



Ingénierie mobile

GSM

Prof. Chakkor Otman
2016-2017

Université Abdelmalek Essaadi

Bibliographie

- Réseaux GSM
- Ingénierie des réseaux cellulaires

- Le **LIVRE ROUGE** :
Xavier Lagrange,
Philippe Godlewski,
Sami Tabbane,
Réseaux GSM,
5^e édition revue et augmentée,
Editeur: Hermès Sciences,
et en chinois, chez PHEI (Publishing
House Of Electronics Industry).



Acteurs du secteur des réseaux cellulaires

- **Fournisseur d'équipements:** (constructeurs : Motorola, Nokia-siemens, Huawei,...)
- **Opérateurs:** IAM, Méditel, Inwi...
- **Entreprise d'installation (sous-traitant):** qui déploient les équipements et les mettent en service, pour le compte des fournisseurs ou directement des opérateurs (3Gcom,...)
- **Agence de régulation:** (ANRT) qui fixe les règles d'attribution des licences d'exploitation de réseaux cellulaires.

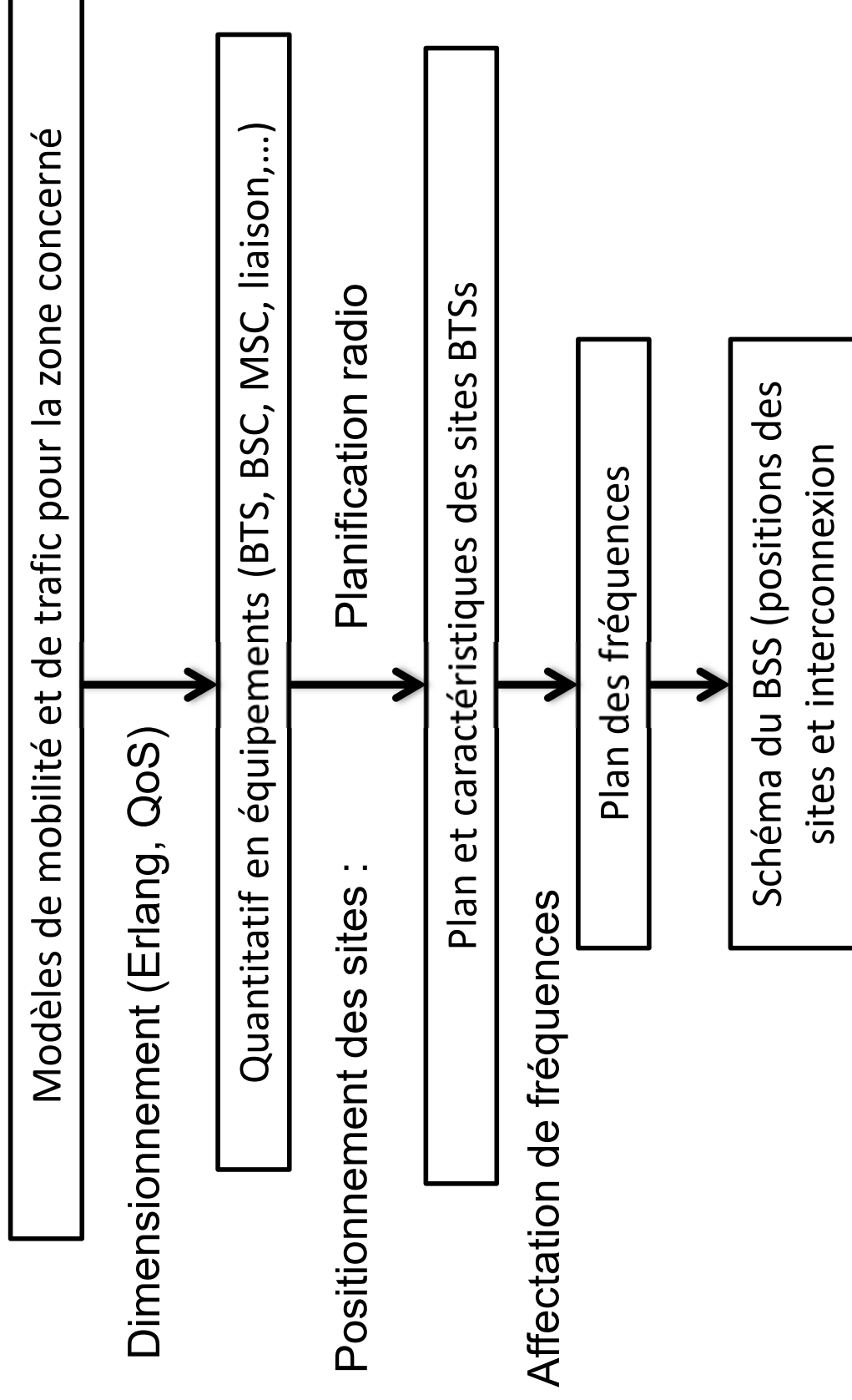
PLAN

- 1. Concept cellulaire**
 - Réutilisation des fréquences
 - Couverture
 - Saut de fréquence
- 2. Modèles de Propagations**
- 3. Bilan du liaison**
- 4. Interférences**
- 5. Handover**
- 6. Critère de sélection /resélection**
- 7. Planification, dimensionnement & optimisation**
 - 7.1 Drive Test , Solutions: Survey et études**

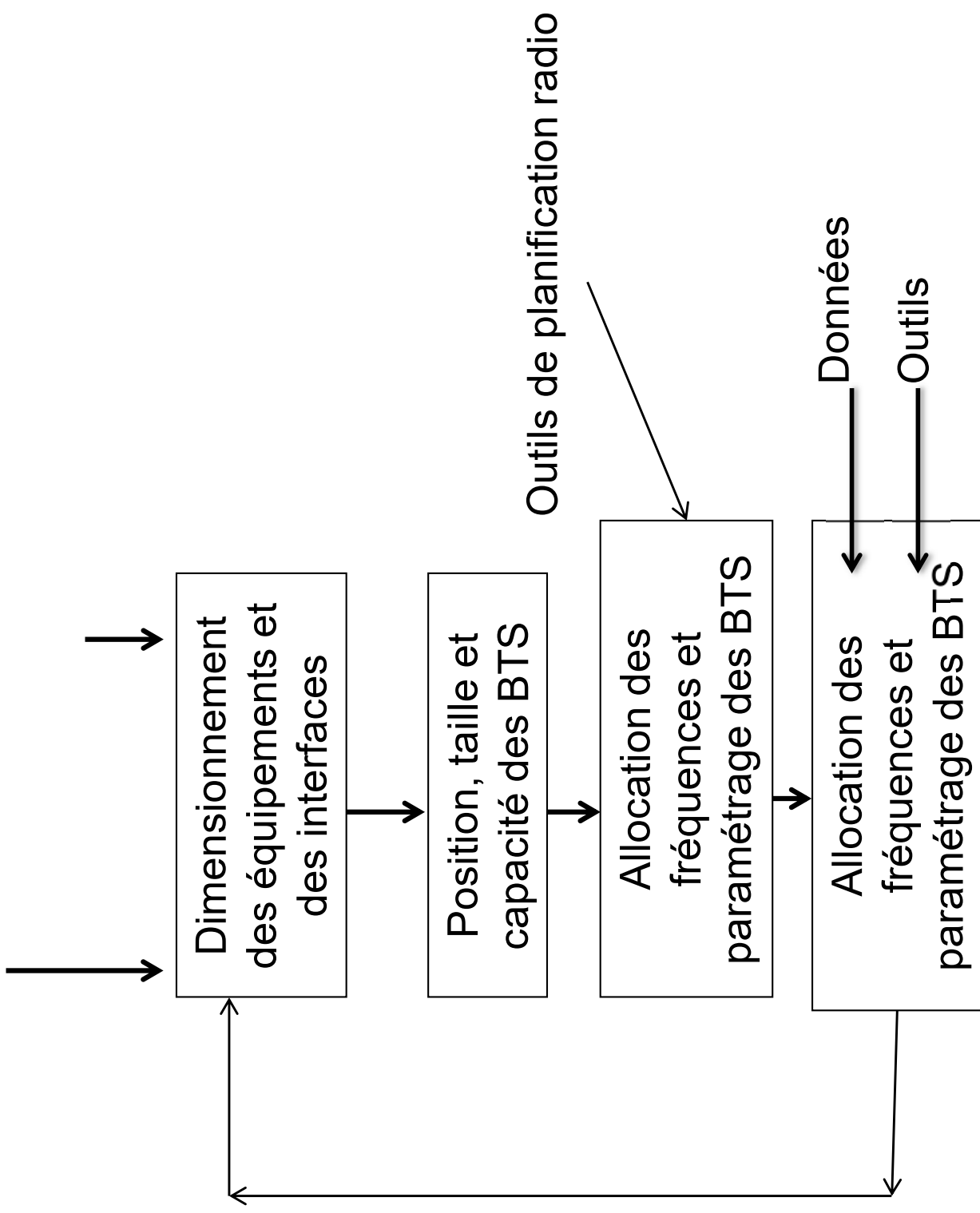
Ingénierie mobile (GSM)

- **Planification:** intervient suite à une première phase de dimensionnement du réseau. À cette étape, le planificateur dispose d'un quantitatif en équipements (nombre et capacité des différents équipements et des interfaces les reliant entre eux.
- **Dimensionnement:** dimensionnement des **équipements** et **interfaces** pour déterminer le volume des équipements (capacité de transmission) « ingénieur de trafic »
 - Dimensionner le réseau de commutation de paquet ou à commutation de circuit: débit utile, charge des différents éléments du réseau, probabilité de coupure, blocage des appels.

Ingénierie mobile (GSM)



Données et prévisions



Ingénierie mobile (GSM)

- **Optimisation:** software + physique
- **Déploiement:** ajout d'équipement dans le réseau après la phase de planification (radio et réseau). basé sur les emplacements et caractéristiques des équipements.

1. Le concept de cellules

1/4

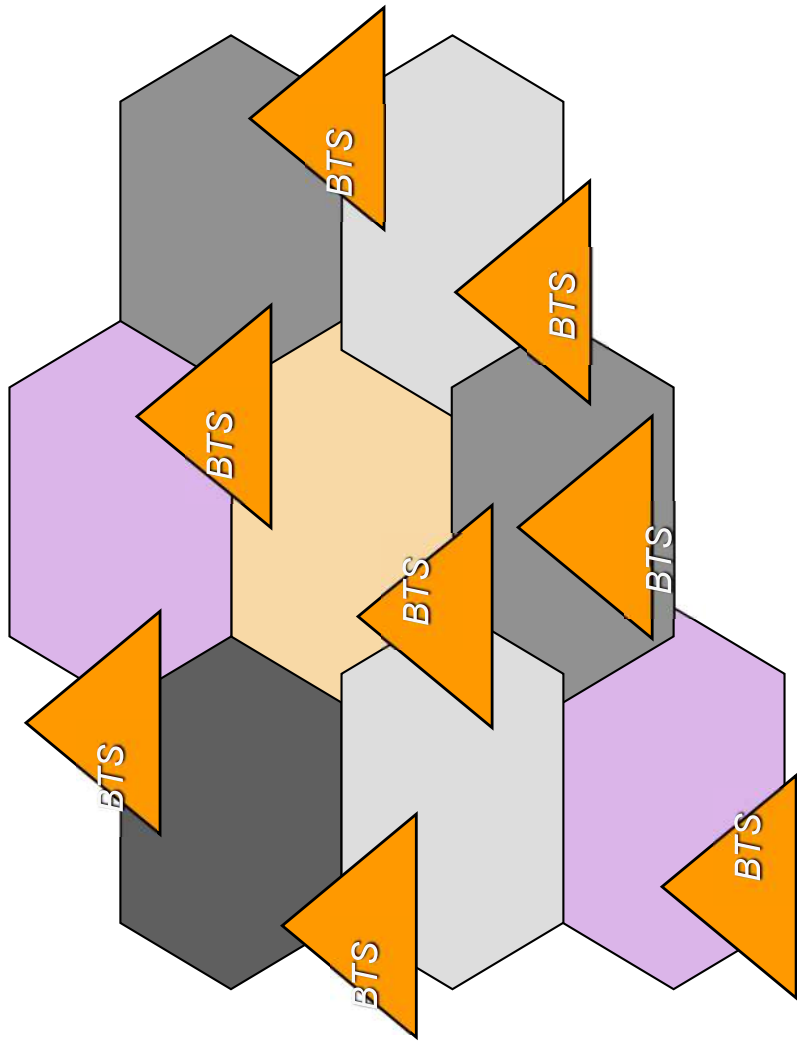
- Pour chaque cellule correspond un numéro identificateur CI.

Exemple:

CI = 20145 (cell identity)

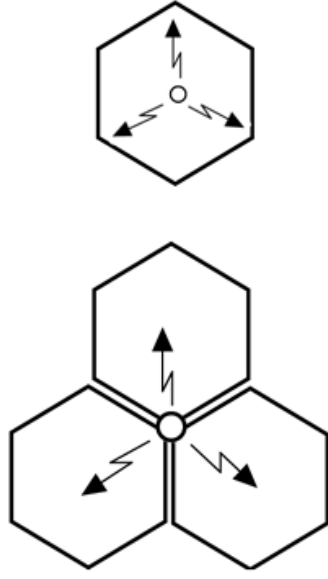
Bsic = n (entier)

Fréquence porteuse BCCH
(ARFCN)



1. Le concept de cellules

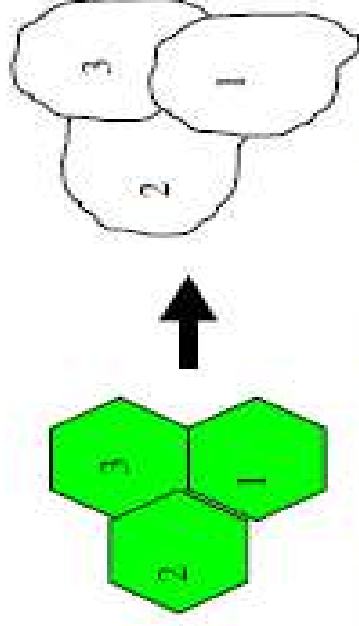
2/4



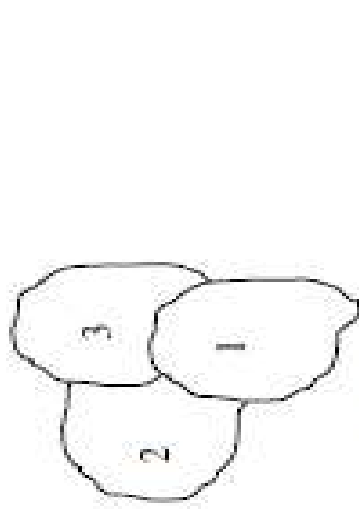
Right! 😊

Wrong! 😞

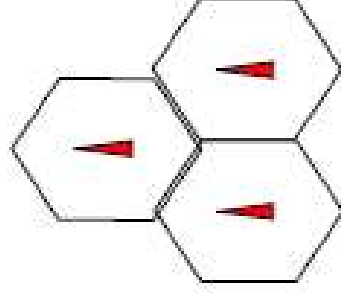
A cell site lies at the edge of several cells, not at the center.



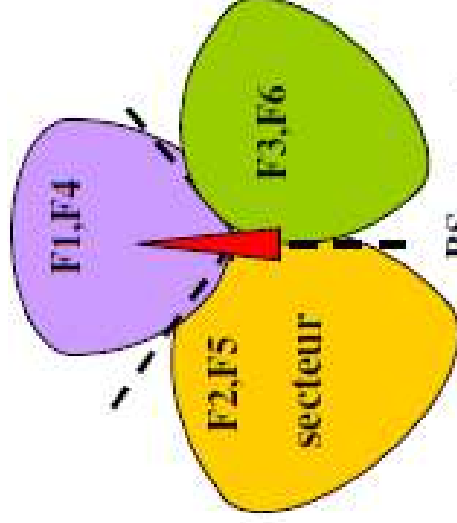
Théorie : nid d'abeille



Réalité



3 BS



BS 3 secteurs

Important économie en sites (BS)

1. Le concept de cellules

3/4

- Antennes Omni pour les micro stations (indoor or outdoor)



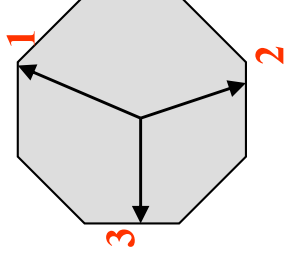
- Elles sont de type filaire .il s'agit de dipôles dont la longueur est un sous-multiple de la longueur d'onde ($\lambda / 2$ par exemple)
- Elles représentent des gains de 2 à 18 dBi.

- Antennes sectorielles pour les macro stations:

Une antenne pour la réception (Rx)

Une antenne pour la transmission (TX)

- (antenne de diversité (D))



1. Le concept de cellules

4/4

➤ Types de cellules:

1. **Macro-cellule** : qq dizaine km: rural et suburbain: antenne sur pylônes élevés, peu d'obstacles.
2. **Petite cellule** : qq km: urbain: antenne BTS sur les toits.
3. **Micro-cellule** : qq centaine de mètres: urbain dense trafic: antenne sur façades.
4. **Pico-cellule**: qq dizaine de mètres: indoor

➤ Taille des cellules:

1. **Taille maximum** (macro cellule) **limitée** par l'**affaiblissement**.
2. **Taille minimum**: en fonction du trafic:

Plus la densité de trafic à écouler (E_r/Km^2) est élevée, plus les cellules deviennent petites.

2. Réutilisation des fréquences ^{1/15}

- **Avantages:**
 - Permet de desservir de façon continue un très large territoire.
 - Permet d'utiliser des puissances d'émission moins importantes,
 - Permet en diminuant la taille des cellules de réutiliser les fréquences à des emplacements plus proches.
→ **augmentation de la capacité!**
- **Inconvénients:**
 - Travail de planification fastidieux et délicat : changement de **plan de fréquence, Drive test, optimisation...**

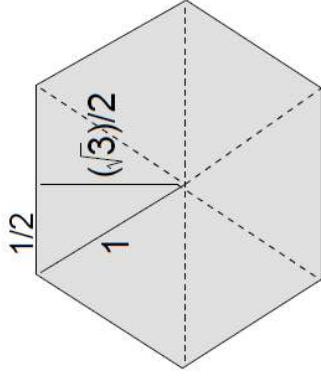
2. Réutilisation des fréquences ^{2/15}

- Les **radio fréquences** disponibles sont affectées selon un **schéma régulier** qui se répète sur toute la zone de couverture.
- Chaque **porteuse** est utilisée de manière **répétitive** dans toute la zone, en respectant **les schémas de réutilisation de fréquence**.
- Un **motif cellulaire** est l'ensemble des cellules dans lequel chaque fréquence de la bande est utilisée une fois et une seule fois.

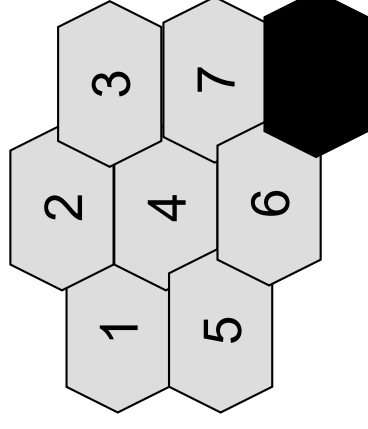
2. Réutilisation des fréquences ^{3/15}

- Hexagone régulier:
- Motifs réguliers:
 - Des considérations géométriques et arithmétiques permettent de démontrer qu'un motif ayant un nombre de fréquences données est optimal s'il est régulier, càd s'il est **invariant** par une **symétrie** ou une **rotation de 120°**.

Geometry of a Hexagon

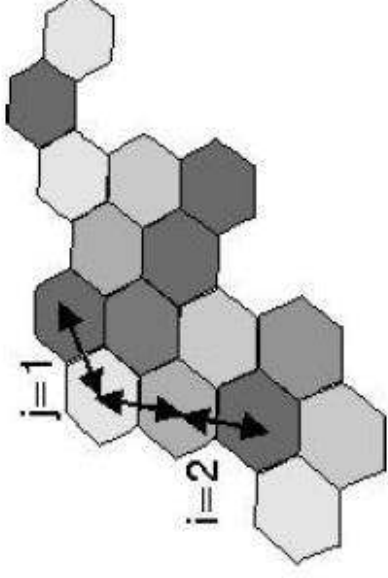


Surface area is $6 R^2$ times $(\sqrt{3})/4$



2. Réutilisation des fréquences 4/15

Définition: Un **motif cellulaire** est l'ensemble des cellules dans lequel chaque **fréquence** de la bande est utilisée une fois et une seule fois.



Avec le modèle *hexagonal*

- Un **motif est optimal** s'il est **régulier**.
- les **motifs optimaux** sont de **taille K** tel que:

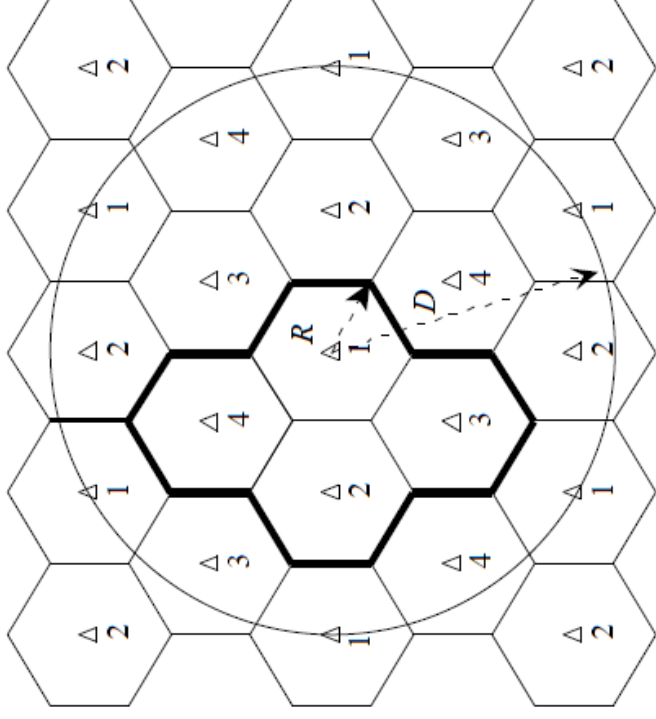
i/j	0	1	2	3	4
0	0	1	4	9	16
1		3	7	13	21
2			12	19	28
3				27	37
4					48

$$K = i^2 + ij + j^2 \text{ avec } i, j \in \mathbb{N}$$

2. Réutilisation des fréquences 5/15

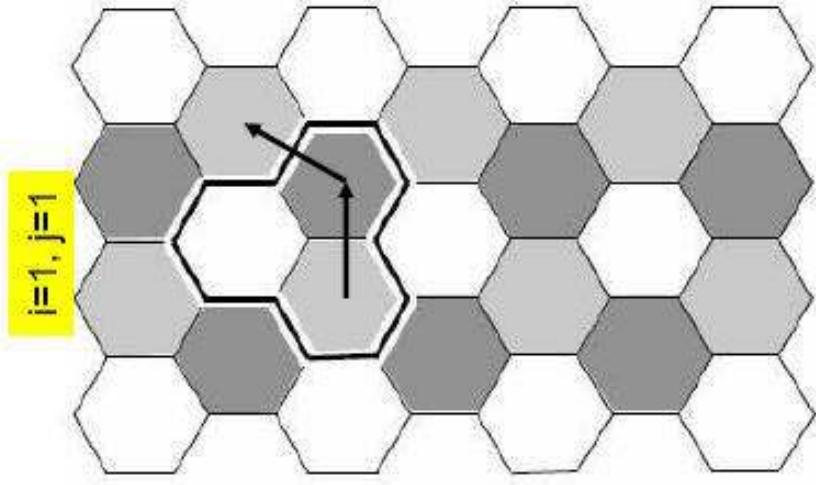
- Considérons une **cellule particulière**, les **centres des cellules** utilisant la **même fréquence** sont situés sur un ensemble de **cercles autour de cette cellule**.
- Ces cercles sont appelés « **courones** ».

Environnement homogène

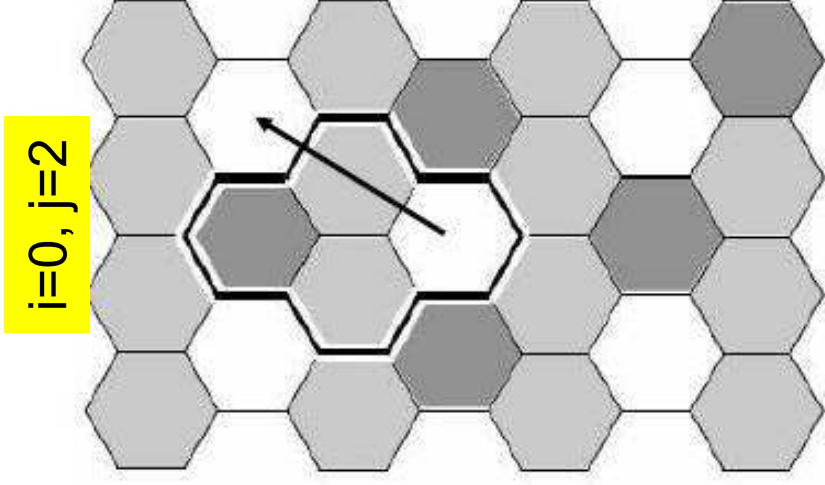


Distance de réutilisation dans un motif de taille 4

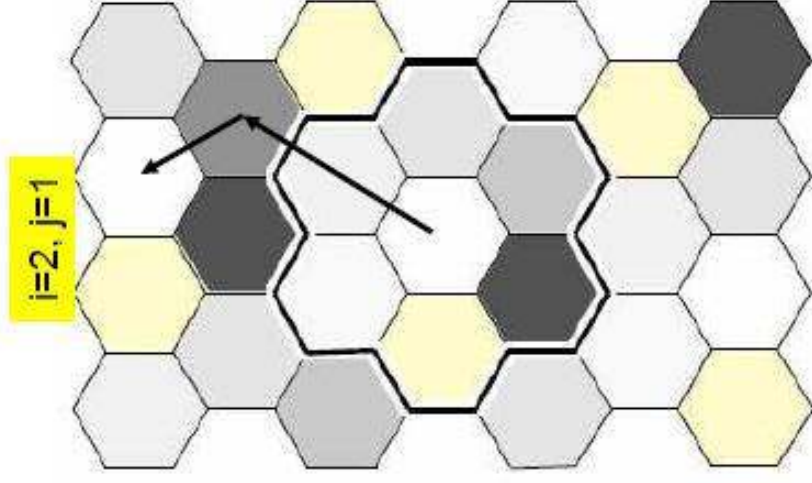
2. Réutilisation des fréquences 6/15



[1] Motif à $K = 3$



Motif à $K = 4$

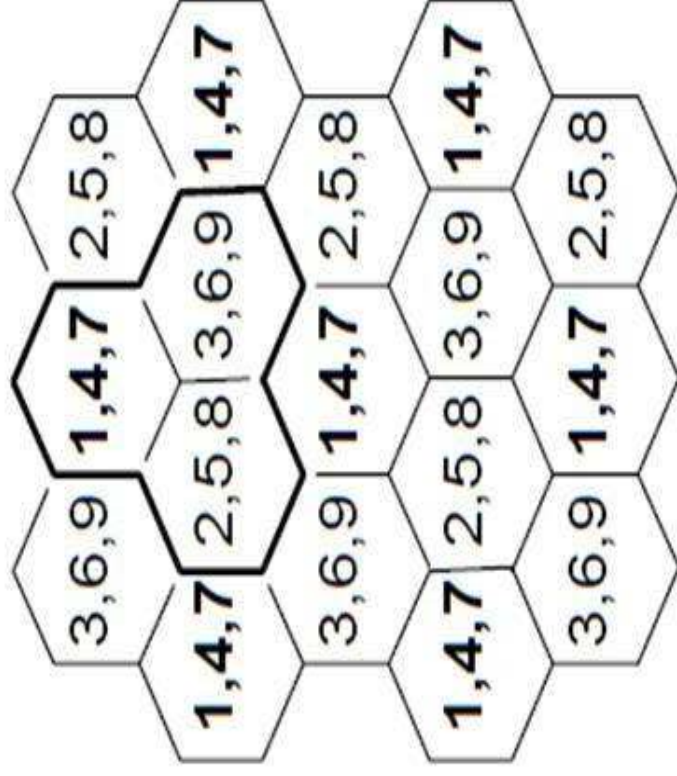


Motif à $K = 7$

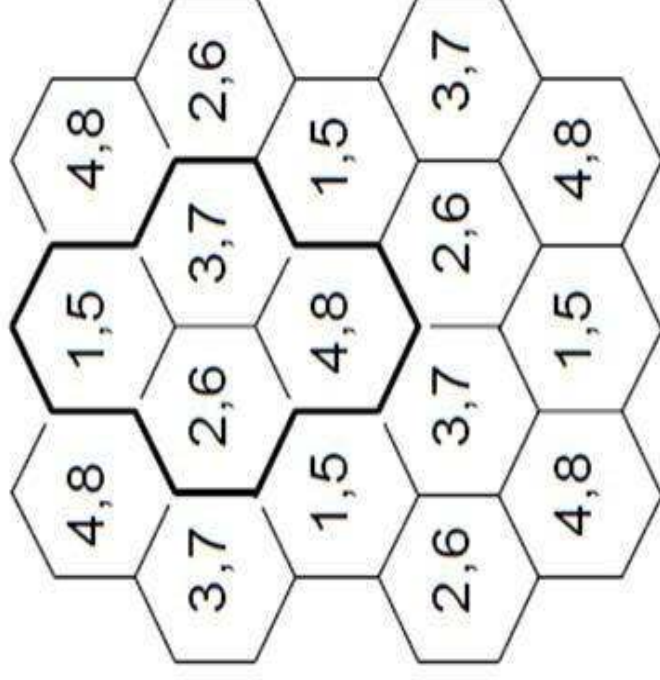
$$K = i^2 + ij + j^2 \text{ avec } i, j \in \mathbb{N}$$

Cluster is repeated by linear shift
 i steps along one direction
 j steps in the other direction

2. Réutilisation des fréquences 7/15



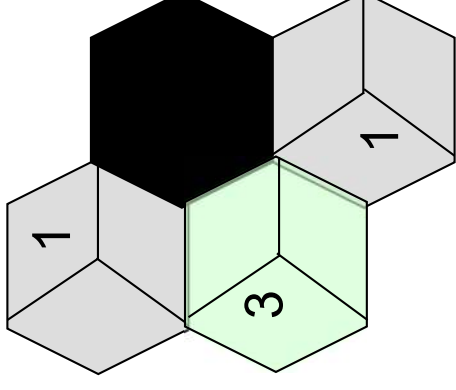
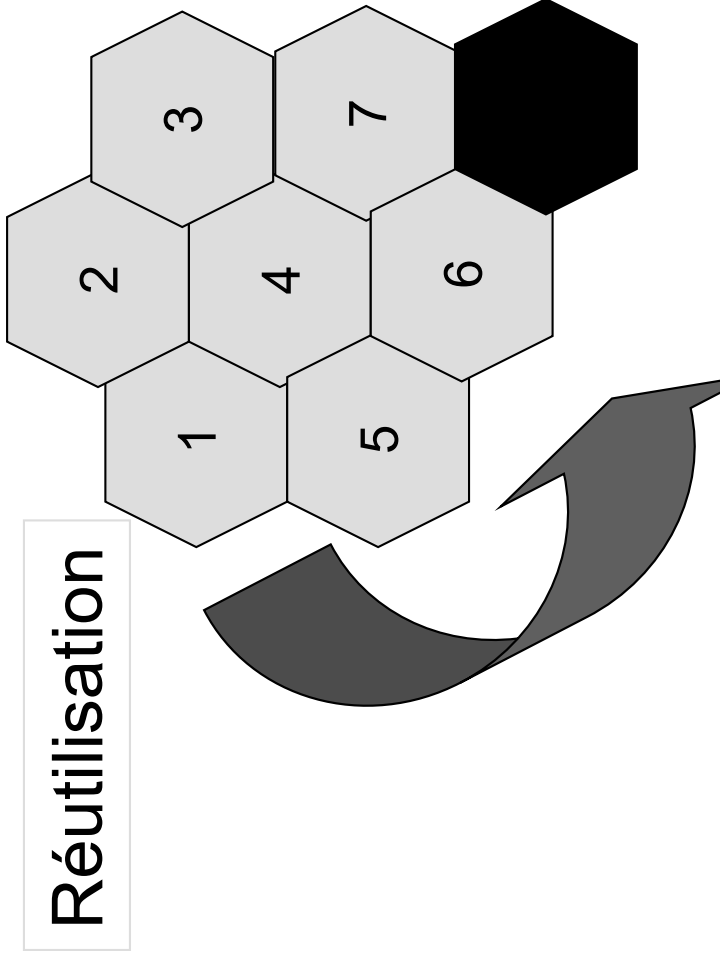
Motif de taille 3



Motif de taille 4

- Exemple de répartition des fréquences selon un motif.

2. Réutilisation des fréquences 8/15



Secteurs de 120°

Si l'on dispose de **n fréquences** pour le réseau, on pourra en employer **n/K** par cellule.

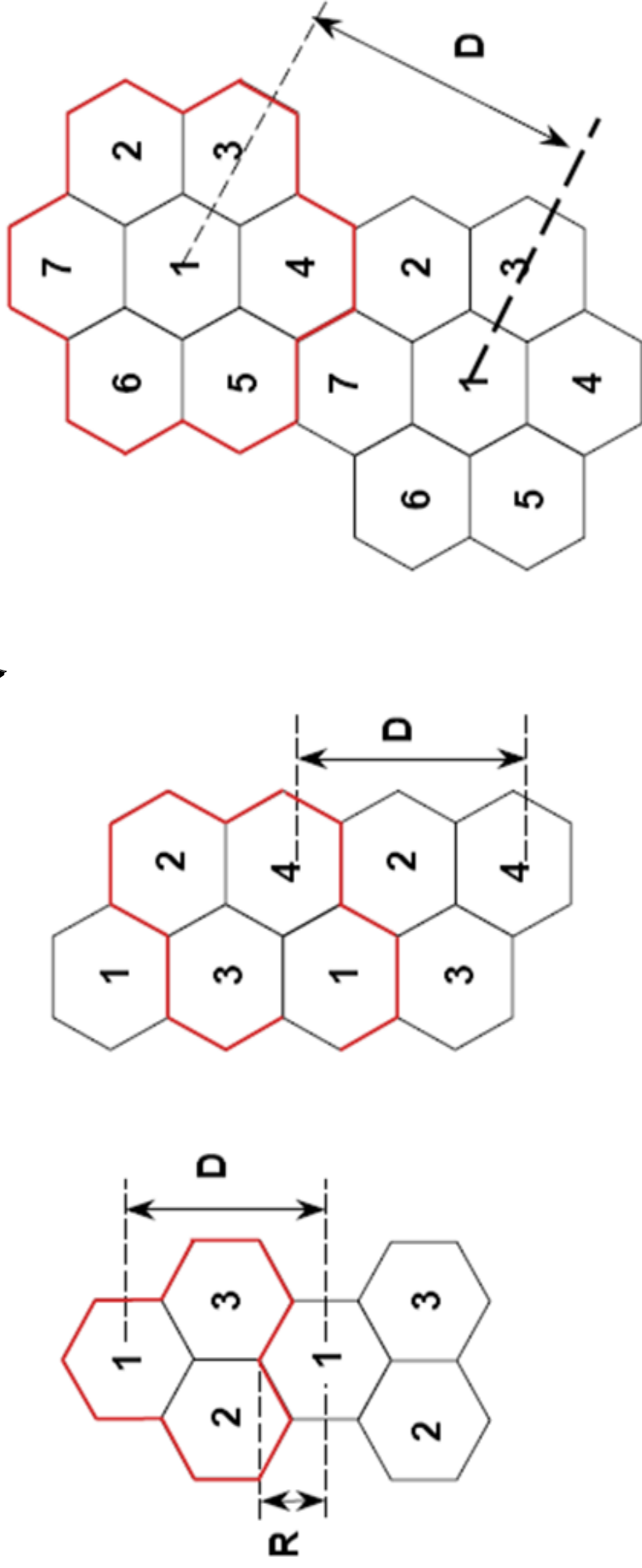
En cas de fort trafic, il y a donc intérêt à diminuer **K**

K : Facteur de réutilisation

$$K = i^2 + ij + j^2 \text{ avec } i, j \in \mathbb{N}$$

i/j	0	1	2	3	4
0	0	1	4	9	16
1		3	7	13	21
2			12	19	28
3				27	37
4					48

$D = \text{distance de réutilisation}$ $D = \sqrt{3K} \cdot R$



Le modèle hexagonal : exemples de motifs à 3, 4, 7 cellules

limite empirique :

GSM :
analogique :

R = 350 m.

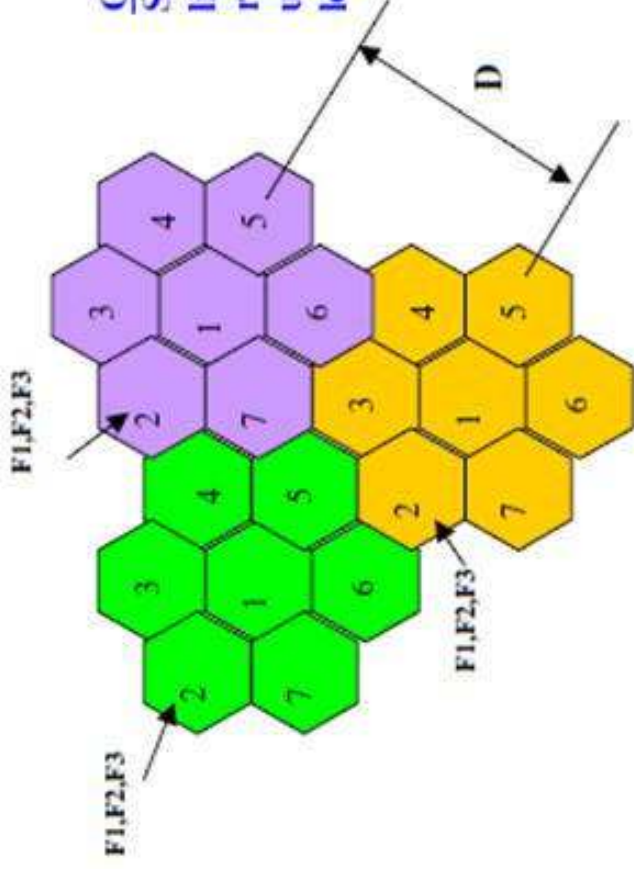
R = 1000 m.

Distance de réutilisation: La plus proche distance de réutilisation d'une fréquence est alors: $D = \sqrt{3K} \cdot R$ où D est la distance de réutilisation et R : le rayon d'une cellule.

2. Réutilisation des fréquences 11/15

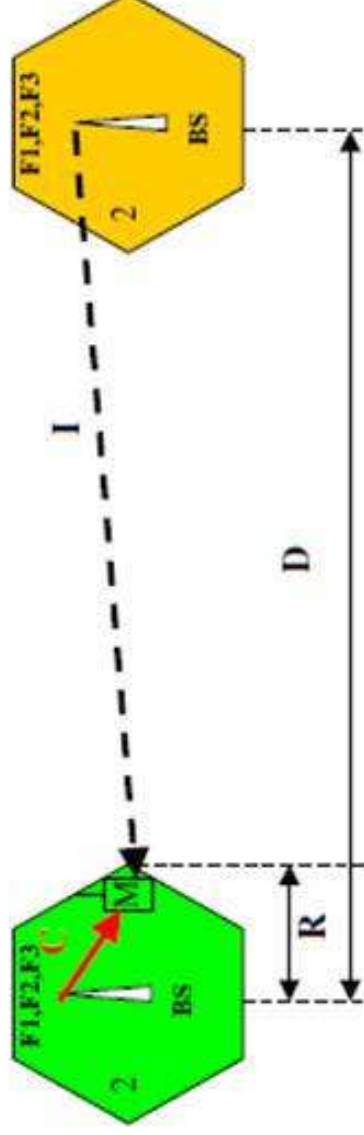
- Pour les systèmes basés sur TDMA, le principal élément permettant de définir la distance entre deux **sites co-canal** est le **rapport C/I** (Carrier/Interference): puissance de signal utile et celle des signaux interférents.
- **Condition** pour utiliser **même fréquence** est le **niveau C/I** (qualité demandée)
- Le **rapport C/I** dépend du **motif cellulaire** (indépendant du nombre d'utilisateurs présents dans la cellule)

2. Réutilisation des fréquences 12/15



Concept cellulaire :
Spectre de fréquences disponible limité par opérateur et système => réutiliser les mêmes fréquences à une distance suffisante pour éviter les interférences.

“Reuse” F_1, F_2, F_3 if $C/I > \text{seuil}$ (e.g. 7 dB)
C=signal utile
I: signal d'interférence (Co-Channel interference)



2. Réutilisation des fréquences 13/15



En théorie :

$$P_r(M) = P_e(BS) / d^k \quad (k=3-4)$$

$$C/I = \frac{P_e(BS) / R^k}{P_e(BS) / (D-R)^k} = (D/R - 1)^k$$

$D/R = \sqrt{3N}$ où N = nombre de cellules dans le cluster (facteur de réutilisation)

Si N = 4, C/I = 13,7 dB

N = 7, C/I = 19,4 dB

N = 12, C/I = 24,5 dB

Si N décroît, C/I décroît et la qualité diminue

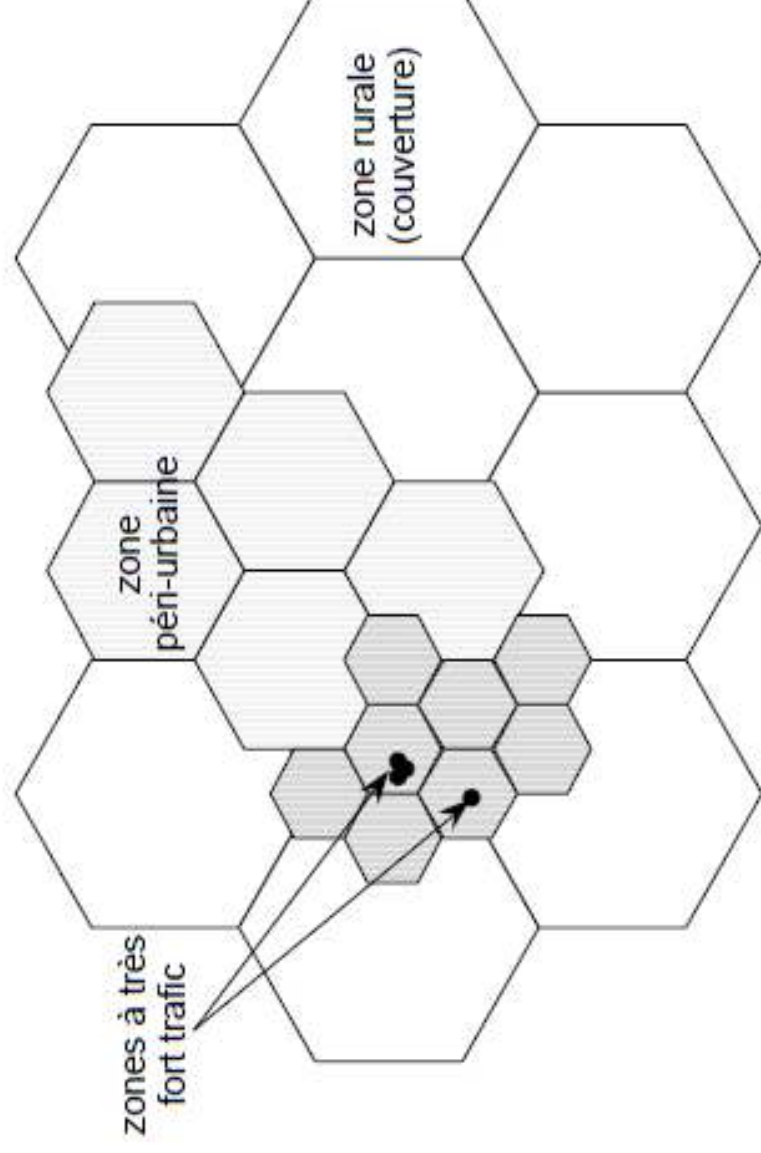
N = K

2. Réutilisation des fréquences 14/15

- Les réseaux cellulaires sont en générale basés sur des motifs à 9, 12 ou plus cellules par motif.
- Plus on **réduit** le **nombre de cellules** dans le motif:
 - Plus on **augmente** le **nombre de canaux par cellule**, plus le **trafic supporté** est élevé.
 - Mais plus on **réduit** la **distance D** de **réutilisation** plus les **interférences** sont importantes.
→ **D'où un compromis à trouver !!**

2. Réutilisation des fréquences 15/15

Taille des cellules fonction du trafic à écouler



=> Détermination des zones d'interférence et utilisation de la théorie des graphes

3. Couverture

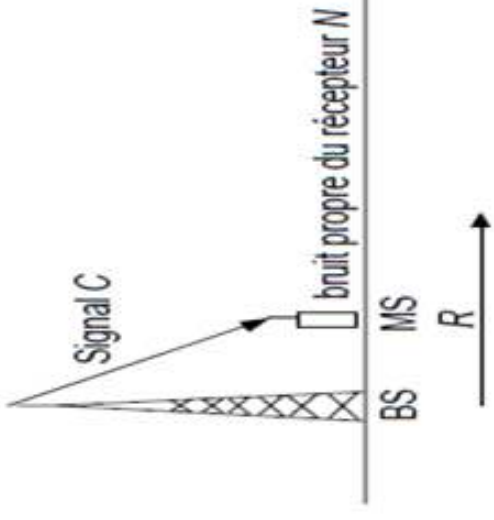
➤ Grandeurs principales:

C : Puissance du signal utile

N : Bruit propre du récepteur

Seuil de fonctionnement : *C/N minimum*

- Caractéristique fondamentale d'un récepteur : **sensibilité S**



➤ Sensibilité S:

- Niveau minimal S: $S = (C/N)_{\text{seuil}} + N$.
- **Puissance d'émission + sensibilité** détermine le rayon *R* de *couverture*.

3. Couverture

2/4

- Une **station mobile** est **couverte** si :
 - La **puissance du signal reçu est supérieure** à sa sensibilité et le **SINR** atteint le **SINR seuil**.
- Ordres de grandeur de la sensibilité :

Station de base GSM	-110 dBm
Station mobile GSM	-100 dBm

3. Couverture

3/4

Lien entre C/I et motif de réutilisation:

- Une interface radio est définie avec une certaine **capacité à résister aux interférences** :

$$\frac{C}{I(+N)} \geq \text{seuil} \Rightarrow \text{fonctionnement correct}$$

Remarques:

- Indépendance de la puissance de transmission (si toutes les puissances sont égales)
- Le motif est seulement fonction du seuil de **C/I**
 - ⇒ Notion de **capacité intrinsèque** d'un système.
- Pour GSM, on considère un motif de référence à **12**.

3. Couverture

4/4

- Couverture d'une cellule isolée dépend de :
 - la sensibilité (liée au rapport C/N tolérable).
 - la puissance d'émission.
- La Couverture du réseau dépend de :
 - seuil C/I.
 - la distance de réutilisation (plus petite distance entre deux cellules de même fréquence).