

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 année 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 MOBITEK
 - WAN
- n 802.11b
 - LAN

En savoir plus...

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

Plan général

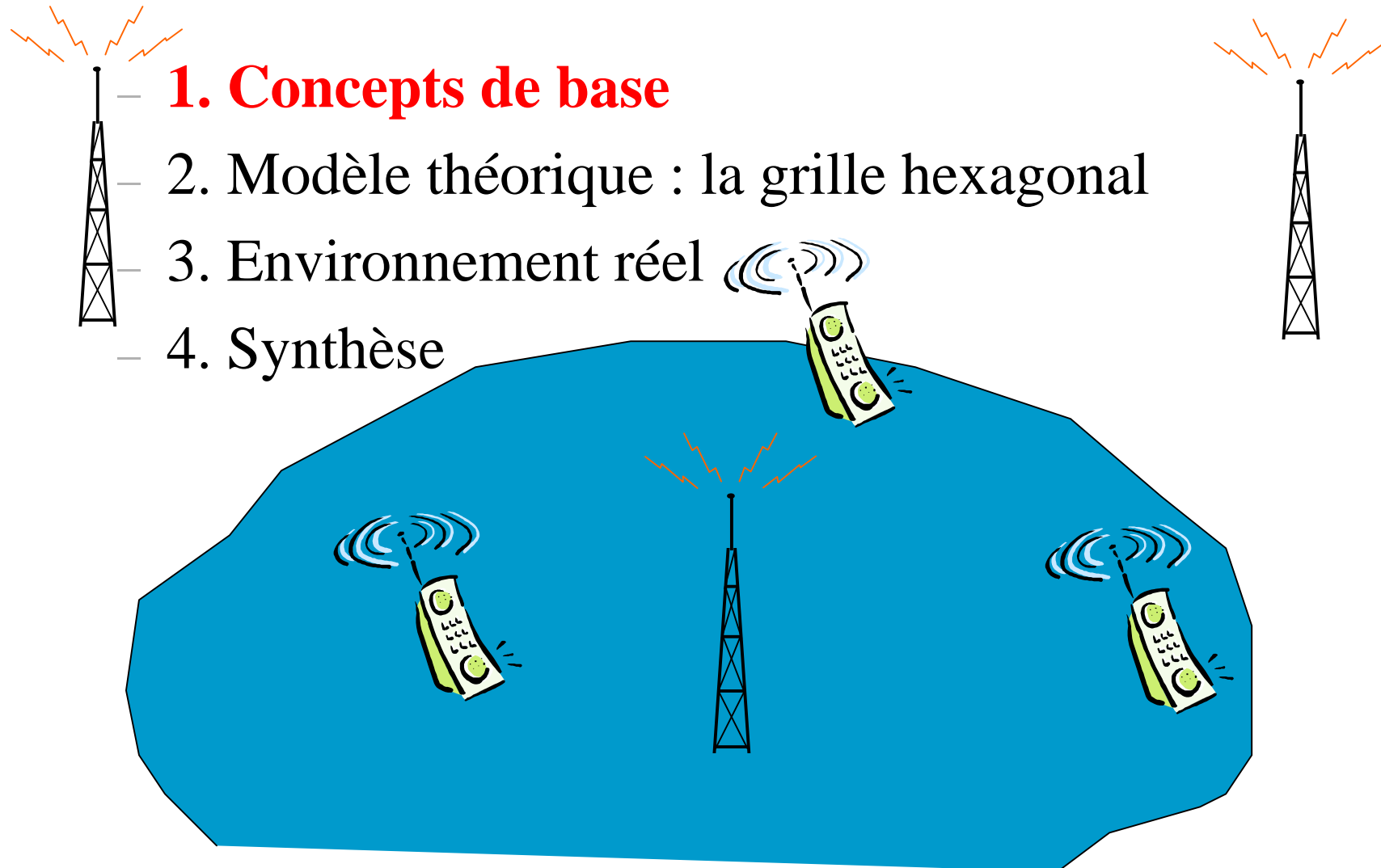
I. Principe des réseaux cellulaires

II. Caractéristiques des ressources radio

III. Partage des ressources

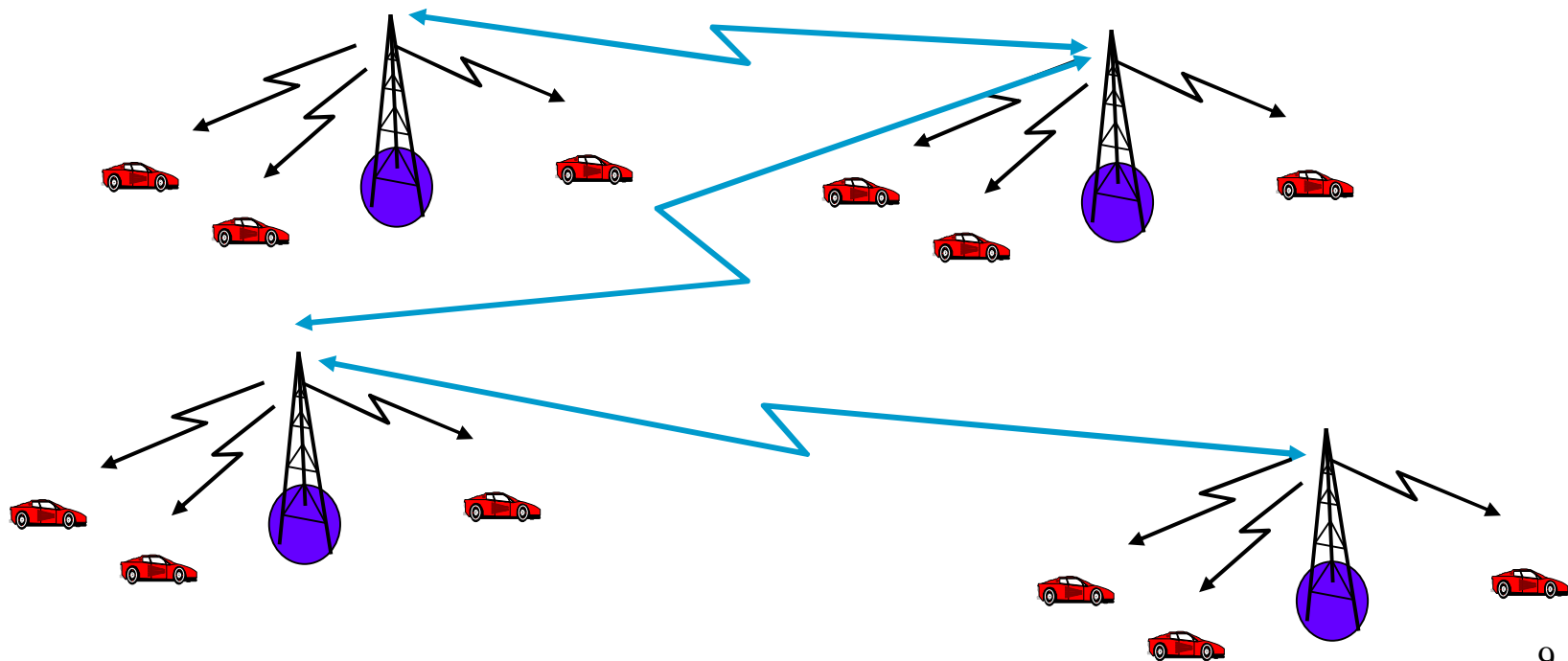
IV. Ingénierie cellulaire

I- Pincipes des réseaux cellulaires



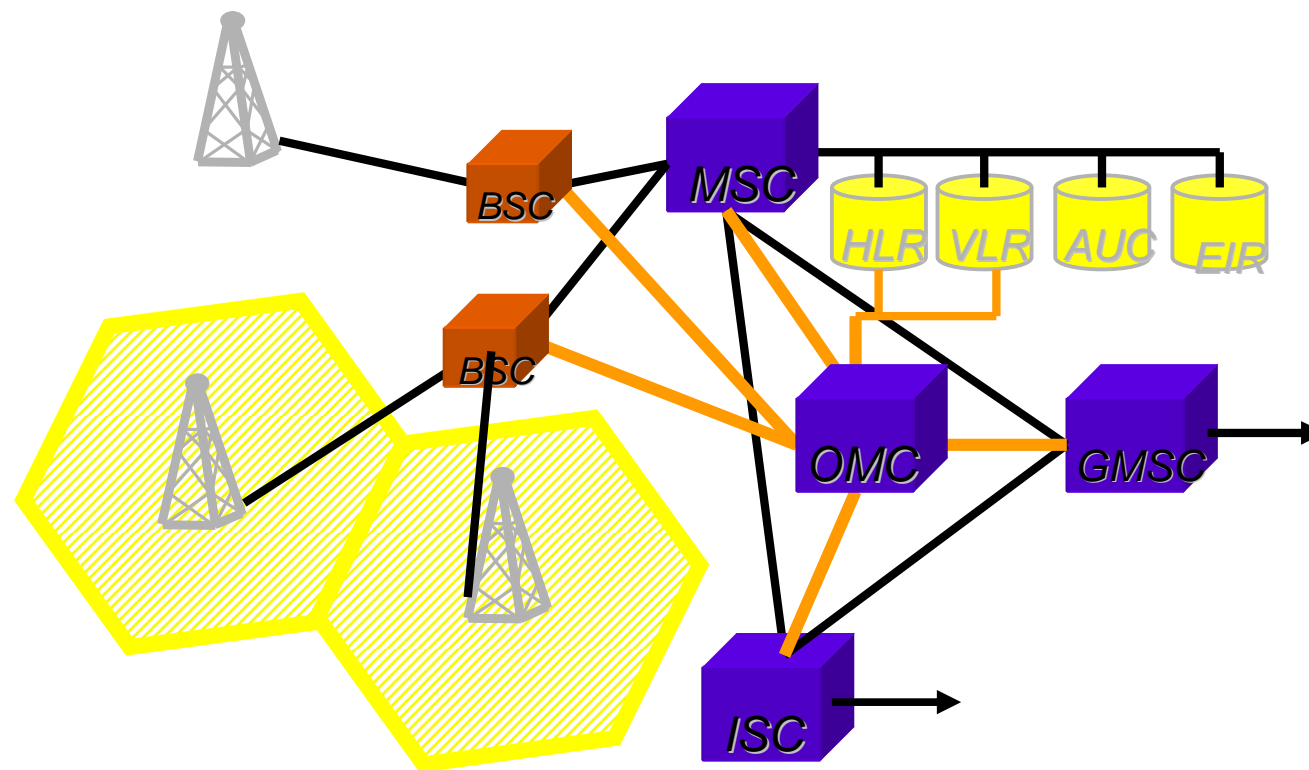
I-1. Concepts de base

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



I-1. Concepts de base

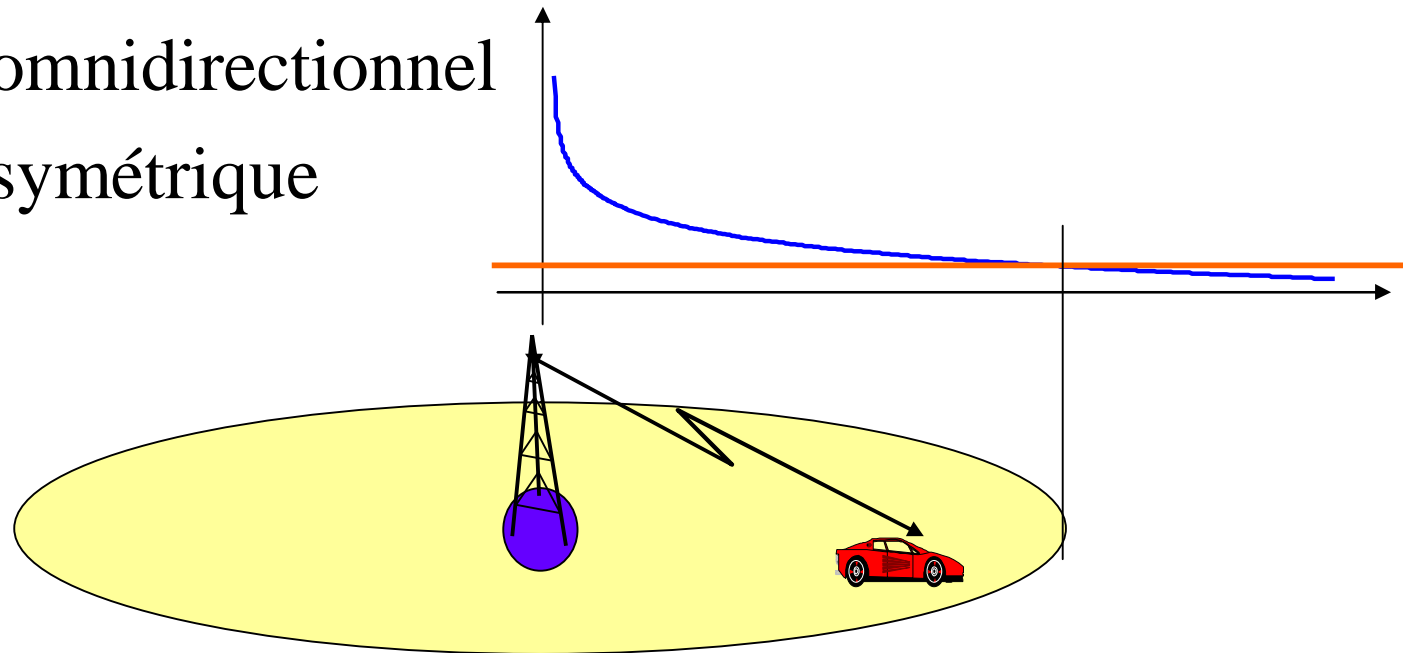
– Architecture logique (GSM)



I-1. Concepts de base

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, ...)

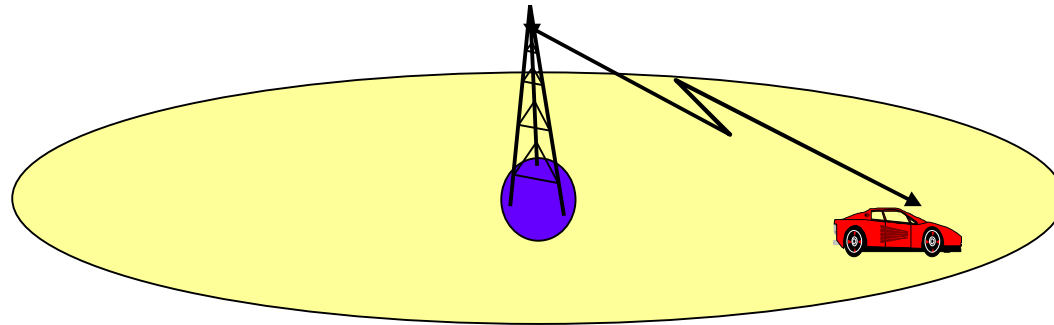
I-1. Concepts de base

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

Loi d'affaiblissement

$$2 < n < 4$$

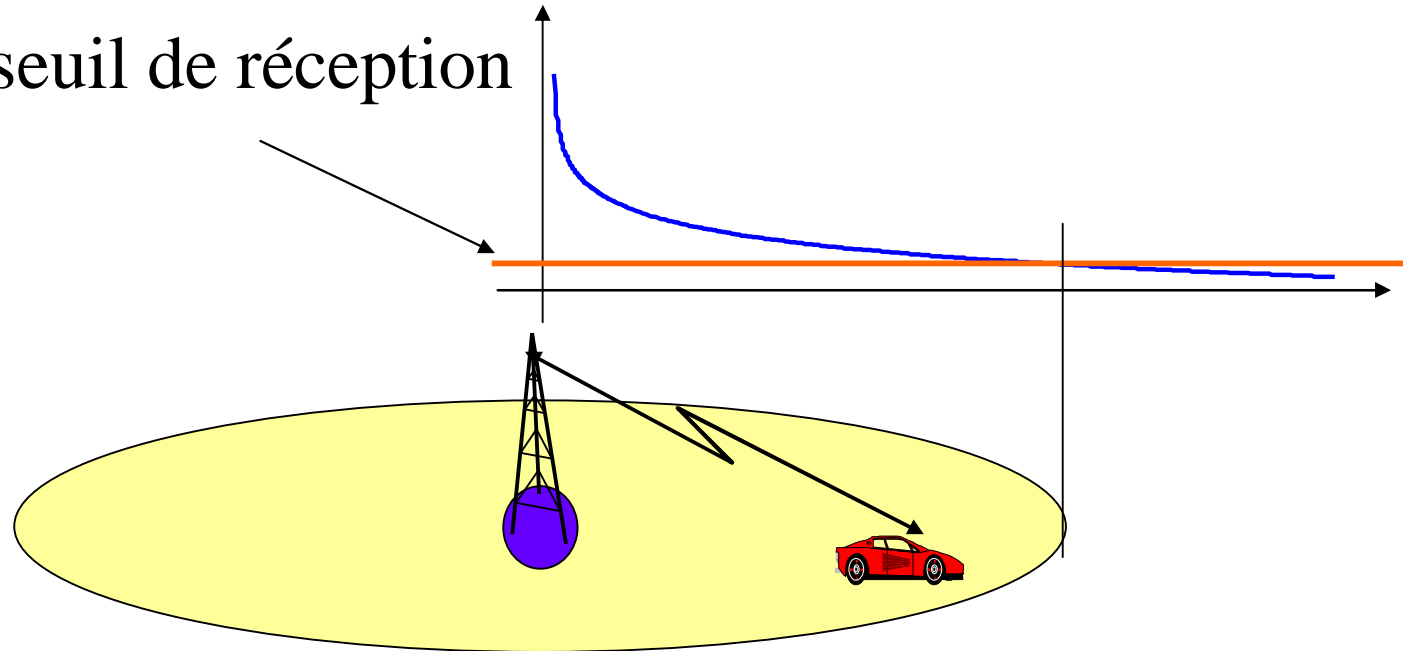
$$P_{mW}(d) = P_{mW}(d_0) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n$$



I-1. Concepts de base

n C) Seuil de réception

- bruit du récepteur :
- seuil de réception



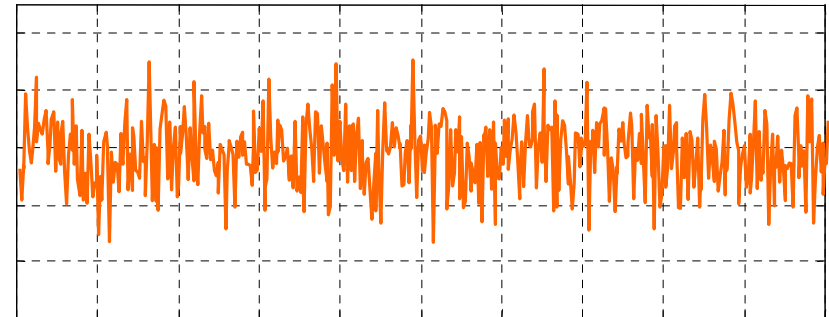
I-1. Concepts de base

n Propriétés du bruit AWGN lié aux systèmes électroniques de réception

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

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

$T_k = 290 \text{ K}$ (en réf. , T° en Kelvin)



Marge de réception (SNR) : XdB relativement au bruit

Exple en GSM :

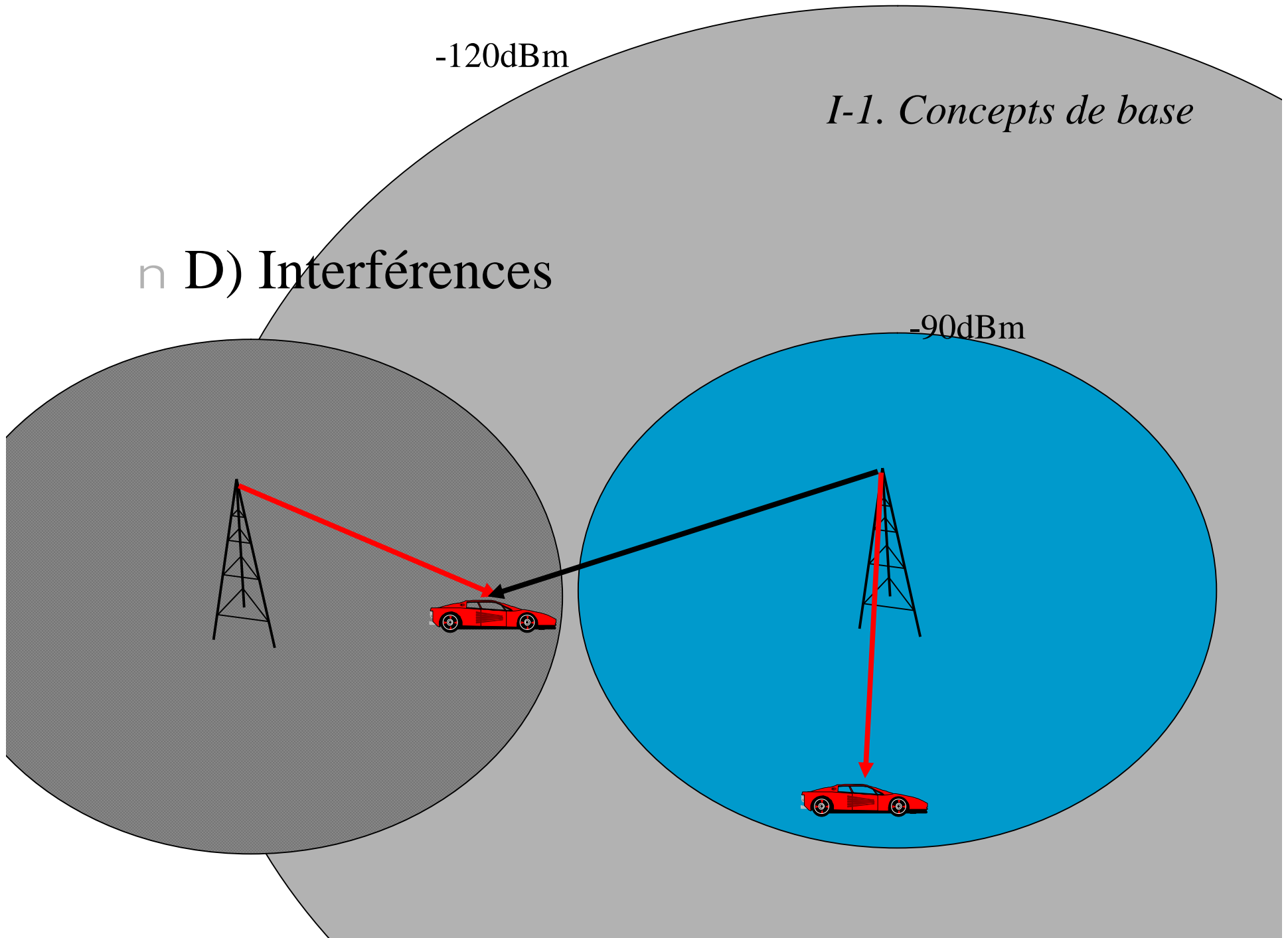
$$N \geq 10^{-6} \text{ nW} \approx -120 \text{ dBm} ; SNR \geq 9 \text{ dB}$$

-120dBm

I-1. Concepts de base

n D) Interférences

-90dBm



I-1. Concepts de base

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


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


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

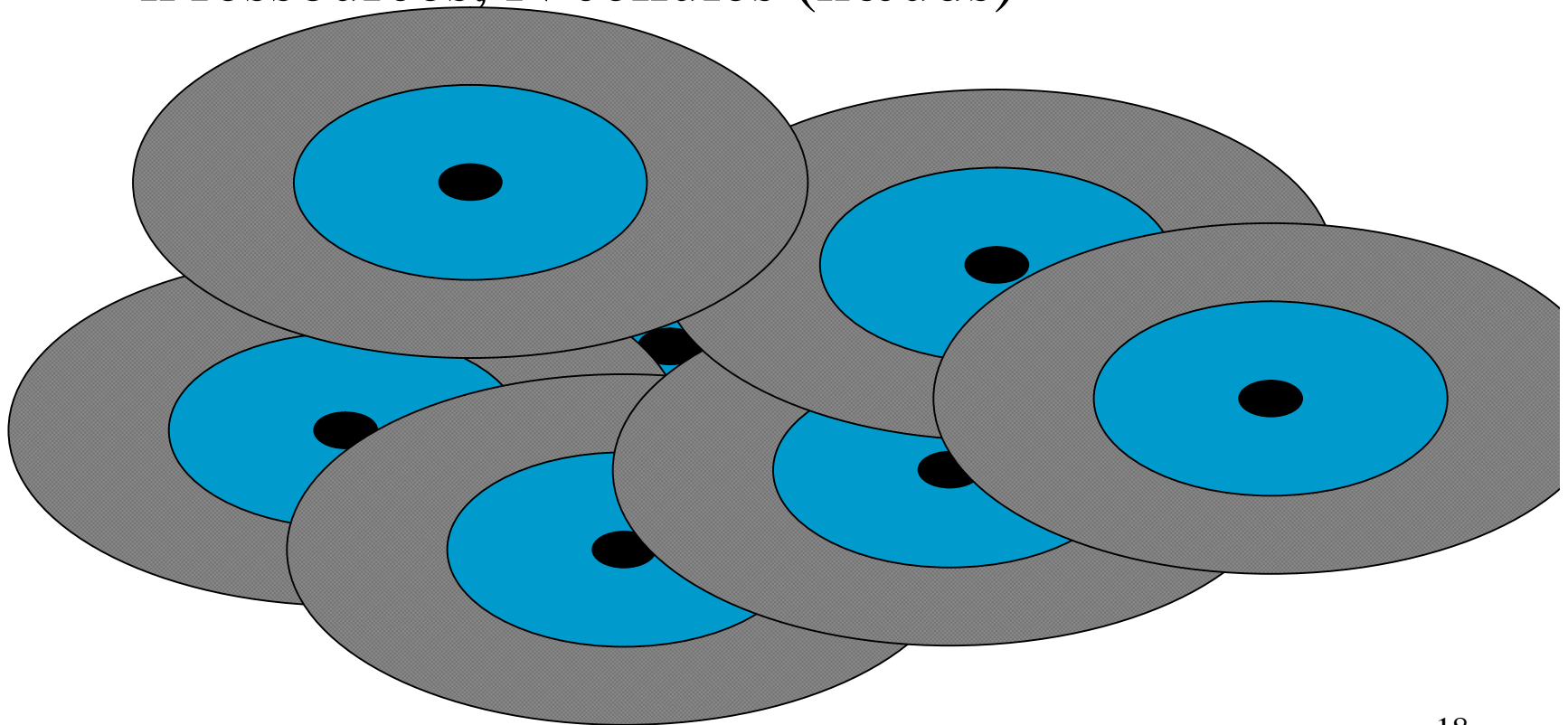
Soit en dB :

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

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

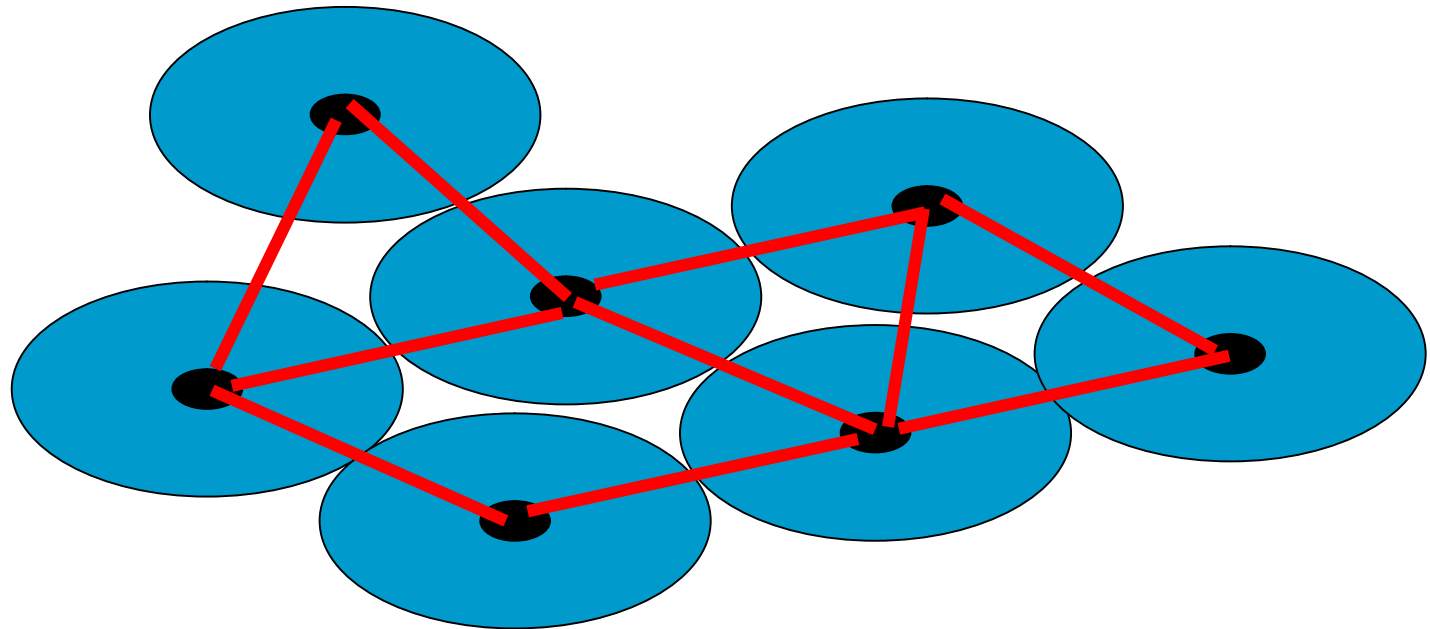
I-1. Concepts de base

- n E) Affectation des ressources
 - k ressources, N cellules (nœuds)



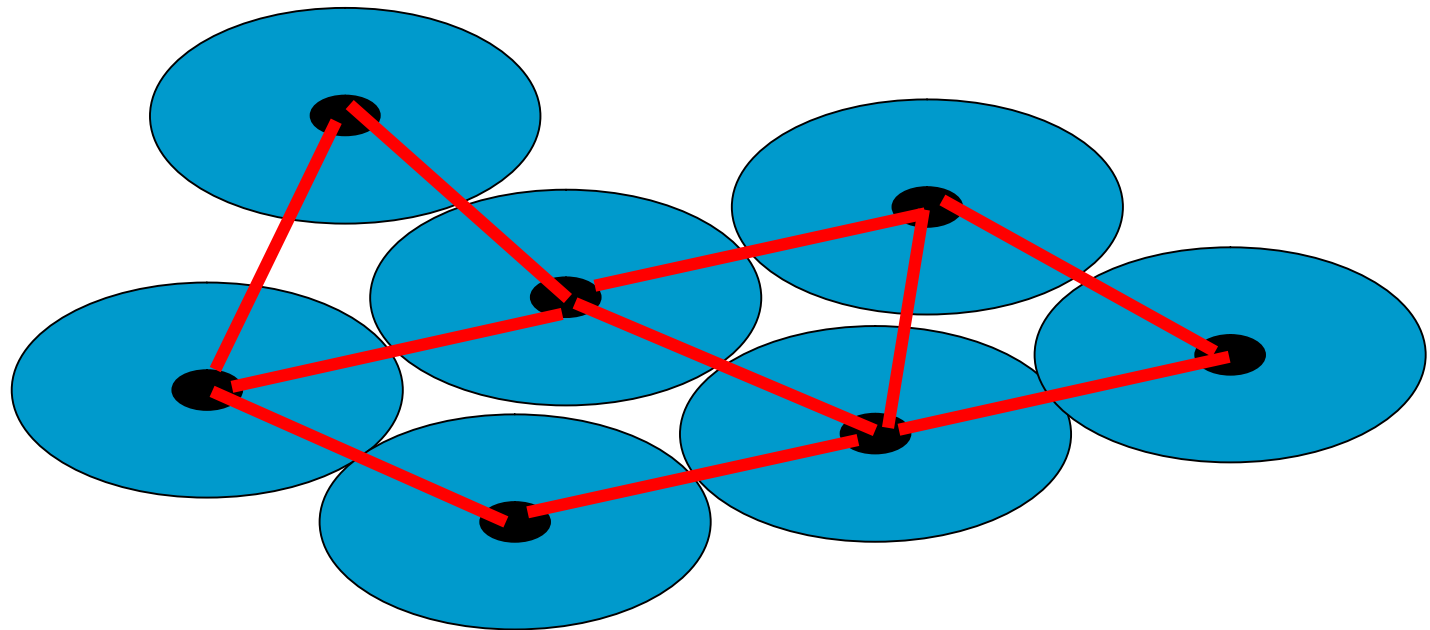
I-1. Concepts de base

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

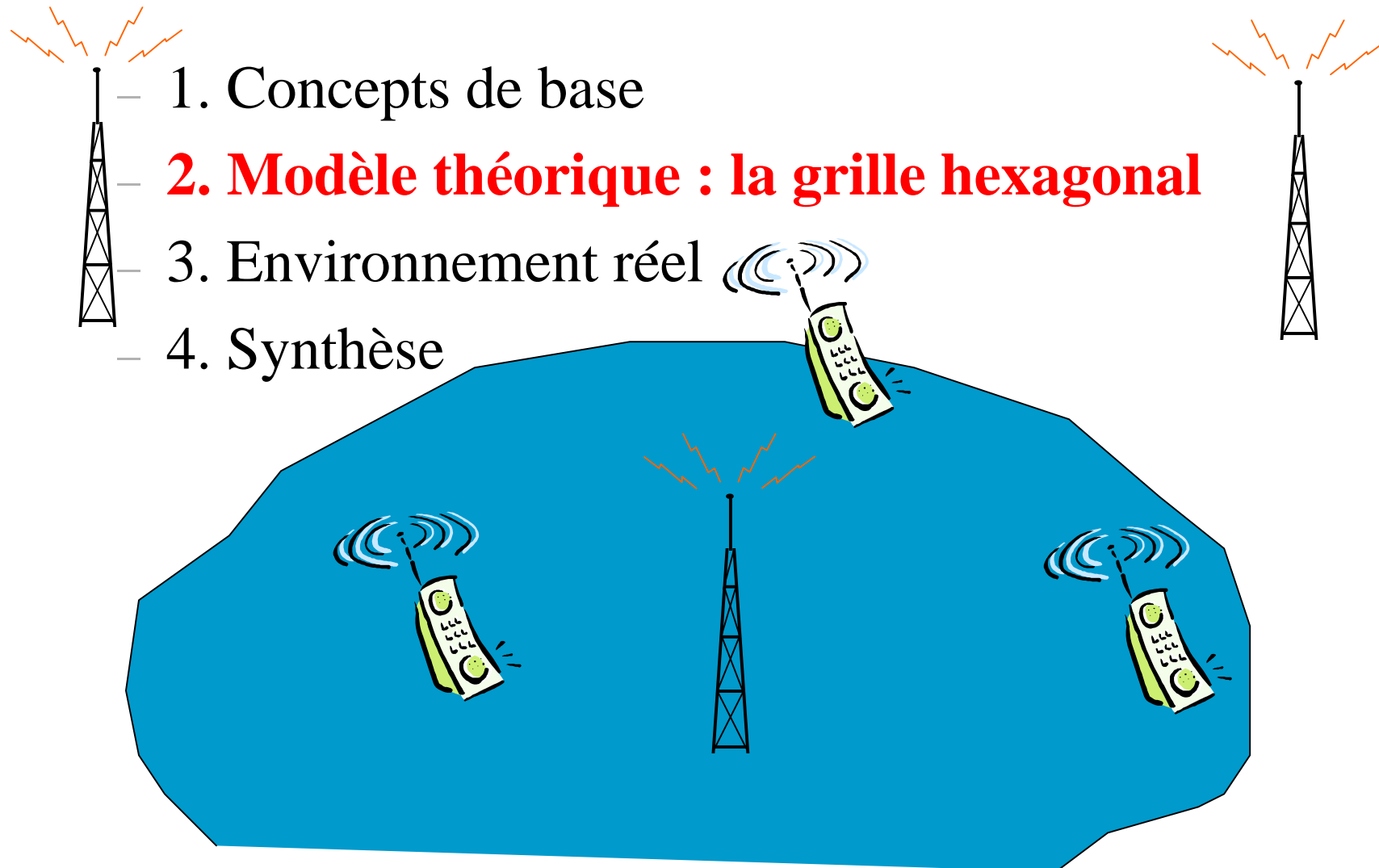


I-1. Concepts de base

- 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

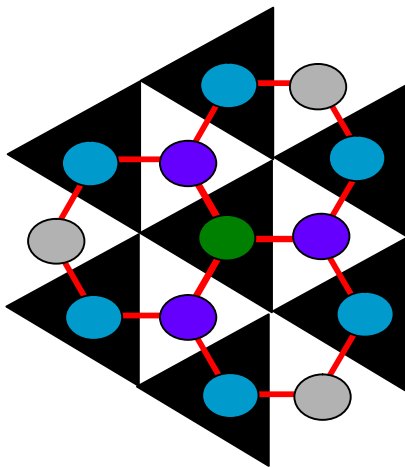
- n 1 cellule = k voisines équidistantes

I-2. La grille hexagonale

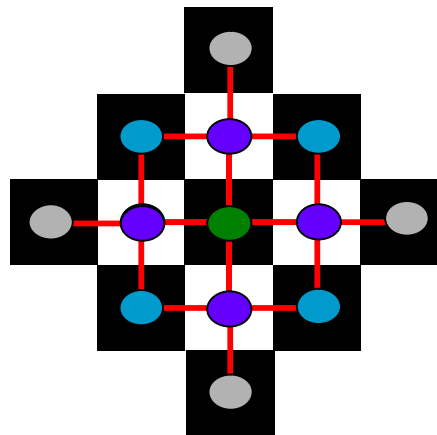
n A) Choix d'un modèle

– solutions :

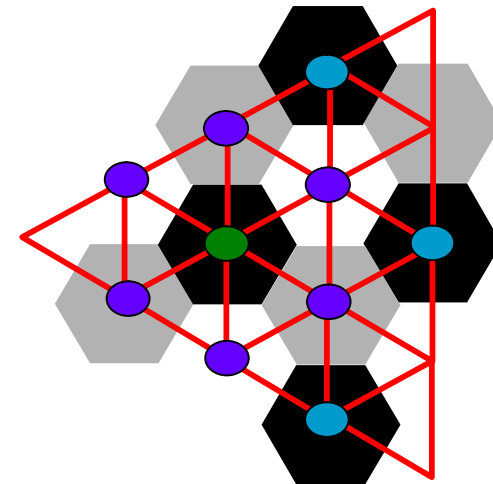
*Positionnement de cercles
avec recouvrement minimal*



3-connectivité
>12 voisines



4-connectivité
>8 voisines



6-connectivité
>6 voisines

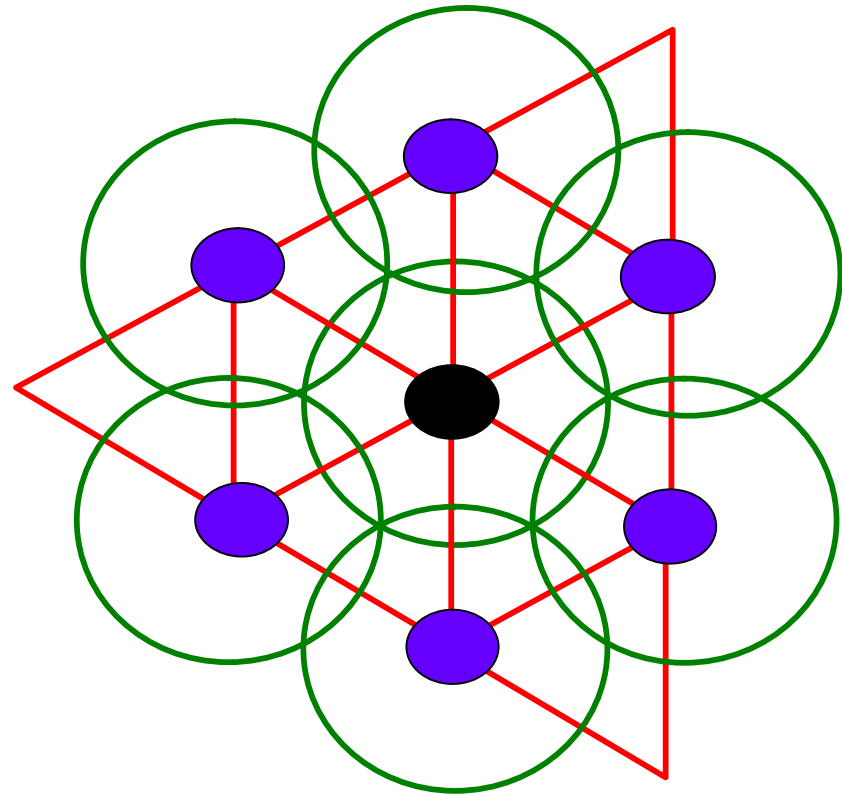
I-2. La grille hexagonale

n B) Zone de service

- hexagonale

n définition :

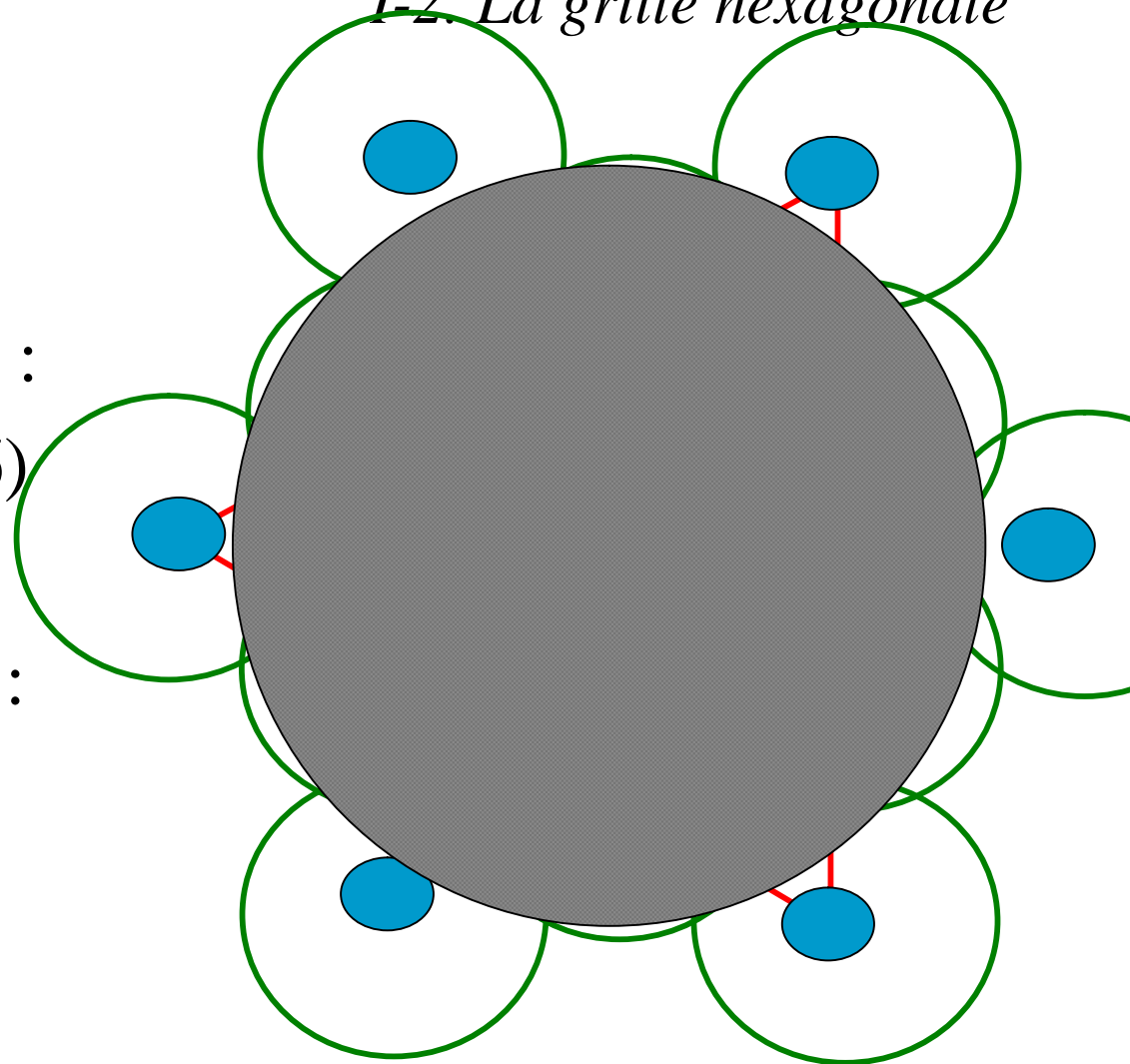
- le plus fort signal



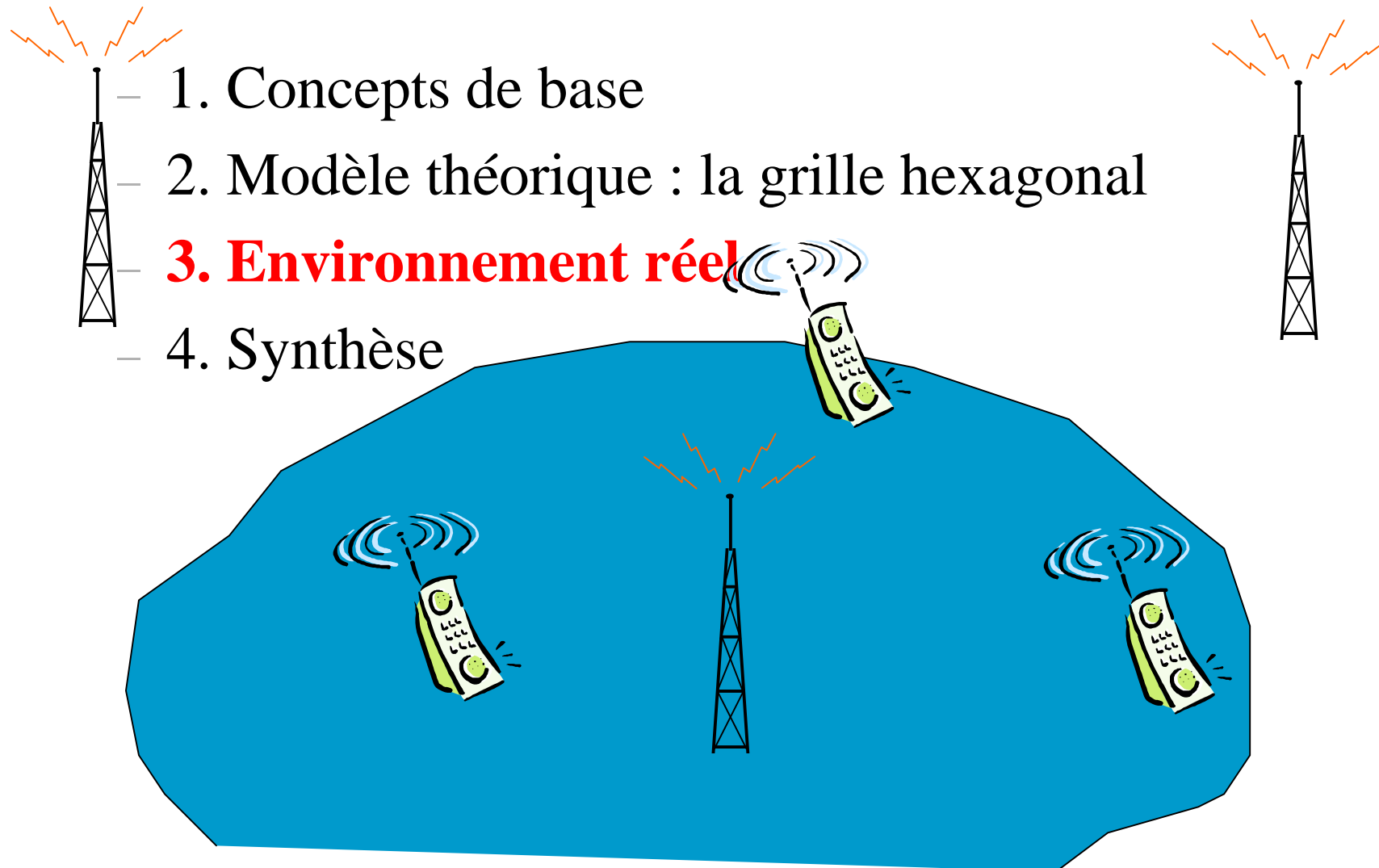
I-2. La grille hexagonale

n C) voisinage

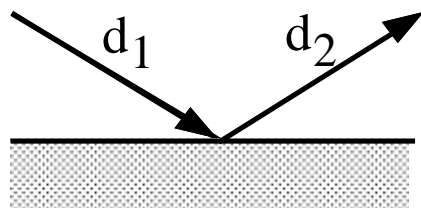
- au sens réseau :
recouvrement (6)
- au sens signal :
brouillage (>6)



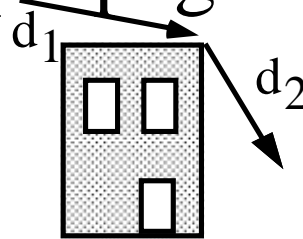
I- Principes des réseaux cellulaires



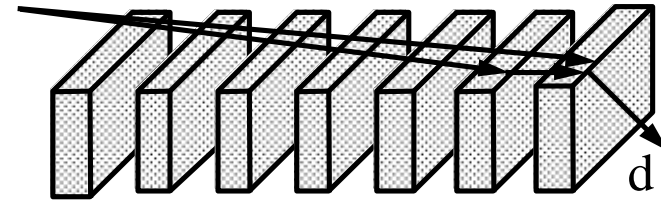
A) Effets de propagation



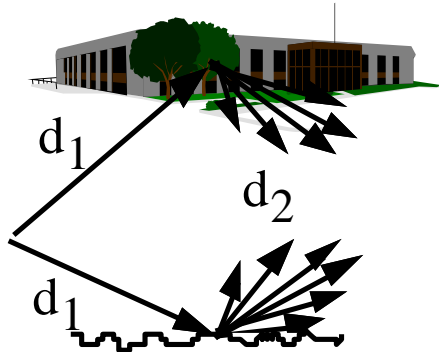
Reflection



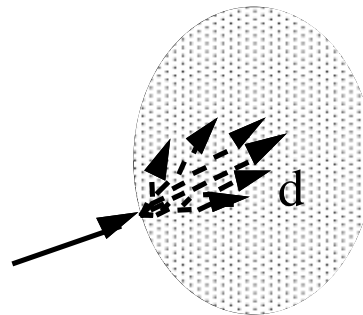
Diffraction



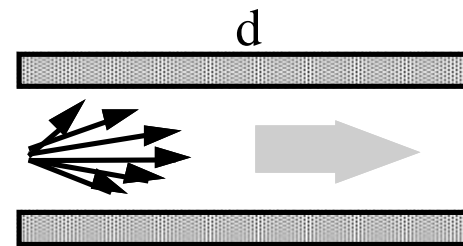
Multiple diffraction



Scattering



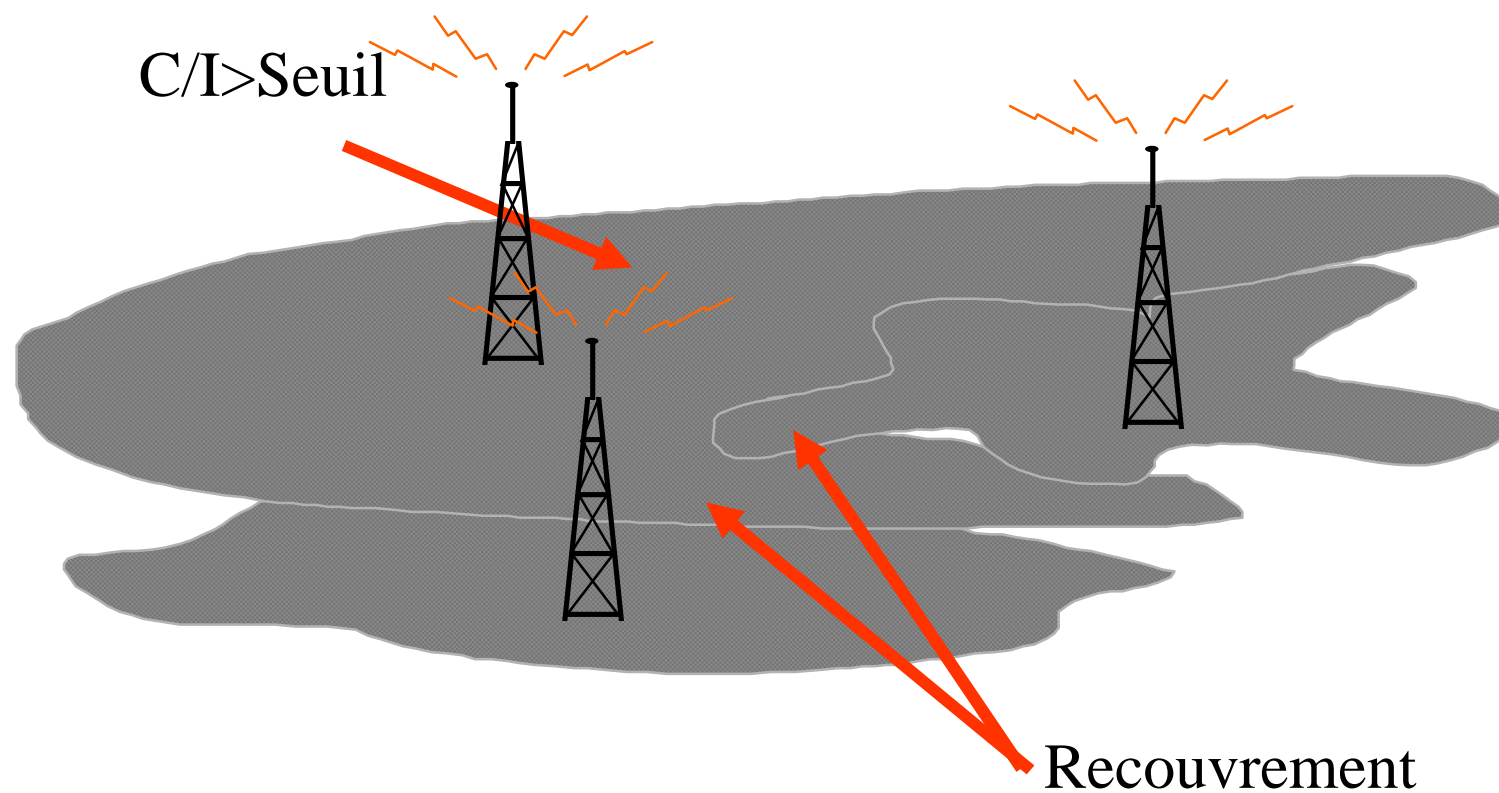
Absorption



guided wave

I-3 Environnement réel

- B) Zone de services de la cellule



I-3 Environnement réel

n Définition de la zone de service

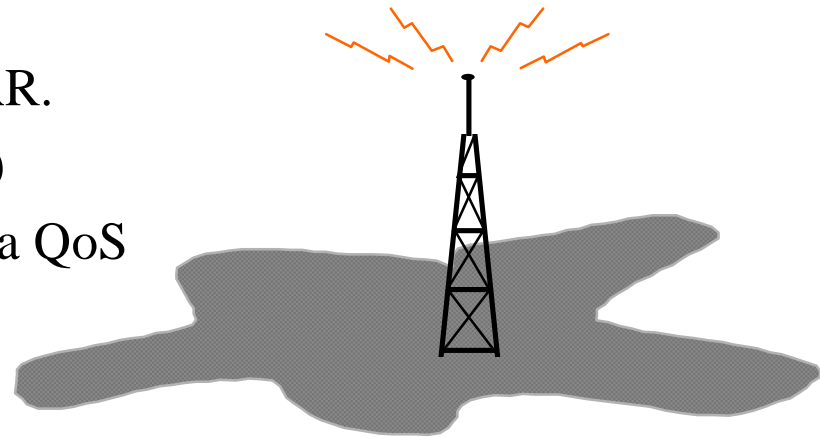
- $C/N > \text{limite}$: $P_r > P_{\text{seuil}}$ (-96dBm)
(dépend de la puissance d'émission)

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

$$I = IIS + IIF + IIC$$

- $\text{distance} < \text{dist_max}$
temps AR.

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



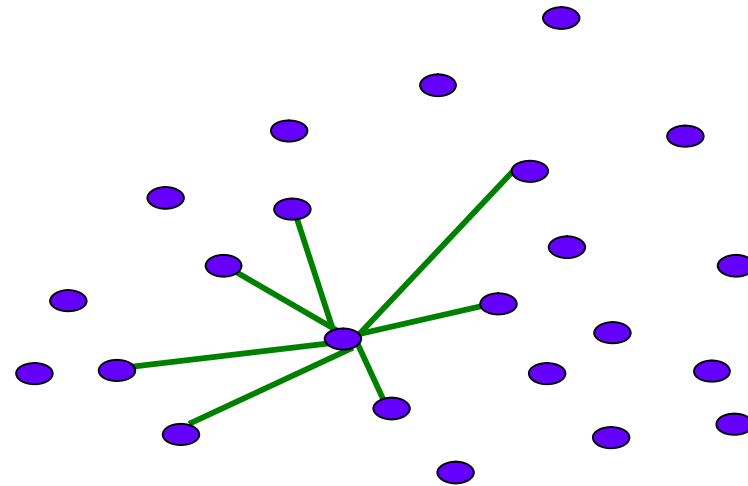
I-3 Environnement réel

- C) Graphe associé

- n k cellules voisines

- (recouvrement)

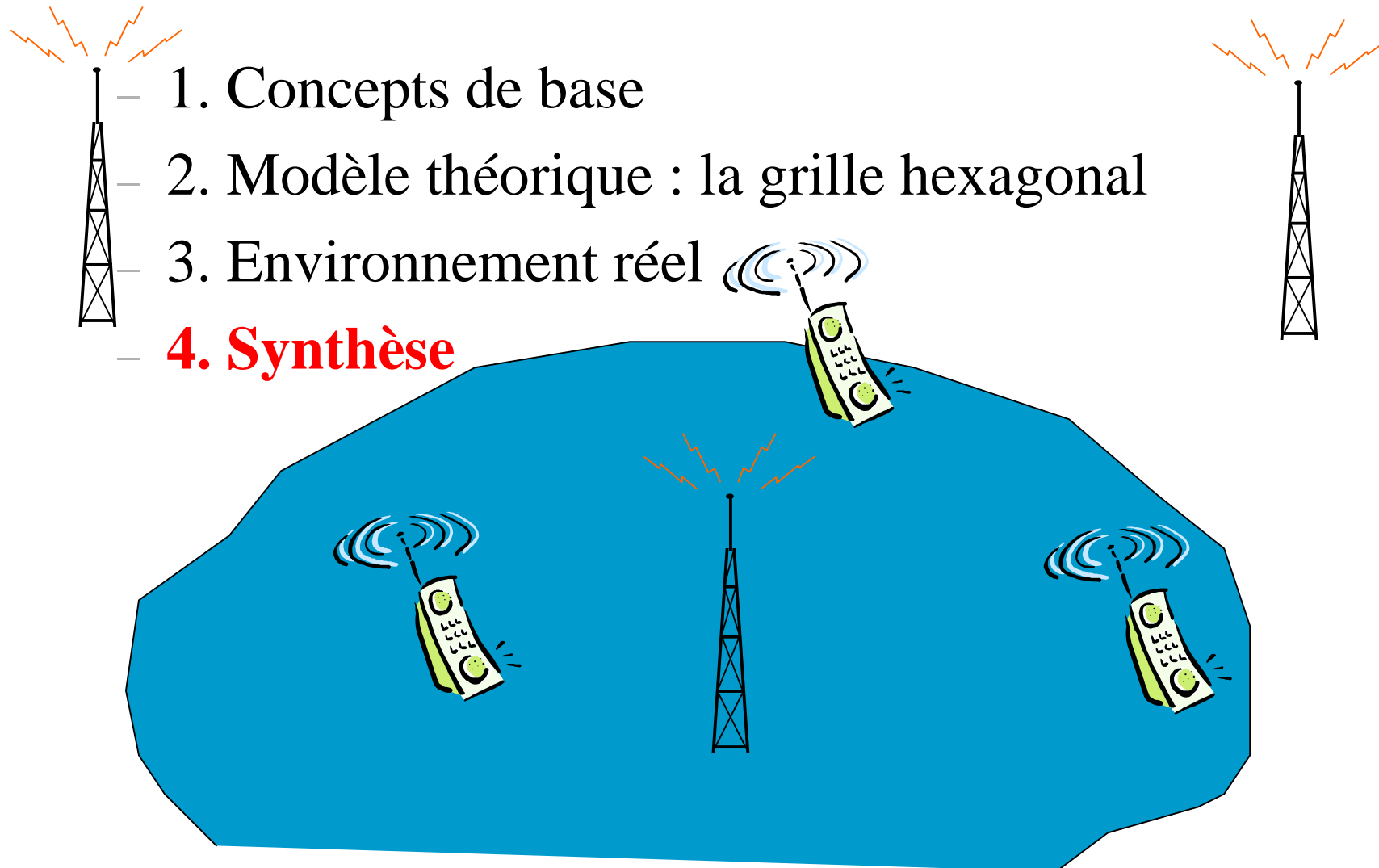
- n n cellules brouillées



- 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

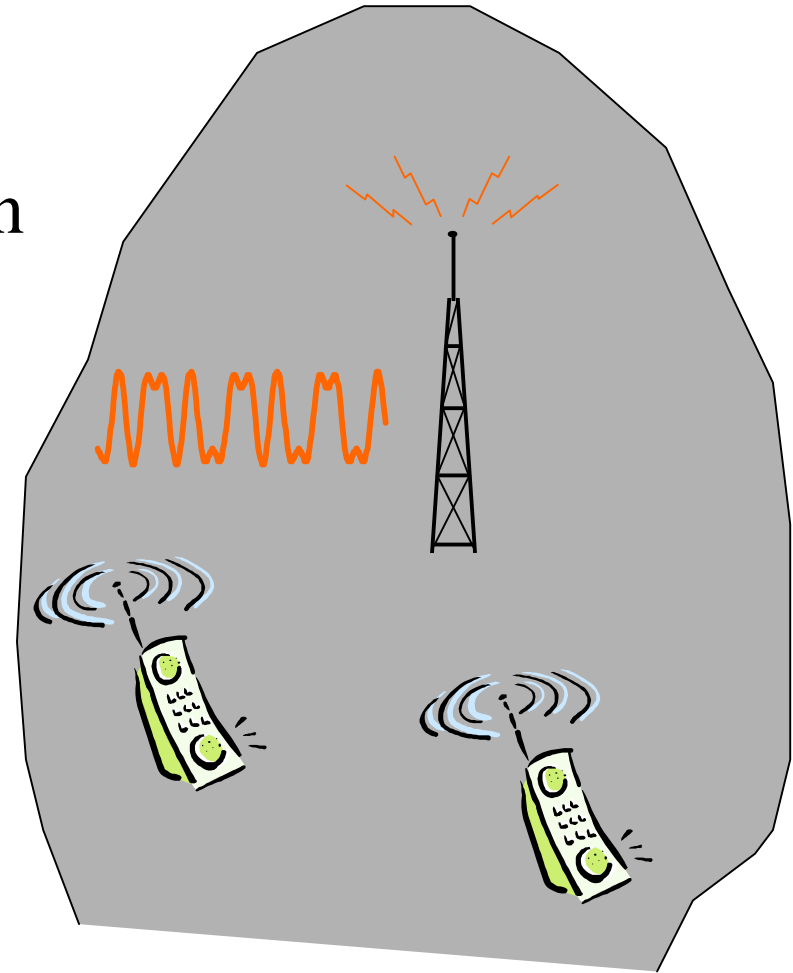
II. Caractéristiques des ressources radio

III. Partage des ressources

IV. Ingénierie cellulaire

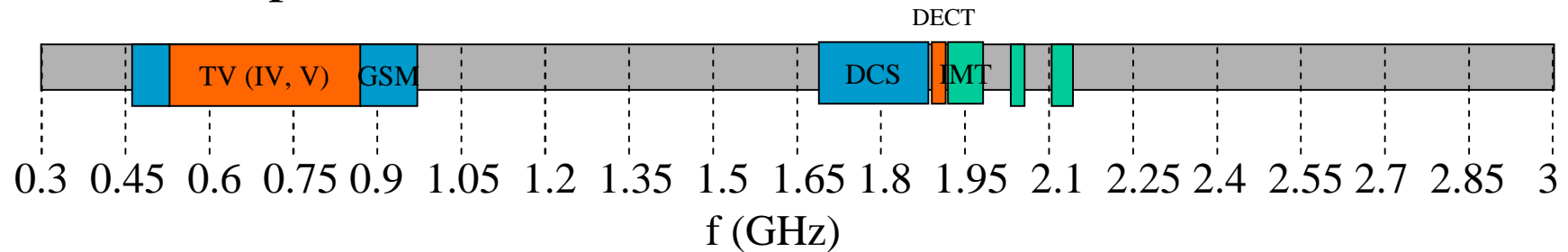
II-Caractéristiques des ressources radio

- **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

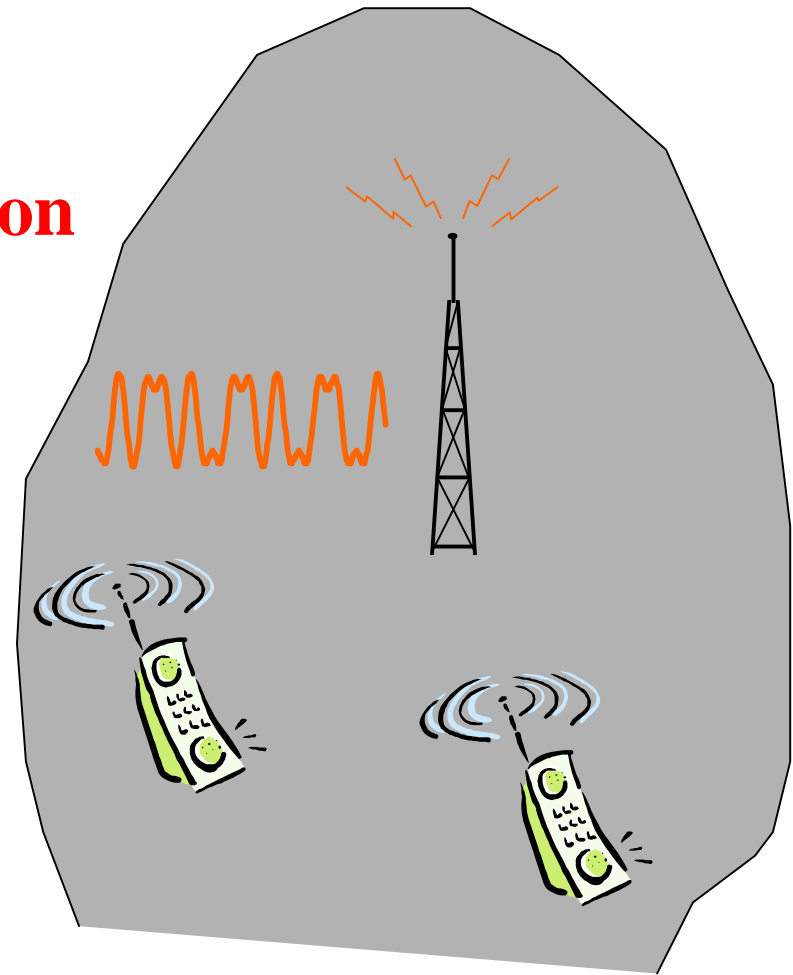


– Applications :

- 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

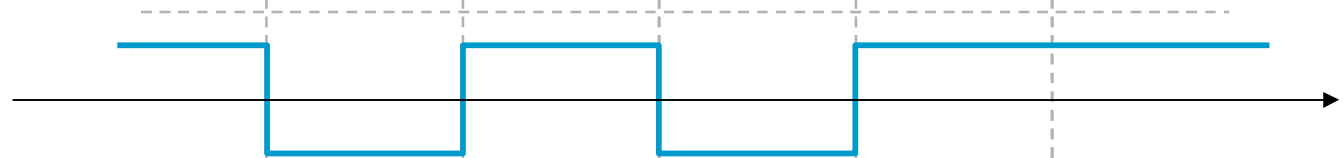


II-2. La modulation

– A) signal en bande de base

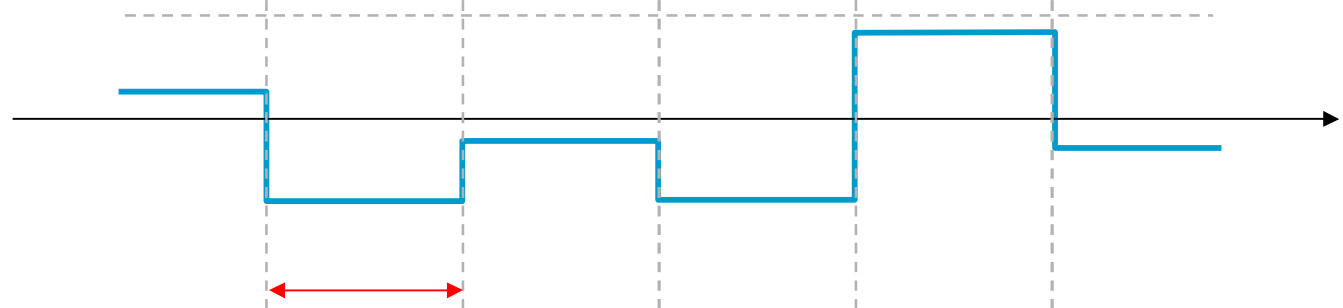
n signal bipolaire

1 0 1 0 1 1



n signal M-polaire

10 00 01 00 11 01



$$M=2^k$$

$$T_s = k \cdot T_b$$

$$R_b = k \cdot R_s$$

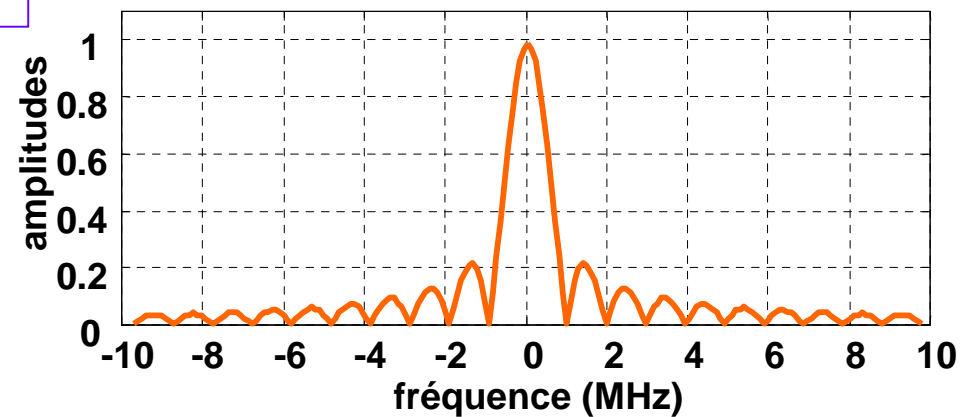
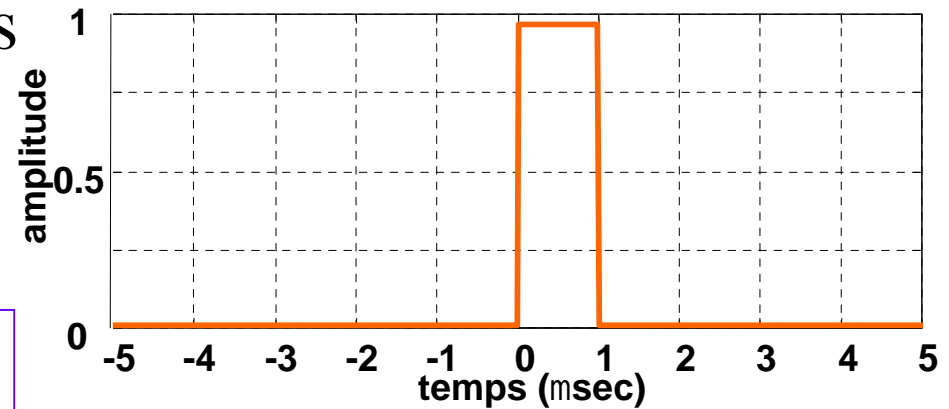
II-2. La modulation

– B) Propriétés spectrales

n spectre d'un symbole

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

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



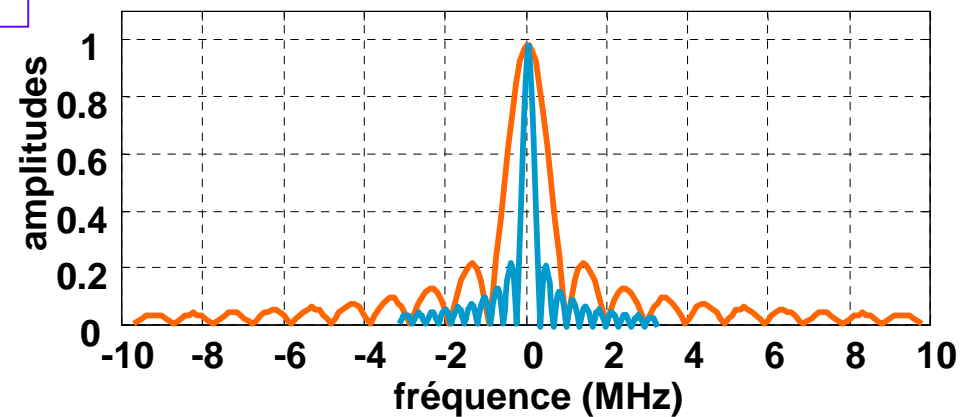
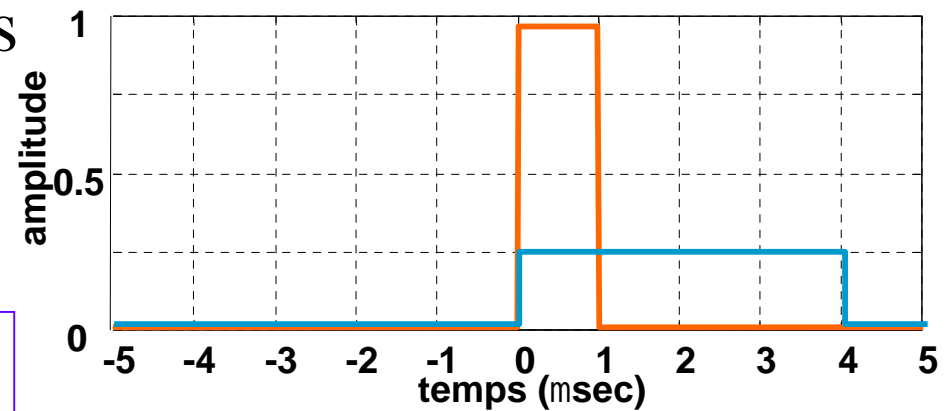
II-2. La modulation

– B) Propriétés spectrales

n spectre d'un symbole

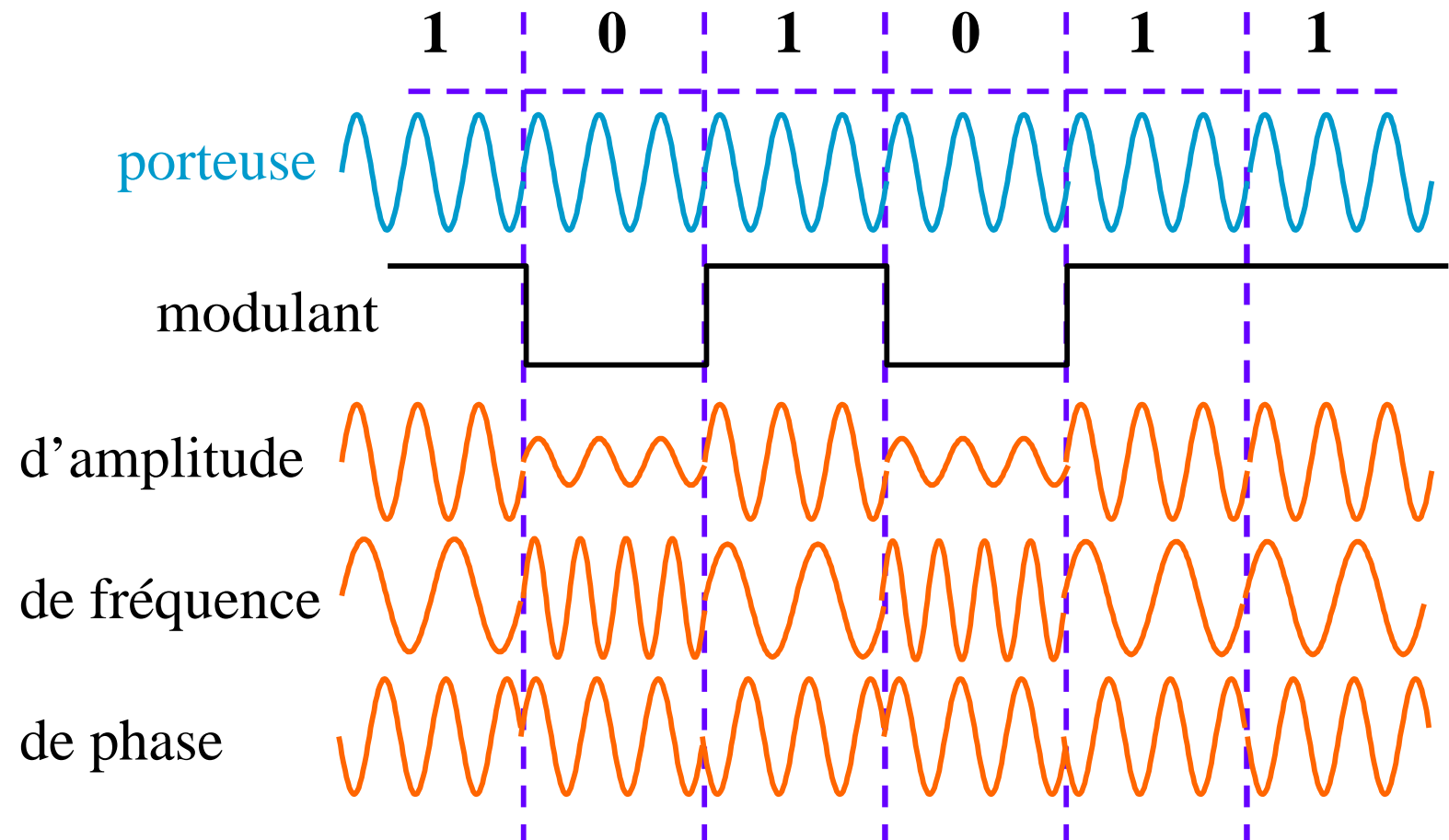
$\Delta f = 2/T$ (lobe principal)

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



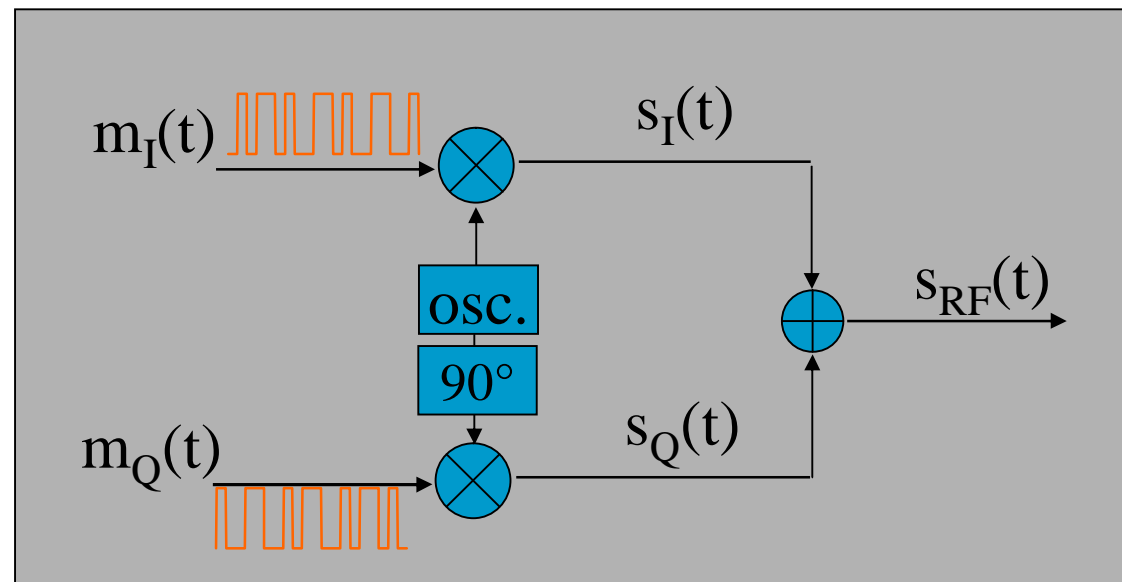
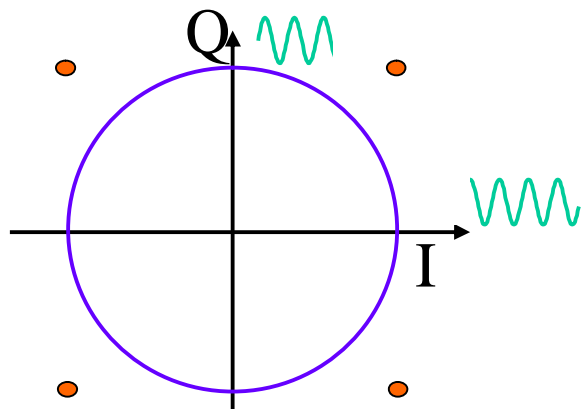
II-2. La modulation

– C) modulation



II-2. La modulation

- Modulation sur 2 porteuses en quadrature

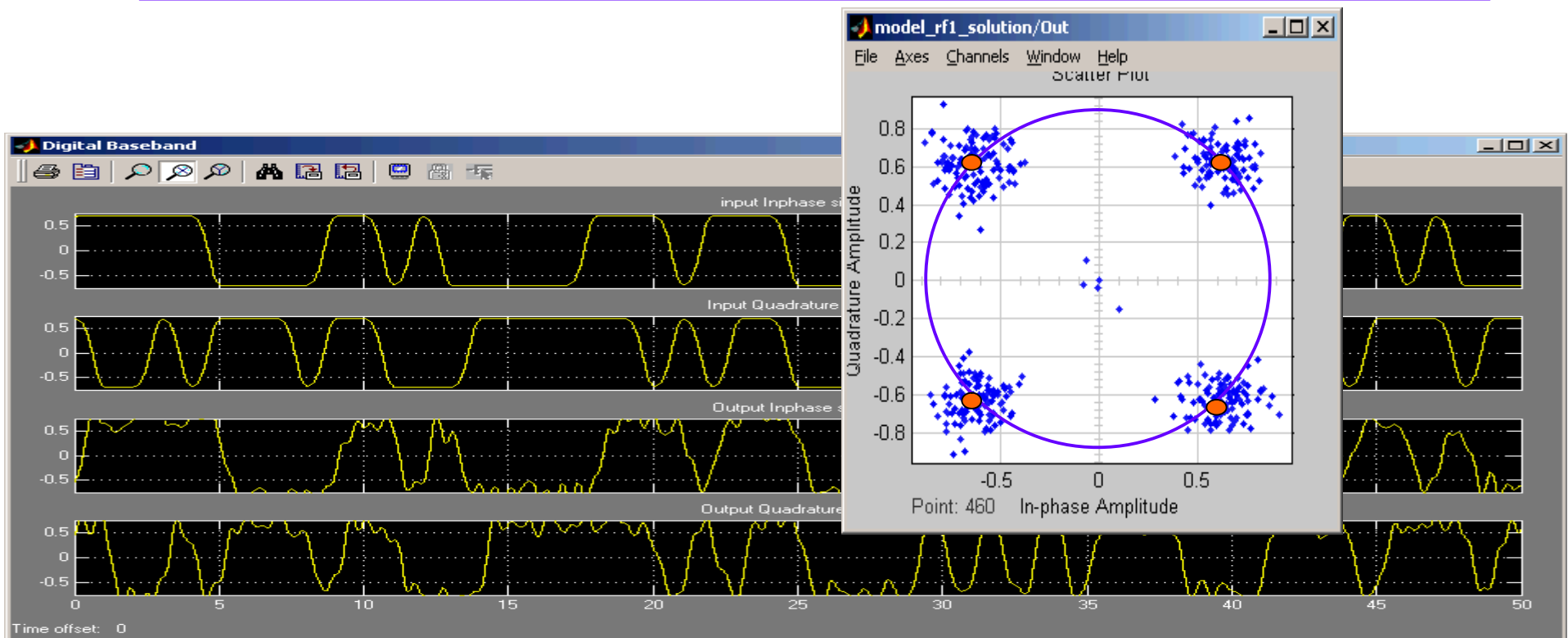


$$s_{RF}(t) = m_I(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) + m_Q(t) \cdot \sin(2\pi f_0 t)$$

II-2. La modulation

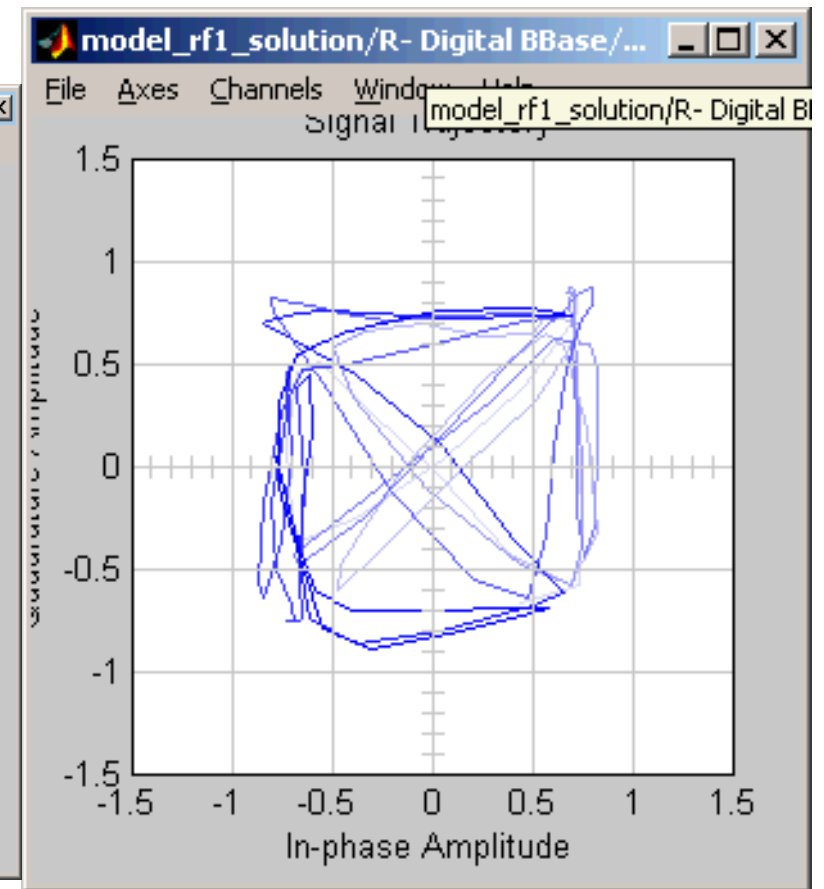
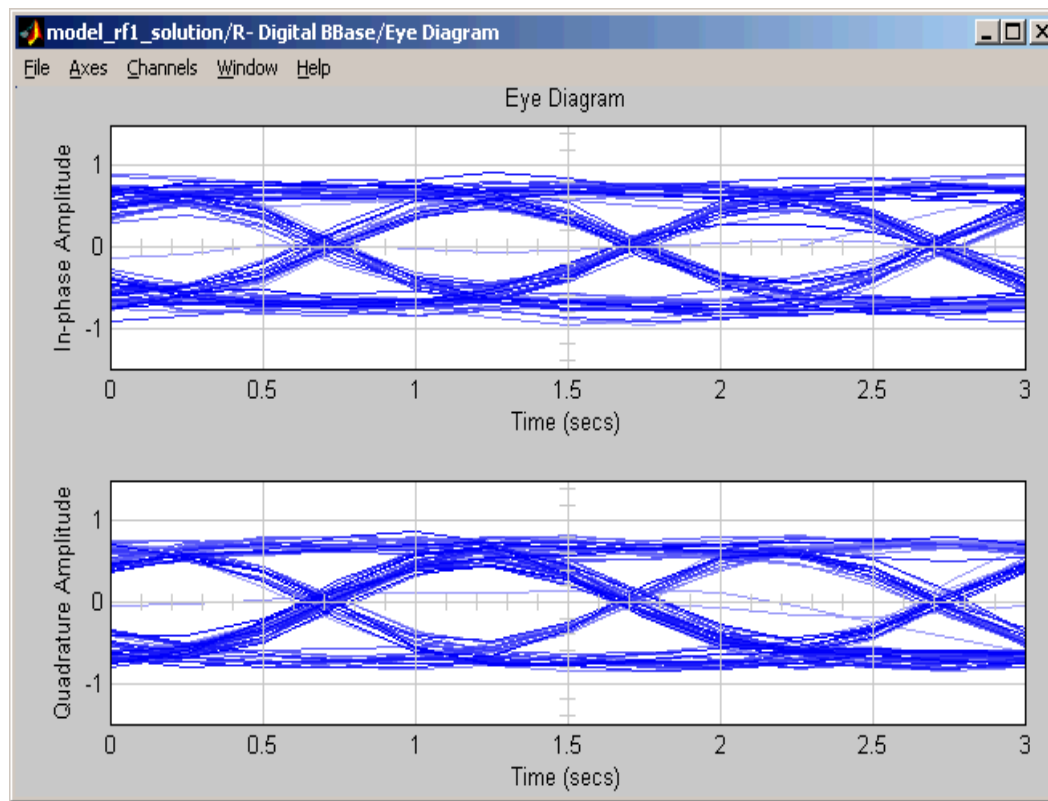
– D) Constellations

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



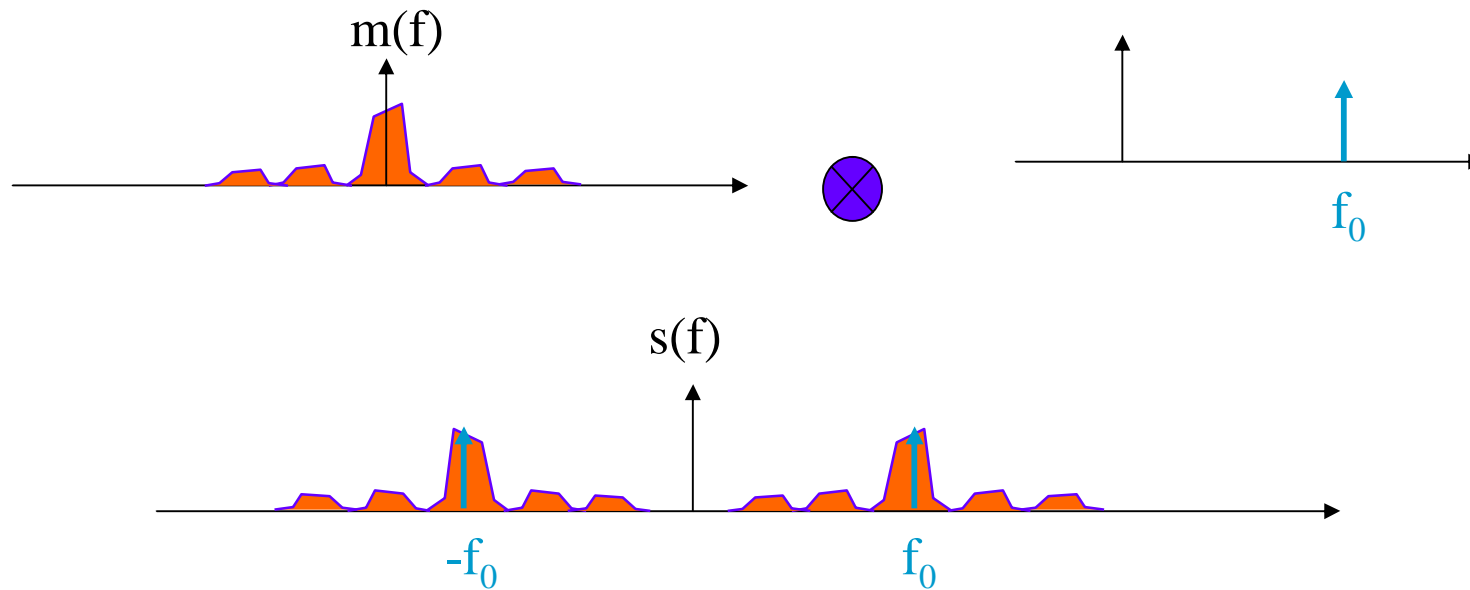
II-2. La modulation

– Autres représentations



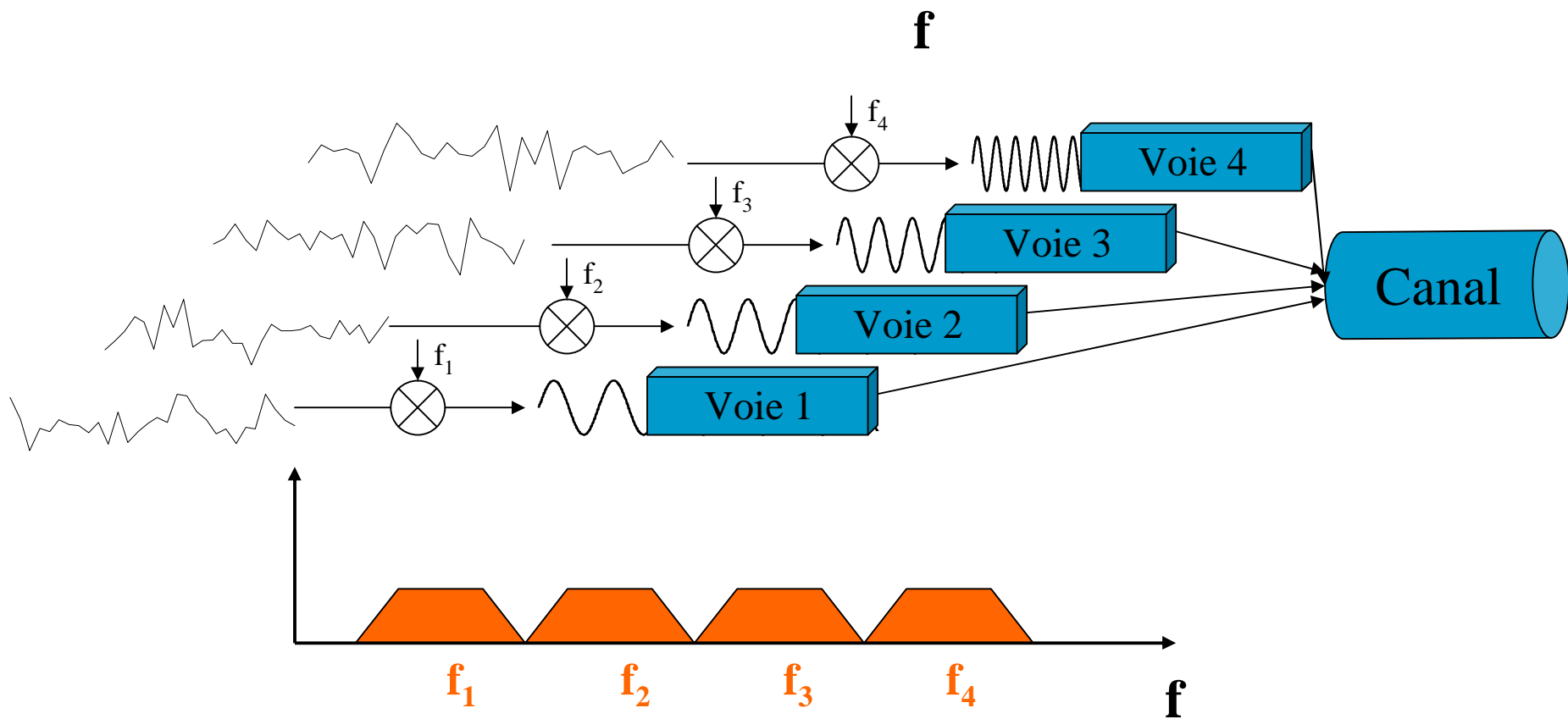
II-2. La modulation

– E) Spectre après modulation



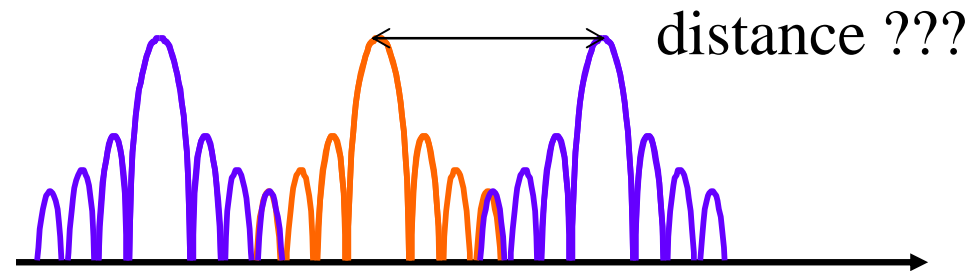
II-2. La modulation

– F) Multiplexage fréquentiel



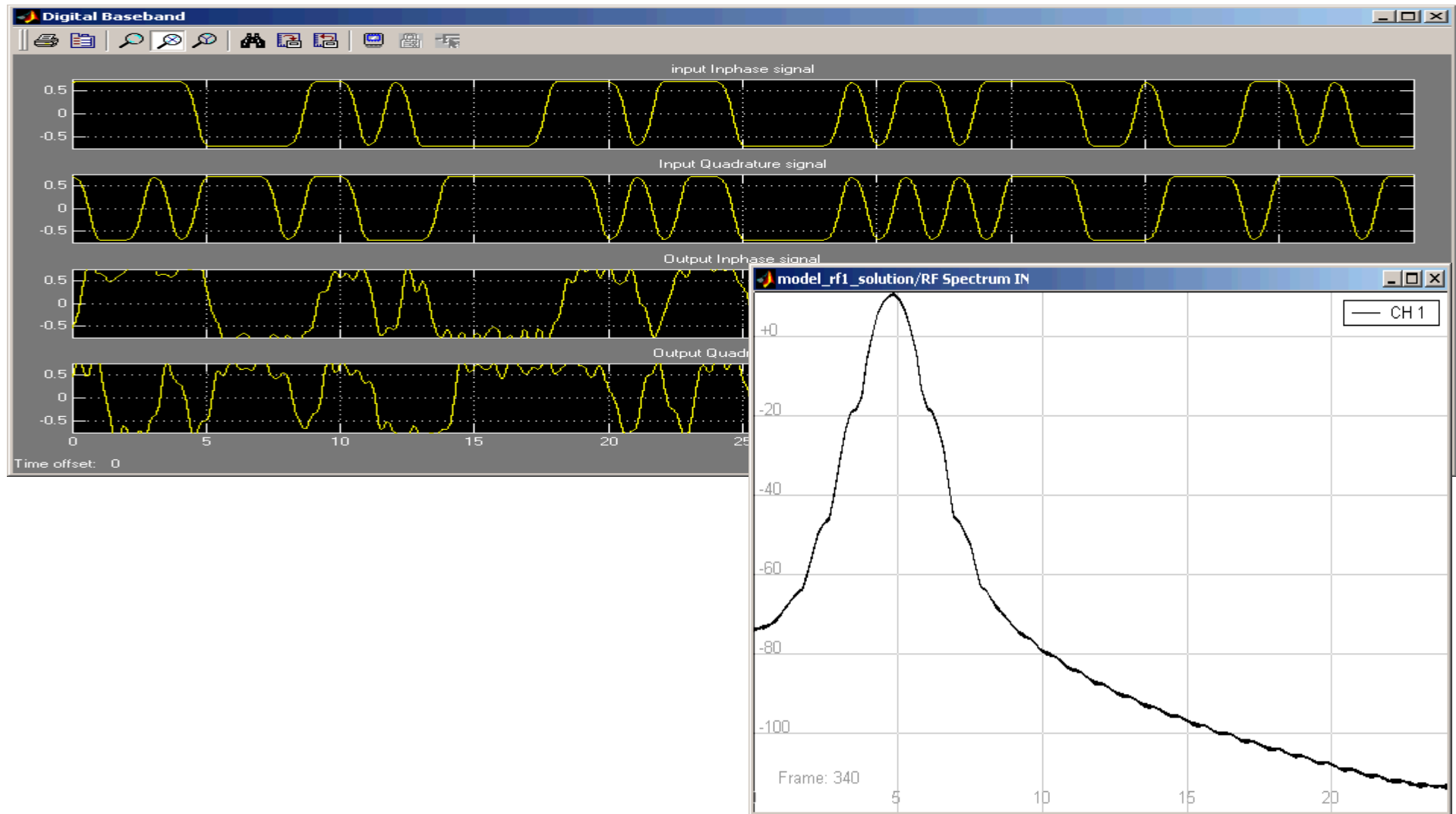
II-2. La modulation

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



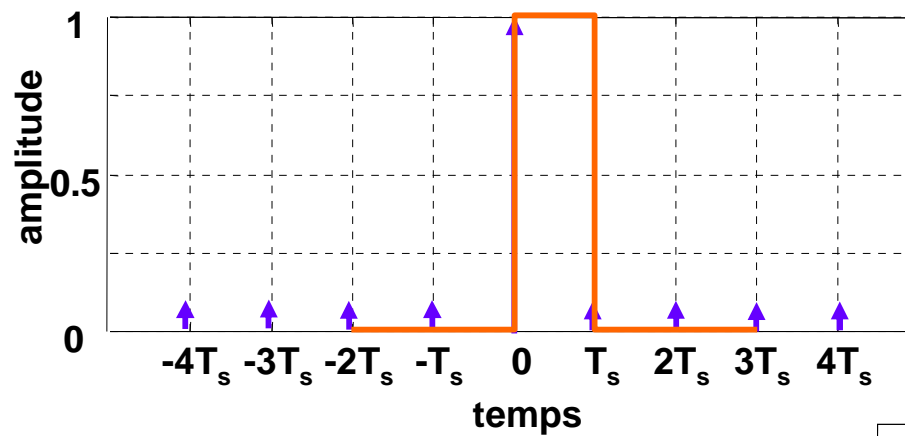
Le taux d'interférences engendre un taux d'erreur variable en fonction de la modulation choisie

II-2. La modulation



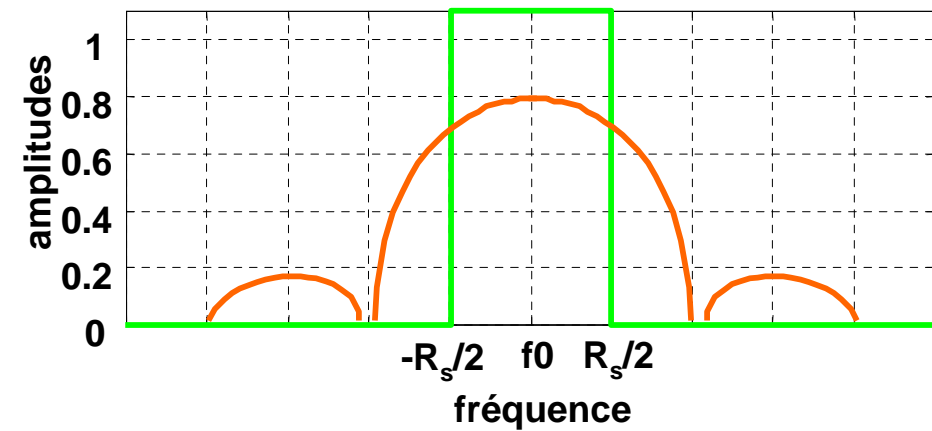
II-2. La modulation

– G) Réduire l'occupation spectrale



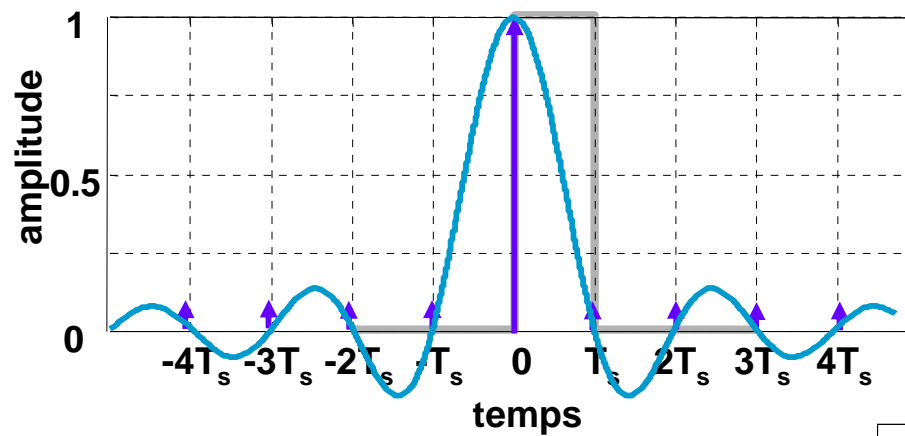
Durée symbole : T_s

Largeur spectrale : infinie



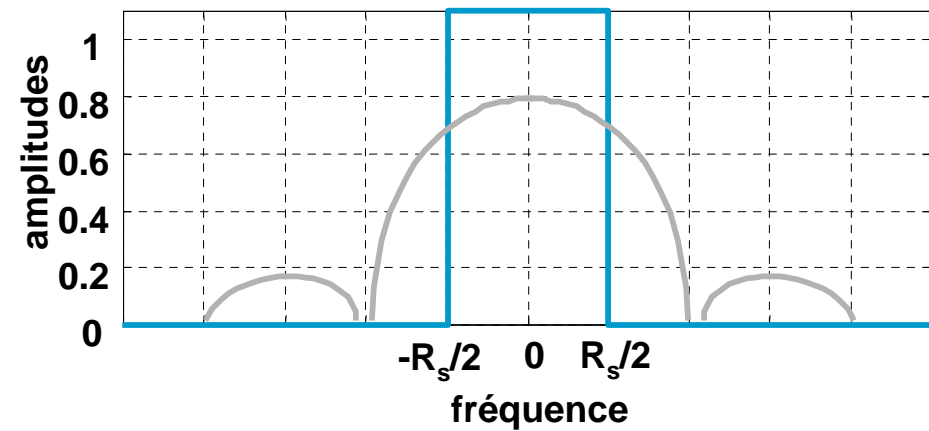
II-2. La modulation

– G) Réduire l'occupation spectrale



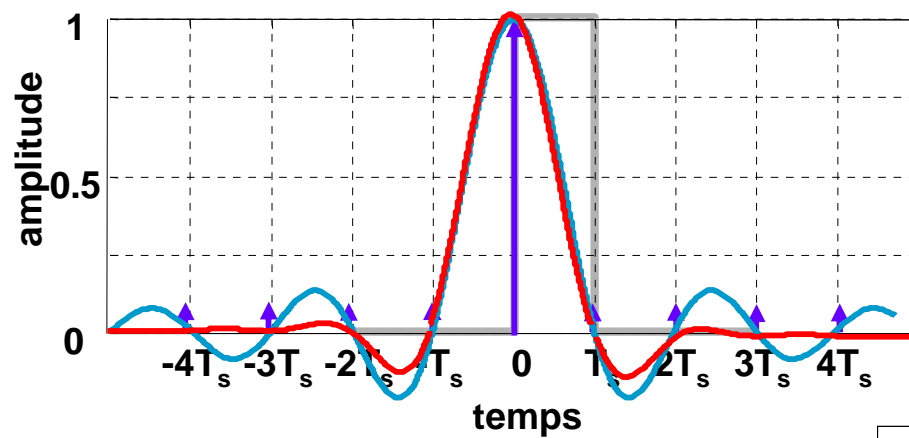
Durée symbole :
infinie

Largeur spectrale : R_s .



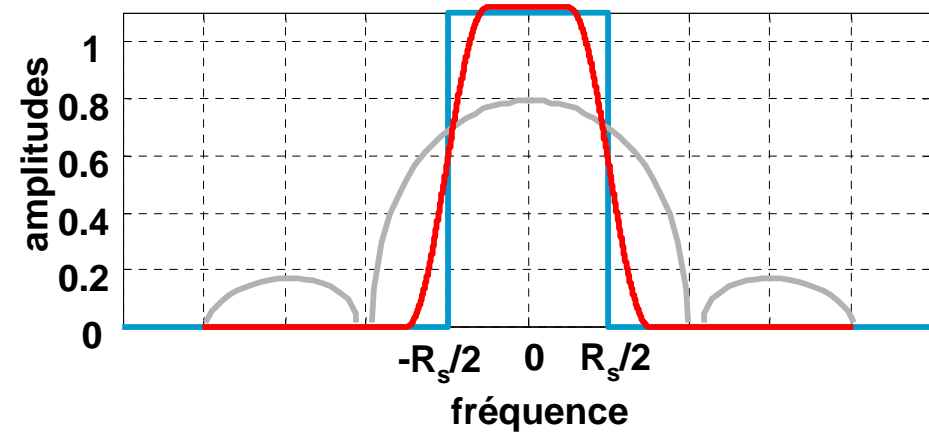
II-2. La modulation

– G) Compromis : durée/occupation spectrale



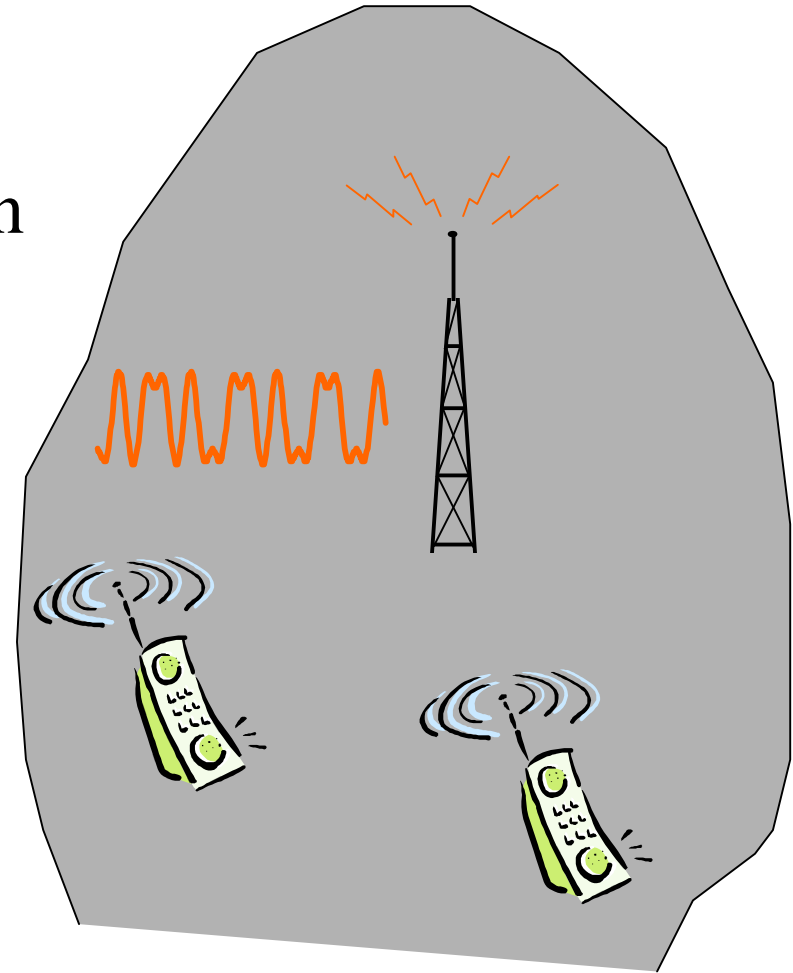
Durée symbole :
infinie

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

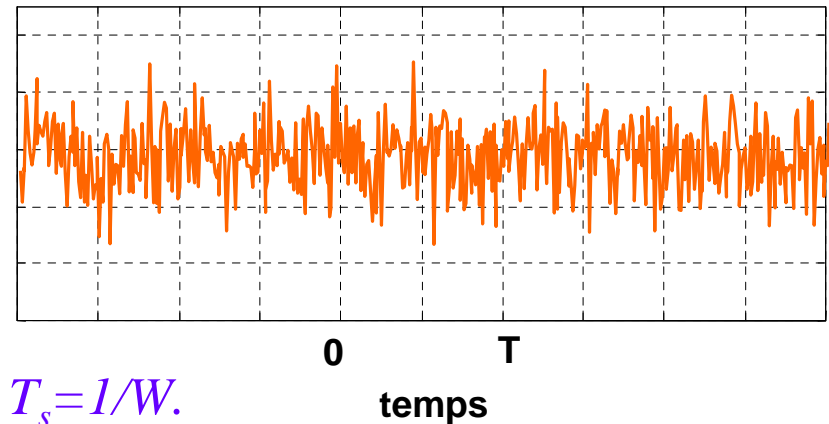
– A) Le bruit AWGN

• 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° 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

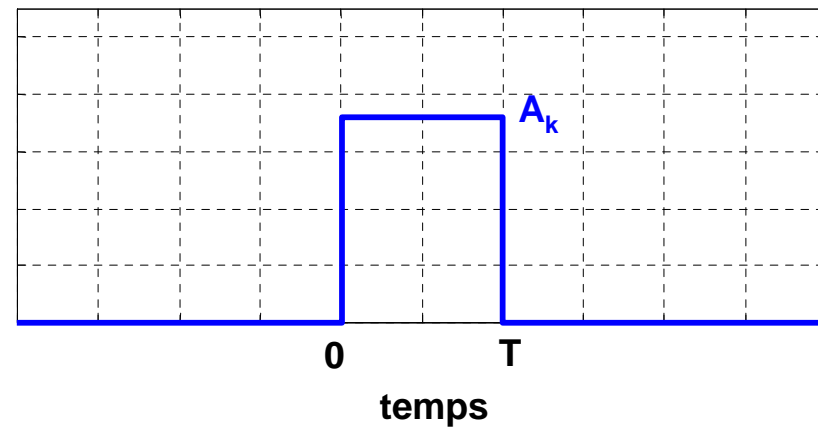
- Pour connaître la capacité de canal, il faut estimer le rapport signal à bruit : SNR.
 - Propriétés du signal en émission :

Puissance d'un symbole émis :

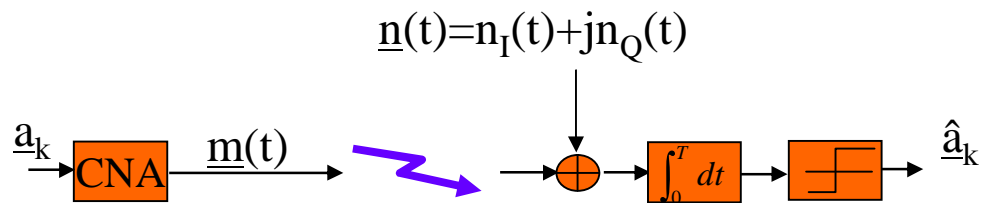
$$S_k = A_k^2 / 2$$

Energie 'bit' reçue :

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



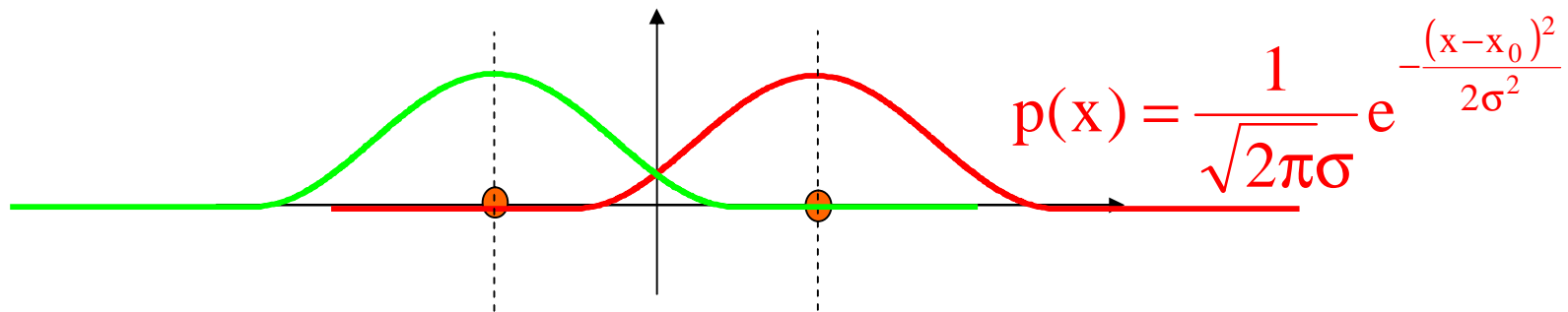
Rem : tenir compte de l'affaiblissement de propagation



II-3. Notion de bruit

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

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



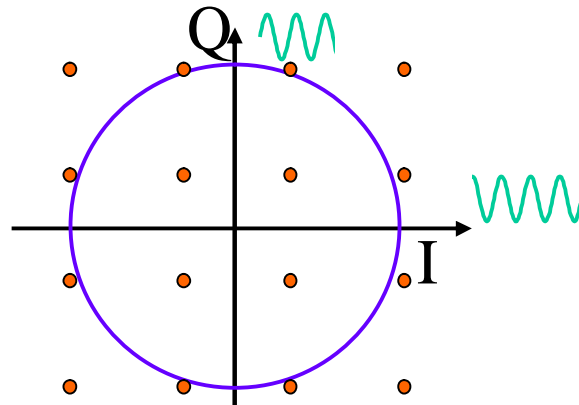
$$p(x < 0) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{x_0}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right) \quad ; \quad \text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-u^2} \cdot du$$

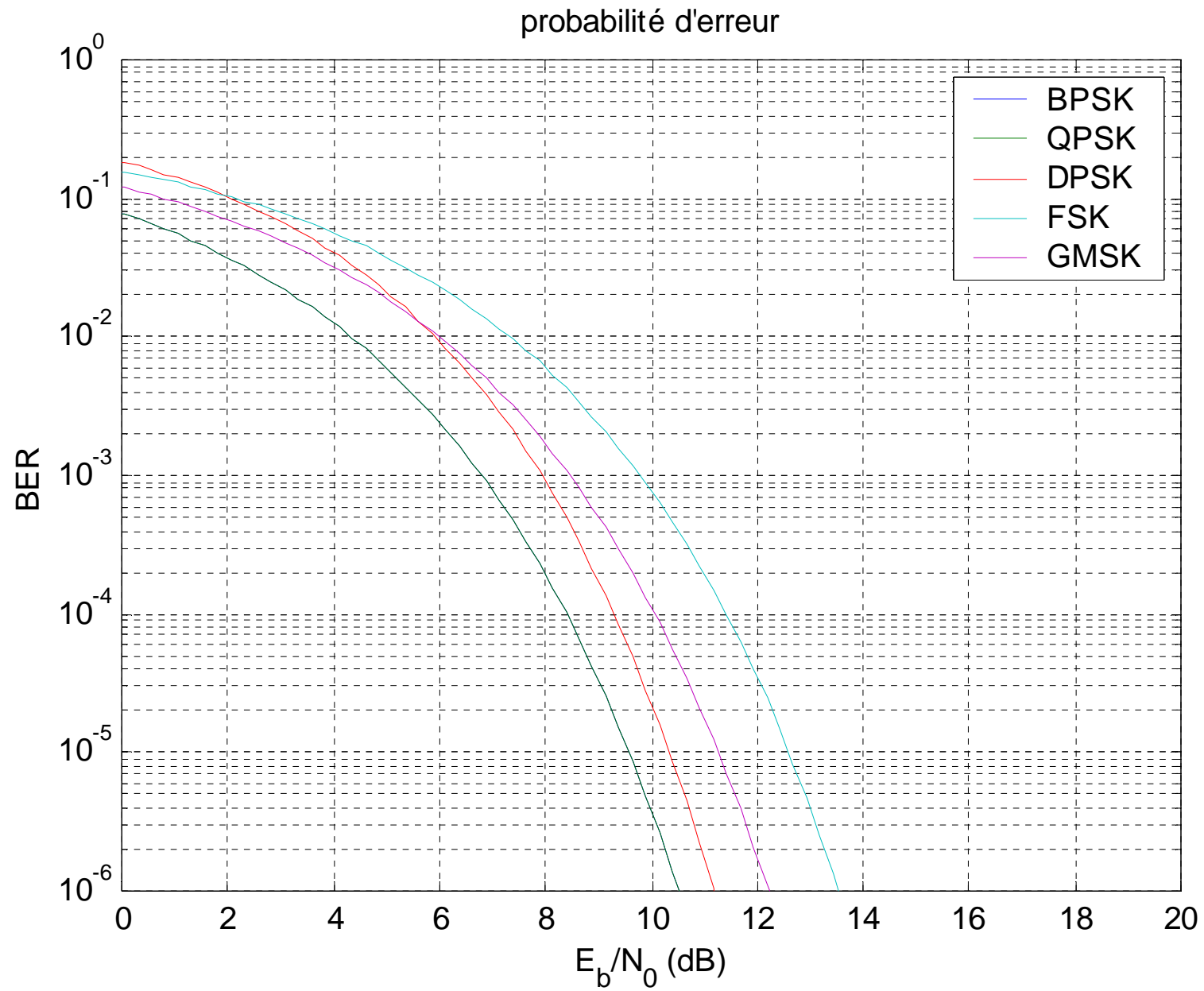
II-3. Notion de bruit

n Nombre théorique d'états possibles :

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

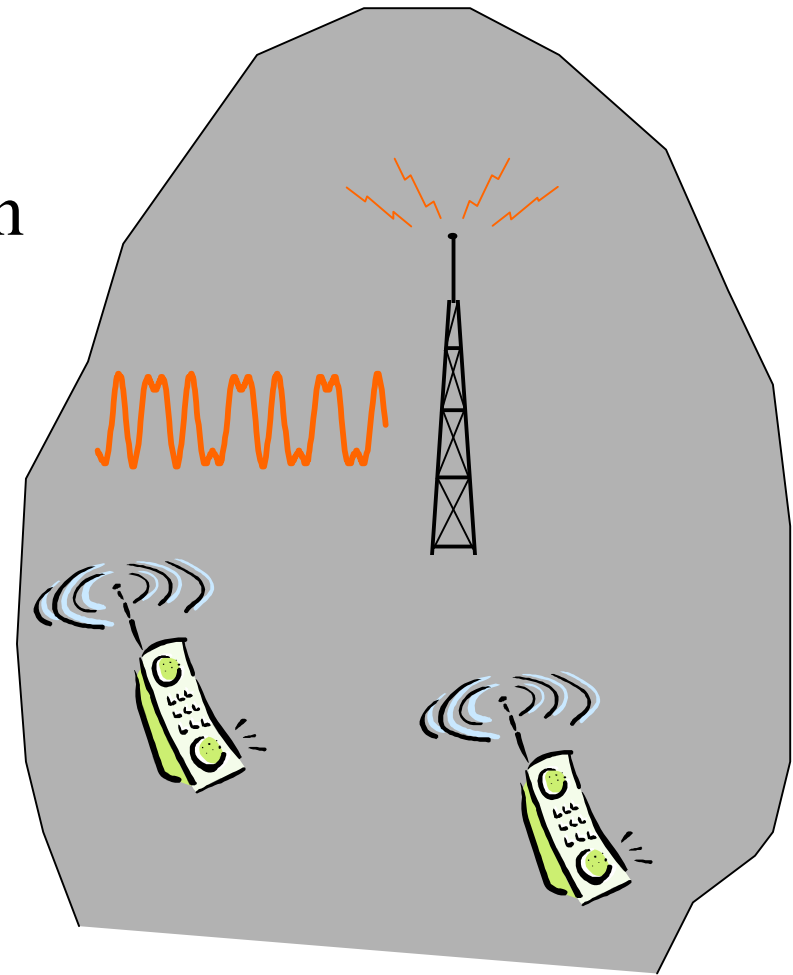
– sur 2 porteuses : $M' = 1 + SNR$





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

▮ 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.

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

II-4. Capacité de canal

– 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 : $N_b = \log_2(1 + \text{SNR})$
- dans un canal à bruit additif gaussien, il est possible de trouver une méthode de codage, telle que pour tout $R_b < C$, la transmission soit sans erreur

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

SNR : rapport des puissances entre signal et bruit

II-4. Capacité de canal

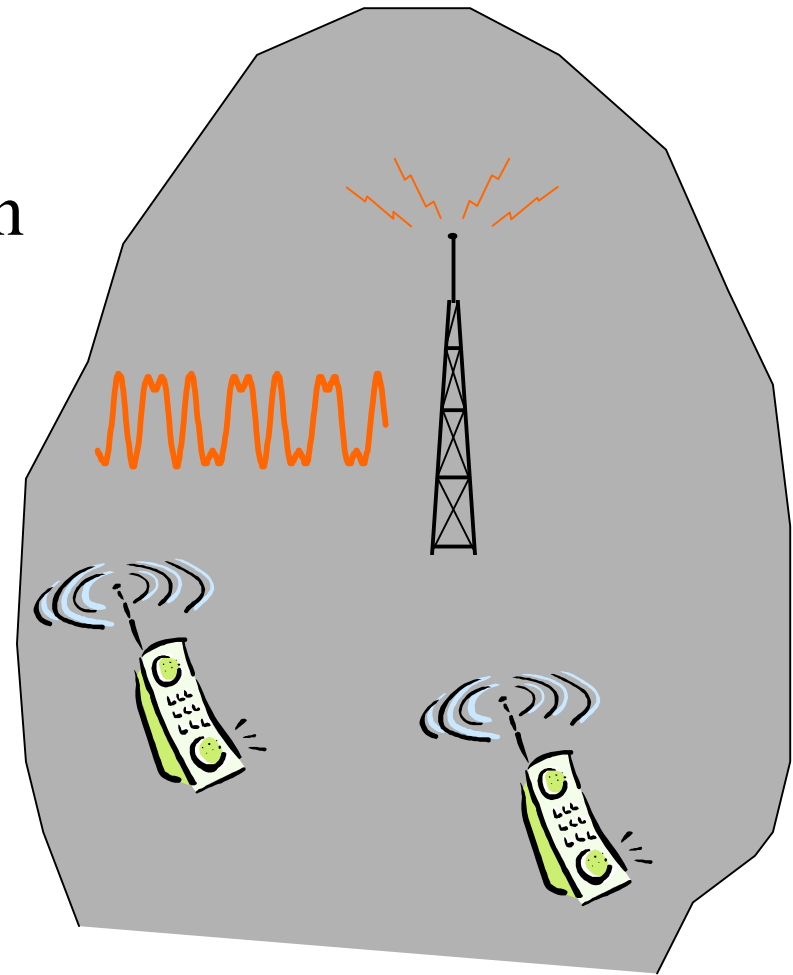
– C) Valeur expérimentale

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

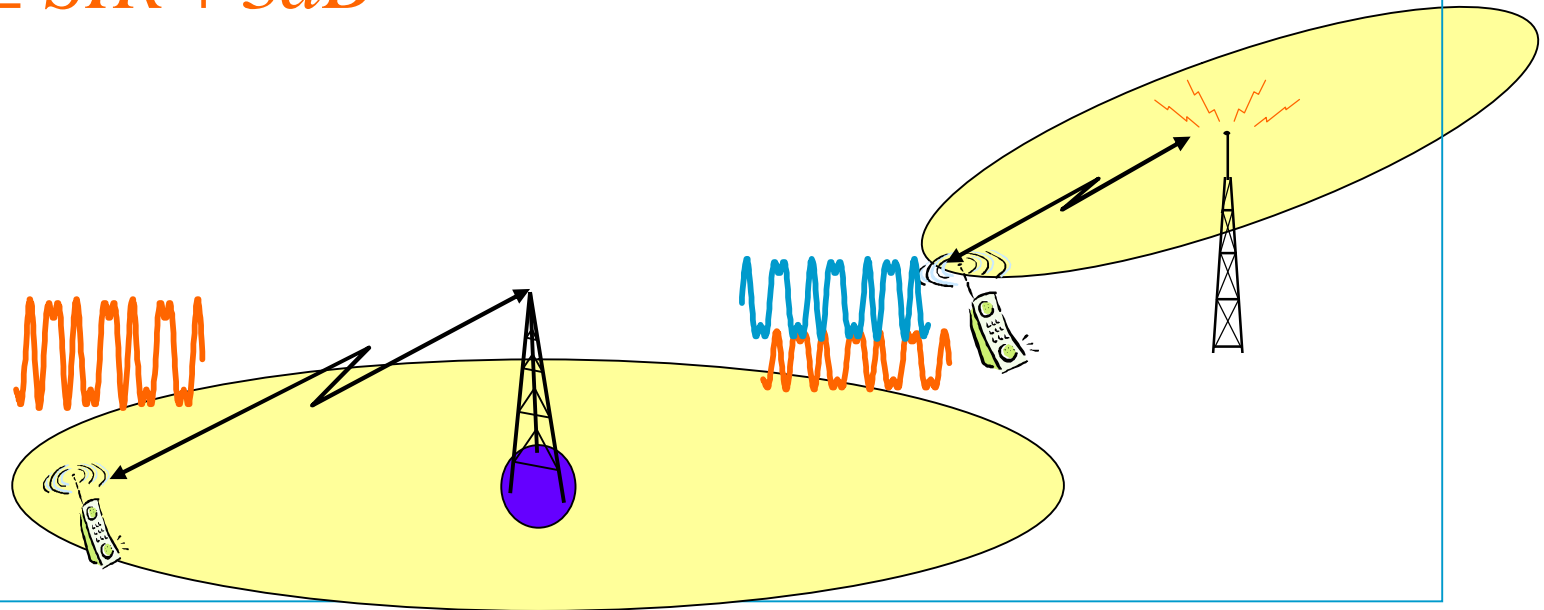


II-5. Interférences

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

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

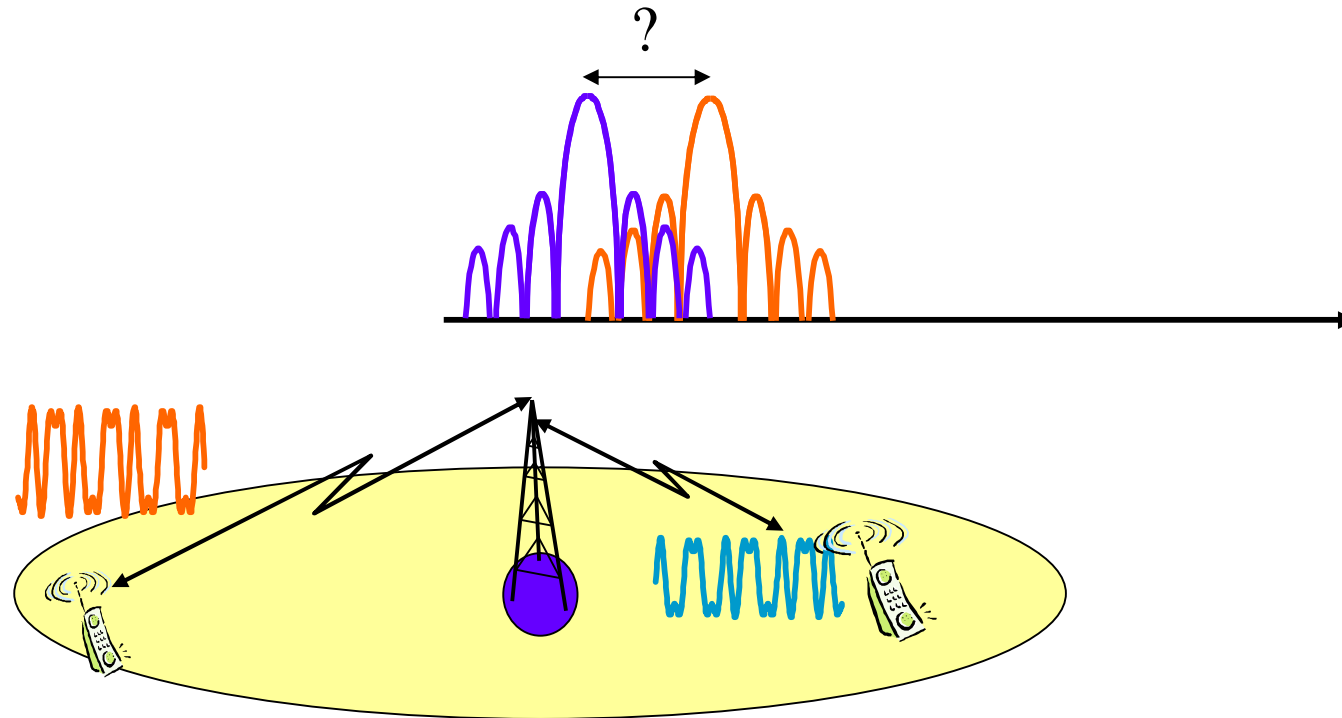
Icc :



II-5. Interférences

- B) Interférences canaux adjacents (**fréquentiel**)

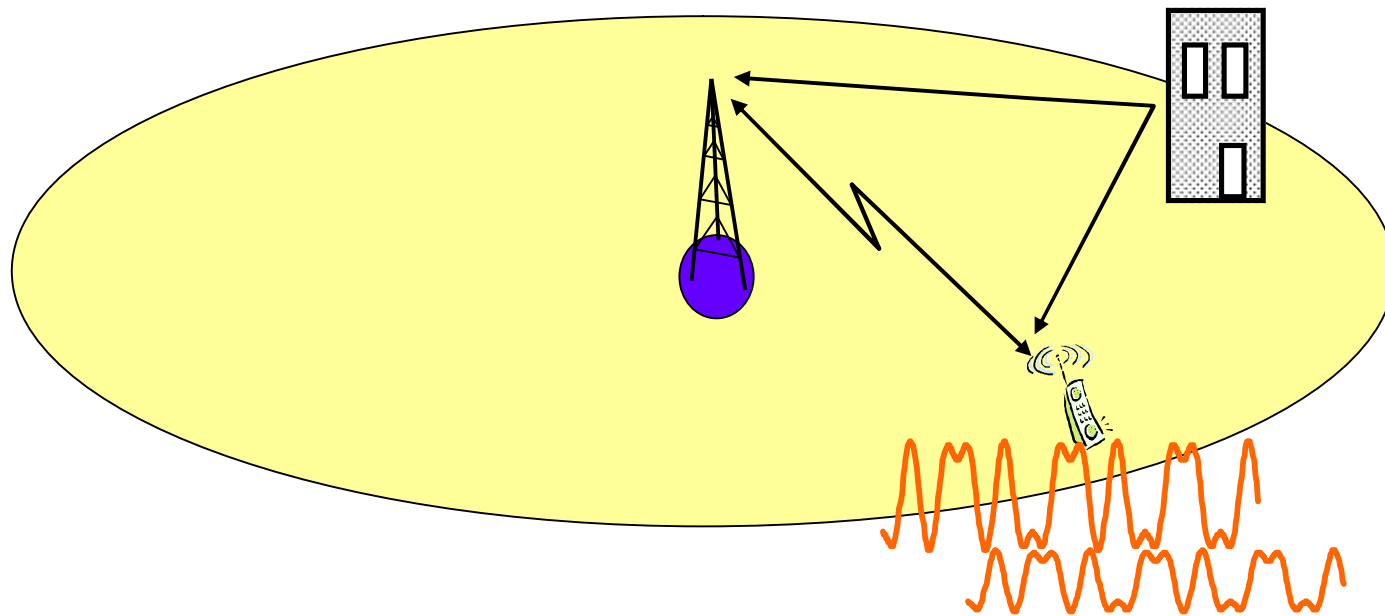
Ica :



II-5. Interférences

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

Iis :



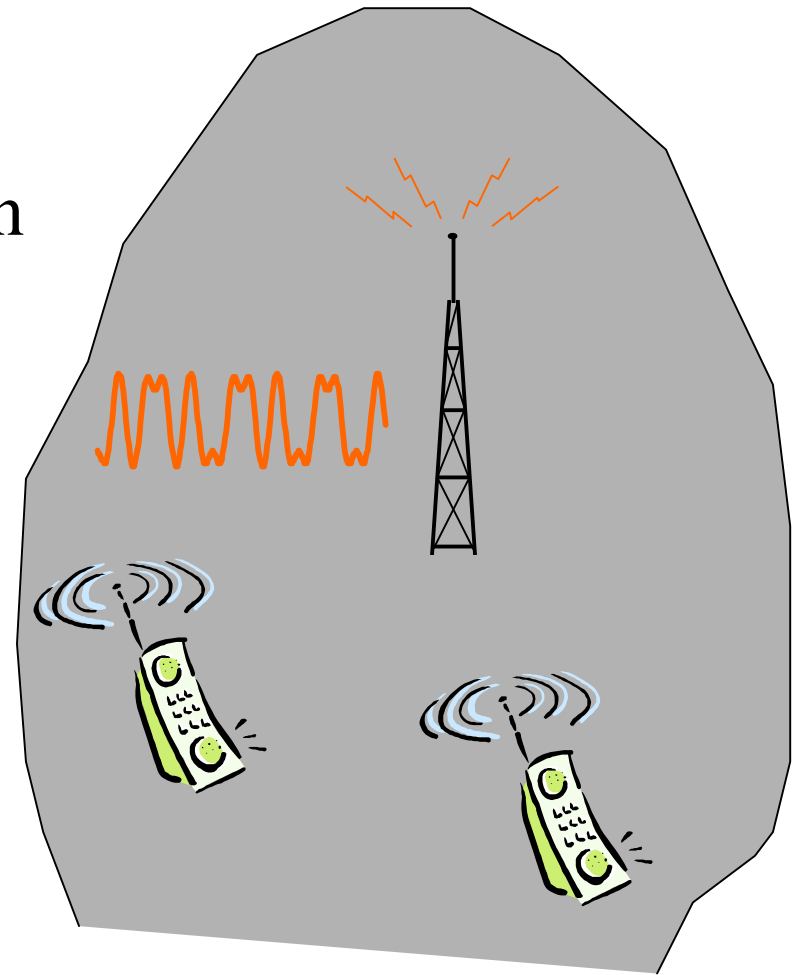
II-5. Interférences

- D) Calcul d'interférences sur 1 cellule

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

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**



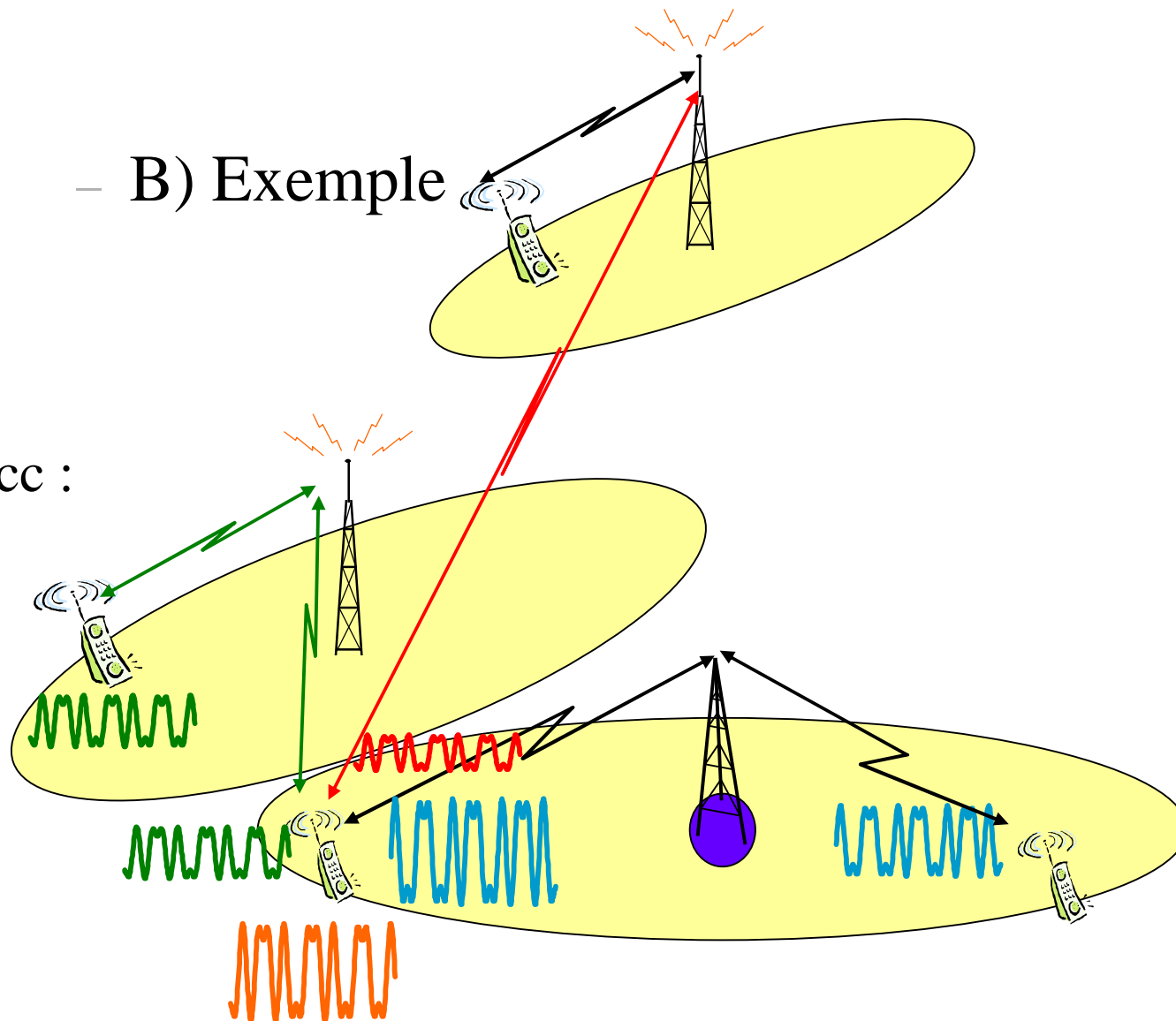
II-6. Synthèse

– 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.

– B) Exemple

Icc :



II-6. Synthèse

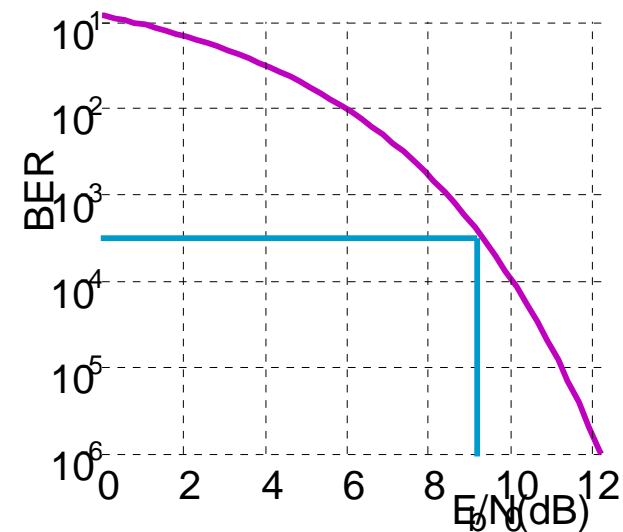
– C) application : le GSM

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

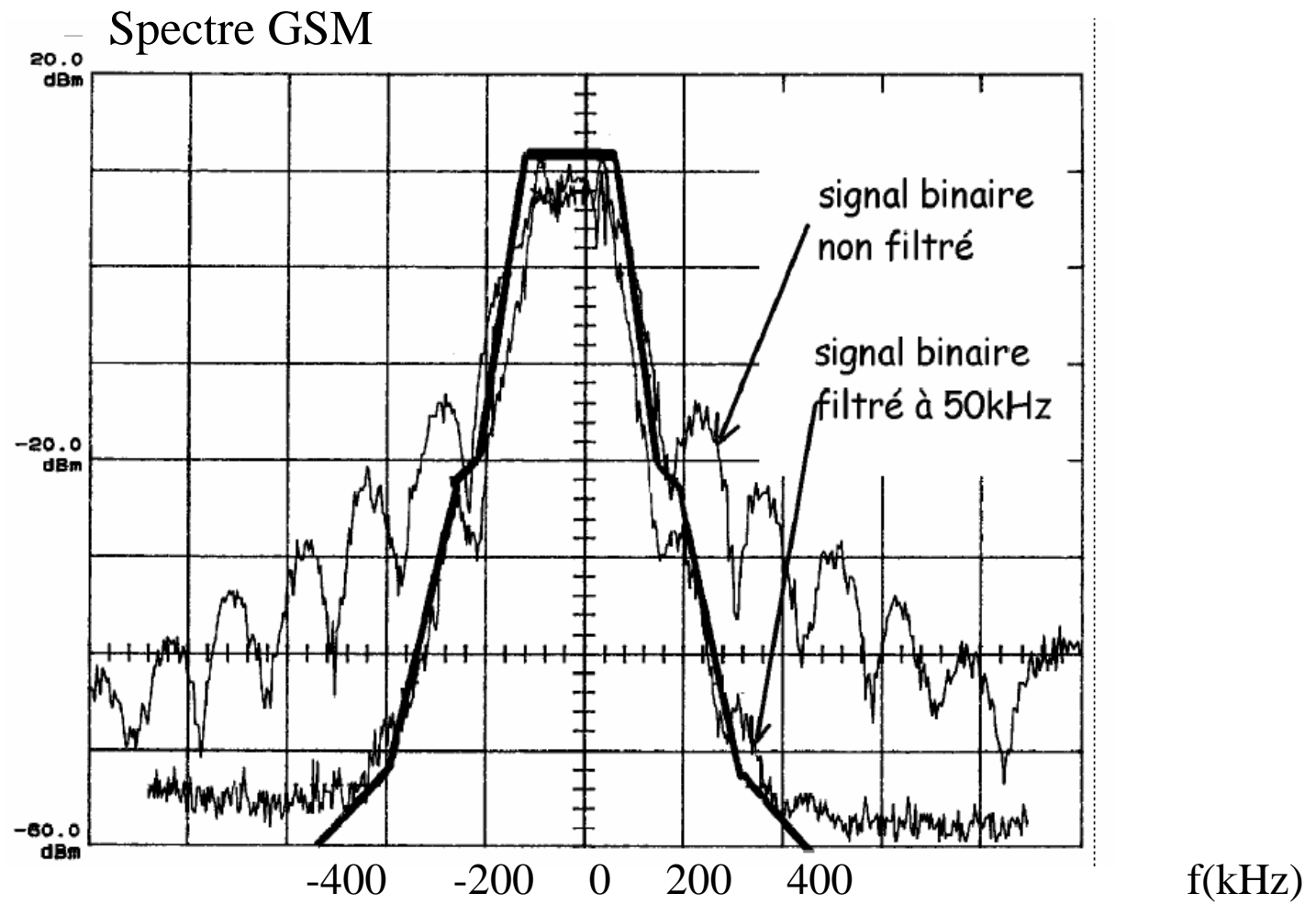
- (4 états sur 2 porteuses, modulation GMSK)
- occupation spectrale $\sim 200\text{kHz}$.

n Taux d'erreur requis :

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

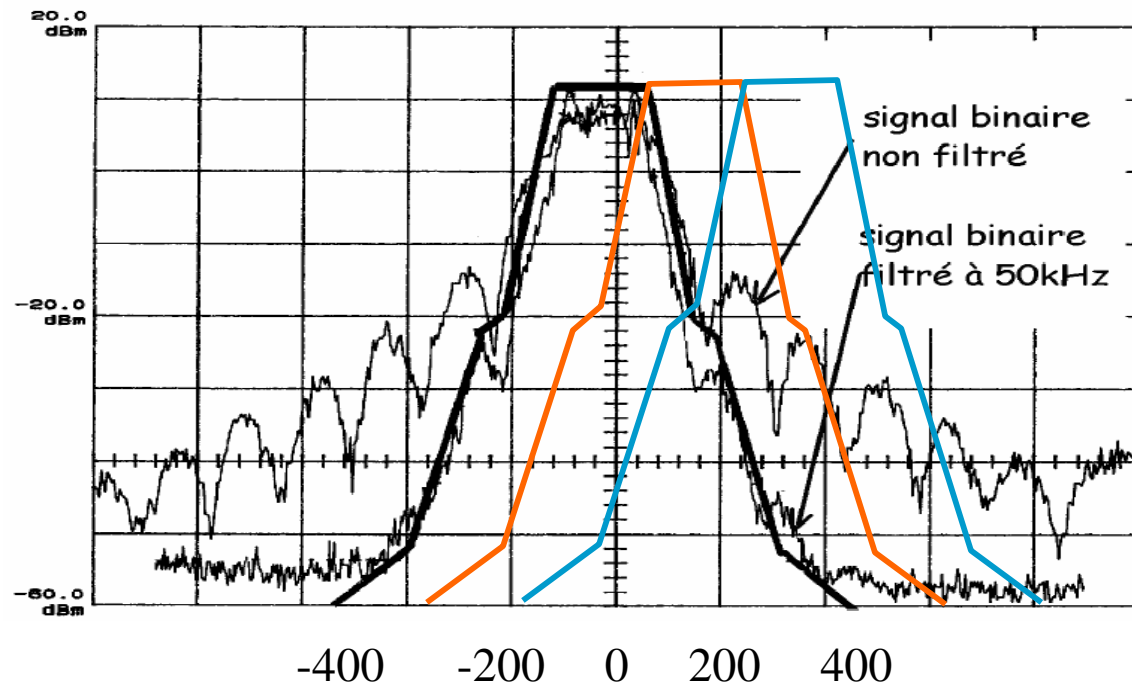


II-6. Synthèse



II-6. Synthèse

Interférences canaux adjacents :



Marges
prévues :

18dB

50dB

Plan général

I. Principe des réseaux cellulaires

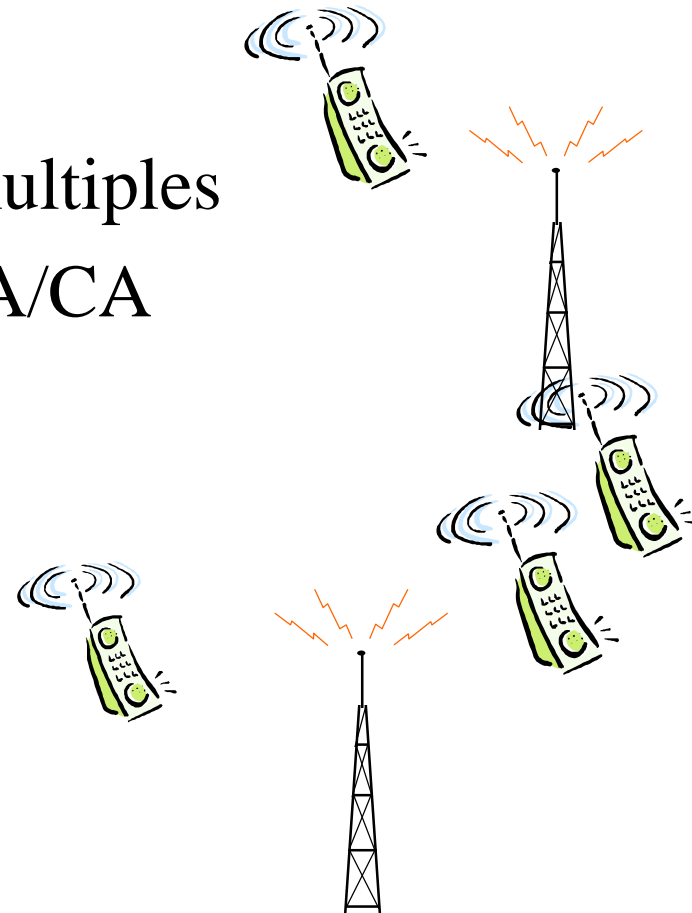
II. Caractéristiques des ressources radio

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



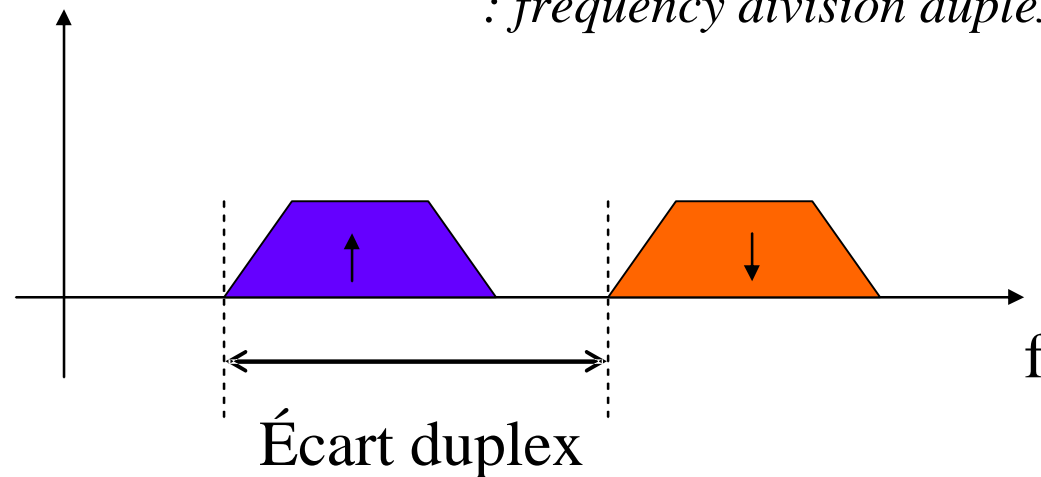
III-1. Modes de partage

- 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

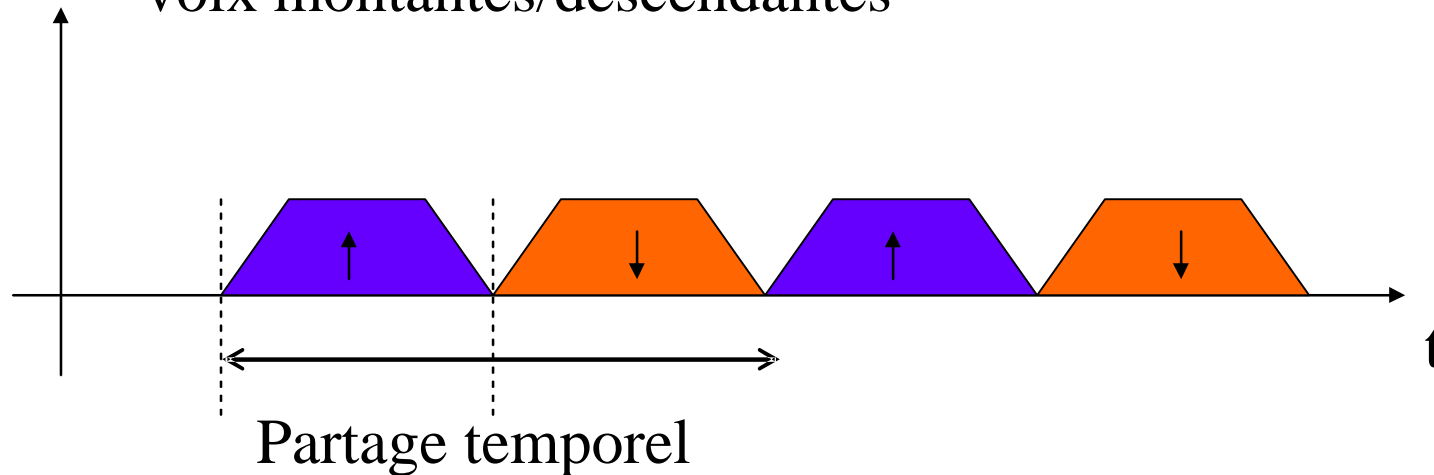
: *frequency division duplexing*)



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

III-1. Modes de partage

■ 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.

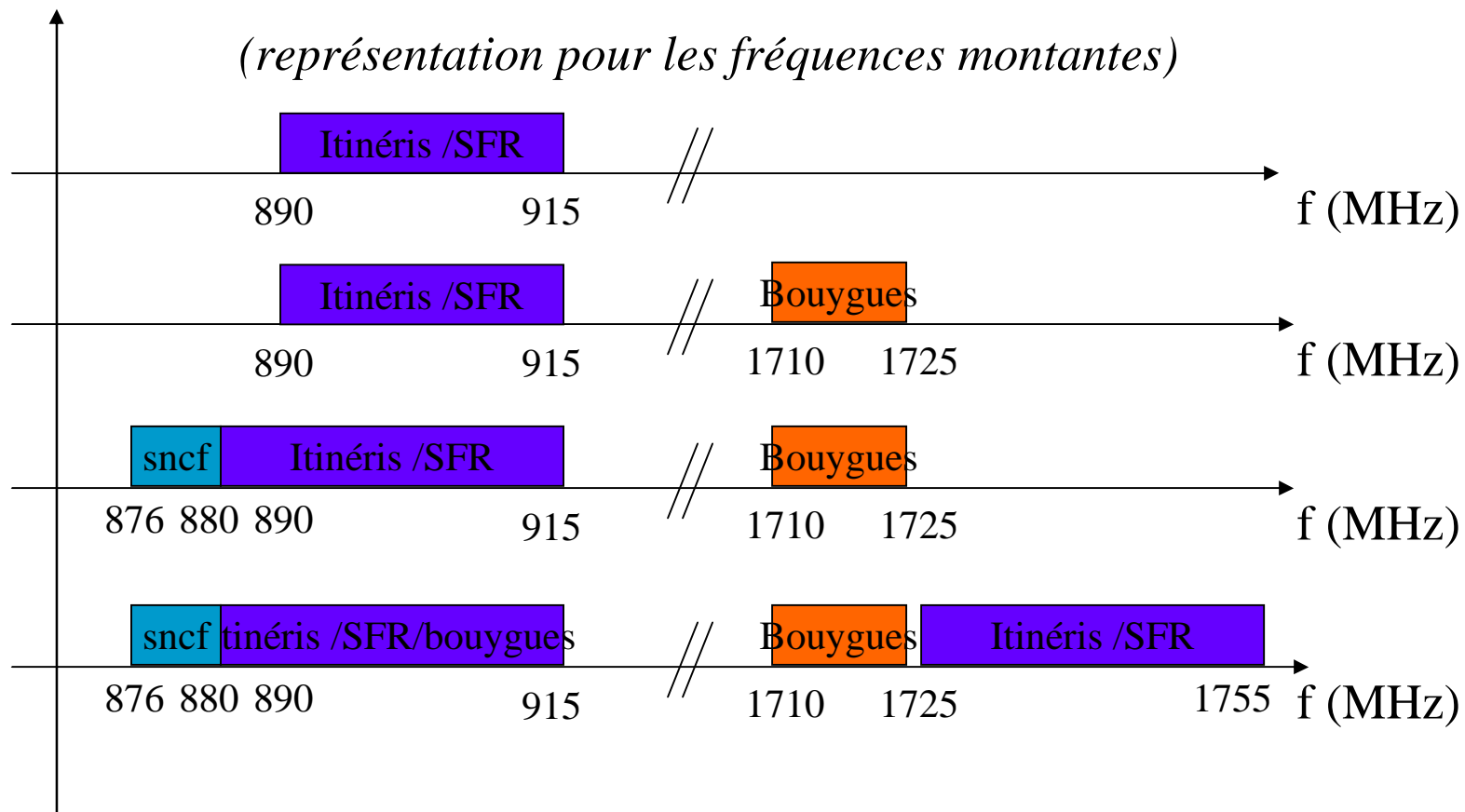
n Approche partagée

- 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

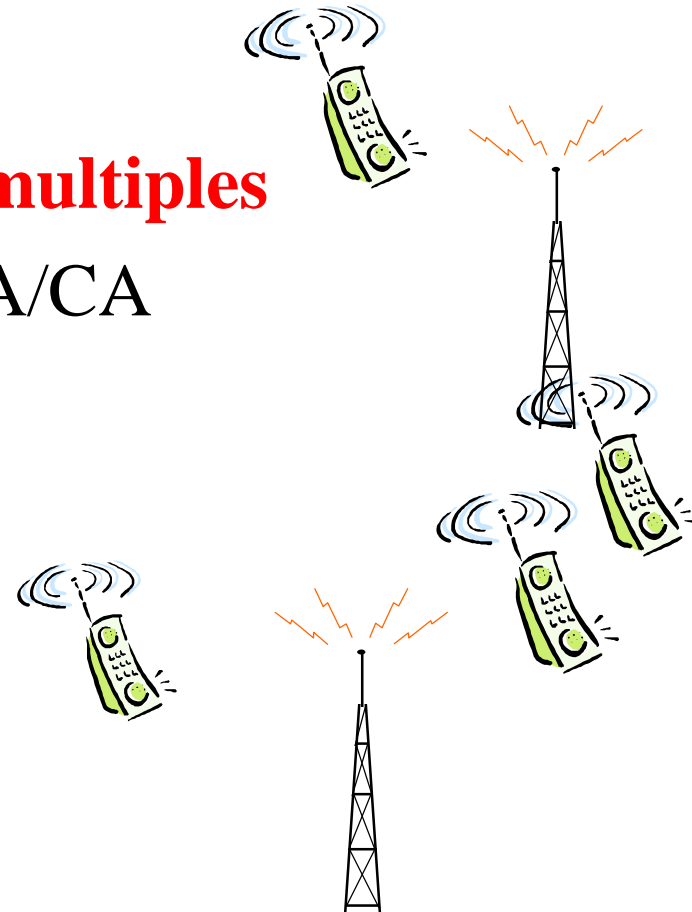
n Partage entre opérateurs pour le GSM

(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 :

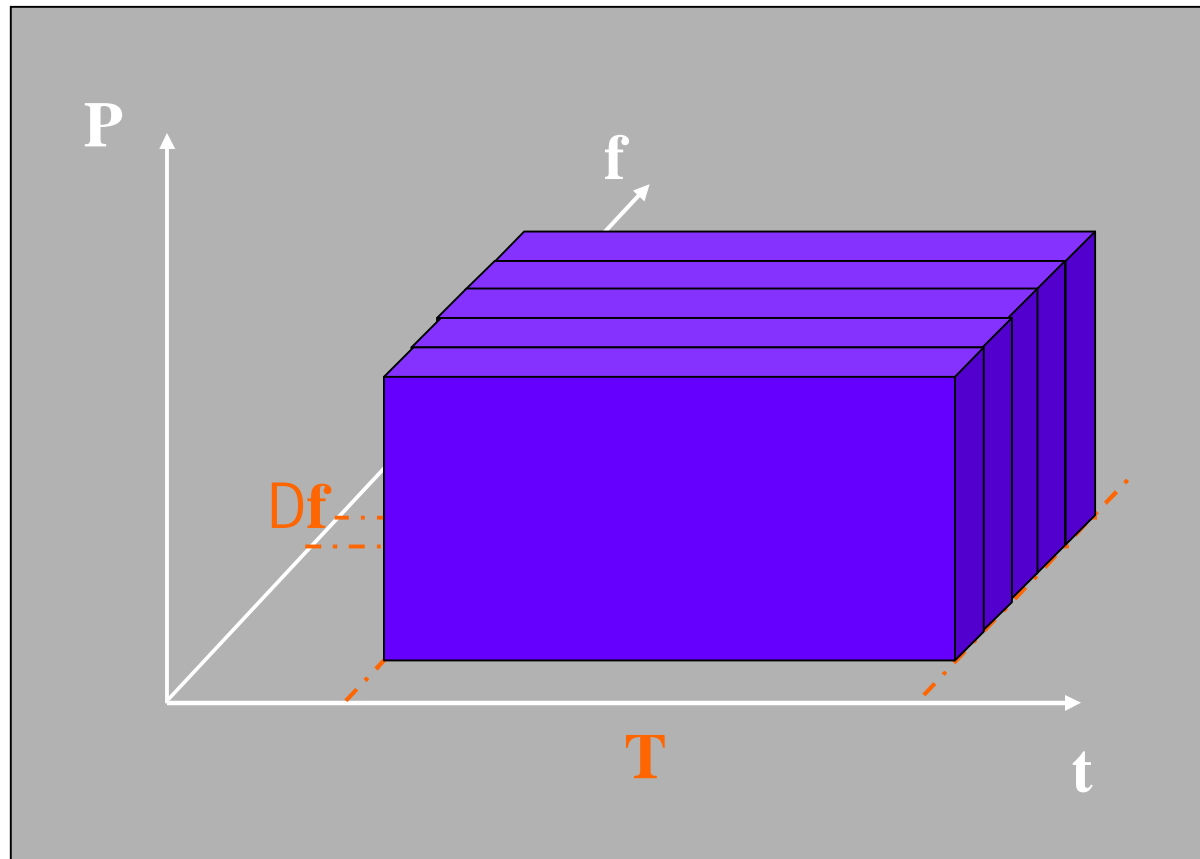
- choix parmi : FDMA, TDMA, FTDMA (GSM) ou CDMA (IS-95, UMTS).

n Critères :

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

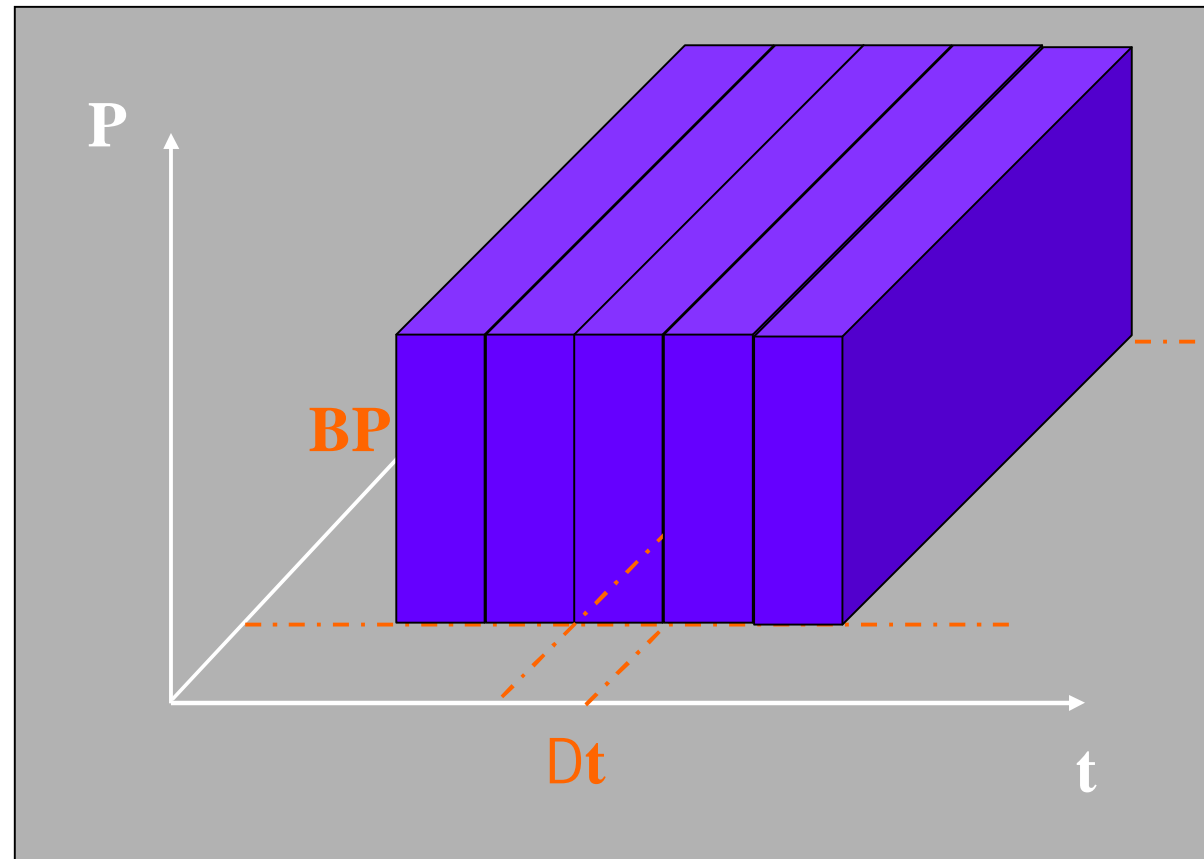
III-2. Accès multiples

– FDMA



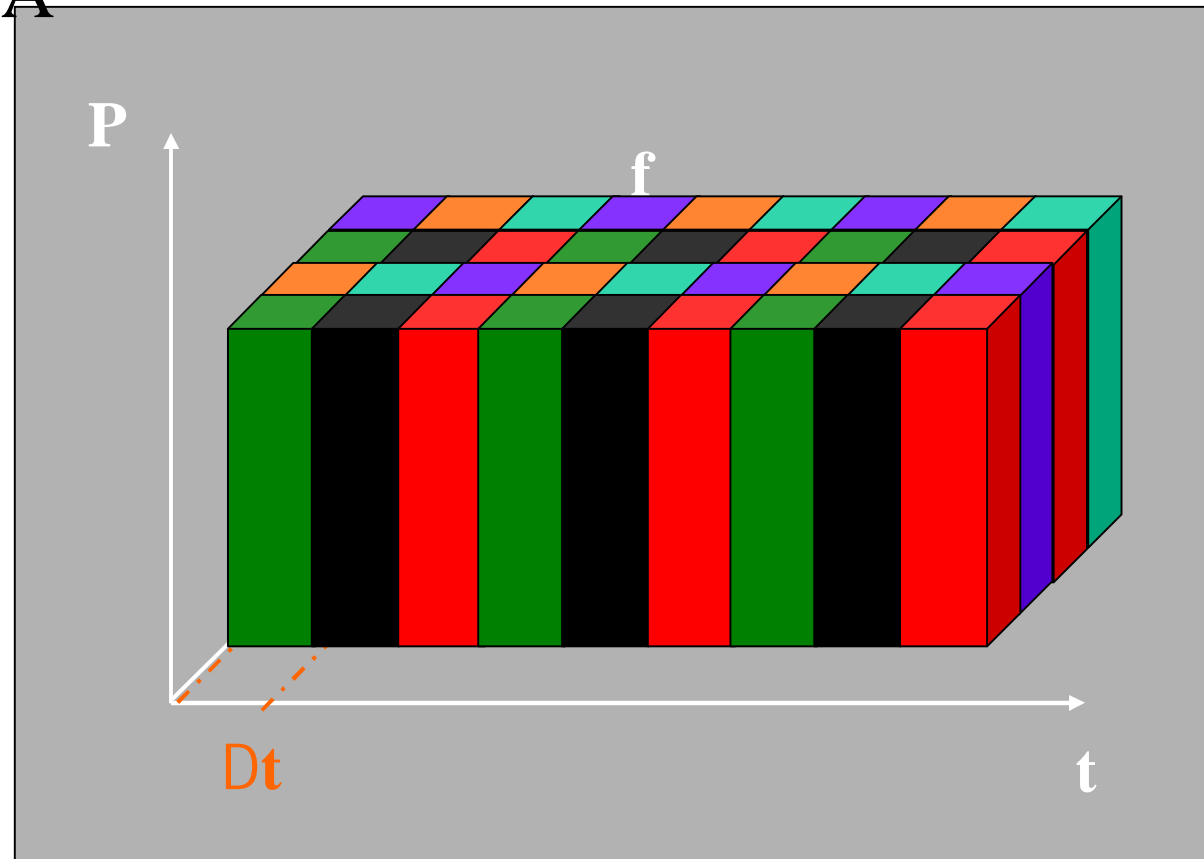
III-2. Accès multiples

– TDMA



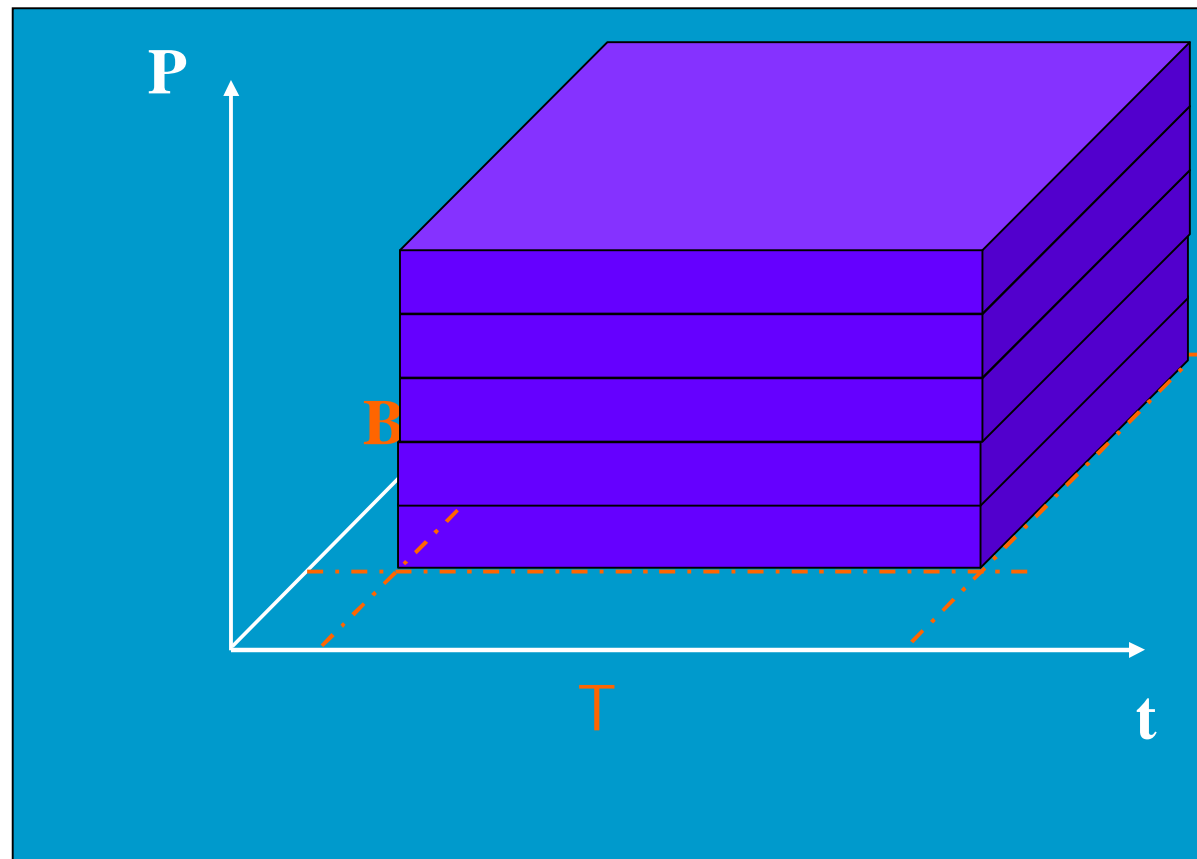
III-2. Accès multiples

– F-TDMA



III-2. Accès multiples

- CDMA



III-2.Accès multiples

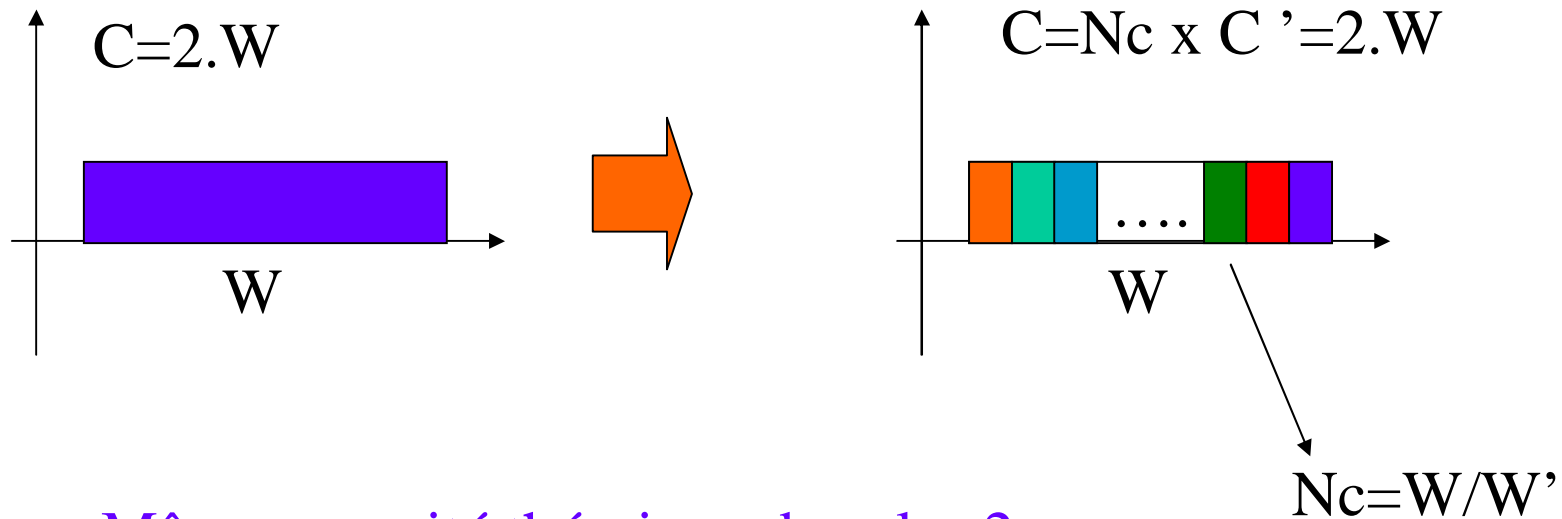
– B) FDMA

(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

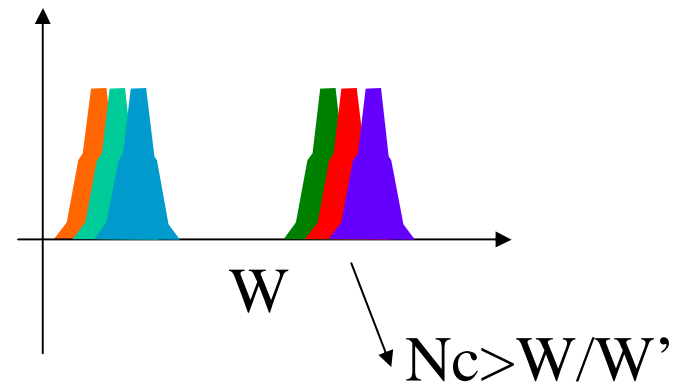
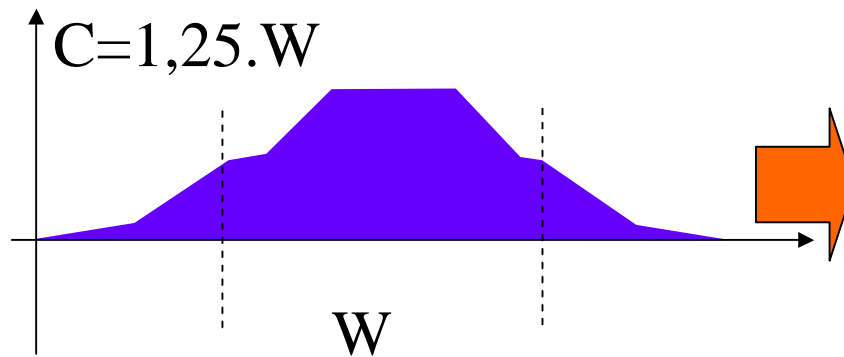
n Efficacité théorique



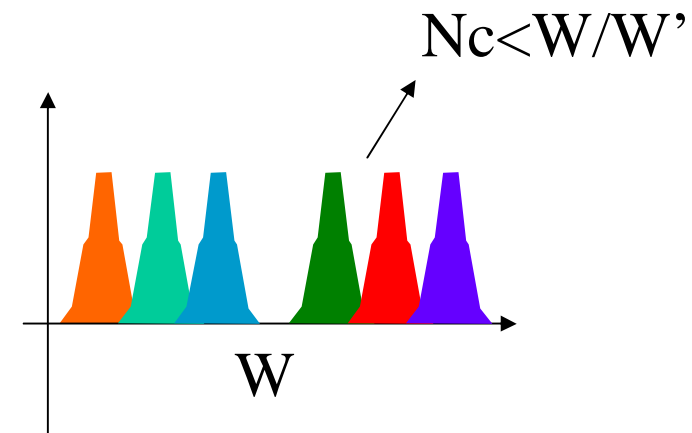
Même capacité théorique dans les 2 cas

III-2. Accès multiples

n Efficacité réelle



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



III-2.Accès multiples

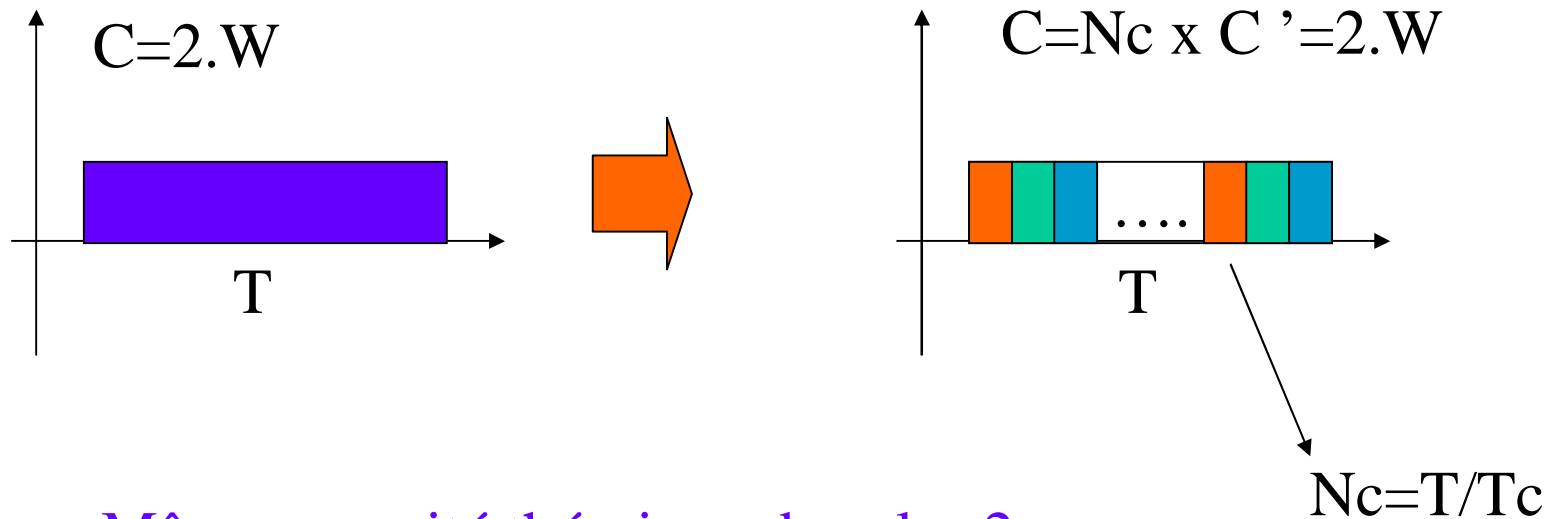
- Conclusion sur du FDMA ‘pur’
 - n taux d ’interférences important entre porteuses voisines.
 - n difficile de faire une planification des fréquences avec un grand nombre de porteuses.
 - n mauvaise efficacité d’utilisation du spectre.

III-2.Accès multiples

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

III-2. Accès multiples

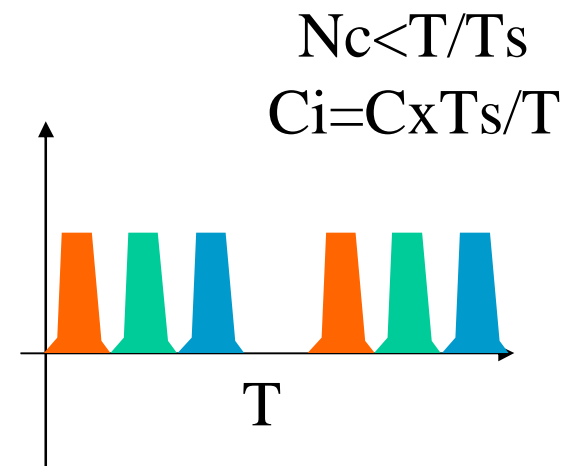
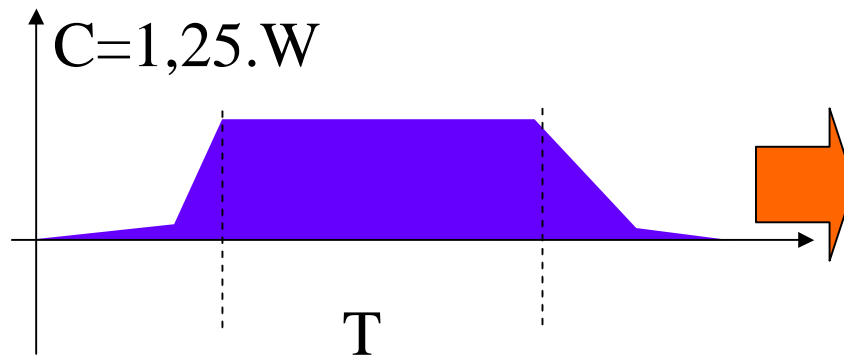
n Efficacité théorique



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

III-2.Accès multiples

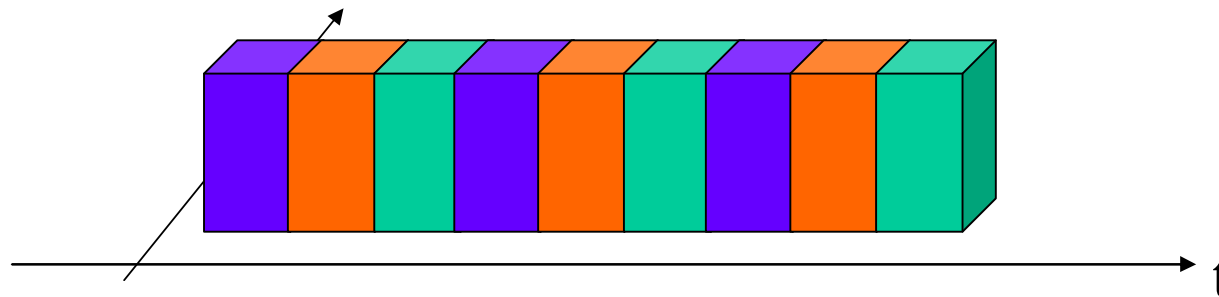
– D) FTDMA (TDMA)

- 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.

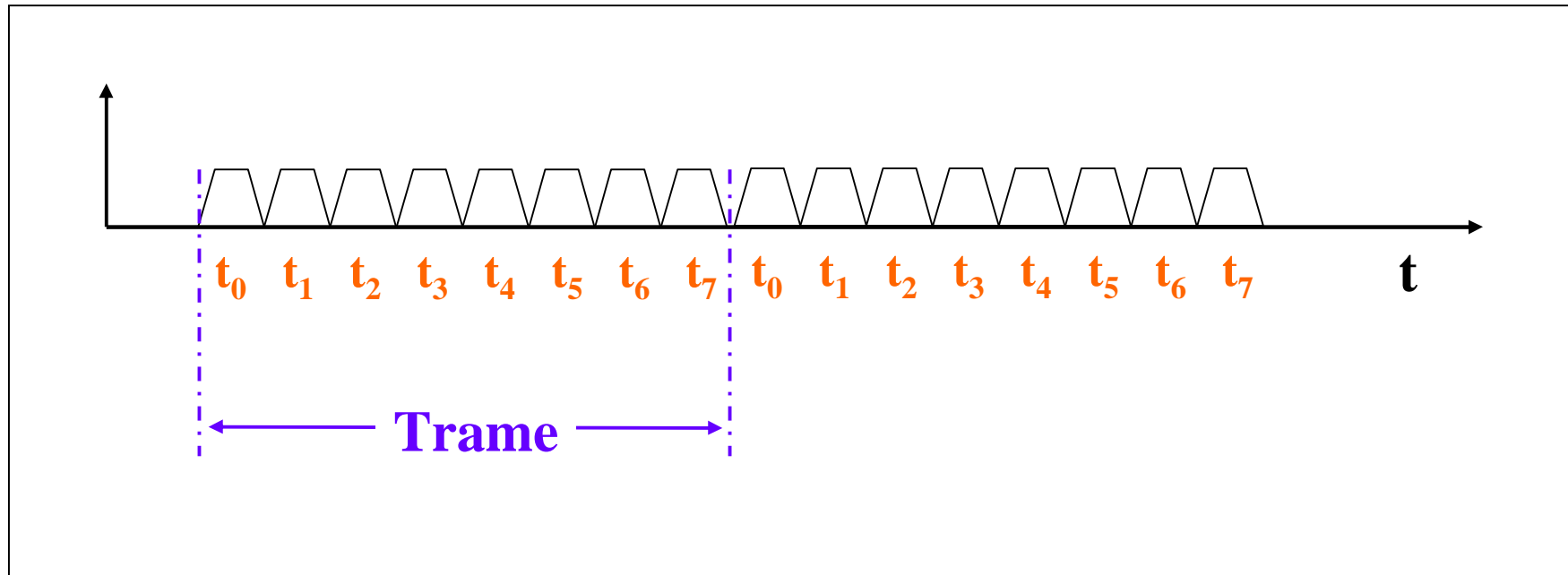
III-2. Accès multiples

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

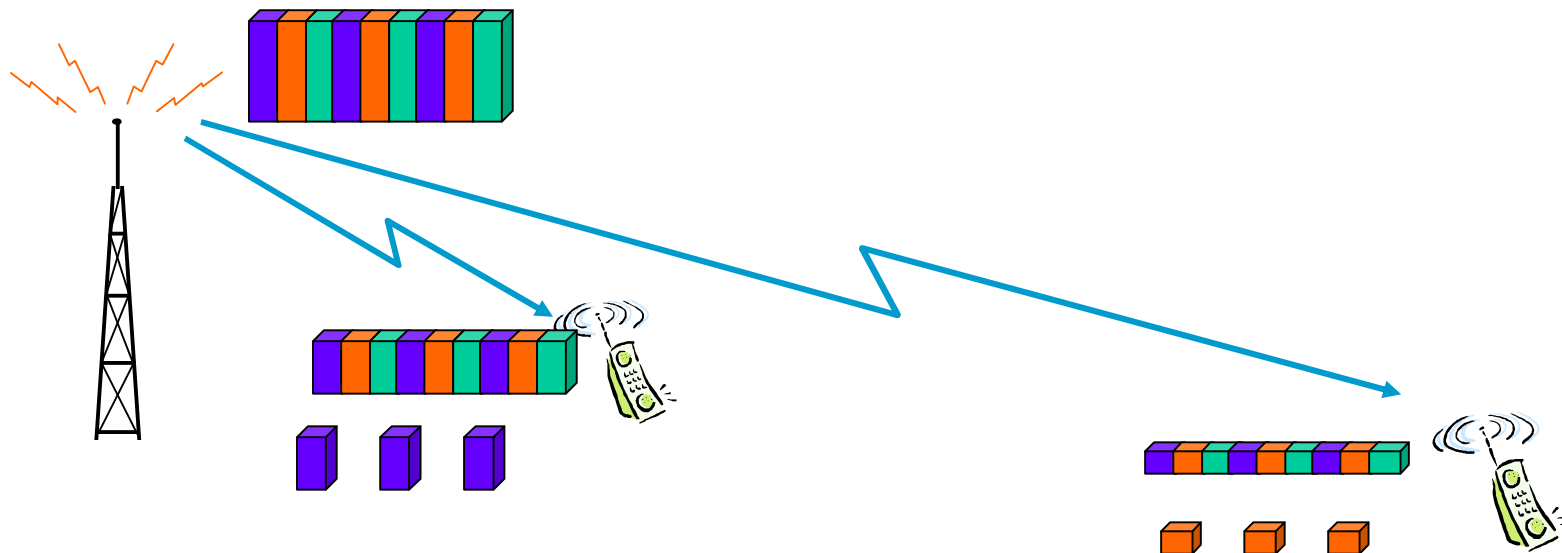
1 canal physique = 1 slot par trame

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

III-2. Accès multiples

n sur lien descendant : facile

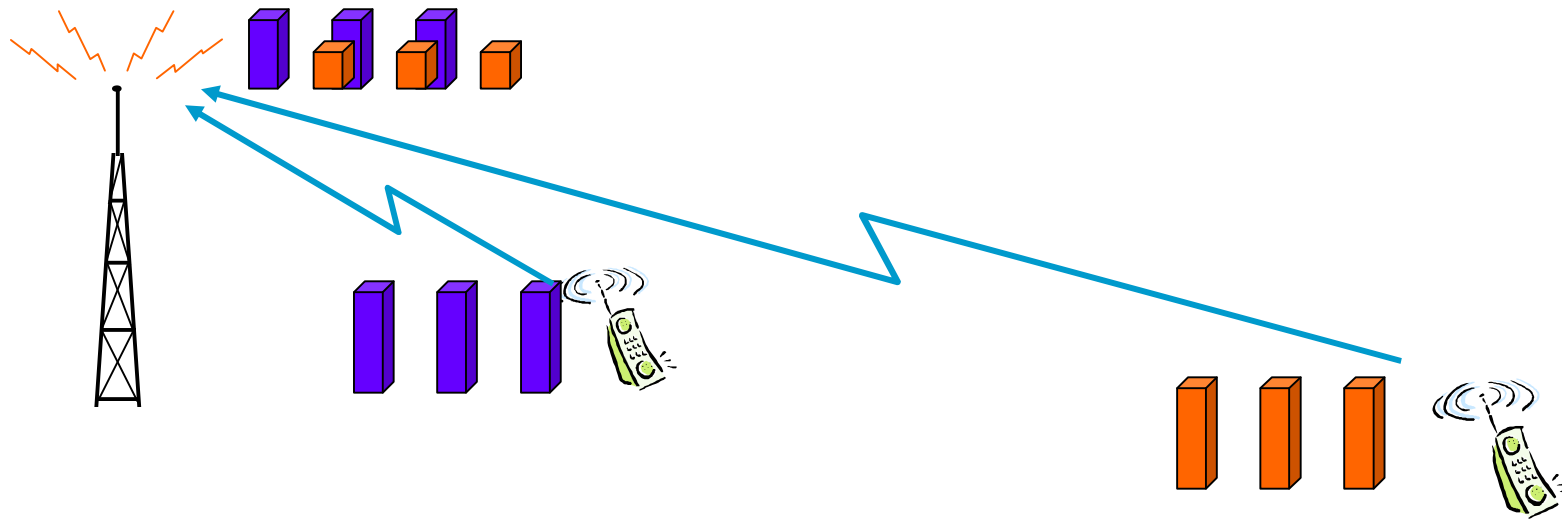
- pas de problème particulier car 1 seule source
- il faut juste synchroniser les récepteurs



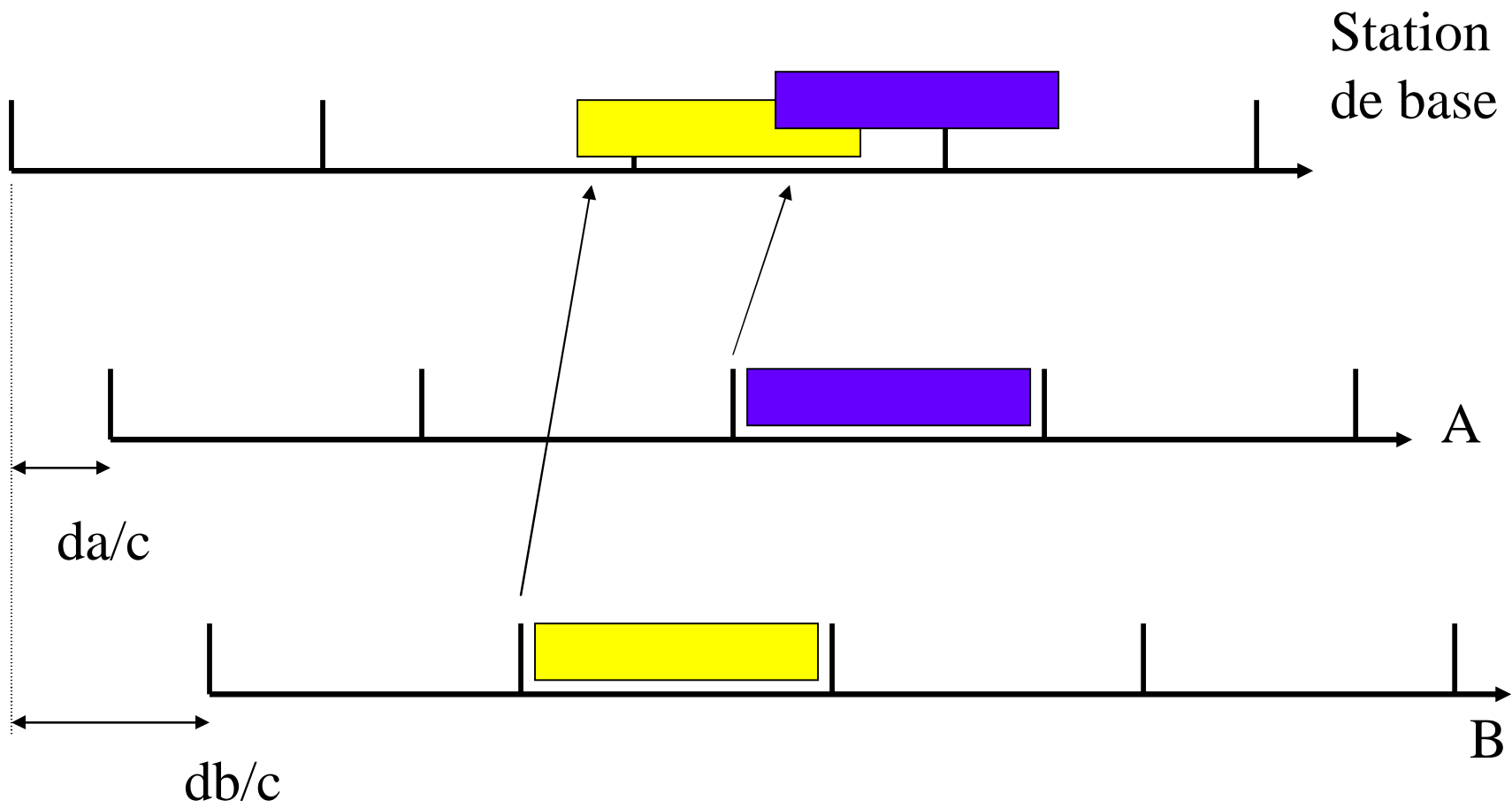
III-2. Accès multiples

n sur lien montant : plus difficile

- problème de synchronisation
- problèmes de puissance



III-2. Accès multiples



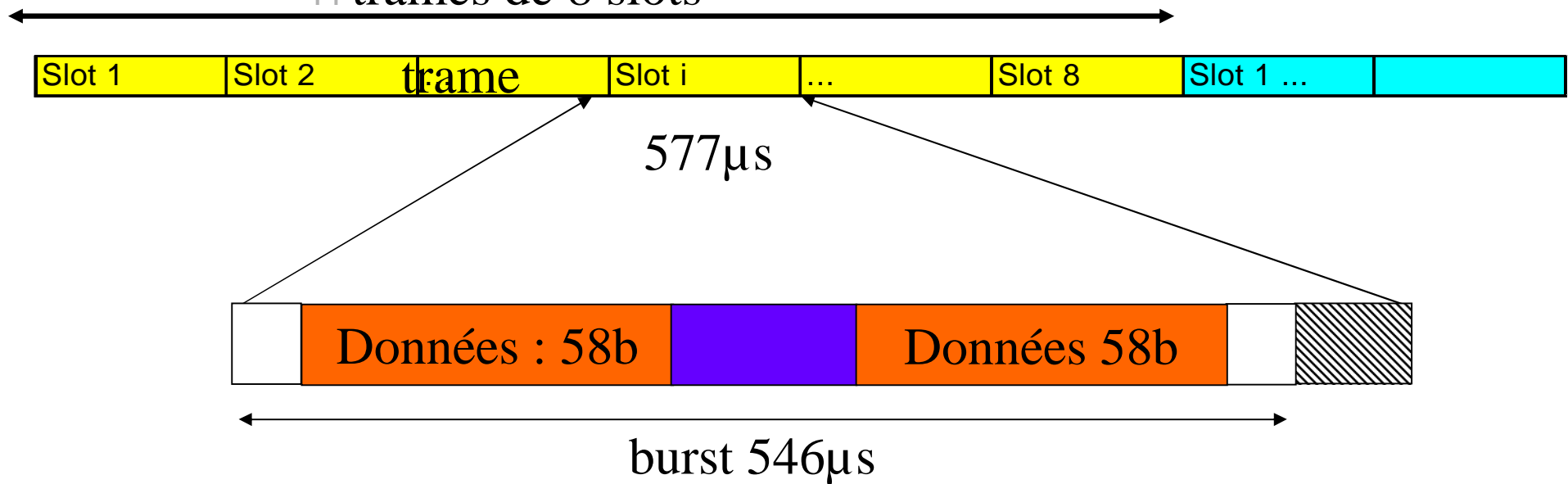
III-2. Accès multiples

– 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 : $8 \times 116 \text{ bit/trame}$
- n Débit réel : $D_i = 116 / 577 \cdot 10^{-6} \sim 200 \text{ kb/s}$

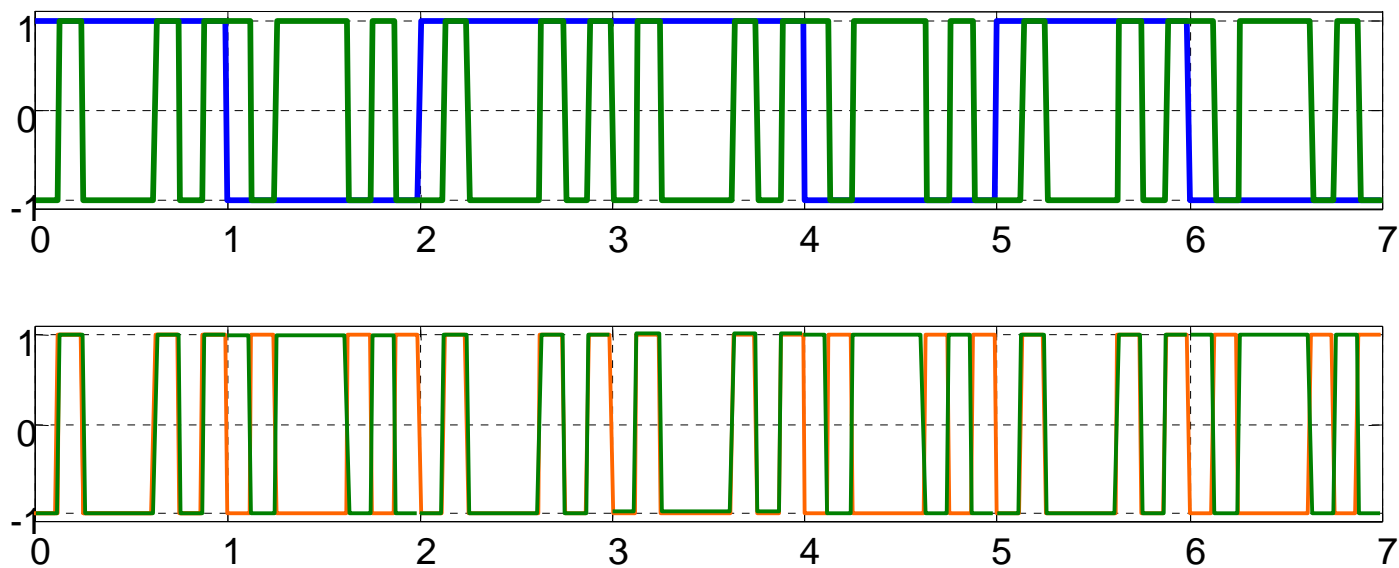
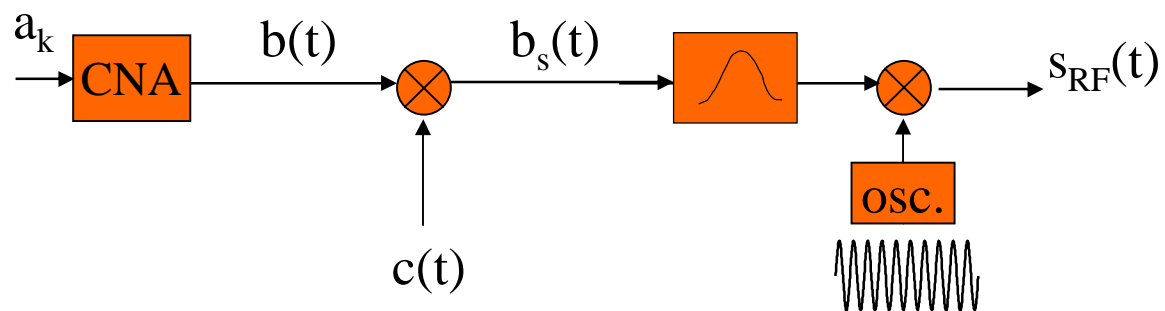
- n Capacité globale : $124 \times 200 \text{ kb/s} = 24,8 \text{ Mb/s}$
 - à comparer à $C_{\text{theo}} = 50 \text{ Mb/sec}$
- n efficacité spectrale : $\eta \sim 1 \text{ b/s/Hz}$

III-2.Accès multiples

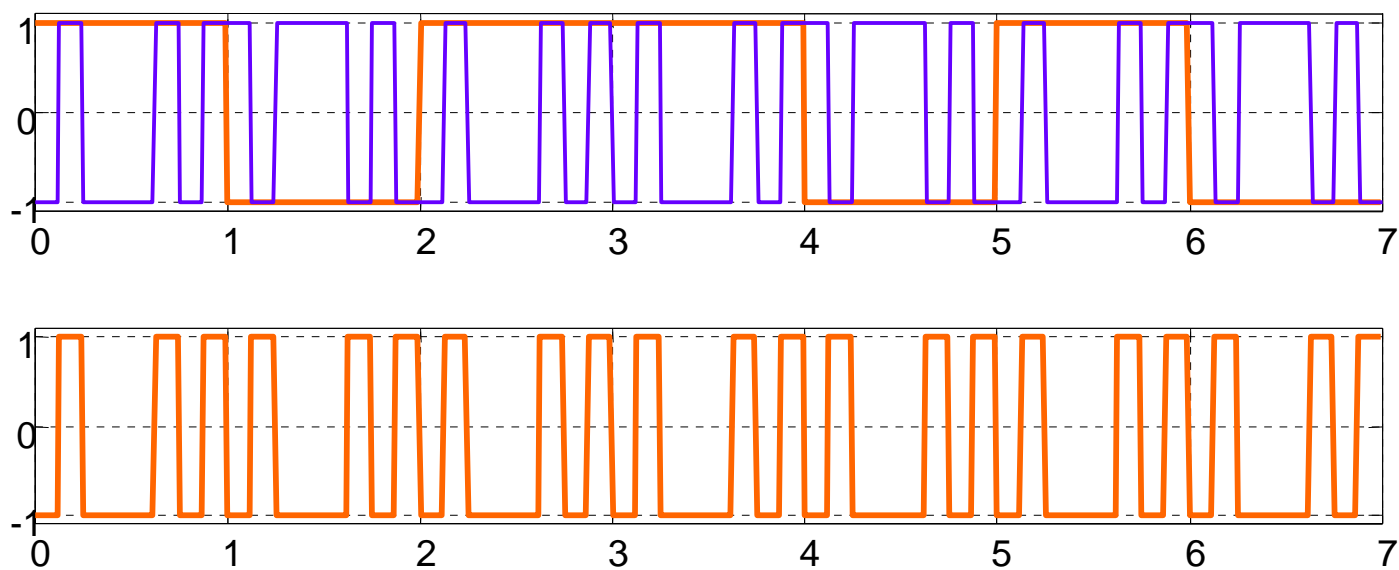
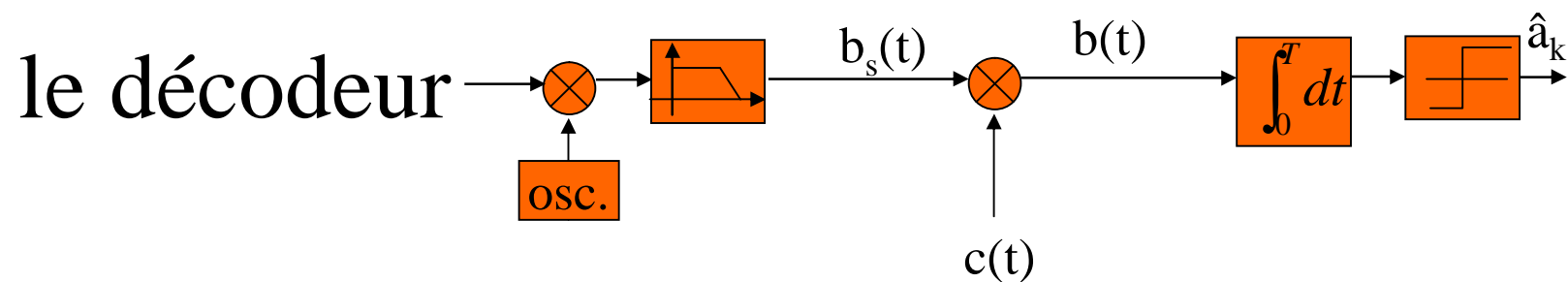
- F) CDMA (Code Division Multiple Access)
 - n L'UMTS est un système W-CDMA
 - n Définition de canaux fréquentiels à débit largement supérieur au débit d'une voie.
 - n Répartition de porteuses par cellule.
 - n Répartition dans le temps: trames et slots
 - n applications : GSM, DECT.

III-2. Accès multiples

le codeur

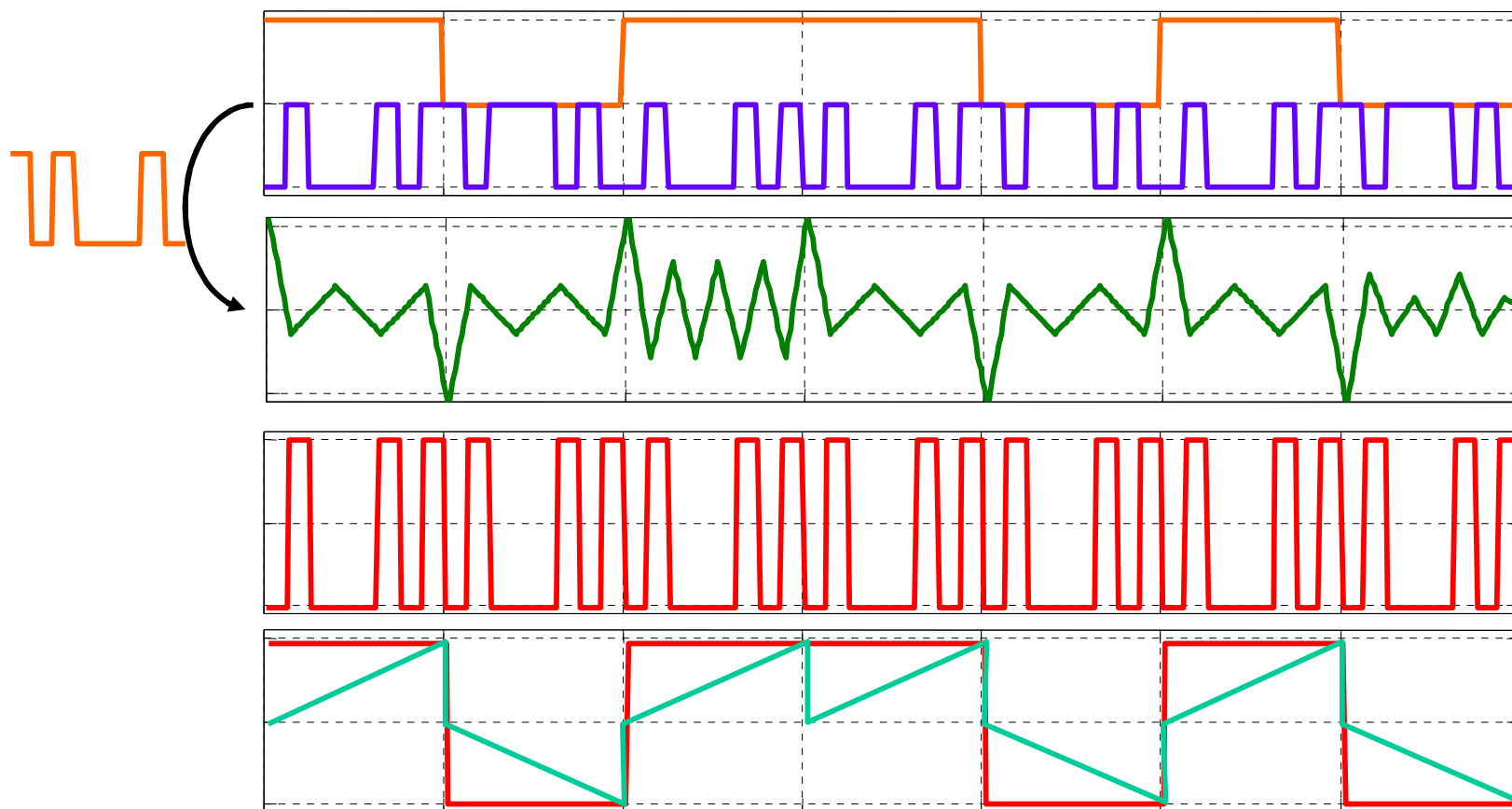


III-2. Accès multiples



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.

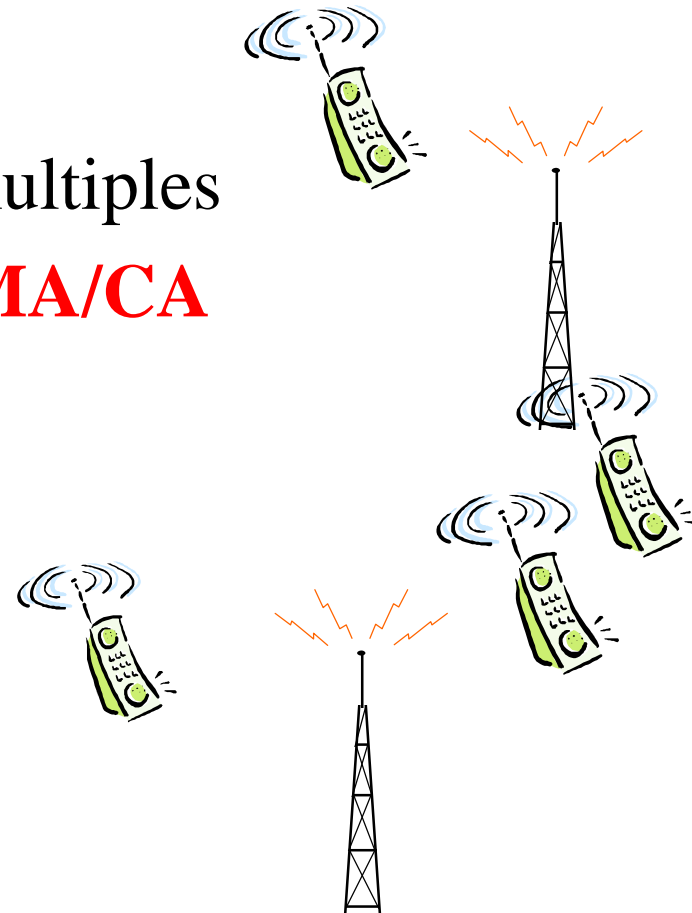
III-2.Accès multiples

– 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

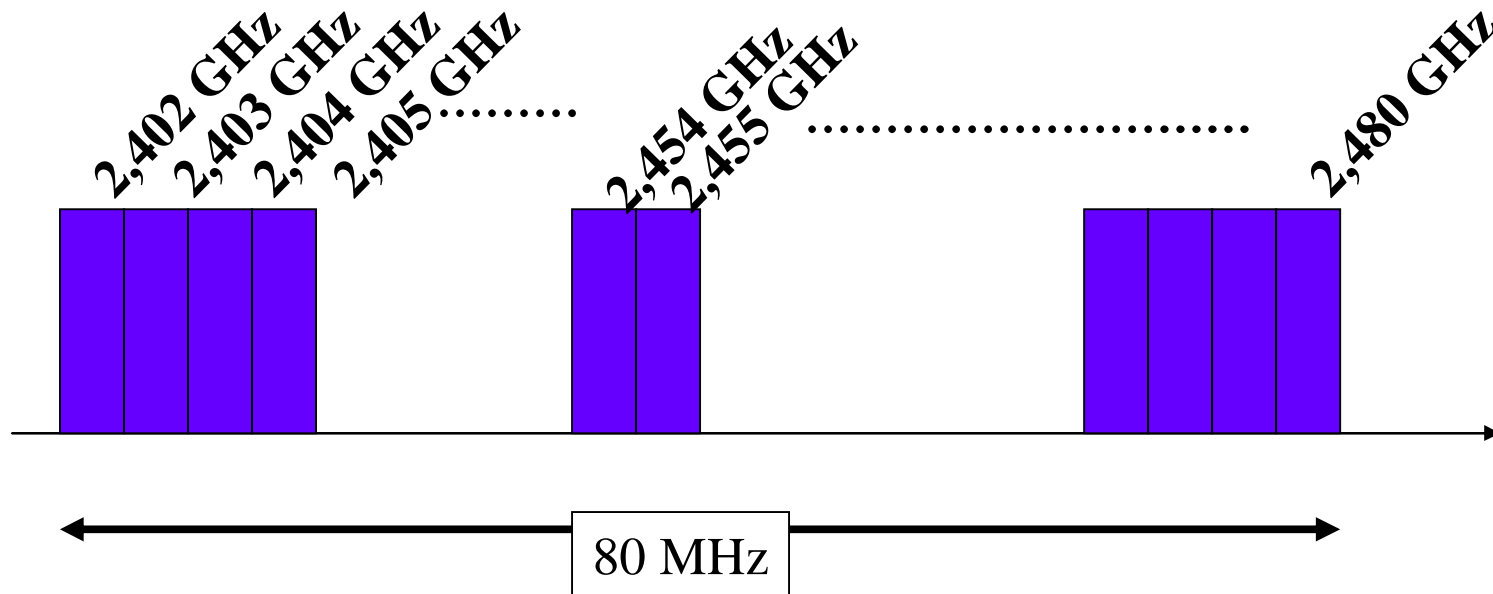


III-2.CSMA/CA : 802.11b

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

n Bande de fréquences ISM

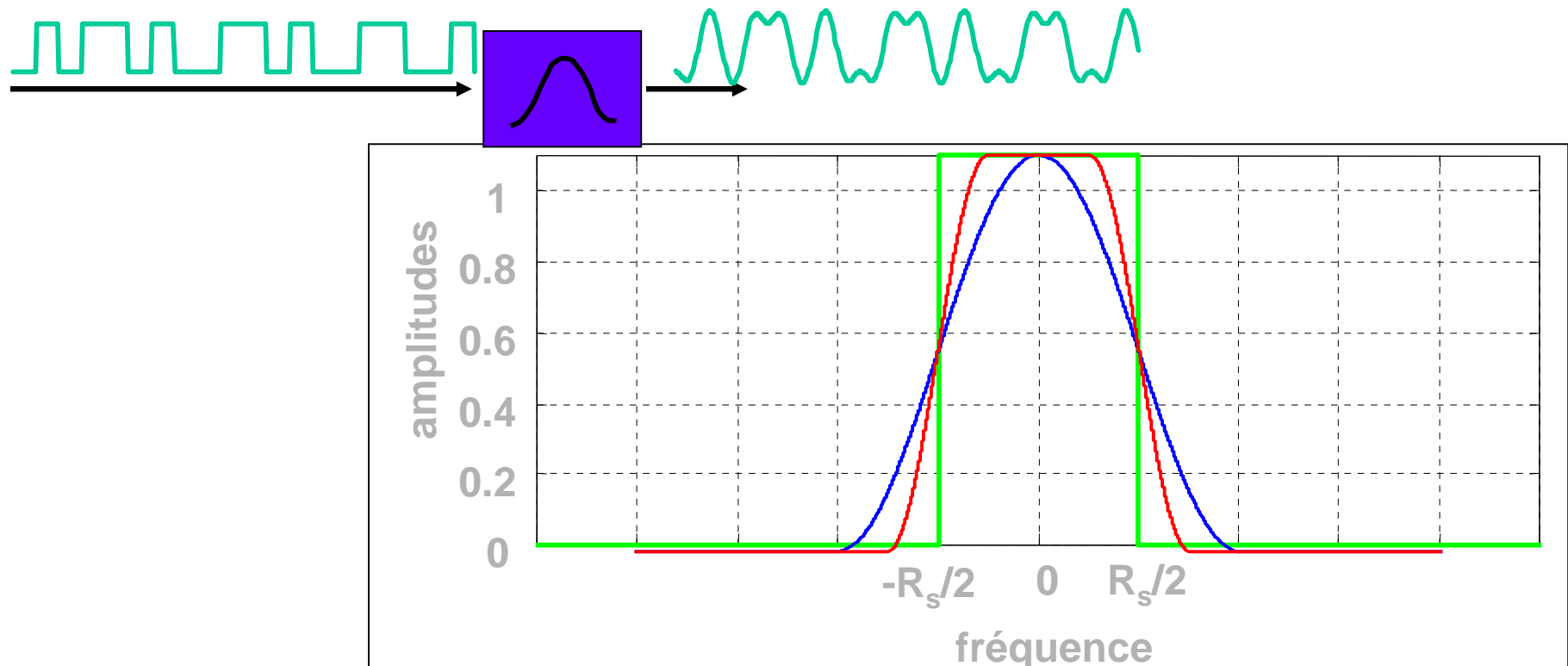
- découpage en bandes de fréquences :



III-2.CSMA/CA : 802.11b

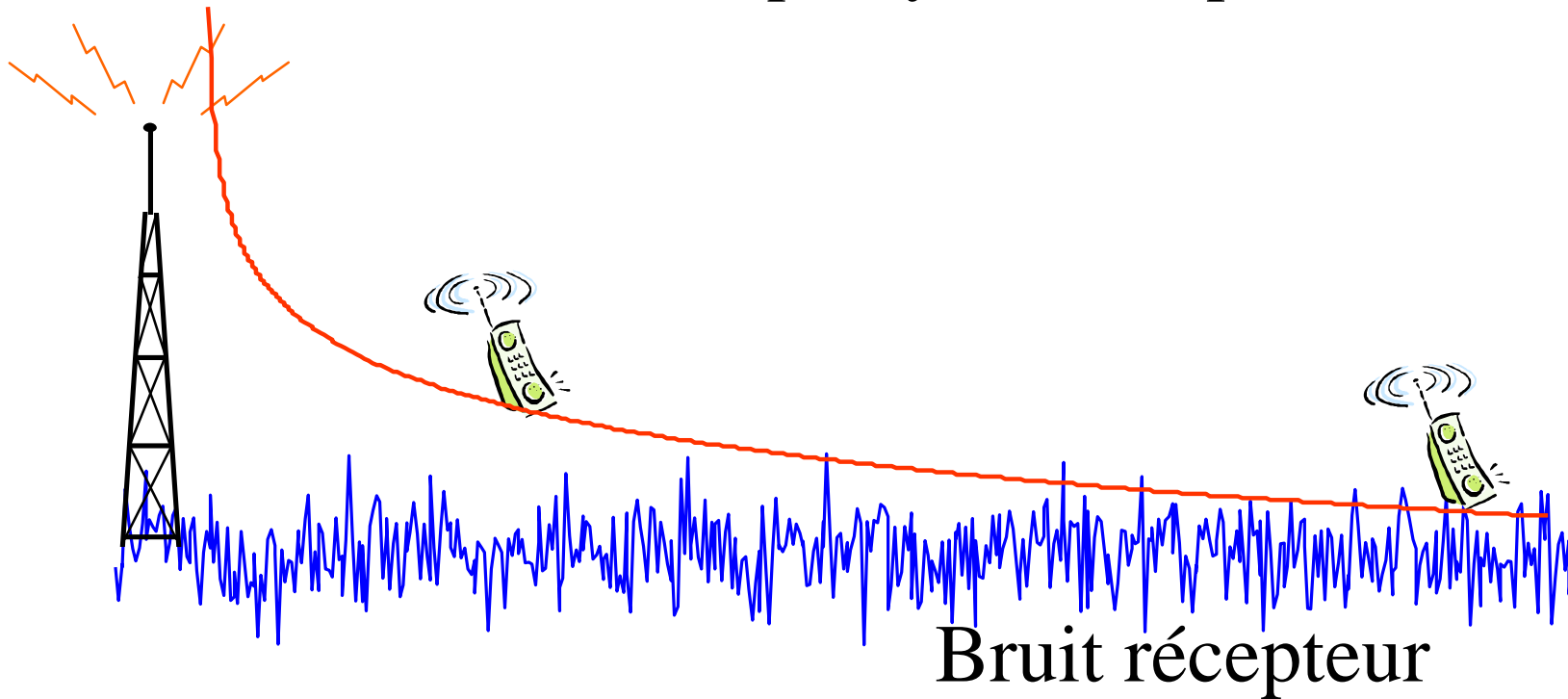
n Bande de fréquences

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



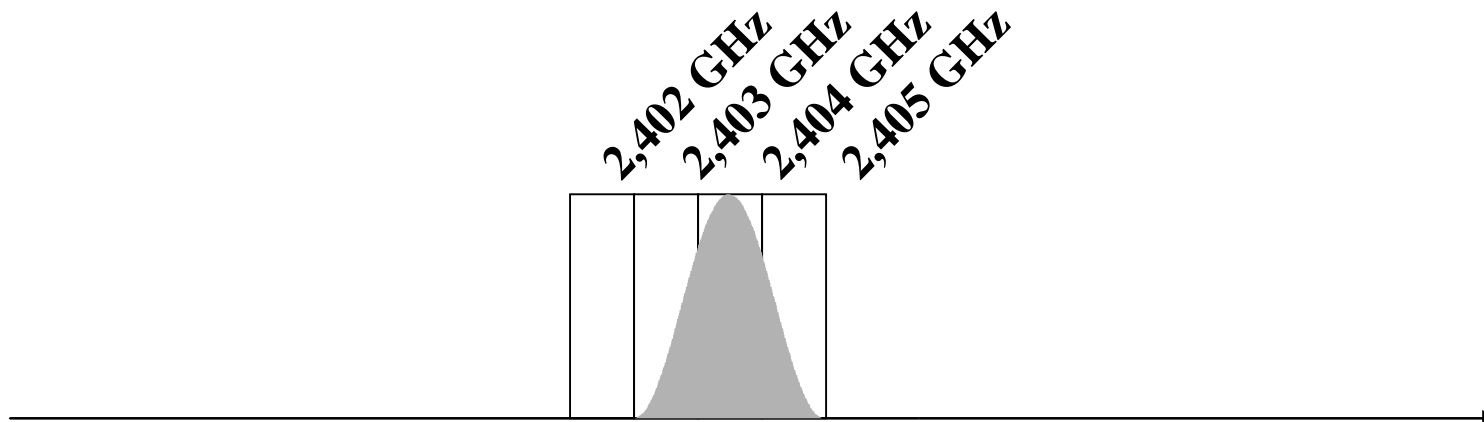
n Le SNR

- le nombre de bits par symbole dépend du SNR.

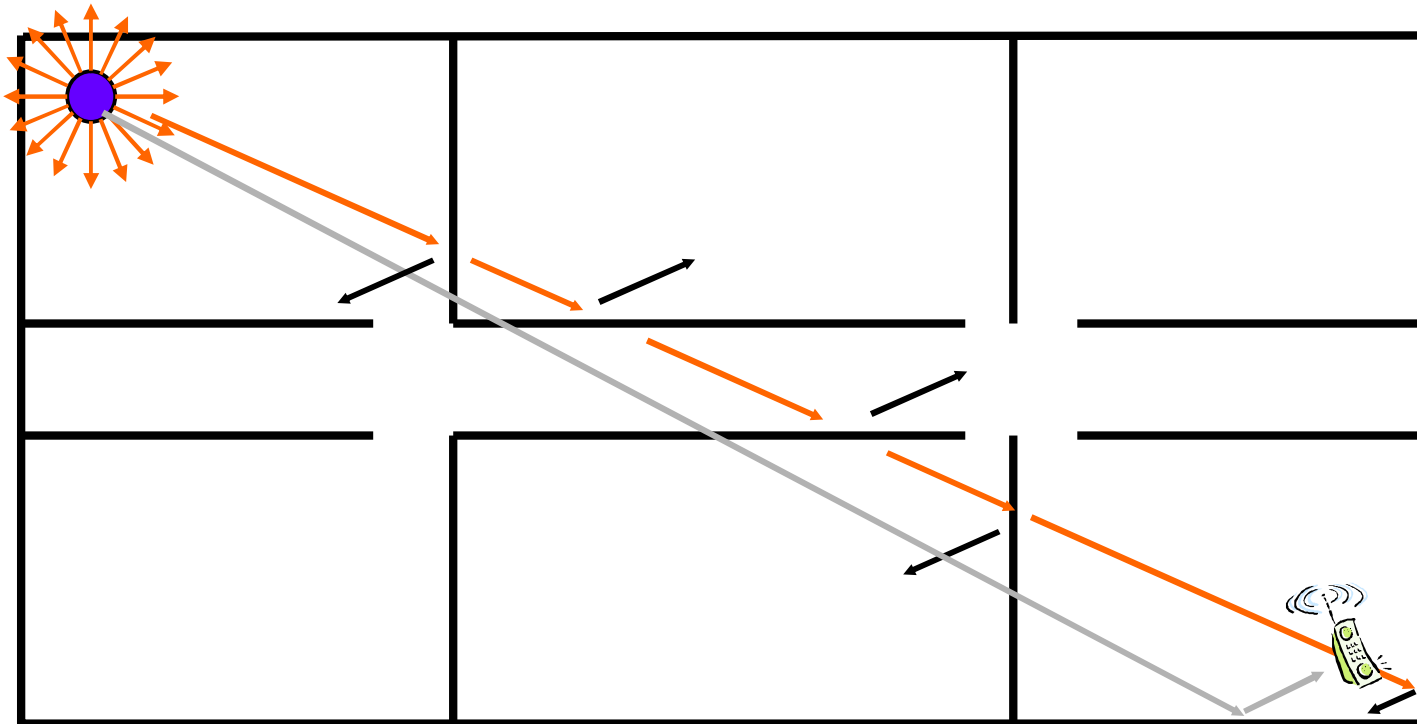


n Les caractéristiques de 802.11

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

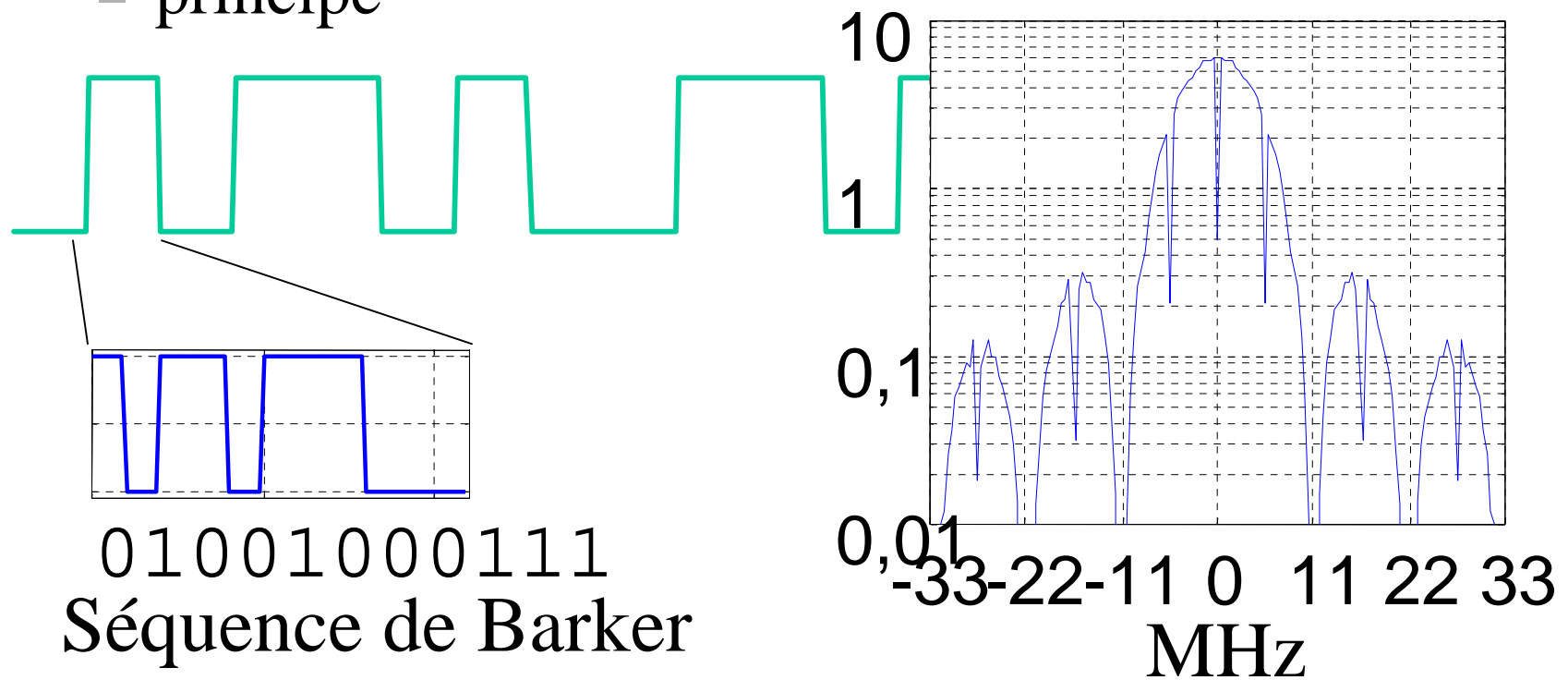


- n Le DS-SS (étalement de spectre)
 - problème des chemins multiples (fading)



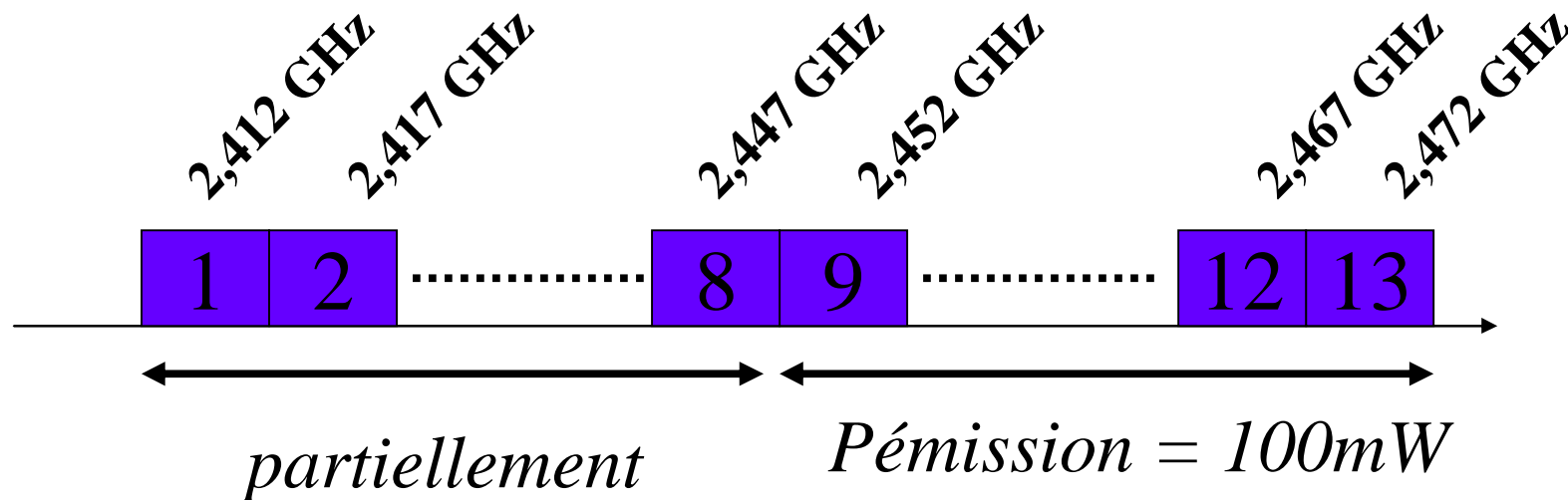
n Le DS-SS

– principe



n Le DS-SS

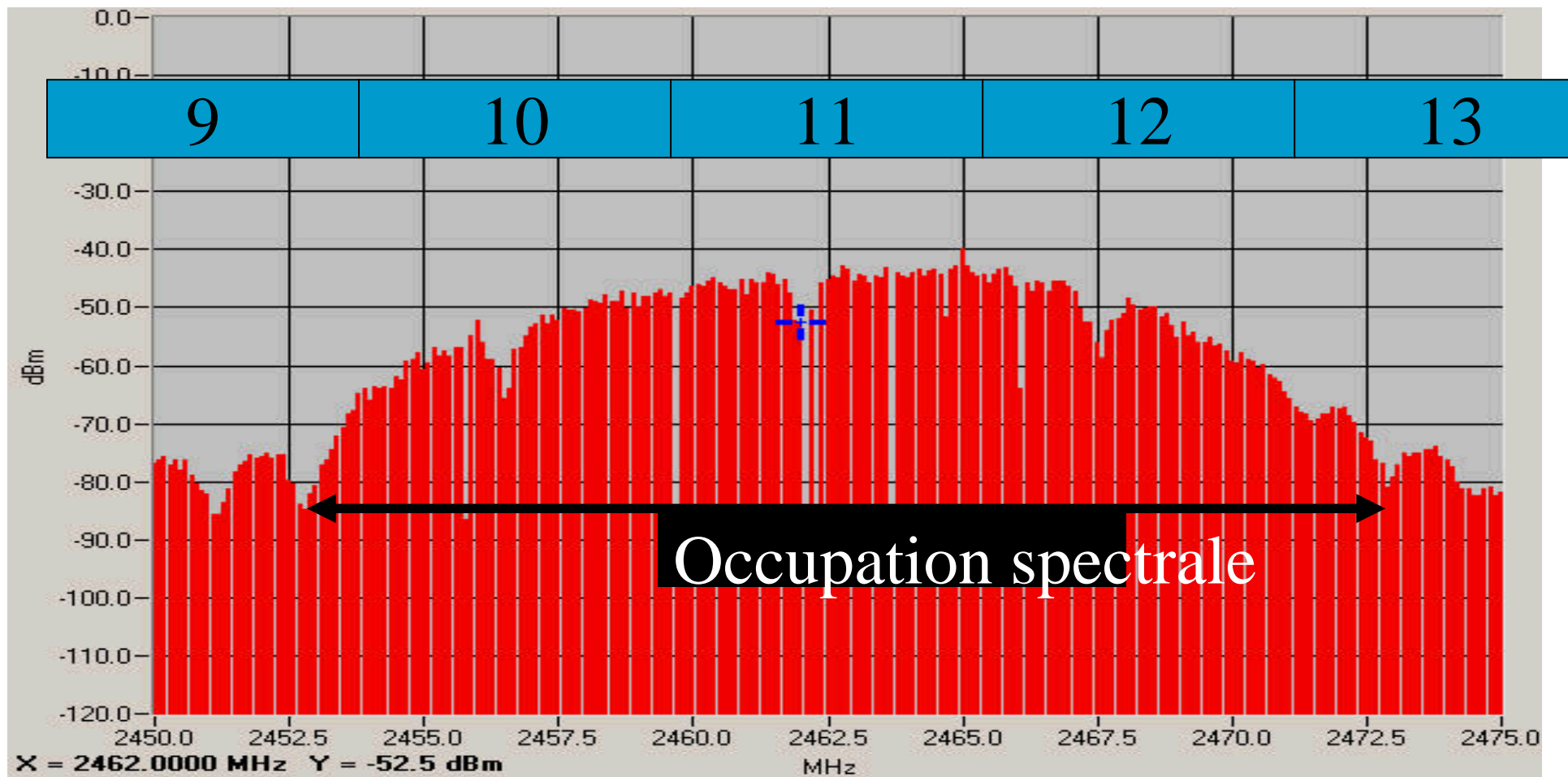
- conséquences : diminution du nombre de canaux



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

III-2.CSMA/CA : 802.11b

n Le DS-SS



III-2.CSMA/CA : 802.11b

n IEEE 802.11b

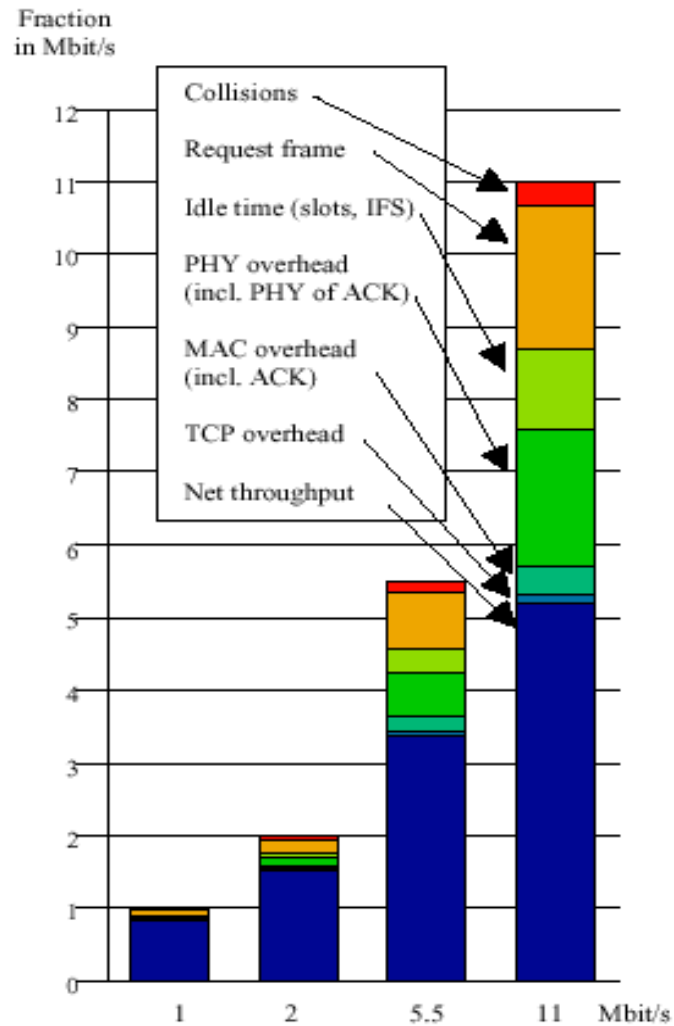
- 1 ou 2Mb/s : 1Ms/sec; BPSK/QPSK
 - n 11 chips (Barker)
 - n plus robuste que 802.11

- 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)

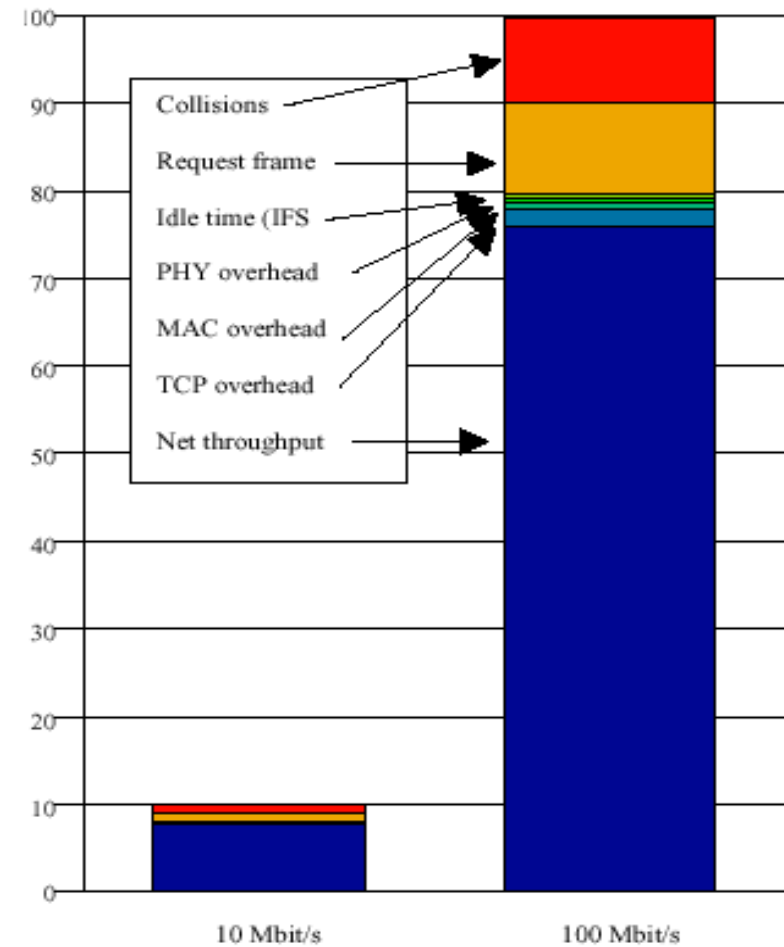
- le débit annoncé est égal au débit de tous les bits à transmettre
- le débit réel (ou utile) est le débit dont l'utilisateur dispose réellement
- entêtes et paquets de contrôle
- erreurs et retransmission

n Poids des entêtes



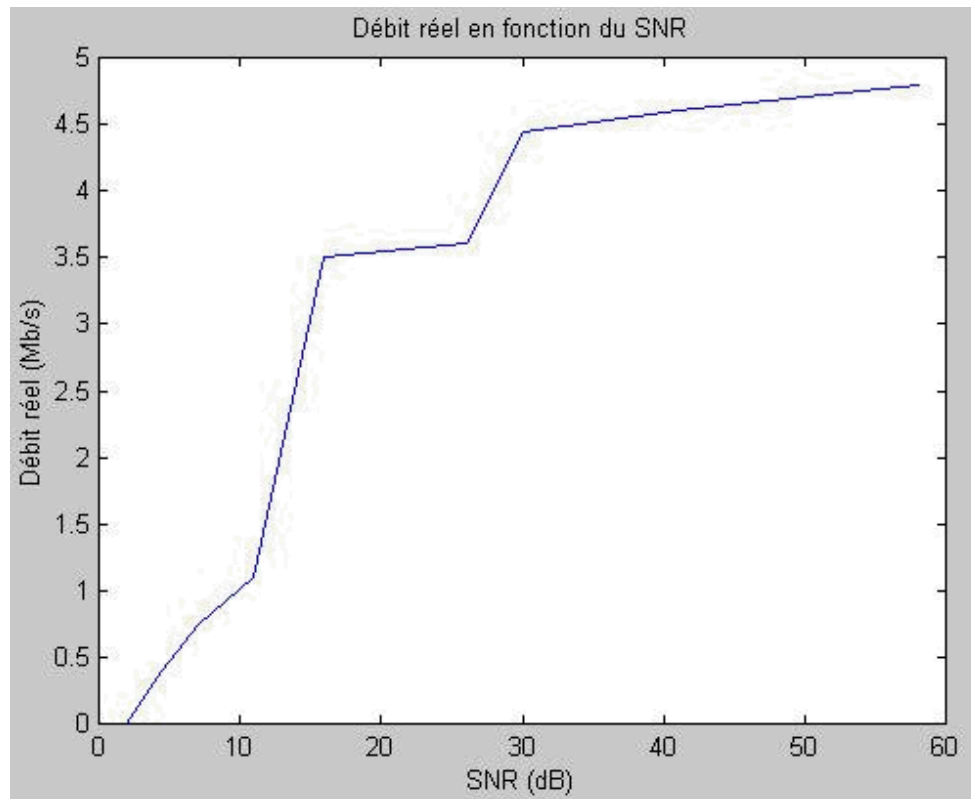
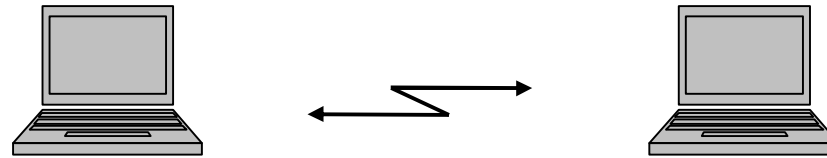
IEEE802.11b

Fraction in Mbit/s



Ethernet

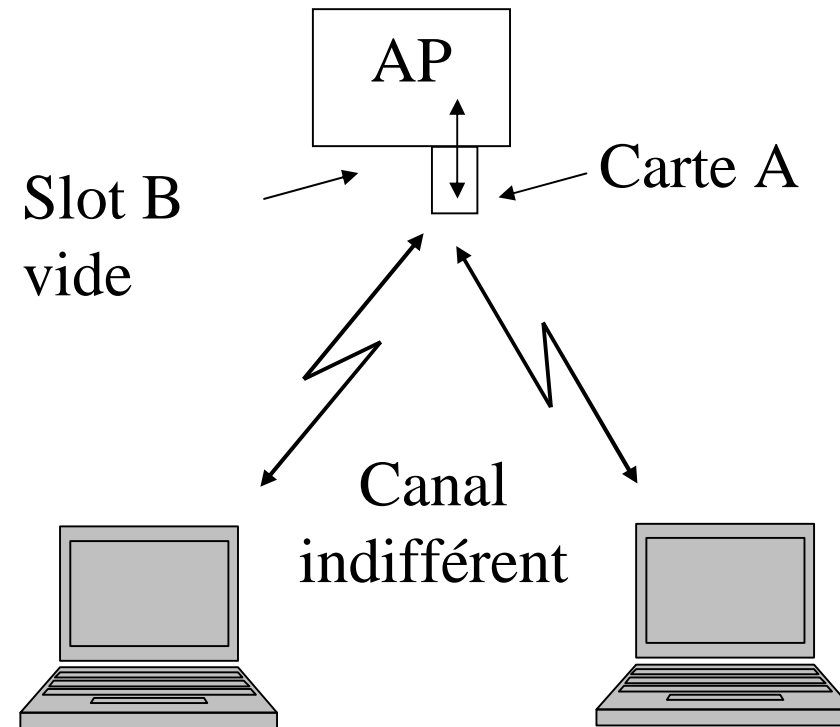
n Mesures



III-2.CSMA/CA : 802.11b

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

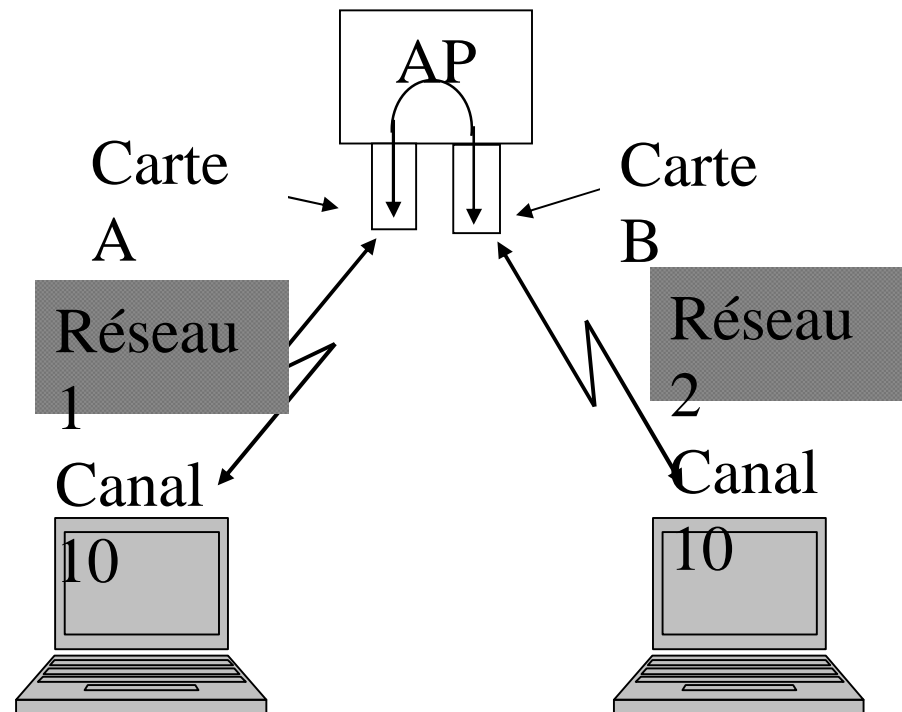
CSMA : accès partagé



III-2.CSMA/CA : 802.11b

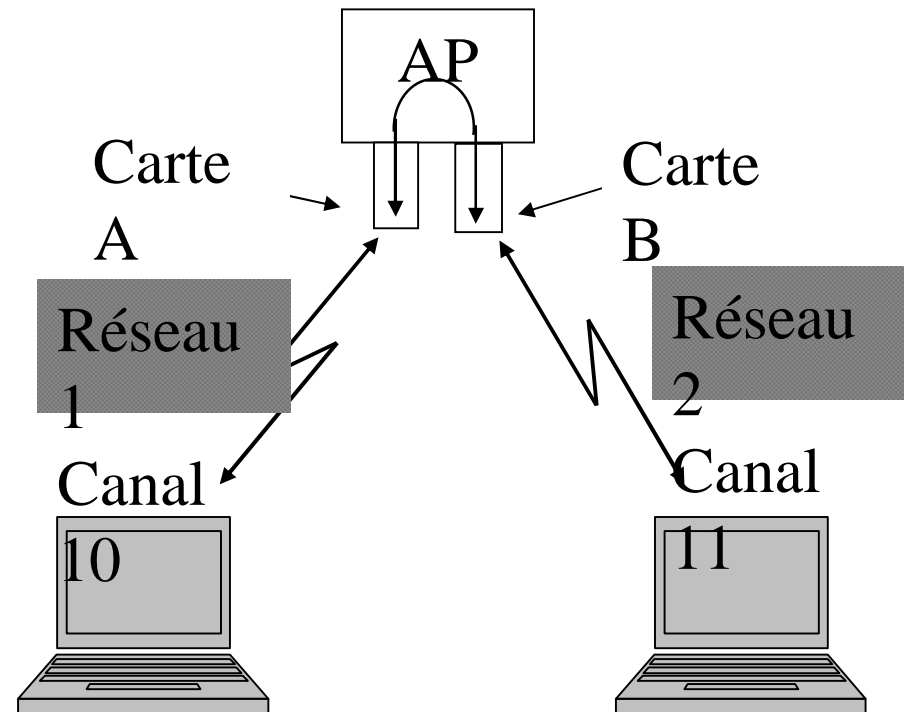
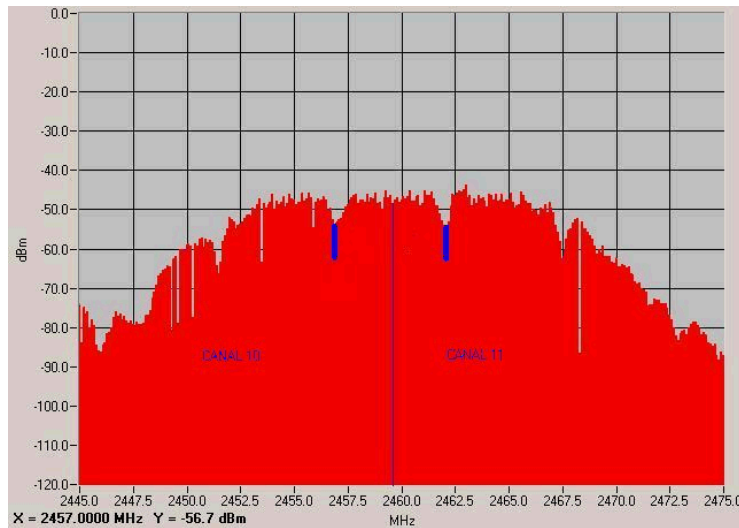
1 point d'accès muni de
2 cartes :
même canal
Débit réel mesuré :
3,5 Mbit/s

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



III-2.CSMA/CA : 802.11b

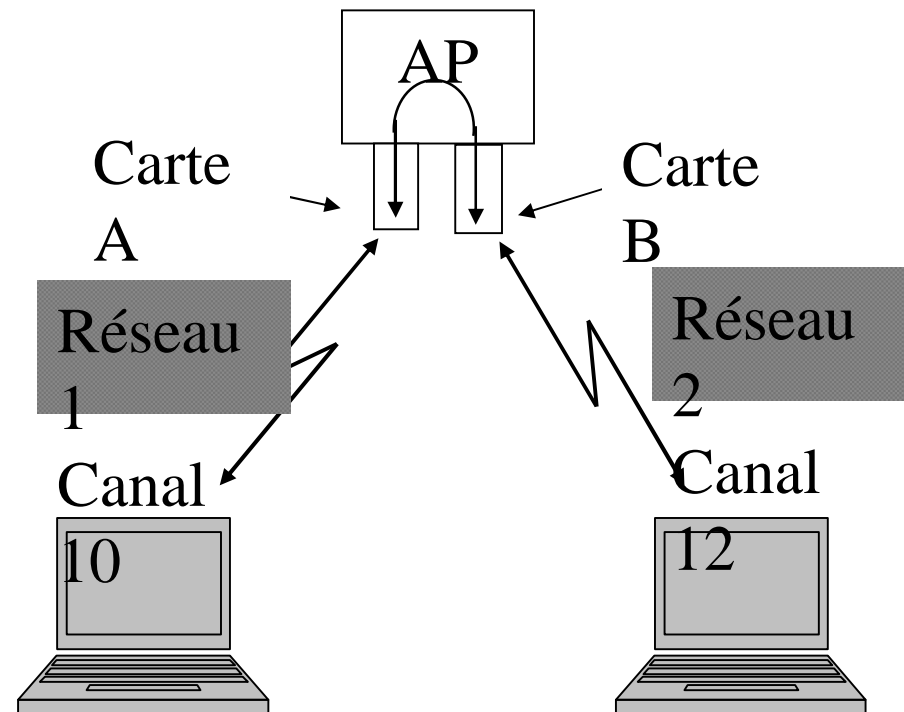
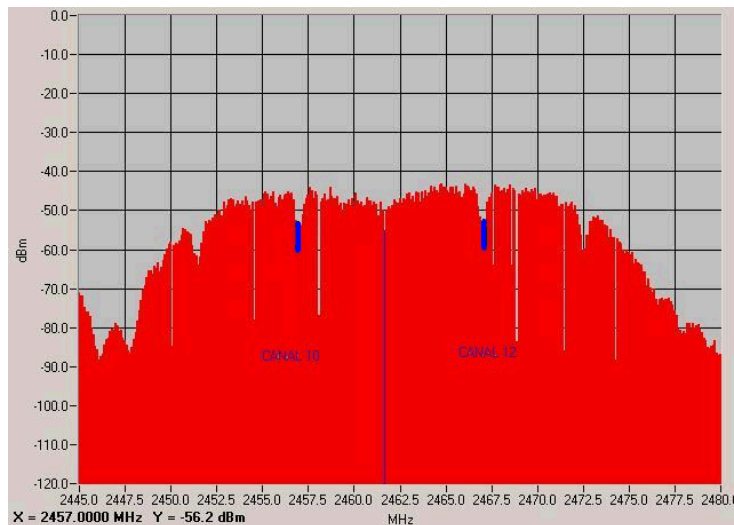
1 point d'accès muni de
2 cartes :
canaux 10 et 11
Débit réel mesuré :
1,7 Mbit/s



Brouillage entre canaux

III-2.CSMA/CA : 802.11b

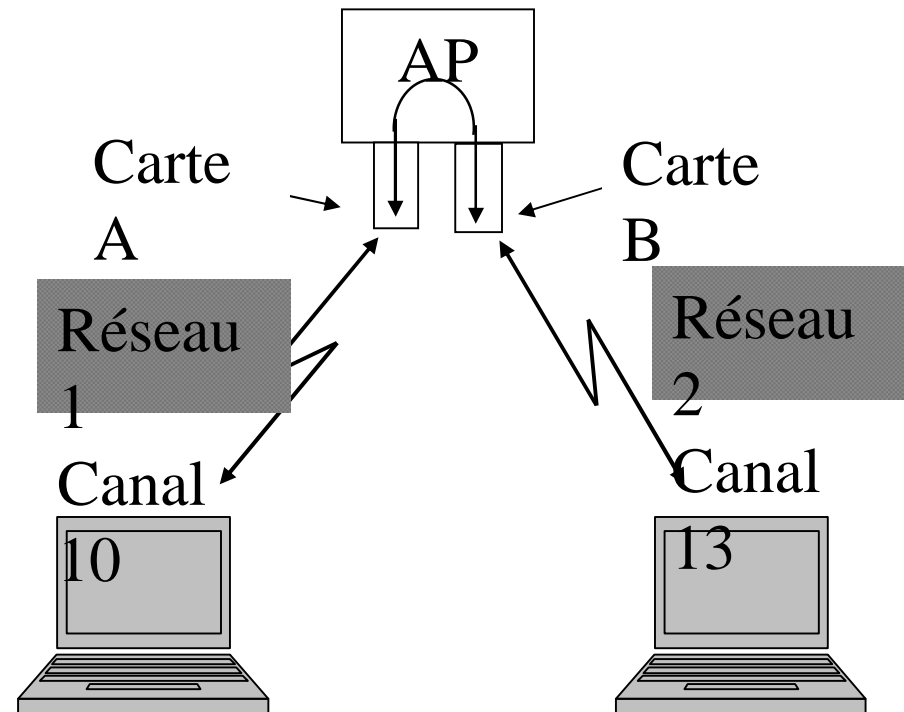
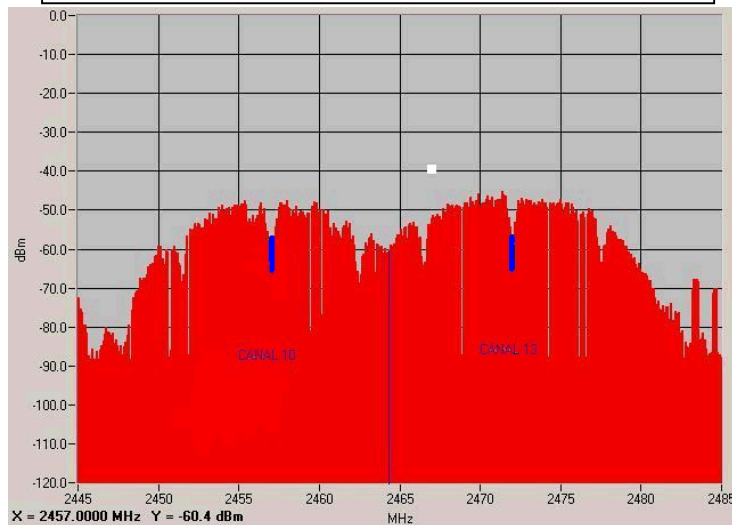
1 point d'accès muni de
2 cartes :
canaux 10 et 12
Débit réel mesuré :
2,2 Mbit/s



Brouillage entre canaux

III-2.CSMA/CA : 802.11b

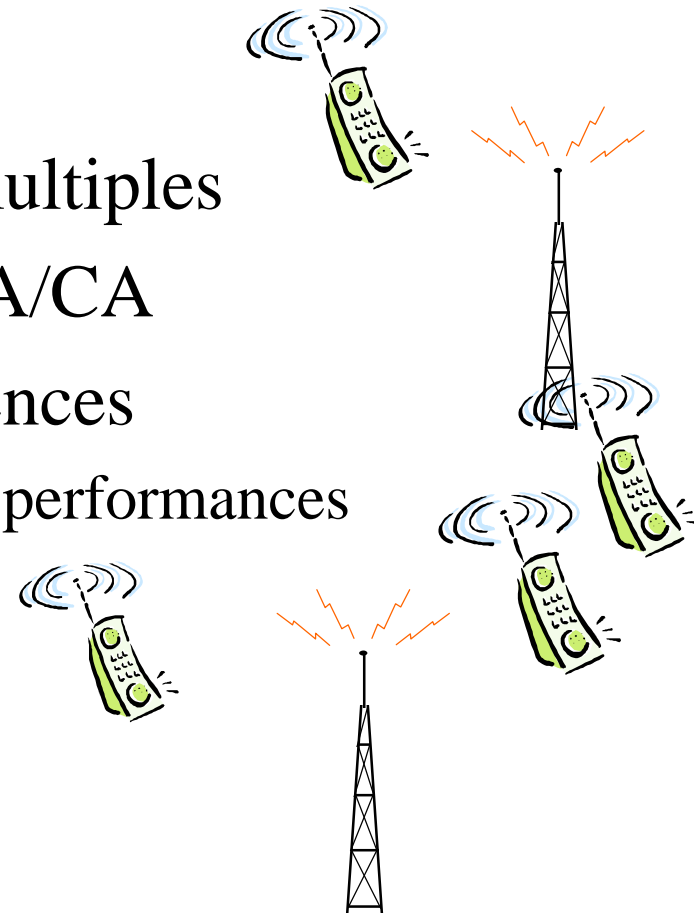
1 point d'accès muni de
2 cartes :
canaux 10 et 13
Débit réel mesuré :
3,8 Mbit/s



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
 - n 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

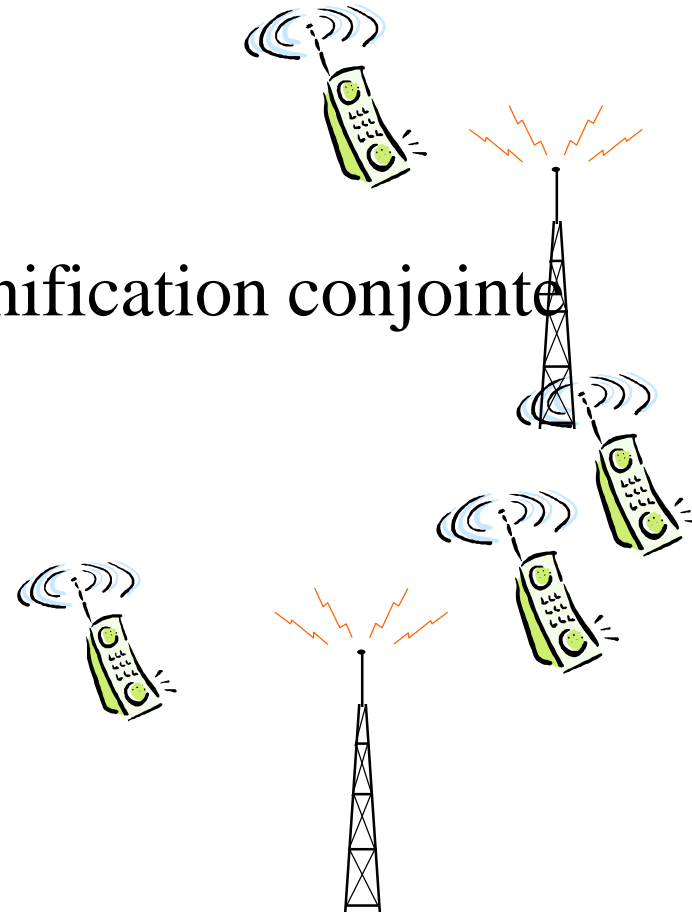
II. Caractéristiques des ressources radio

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)

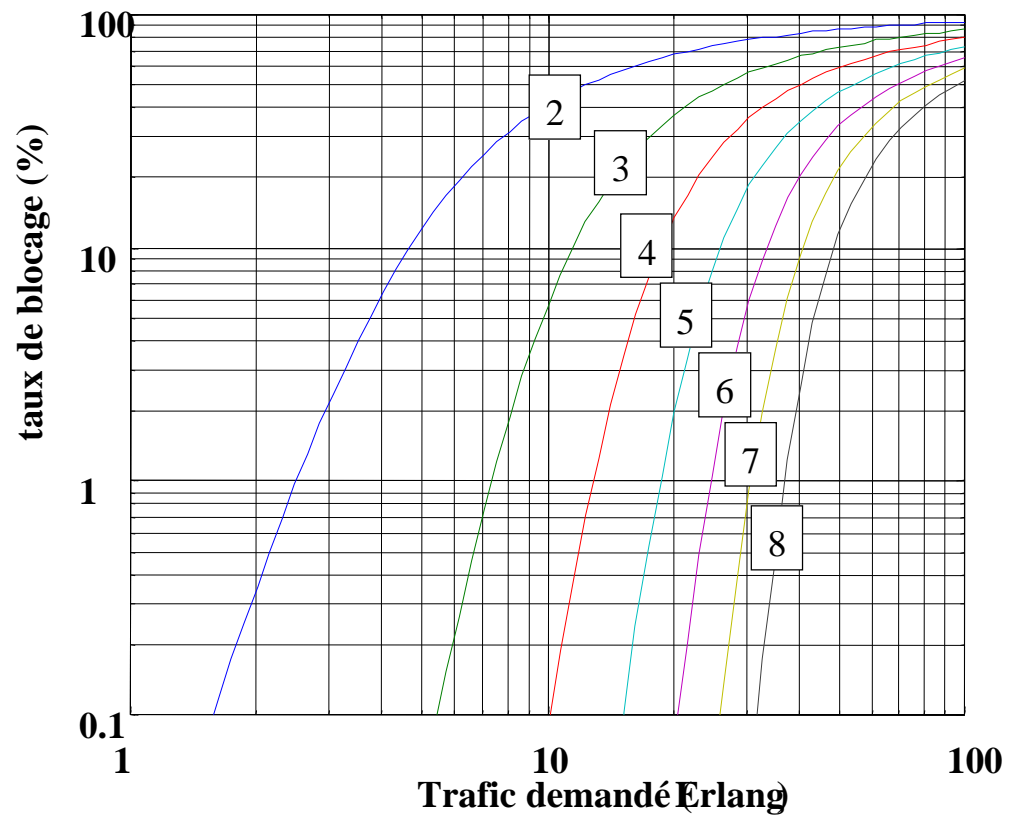
- Taux d'appel μ , durée d'appel moyen (H)
 - n intensité de trafic par utilisateur : en Erlang : $A_u = \mu.H$
- Densité de population : d_h (hab/km²)
 - n densité de trafic souhaité : $A = d_h \cdot A_u$ (erlang/km²)
 - n (faible : 1 erlang, moyenne : 10 erlang, forte : 50 erlang)
- Surface couverte : 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

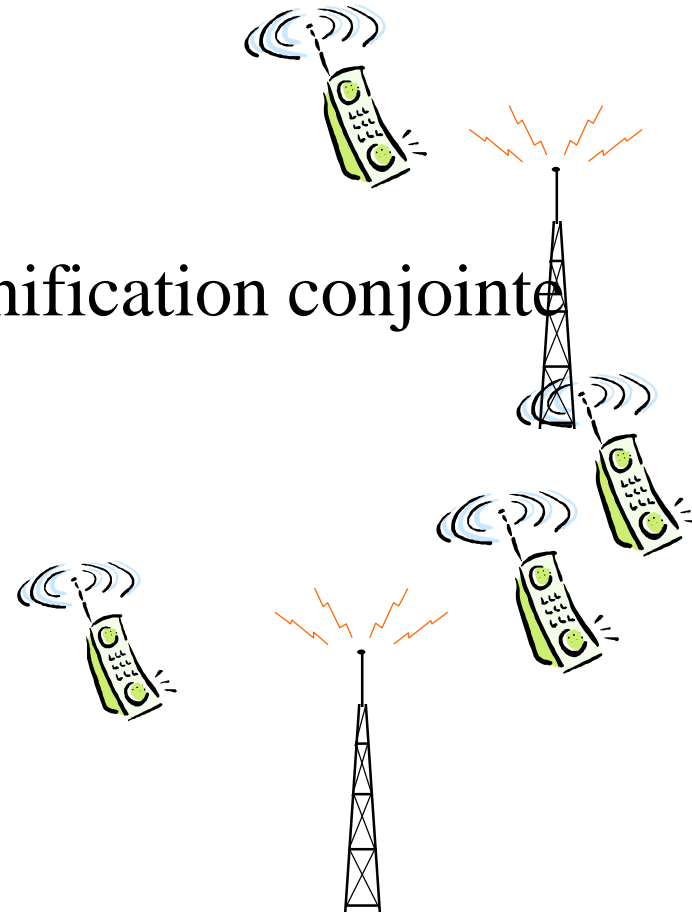
IV-1. Dimensionnement

- 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 (8porteuses/cell), il faut 72 porteuses, soit $\sim 14,4\text{MHz}$.
 - n L 'efficacité spectrale par cellule est de :
13kbit/s par utilisateur (450 par motif), soit : $\eta = 0.045 \text{ bit/Hz}$

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

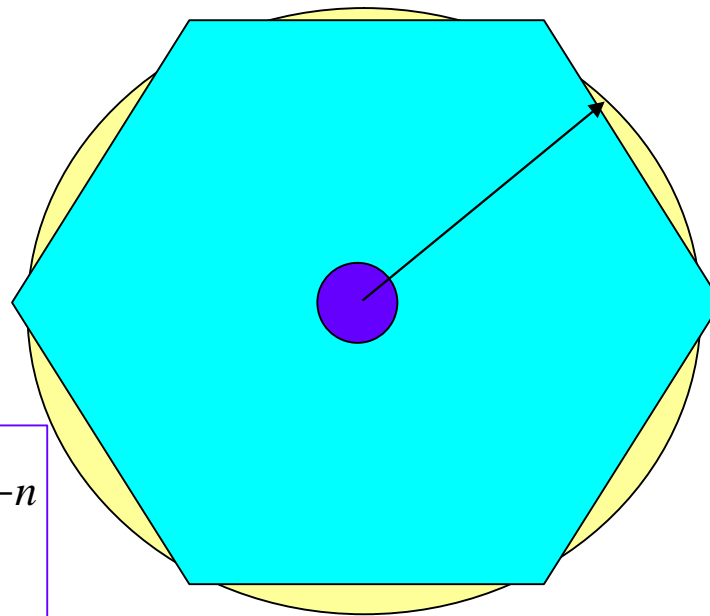
IV- Ingénierie cellulaire

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



IV-2. Planification

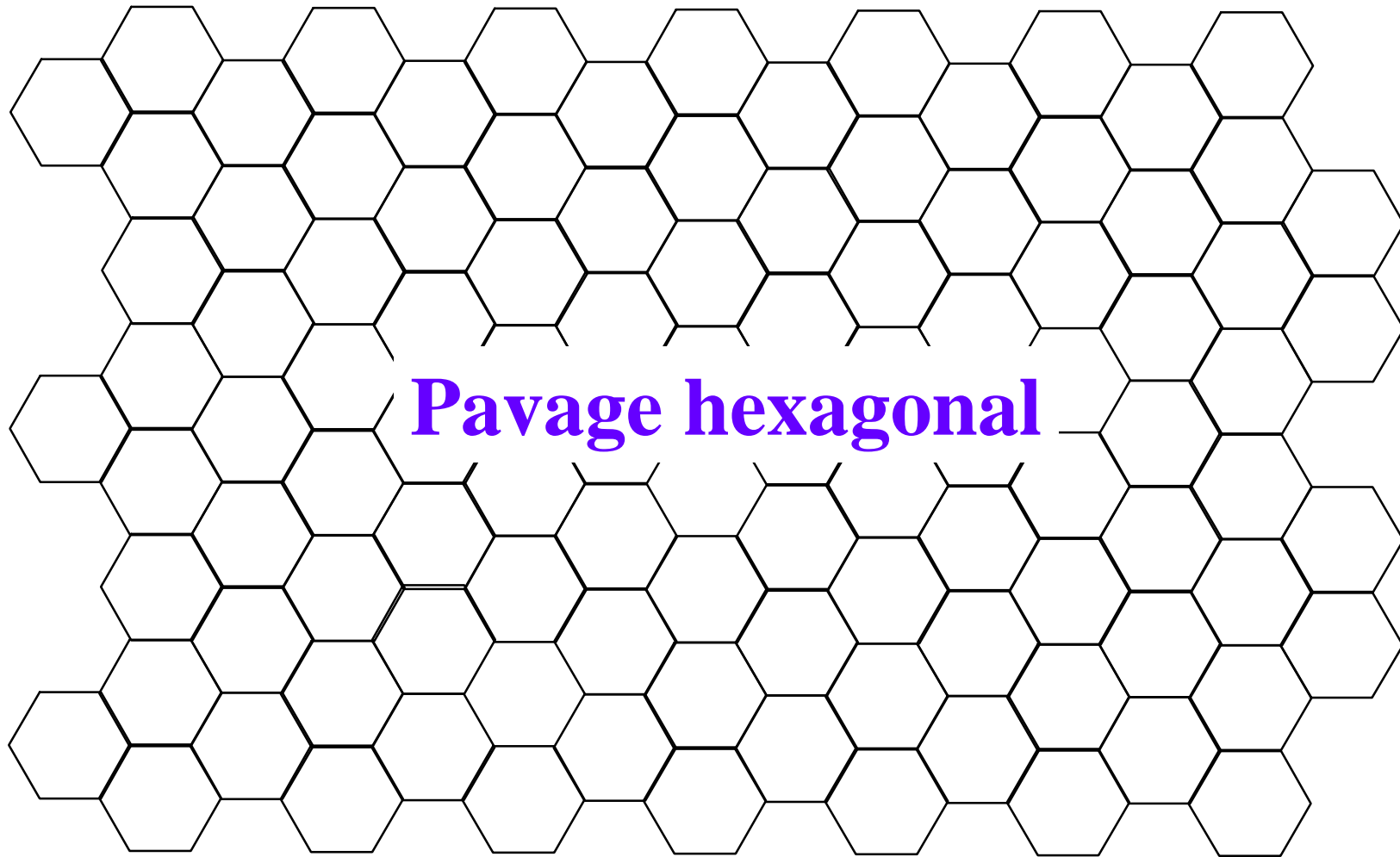
Antennes omnidirectionnelles
espace libre



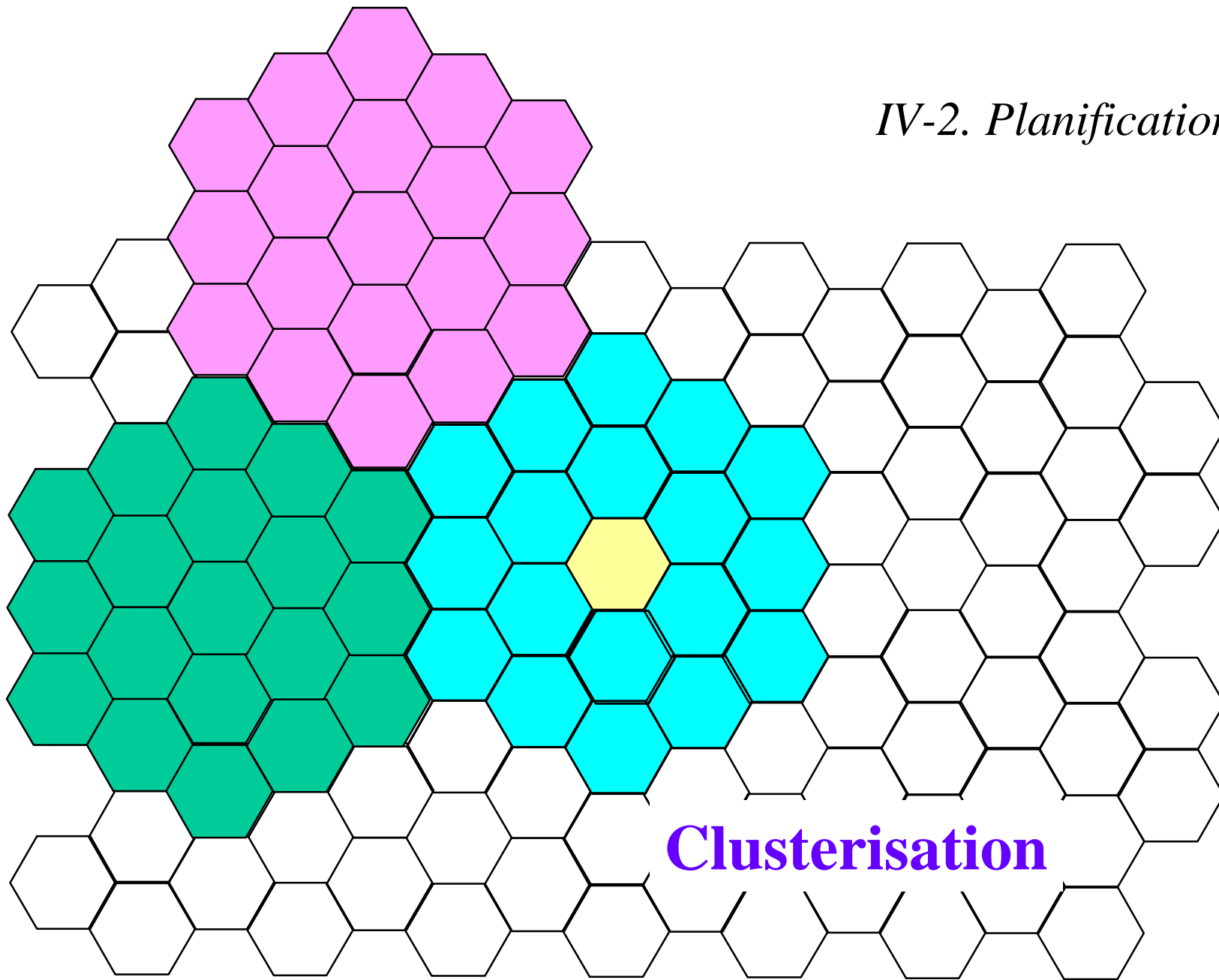
$$P_r = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-n}$$

**Modèle
hexagonal**

IV-2. Planification



IV-2. Planification



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

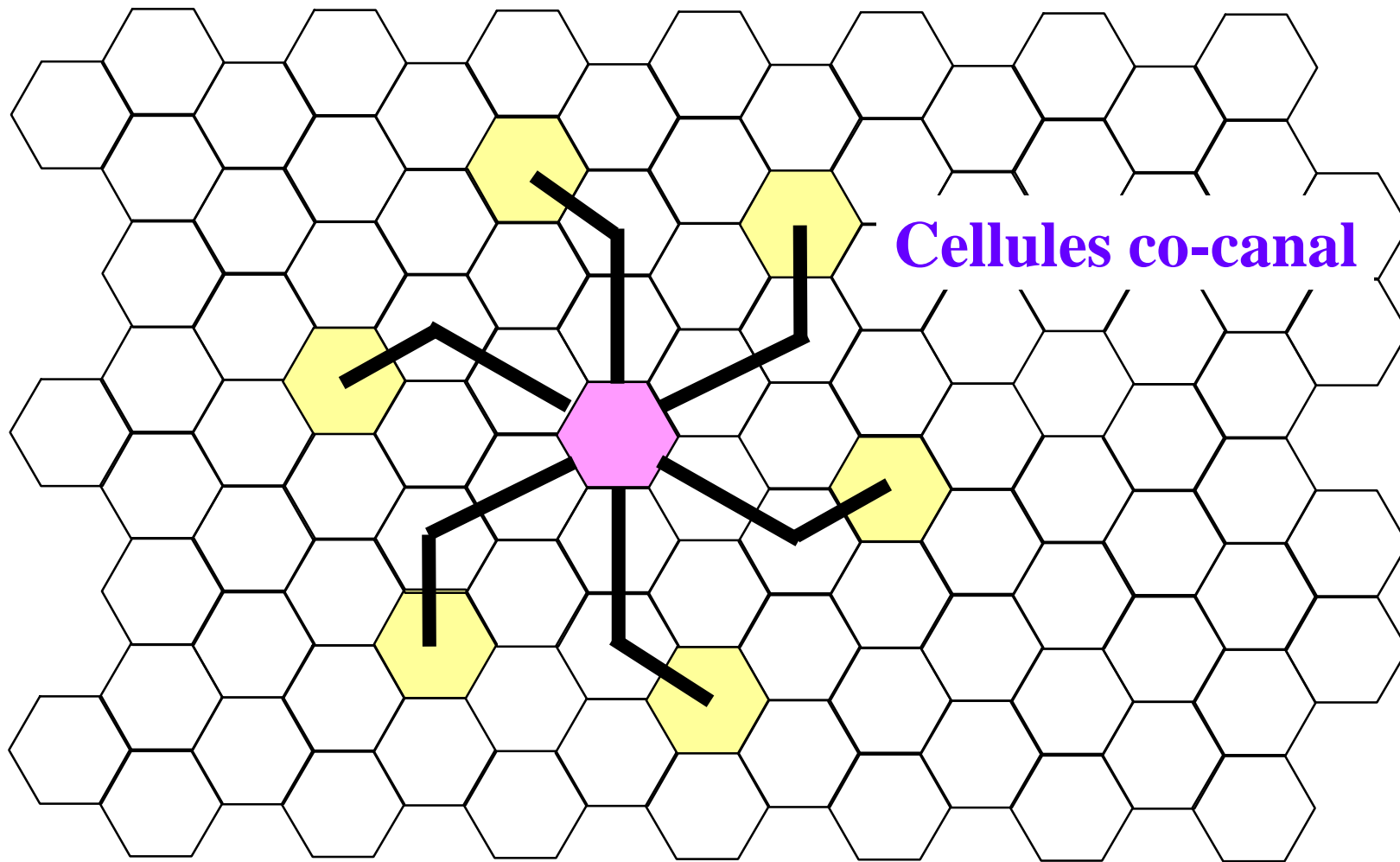
Interférences co-canal (fo)	C/Ic	9dB
Interférences 1er canal adjacent	C/Ia1	-9dB
Interférences 2ième canal adjacent	C/Ia1	-41dB
Interférences 3ième canal adjacent	C/Ia1	-49dB

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)

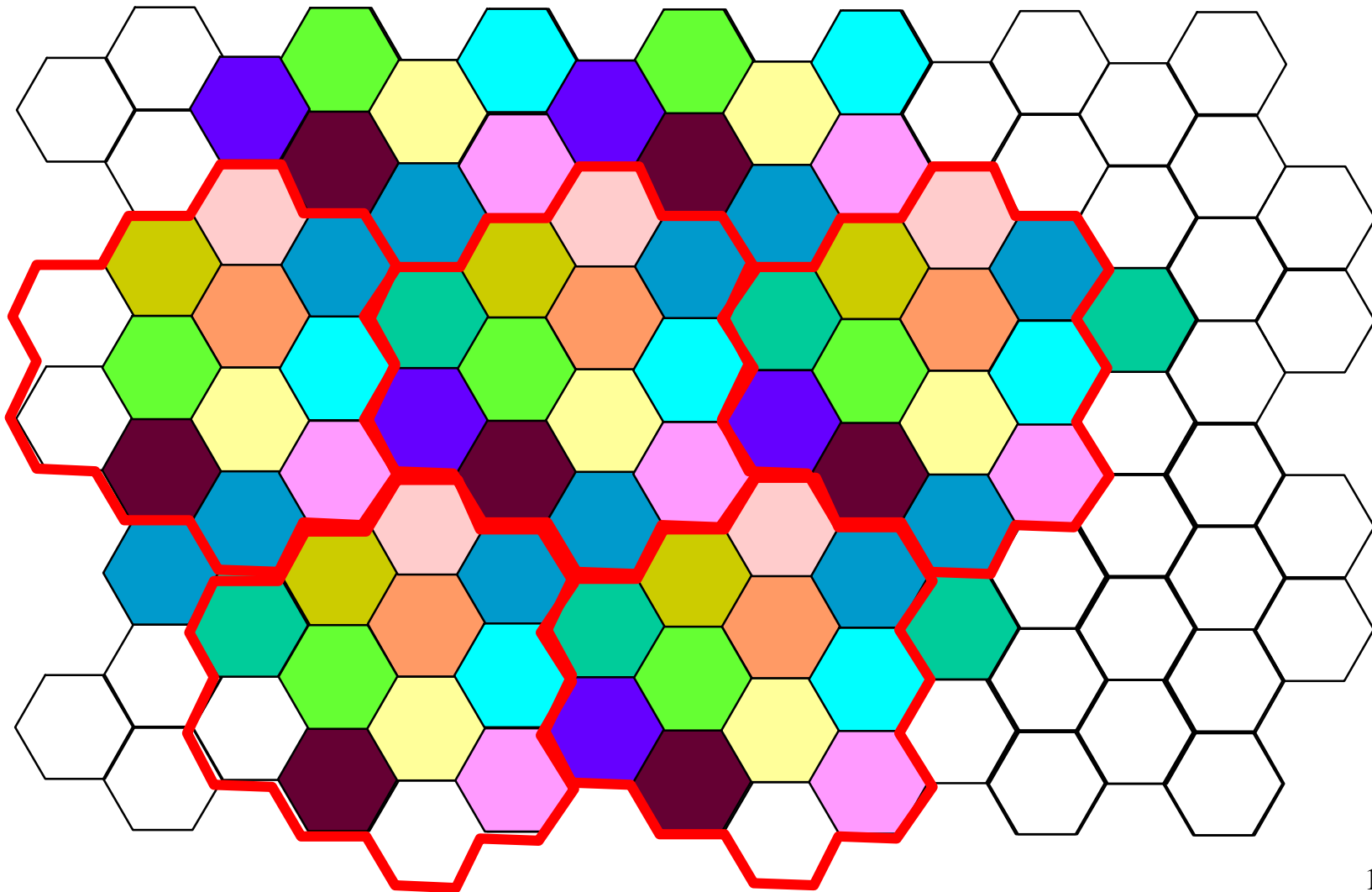
n Facteur $Q=D/R$

n Géométrie hexagonale

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

	1	2	3	4
1	3	7	13	21
2	7	12	19	28
3	13	19	27	37
4	21	28	37	48

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 $n=3$

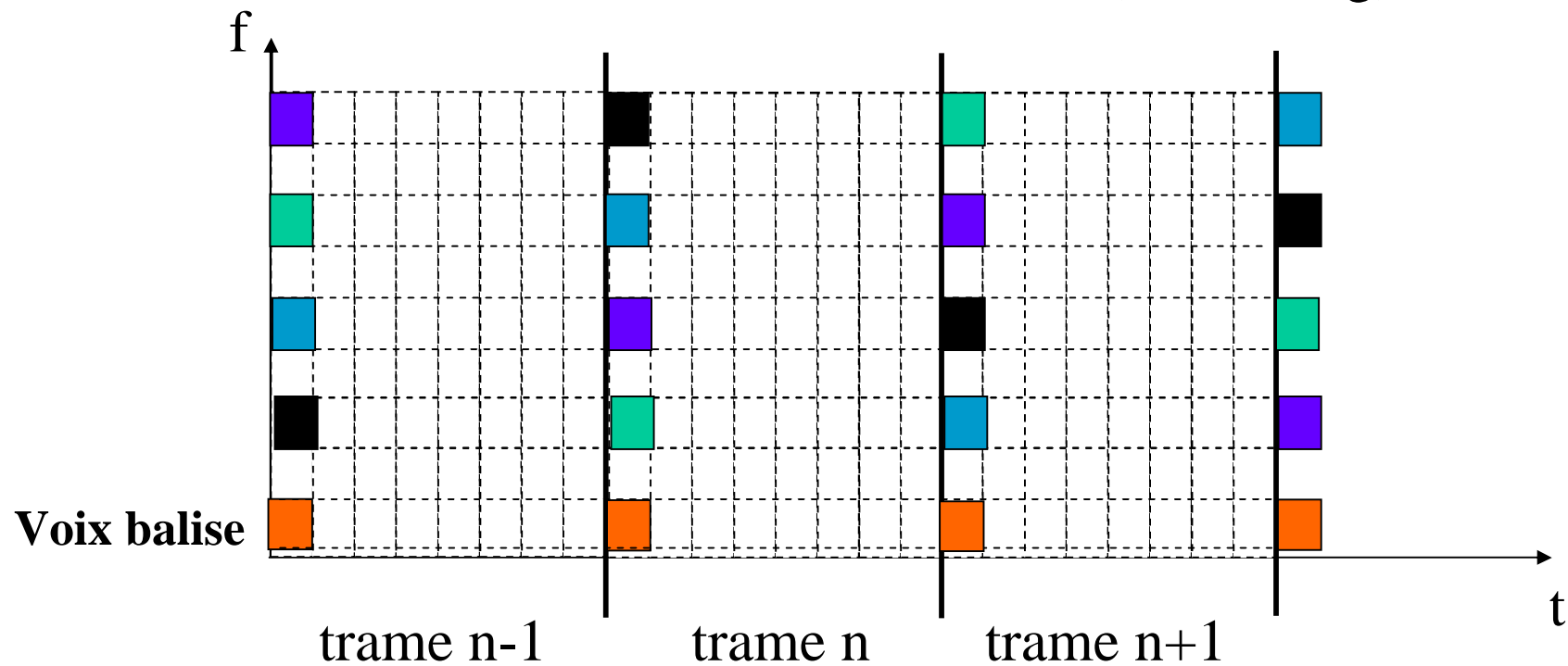
IV-2. Planification

- 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

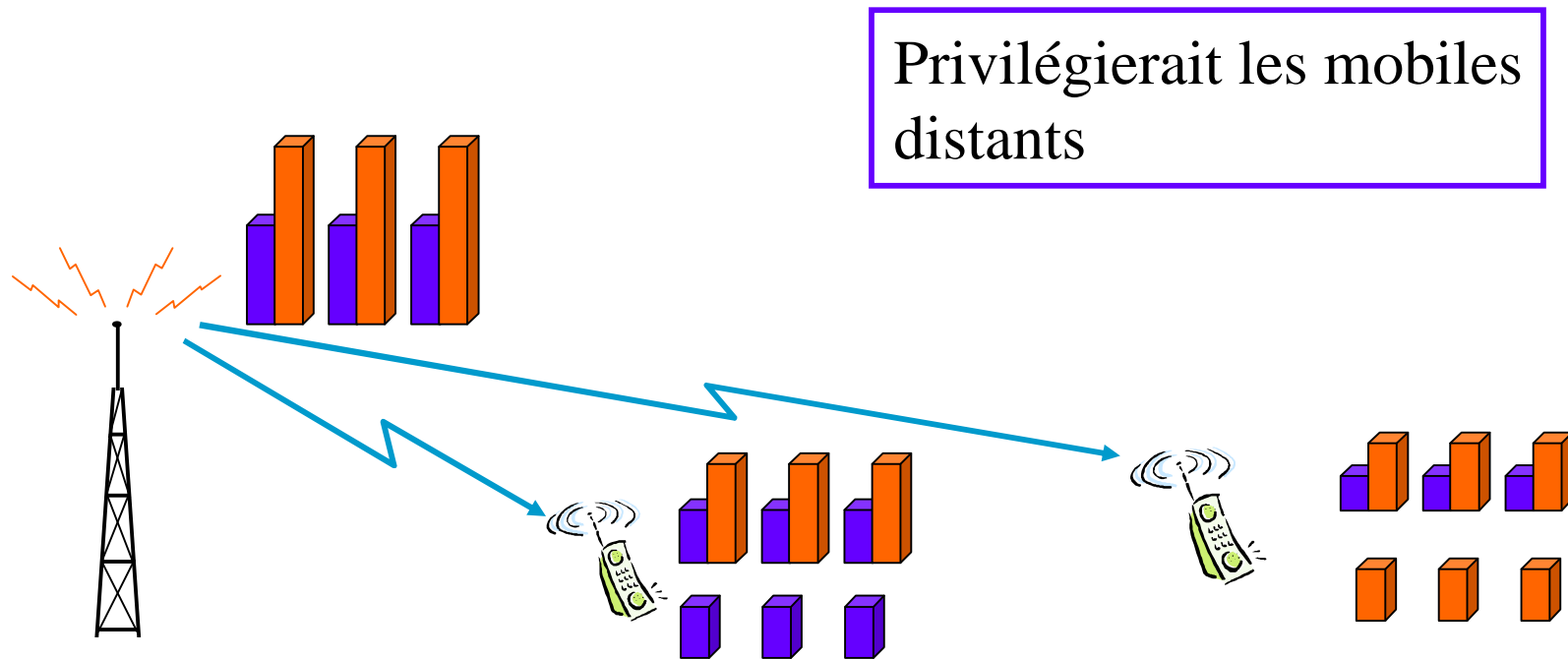
lutter contre les évanouissements (fast fading)



(diversité en fréquence sans redondance)

IV-2. Planification

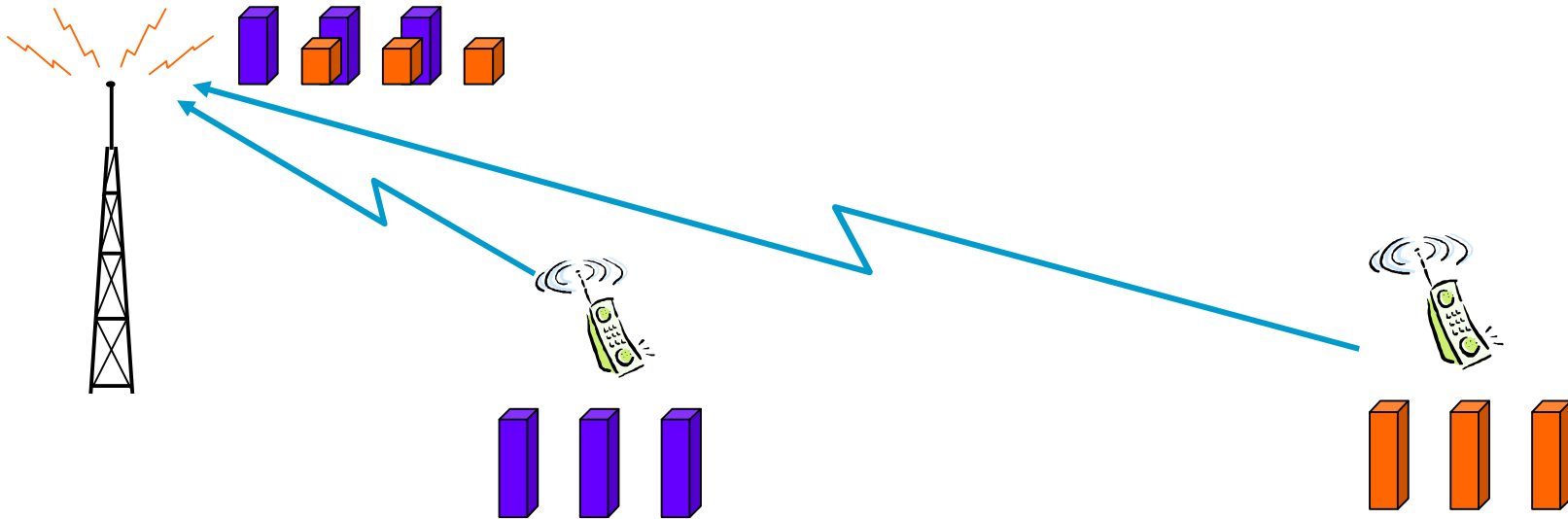
- Contrôle de puissance
 - sur lien descendant



IV-2. Planification

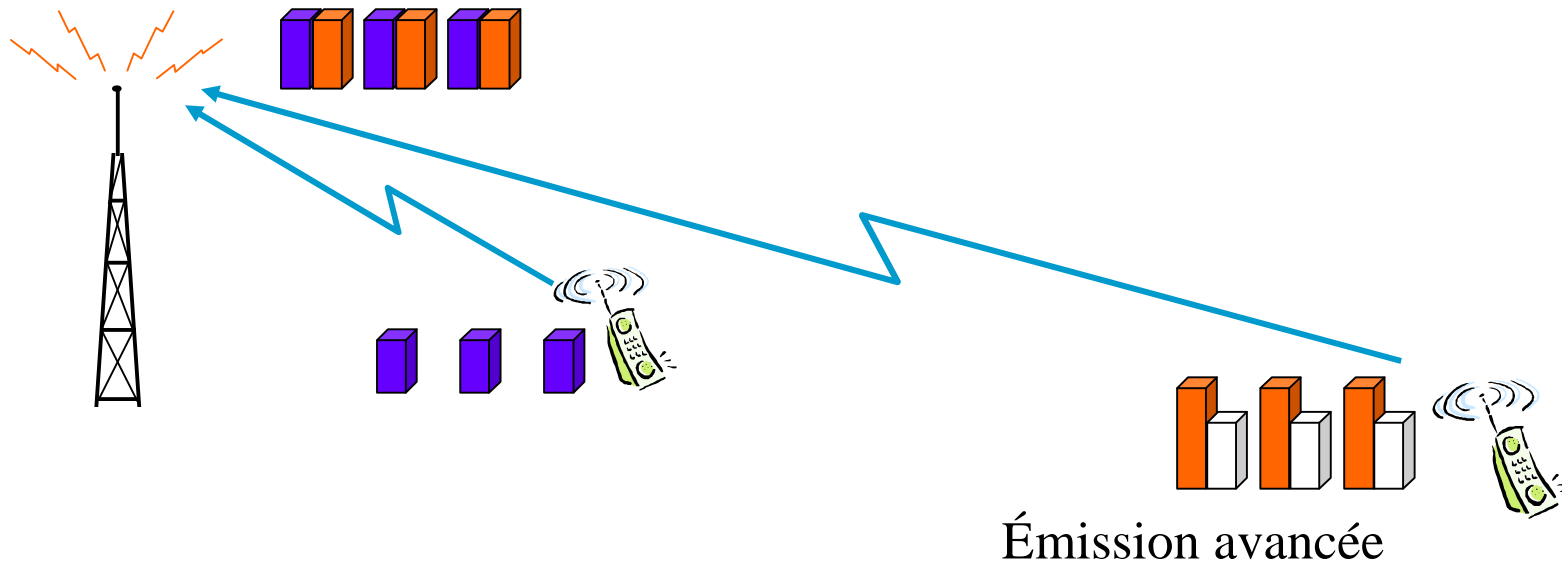
n sur lien montant

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