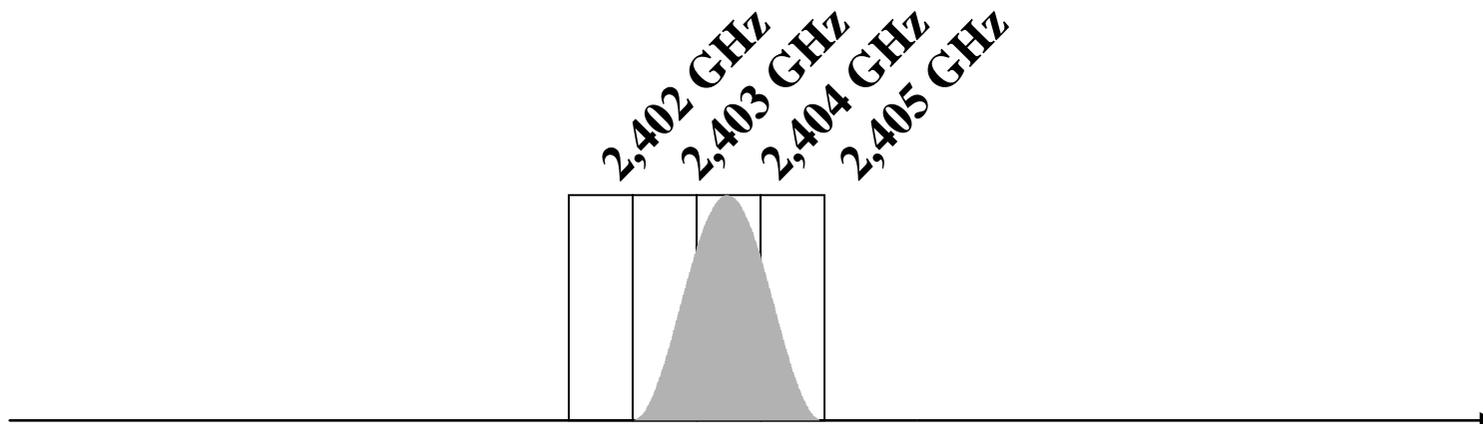
## n Le SNR

- le nombre de bits par symbole dépend du SNR.



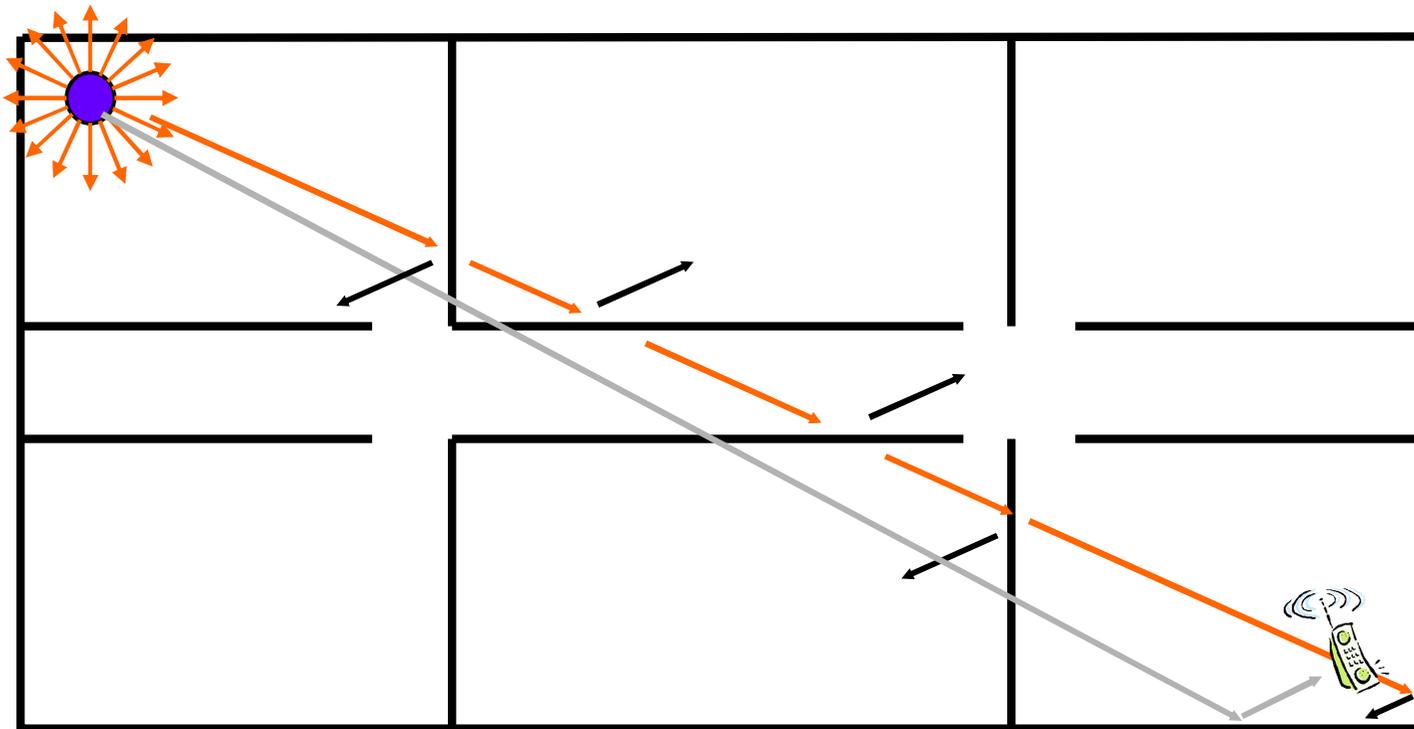
n Les caractéristiques de 802.11

- 1 canal = 1.1 à 2.2Mb/s
- attention aux recouvrements entre canaux



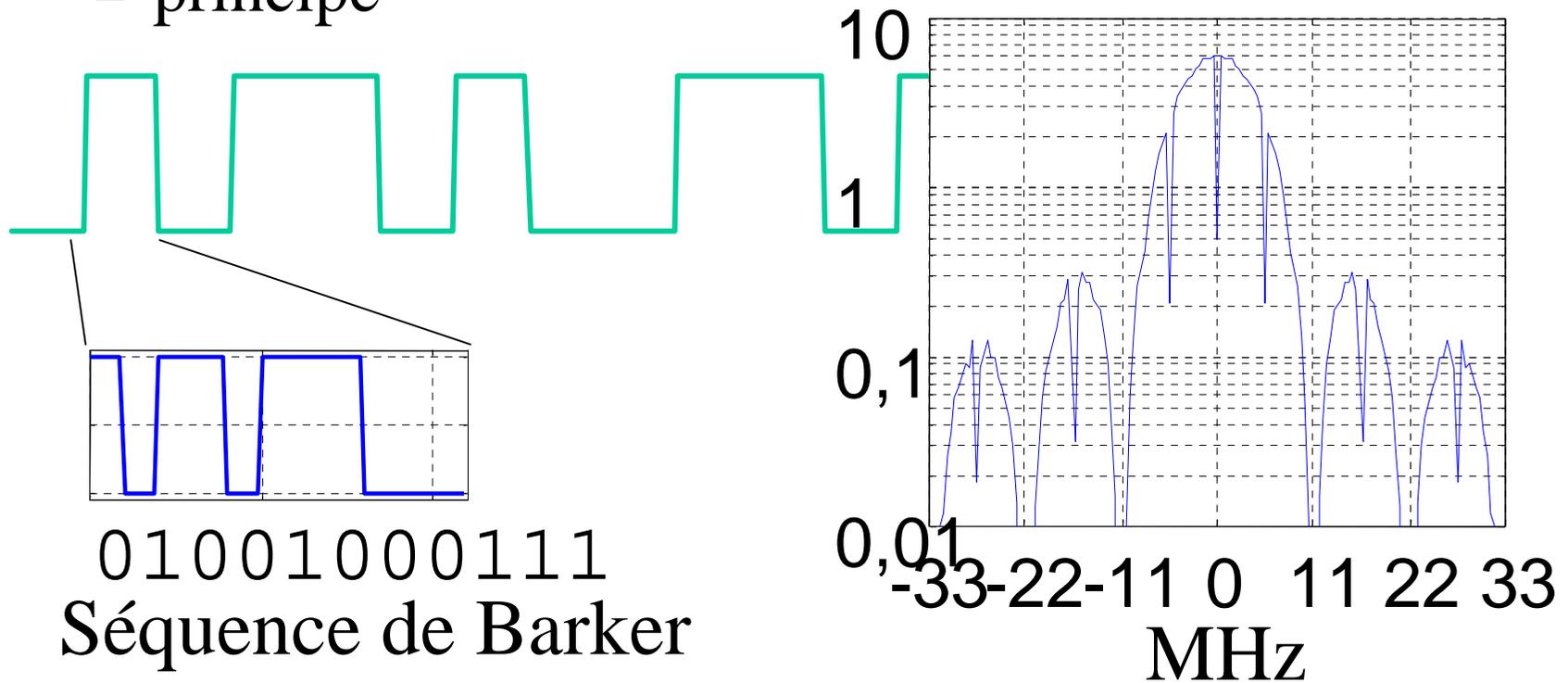
n Le DS-SS (étalement de spectre)

- problème des chemins multiples (fading)



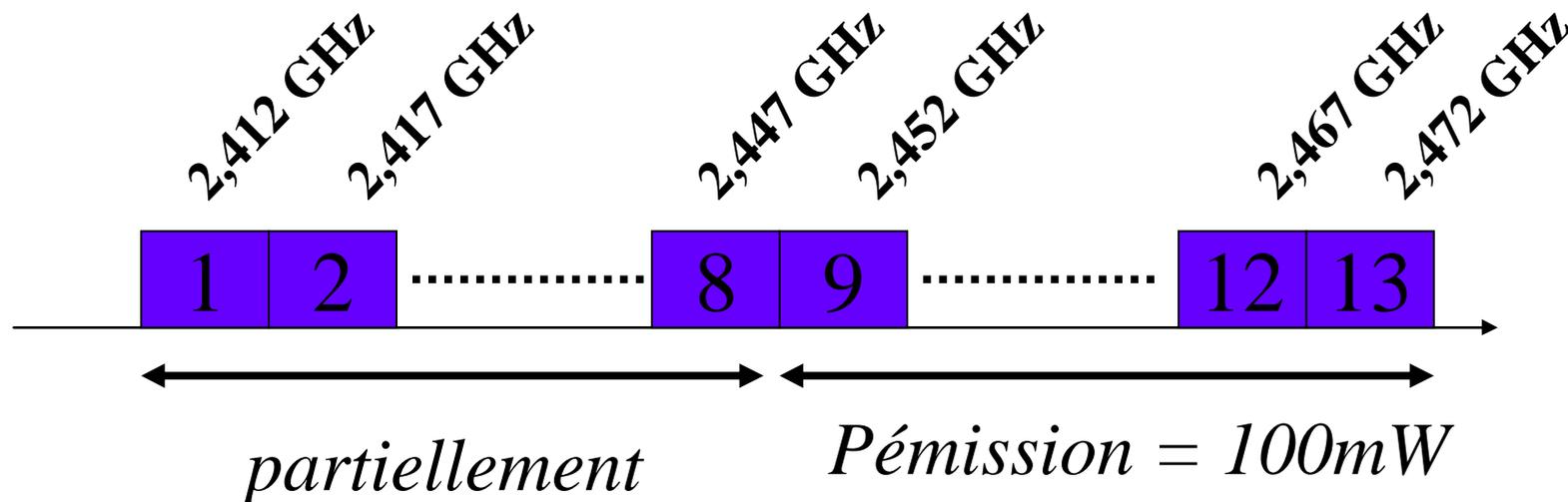
# n Le DS-SS

- principe



n Le DS-SS

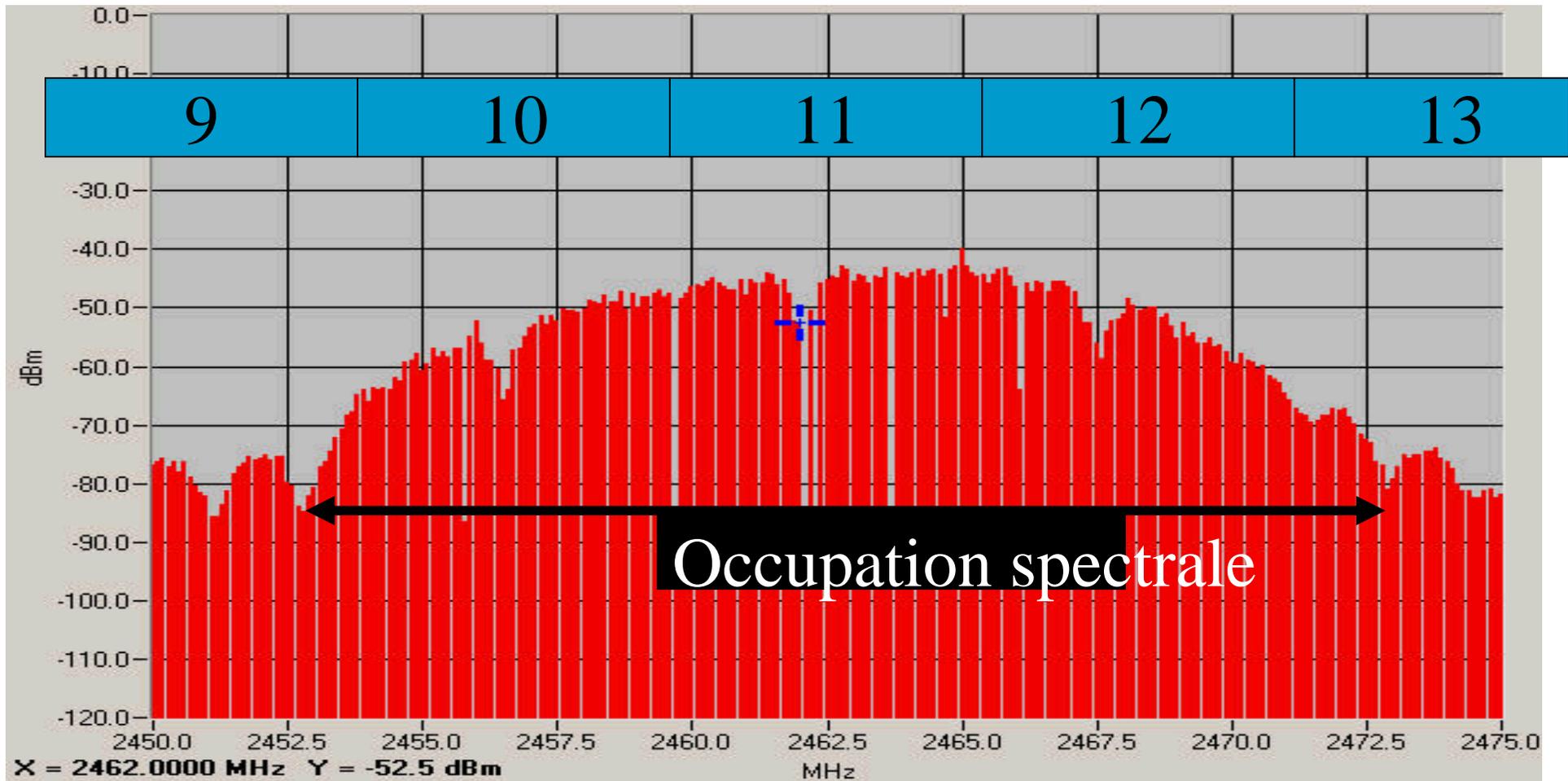
- conséquences : diminution du nombre de canaux



*interdits en France => nov.2002 (indoor)*  
*puiss. limitée à 10mW*

III-2.CSMA/CA : 802.11b

n Le DS-SS



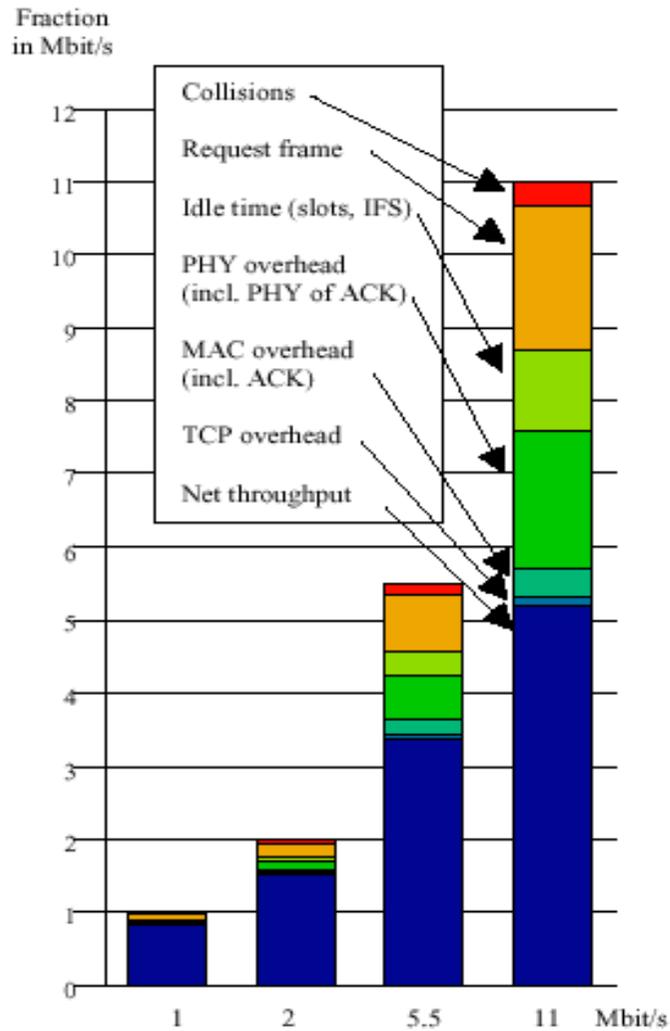
n **IEEE 802.11b**

- 1 ou 2Mb/s : 1Ms/sec; BPSK/QPSK
  - n 11 chips (Barker)
  - n plus robuste que 802.11
  
- 5,5 ou 11 Mb/s : 1,375Ms/sec, QPSK
  - n 8 chips (CCK)
  - n meilleur débit que 802.11 pour même couverture

n « throughput » (capacité)

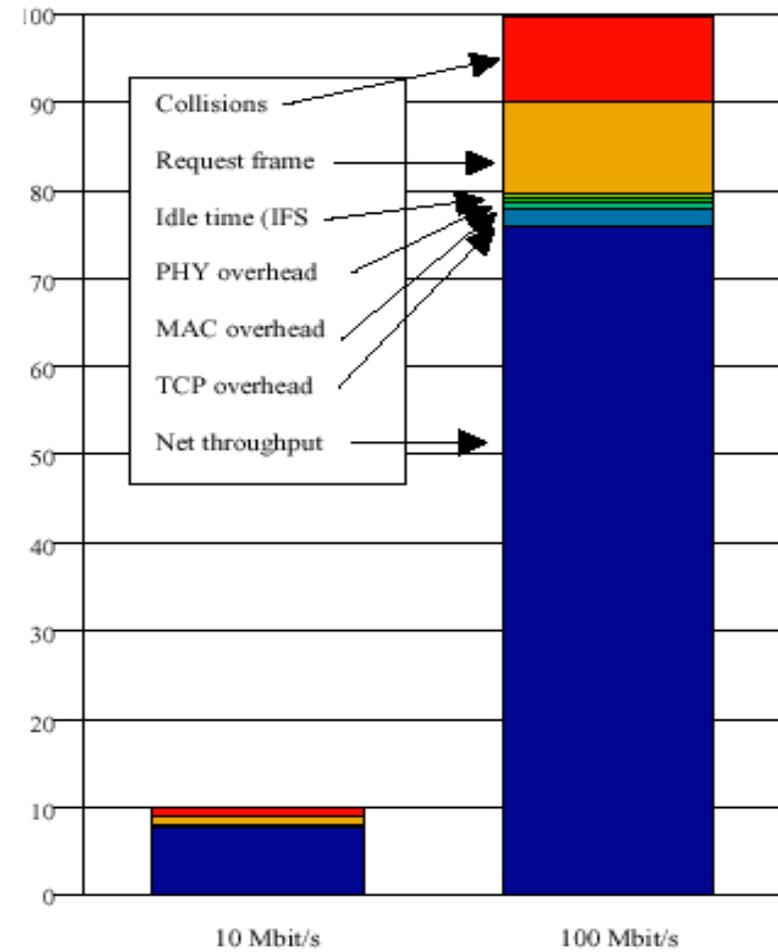
- le débit annoncé est égal au débit de tous les bits à transmettre
- le débit réel (ou utile) est le débit dont l'utilisateur dispose réellement
  
- entêtes et paquets de contrôle
- erreurs et retransmission

# n Poids des entêtes



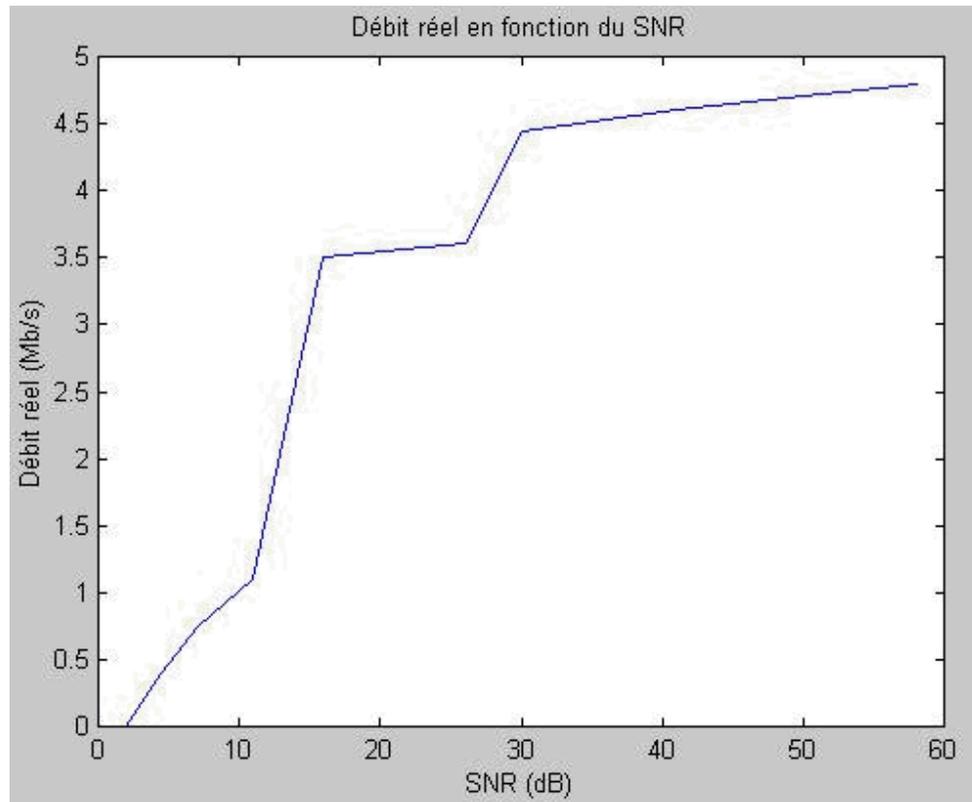
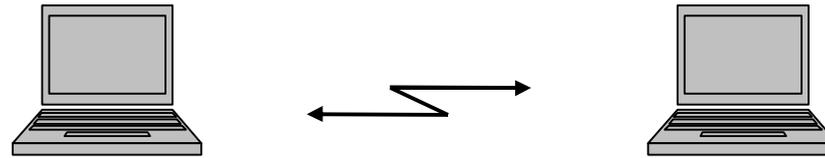
*IEEE802.11b*

Fraction in Mbit/s



*Ethernet*

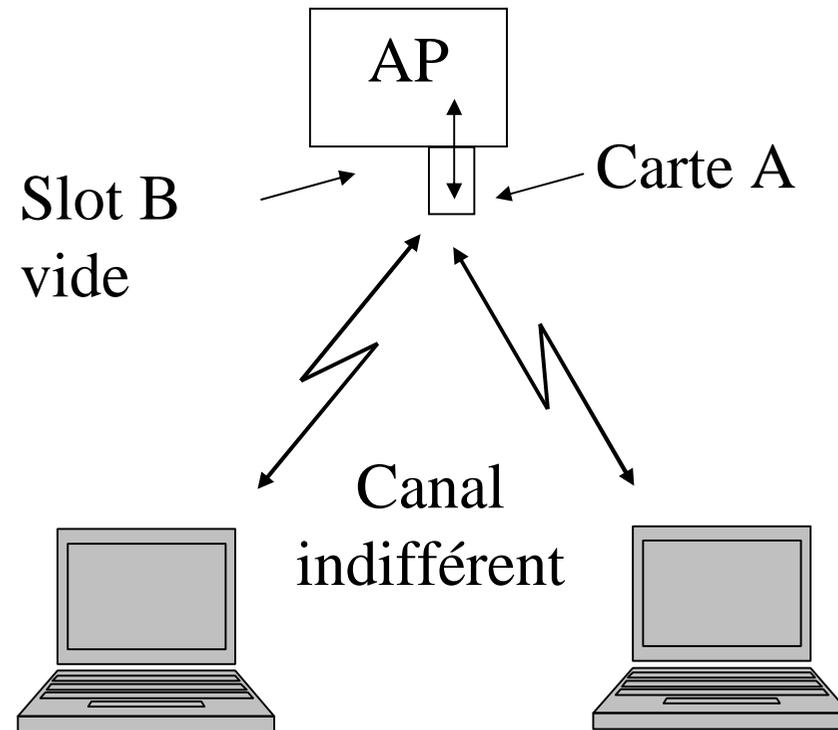
# n Mesures



### III-2. CSMA/CA : 802.11b

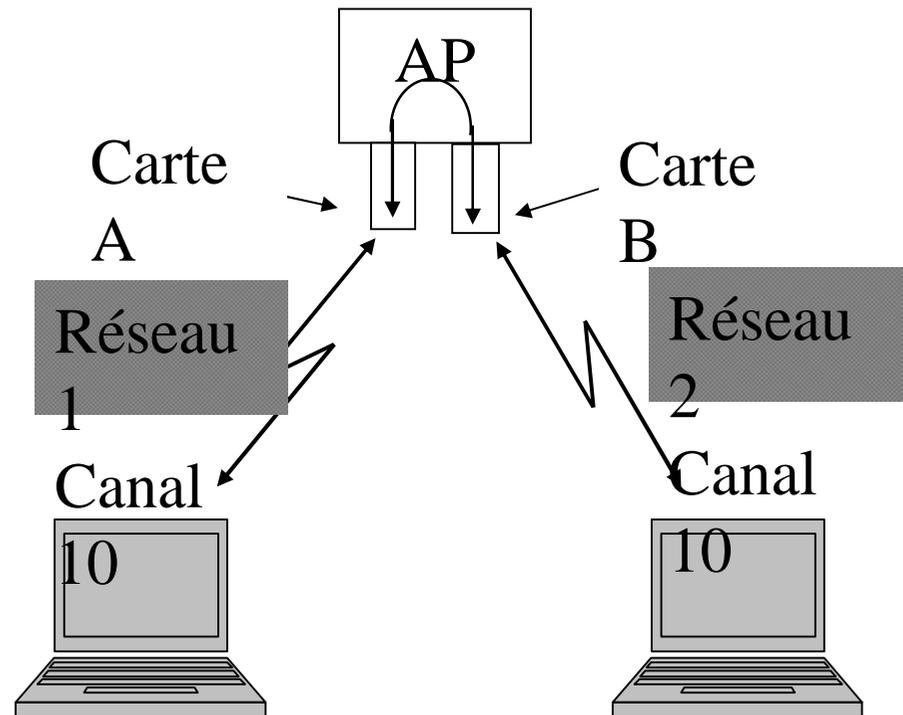
1 point d'accès muni  
d'une seule carte :  
Débit réel mesuré :  
2,4 Mbit/s

**CSMA : accès partagé**



### III-2.CSMA/CA : 802.11b

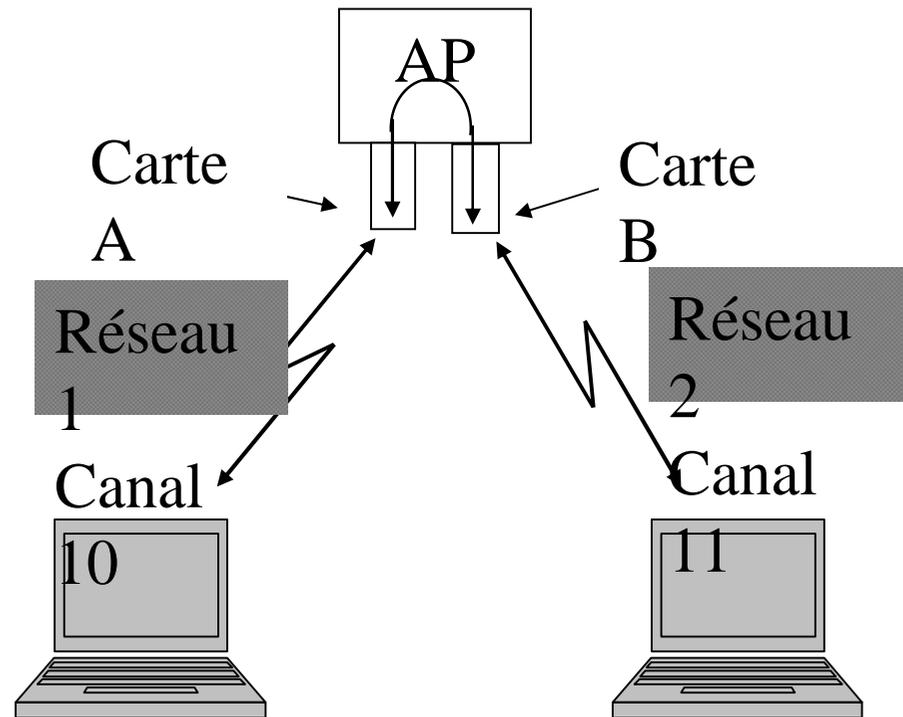
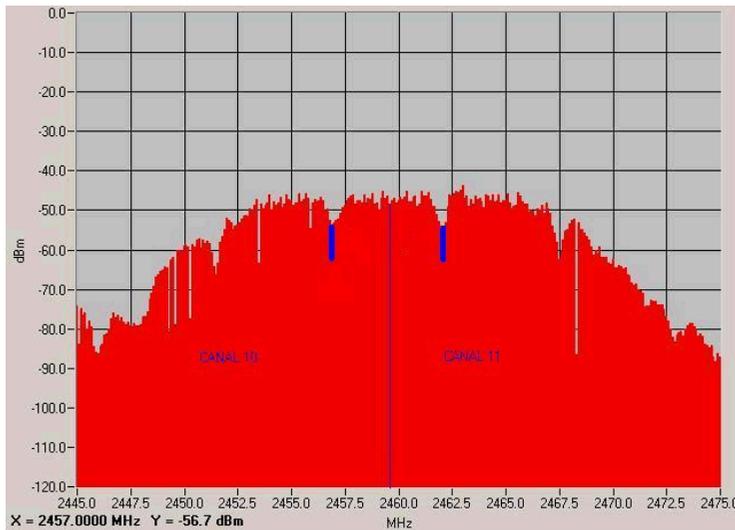
1 point d'accès muni de  
2 cartes :  
même canal  
Débit réel mesuré :  
3,5 Mbit/s



**Ce n'est plus le même  
canal logique,  
mais même canal physique**

### III-2.CSMA/CA : 802.11b

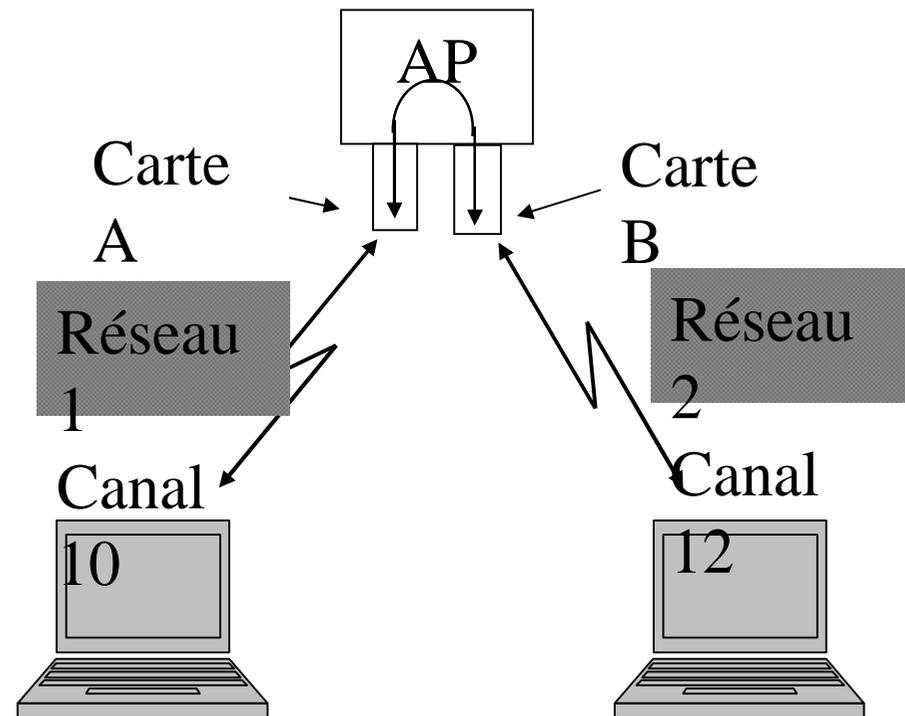
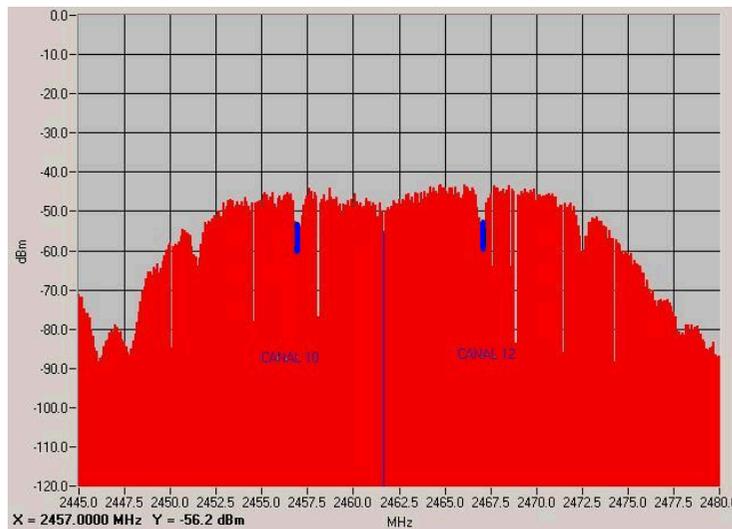
1 point d'accès muni de  
2 cartes :  
canaux 10 et 11  
Débit réel mesuré :  
1,7 Mbit/s



**Brouillage entre canaux**

### III-2.CSMA/CA : 802.11b

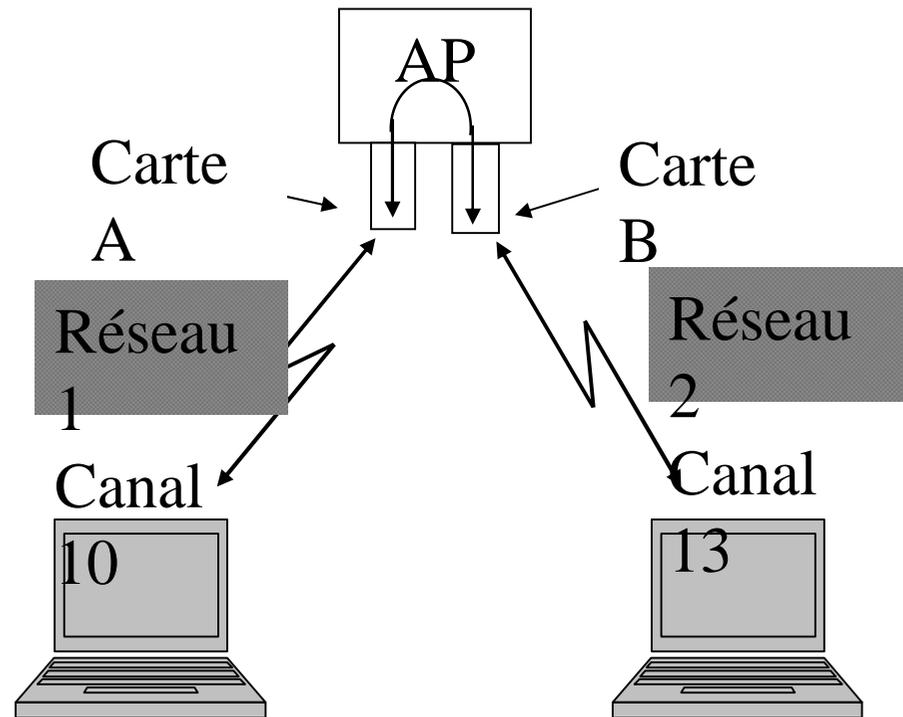
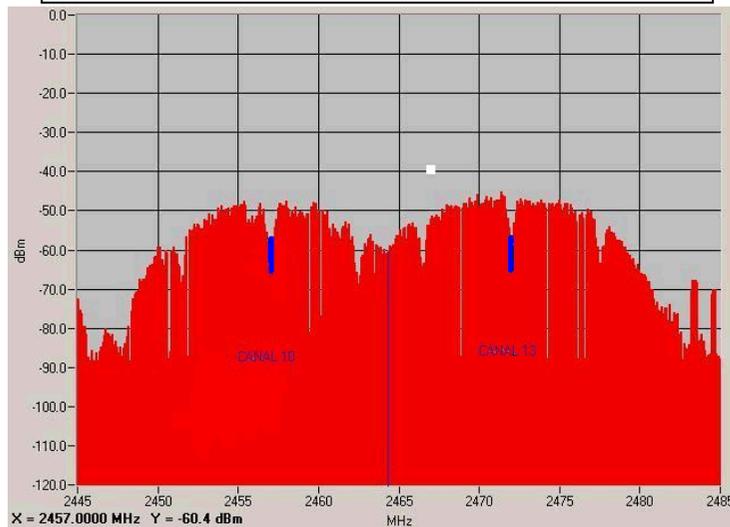
1 point d'accès muni de  
2 cartes :  
canaux 10 et 12  
Débit réel mesuré :  
2,2 Mbit/s



**Brouillage entre canaux**

### III-2.CSMA/CA : 802.11b

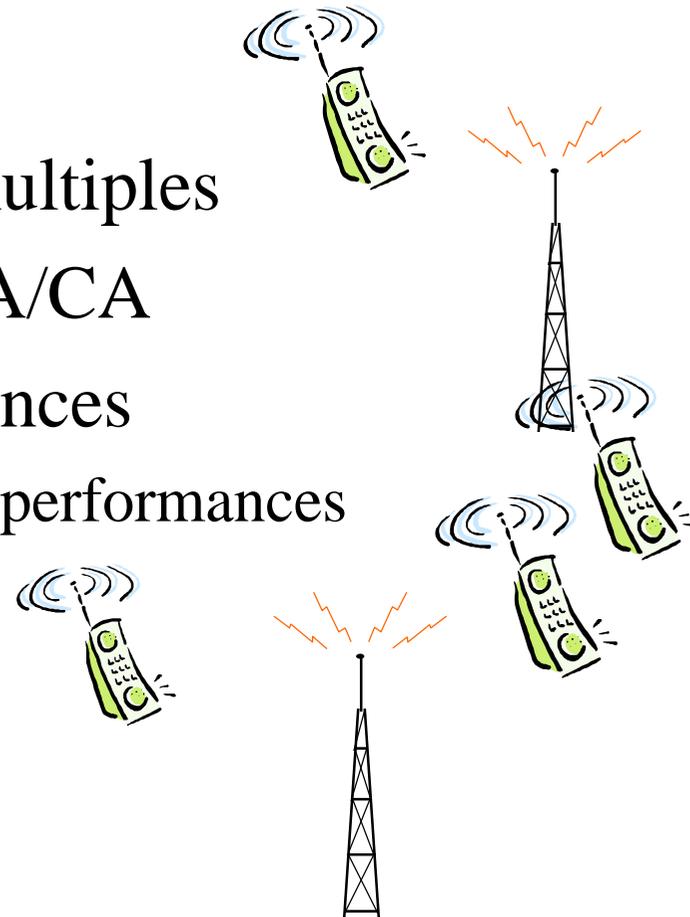
1 point d'accès muni de  
2 cartes :  
canaux 10 et 13  
Débit réel mesuré :  
3,8 Mbit/s



**Indépendance des canaux**

# III-Partage des ressources

- 1. Modes de partage
- 2. Techniques d'accès multiples
- 3. Cas particulier : CSMA/CA
- 4. Quantifier les interférences  
ou compromis efficacité / performances
- **5. Synthèse**



## *III-2. Accès multiples*

- Le partage des ressources permet :
  - n de partager le spectre radio.
  - n Ceci se fait au détriment d 'une perte de débit global, qui doit être minimisé
  - n En fréquence, limiter la largeur des spectres
  - n En temps, synchroniser le système, et limiter les temps « perdus ».
  - n Par codes, approche plus souple car l 'évolution du SIR est progressive, mais risques de débordements.

# Plan général

I. Principe des réseaux cellulaires

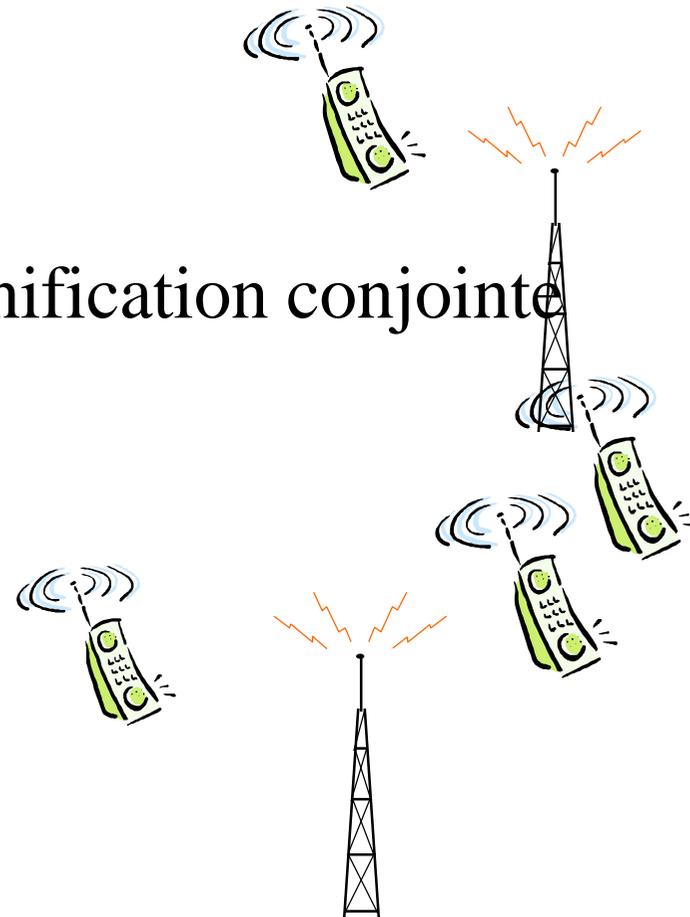
II. Caractéristiques des ressources radio

III. Partage des ressources

**IV. Ingénierie cellulaire**

# IV- Ingénierie cellulaire

- **1. Dimensionnement**
- 2. Planification
- 3. Dimensionnement-planification conjointe



## *IV-1. Dimensionnement*

### n A) Estimation des ressources nécessaires (trafic)

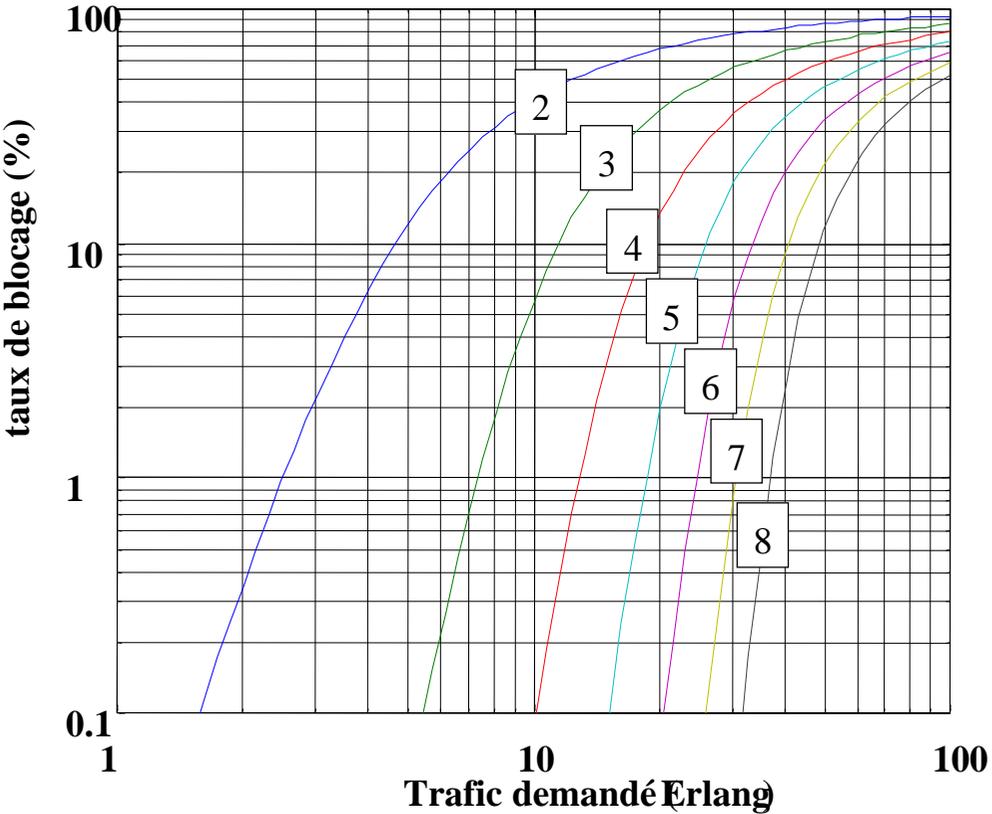
- Taux d'appel  $\mu$ , durée d'appel moyen (H)
  - n intensité de trafic par utilisateur : en Erlang :  $A_u = \mu.H$
- Densité de population :  $d_h$  (hab/km<sup>2</sup>)
  - n densité de trafic souhaité :  $A = d_h \cdot A_u$  (erlang/km<sup>2</sup>)
  - n (faible : 1 erlang, moyenne : 10 erlang, forte : 50 erlang)
- Surface couverte : S
  - n trafic à assurer :  $A_{tot} = A.S$  (en erlang)
- Taux de blocage : % appels bloqués (~2%)
  - le taux de blocage dépend du nombre de canaux et du trafic.
  - i.e. le nombre de canaux requis dépend du trafic souhaité (densité.surface) et du taux de blocage requis.

# IV-1. Dimensionnement

## Les lois d'Erlang

$$P_c = \frac{A_{tot}^{N_c} \frac{1}{N_c!}}{\sum_{n=0}^{N_c} A^n \frac{1}{n!}}$$

Etude du taux d'erreur en fonction du nombre de canaux fréquences



## *IV-1. Dimensionnement*

Estimation du nombre de canaux voix

$$N_C = \text{fix}(8 \cdot (N_f - 1) / (1 + 1/8))$$

Nb fréquences	1	2	3	4	5	6	7	8
Canaux physiques	0	8	16	24	32	40	48	56
Nb TCH	0	7	14	21	28	35	42	49

## *IV-1. Dimensionnement*

### n B) Capacité cellulaire

- n Système avec  $S$  canaux
- n Canaux alloué à un cluster de  $N$  cellules
  - $k$  canaux par cellule
- n Un motif utilise les  $S=kN$  canaux
- n Motif répété  $M$  fois
- n Capacité du réseau  $C=MkN$ 
  - Réduire la taille  $N$  du cluster, augmente capacité
  - Réduire la surface de la cellule, augmente  $M$  et donc la capacité

## *IV-1. Dimensionnement*

n limite pour une cellule isolée :

- la capacité théorique est limitée par le nombre de porteuses que l'on peut lui attribuer (indépendamment du bruit de voisinage) :
- quelques problèmes
  - n au mieux 1 fréquence sur 2 (interférences canaux adjacents)
  - n problèmes de compatibilité : maximum = 8 porteuses
- c'est une limite intrinsèquement liée à la technique GSM.
  - n Capacité max : 8 porteuses : 50 canaux voix

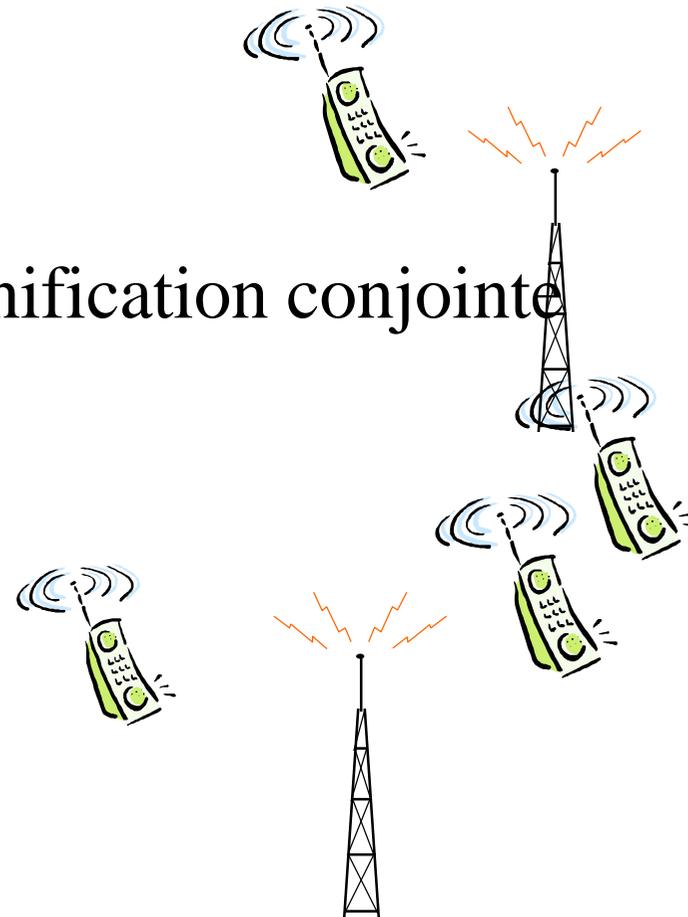
## *IV-1. Dimensionnement*

- n limite pour un groupement de cellules:
  - la capacité est limitée par le facteur de réutilisation :
  - contrainte majeure :
    - n les interférences réduisent le nombre de codes disponibles
    - n Exemple : avec un facteur de réutilisation de 9 (8 porteuses/cell), il faut 72 porteuses, soit  $\sim 14,4$  MHz.
    - n L'efficacité spectrale par cellule est de :  
13 kbit/s par utilisateur (450 par motif), soit :  $\eta = 0.045$  bit/Hz

Pour augmenter la capacité, il faut réduire les interférences, pour diminuer le facteur de réutilisation permettant alors d'avoir des motifs plus petits.

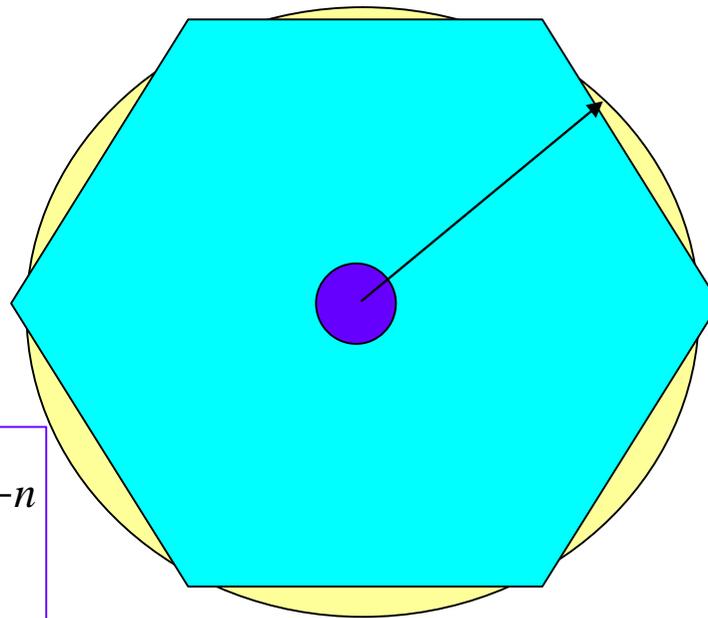
# IV- Ingénierie cellulaire

- 1. Dimensionnement
- **2. Planification**
- 3. Dimensionnement-planification conjointe



## IV-2. Planification

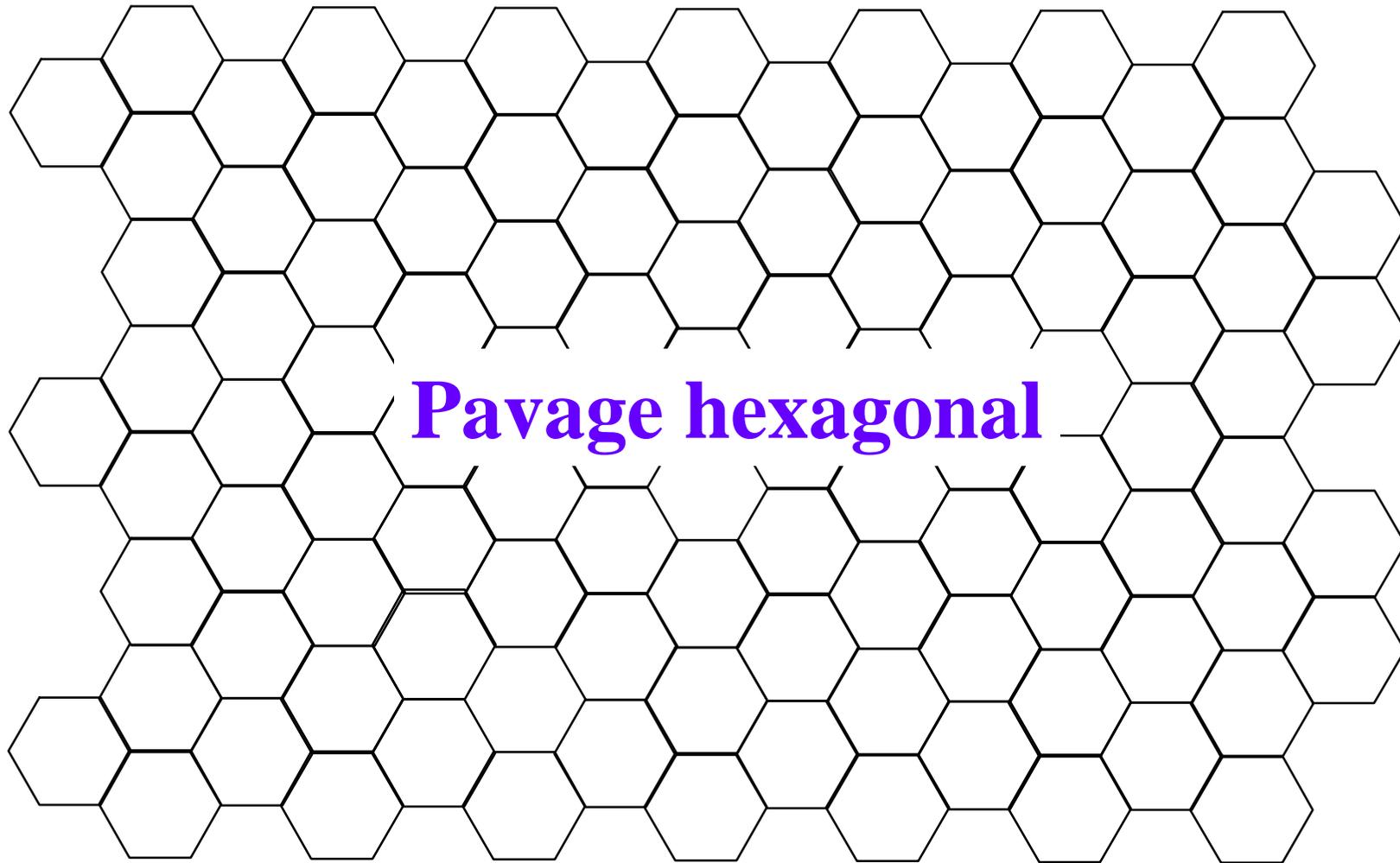
Antennes omnidirectionnelles  
espace libre



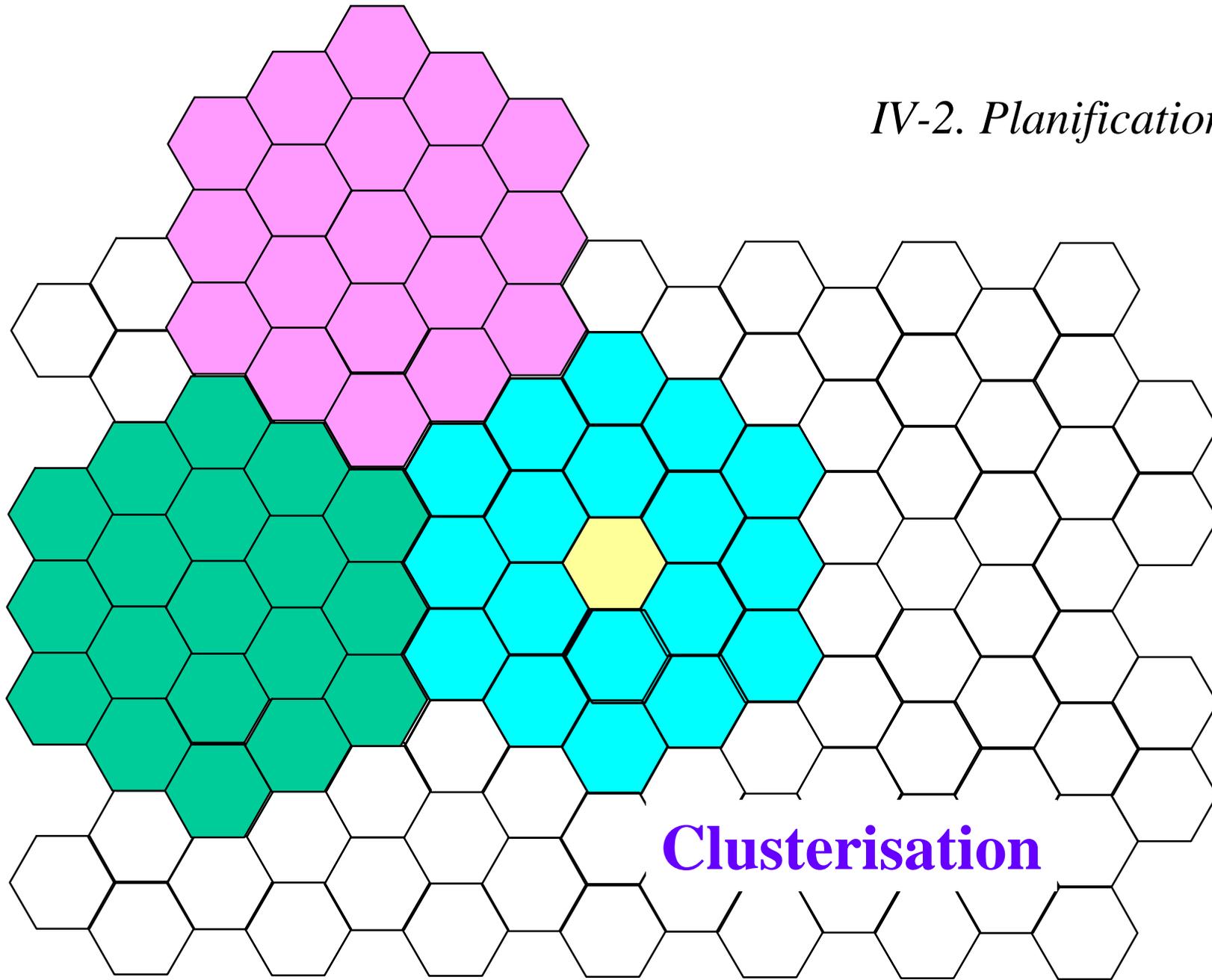
$$P_r = P_0 \left( \frac{d}{d_0} \right)^{-n}$$

**Modèle  
hexagonal**

*IV-2. Planification*



*IV-2. Planification*



**Clusterisation**

## IV-2. Planification

### n Interférence co-canal

- n Cellules utilisant le même ensemble de fréquences (ou temps ou codes)
- n rem : impossible de réduire ces interférences en augmentant la puissance d'émission

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

Puissance de la cellule co-canal  $i$



## IV-2. Planification

- n La norme GSM défini des rapports de protection entre canaux adjacents

### ACIP : Adjacent Chanel Interference Protection

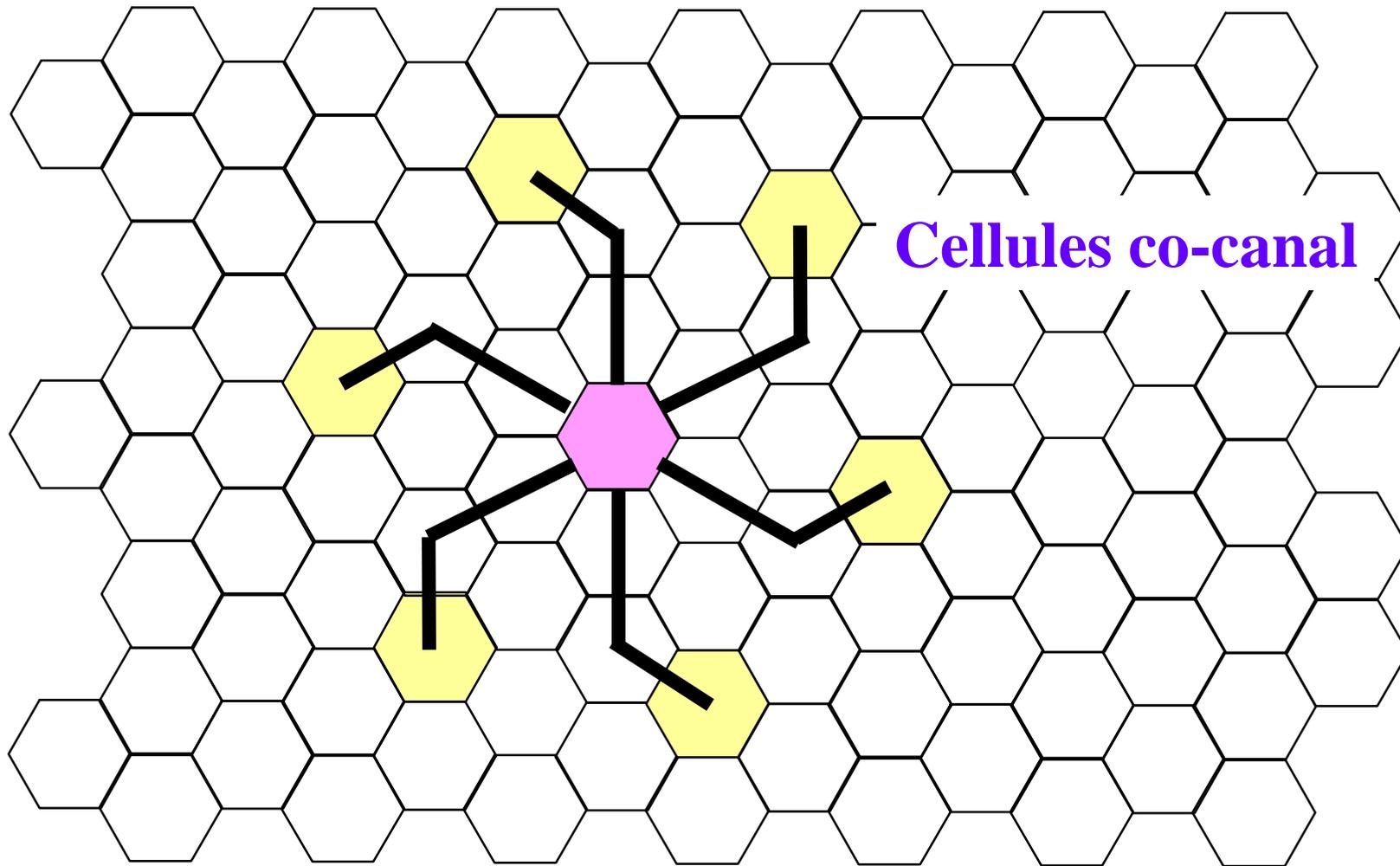
Interférences co-canal (fo)	C/Ic	9dB
Interférences 1er canal adjacent	C/Ia1	-9dB
Interférences 2ième canal adjacent	C/Ia1	-41dB
Interférences 3ième canal adjacent	C/Ia1	-49dB

Impossible d'utiliser 2 fréquences adjacentes sur la même cellule en GSM.

Non recommandé pour des fréquences à n+2

Au-delà, négligé la plupart du temps

## *IV-2. Planification*



## IV-2. Planification

### – Puissance moyenne reçue

$n$  est le facteur d'atténuation

$$P_r = P_0 \left( \frac{d}{d_0} \right)^{-n}$$

Estimation du C/I, pire cas :

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}}$$

## IV-2. Planification

### n Facteur de réutilisation (de canal)

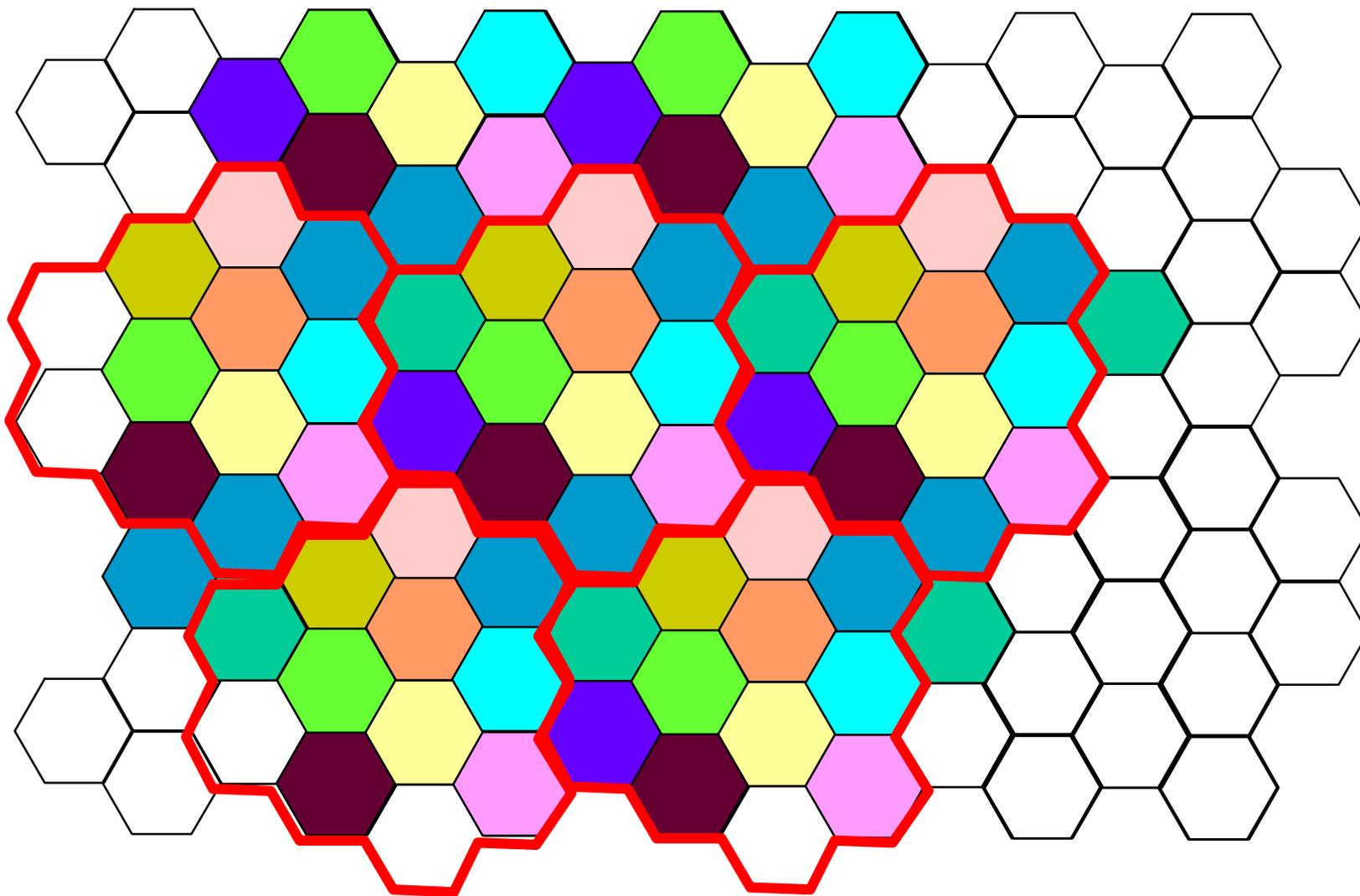
n Facteur  $Q=D/R$

n Géométrie hexagonale

- 6 cellules co-canal
- $N=i^2+ij+j^2$

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>27</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>37</b>	<b>48</b>

**Exemple : motif à 12 cellules** *IV-2. Planification*



## IV-2. Planification

- Facteur de réutilisation co-canal (cellules de même taille)

$$\frac{C}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{6}$$

$n$  est le facteur d'atténuation  
en milieu urbain  $n=2$  à  $4$

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

	N	1	3	4	7	9	12	13	19
$n=3$	C/I	-0.6	6,5	8,4	12	13,6	15,5	16	18,5
$n=4$	C/I	1,75	11	13,8	18,7	20,8	23,3	24	27,3

**Rem : marge de 3dB implique  $N=7$  pour  $n=3$**

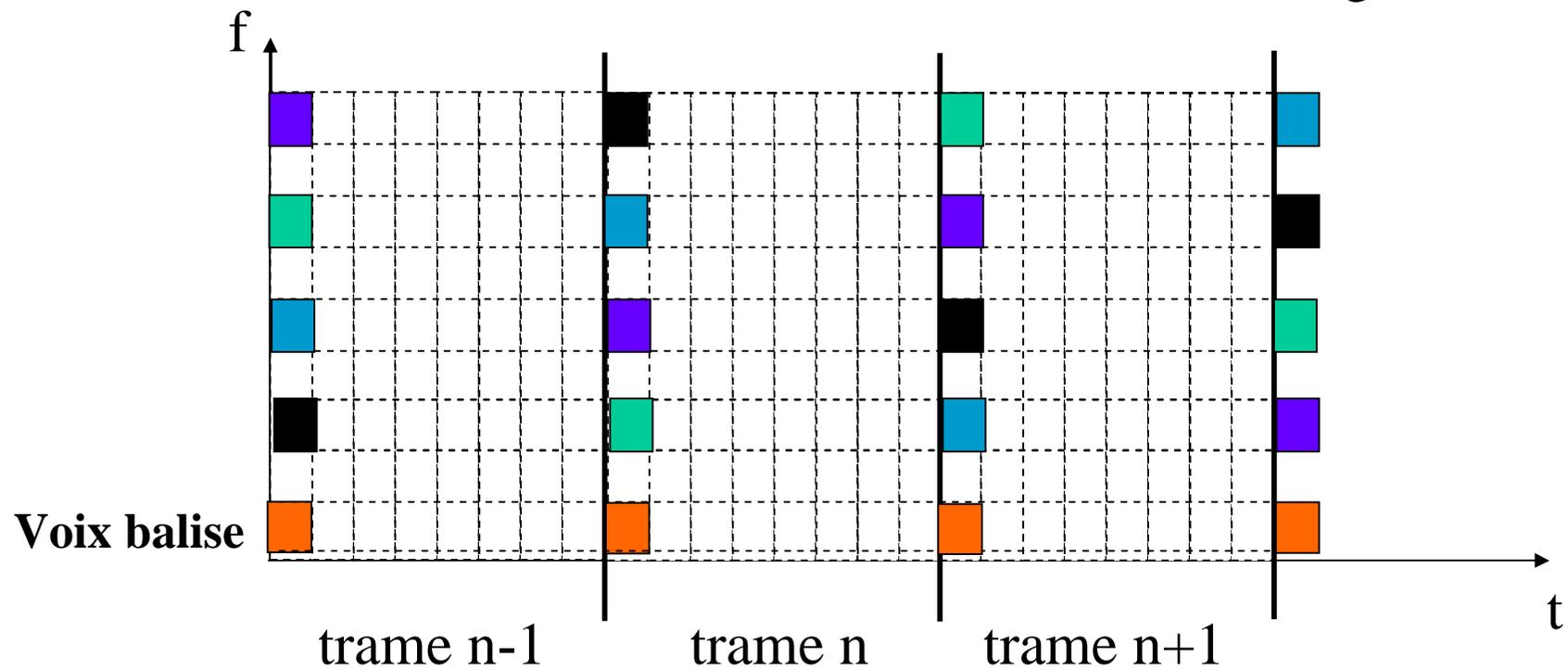
## *IV-2. Planification*

- Augmentation de la capacité
  - méthodes classiques :
    - n Contrôle de puissance
  
    - n Sectorisation
      - Utilisation d’antennes directives
    - n Reuse partitionning
      - Superposer deux schémas cellulaires
    - n Division cellulaire

## IV-2. Planification

### – Saut de fréquence

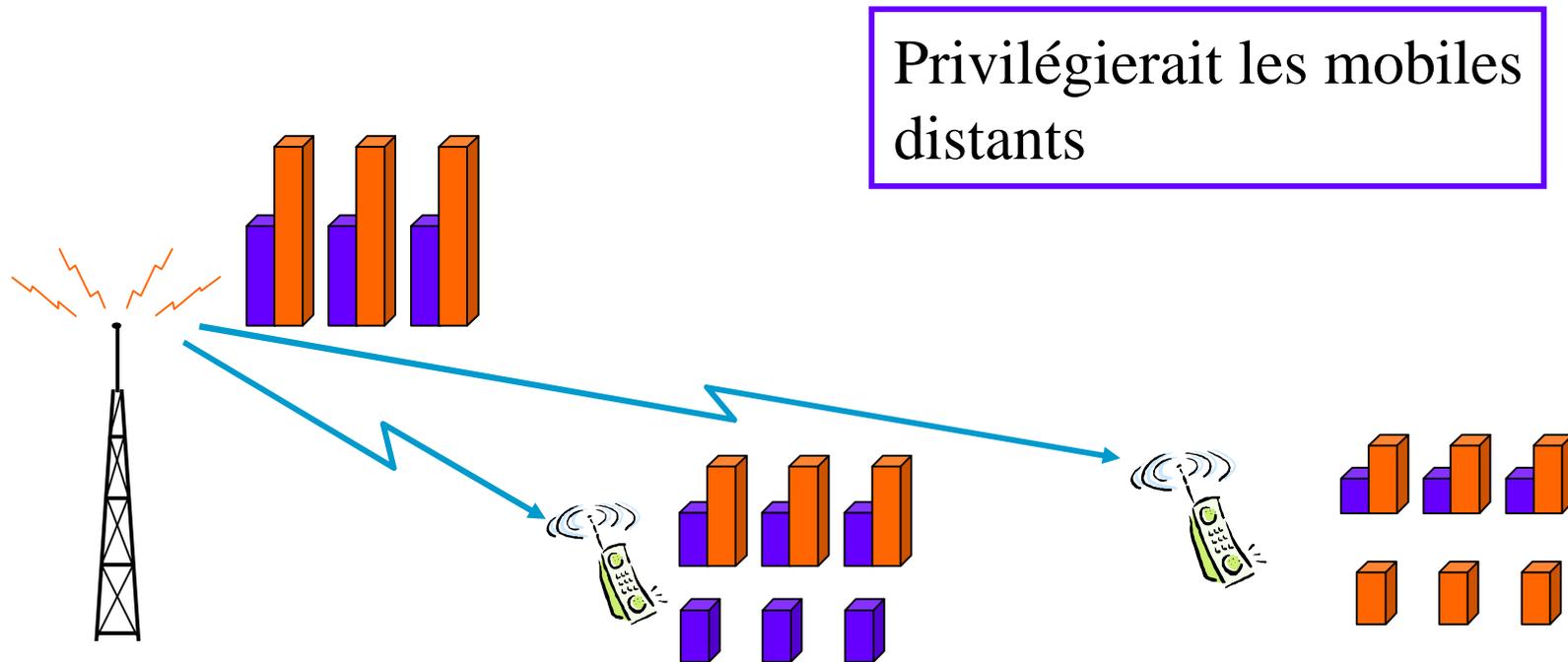
– lutter contre les évanouissements (fast fading)



*(diversité en fréquence sans redondance)*

## IV-2. Planification

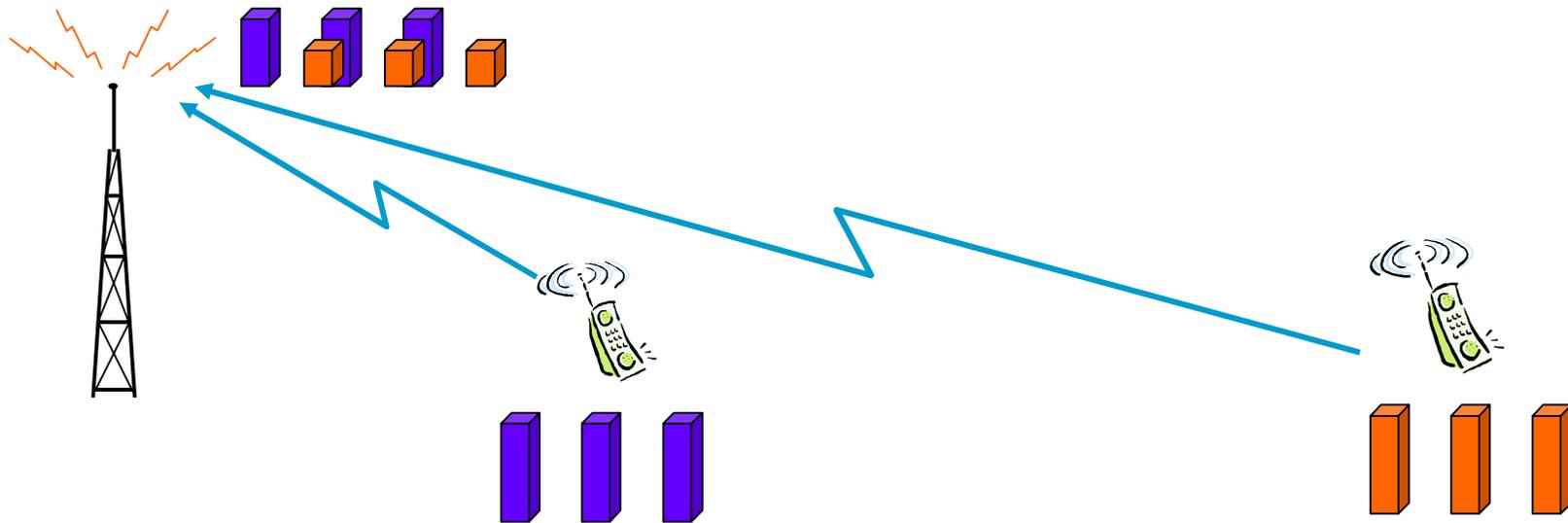
- Contrôle de puissance
  - sur lien descendant



## IV-2. Planification

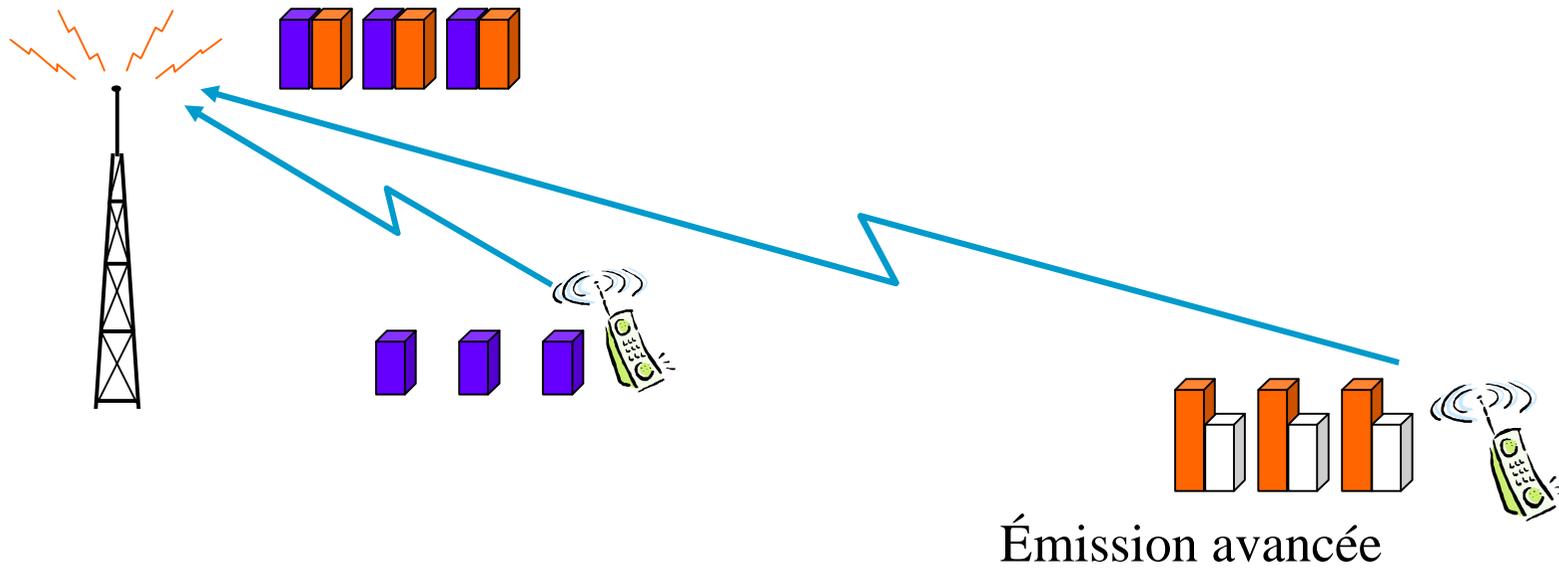
n sur lien montant

- réduit les interférences
- contrôle de puissance et 'time advance'



## IV-2. Planification

Chaque mobile estime le temps de trajet entre lui et la station de base et la puissance nécessaire



## *IV-2. Planification*

- 1. Dimensionnement (modèle théo)
  - n lois d'Erlang, trafic, taux d'erreur
  - n nombre de canaux.
  - n Modèle hexag
  - n cas du GSM : détailler les canaux (service + voies)
- 2. Planification
  - n modèle théo : hexag. : nbre de canaux, facteur de réutilisation, SNR, influence du paramètre n, ...
  - n approche exp : utilisation de la notion de voisines, méthodes : graphes, recherche op (heuristiques : recuit, gradient, Tabou, ...)
- 3. Dimensionnement-planification conjointe
  - n déterminer simultanément les positions et paramètres des antennes, et la répartition des fréq.