

# **Concept Cellulaire**

**Module: Réseaux sans fil**

# Historique: Invention de la Radio Mobile

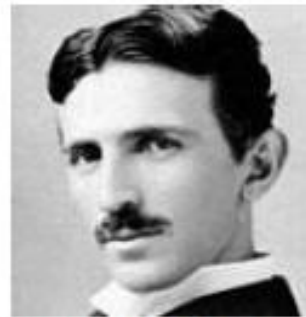
- **Maxwell en 1864:** Prédiction d'existence d'ondes électromagnétiques
- **Hertz en 1887:** Confirmation pratique du travail de Maxwell.
- **Tesla en 1893:** Transmission Radio par onde porteuse et invention du Radar
- **Marconi:**
  - en 1897 : Télégraphie sans fils
  - en 1901 : Première Transmission sans fils à travers l'atlantique



Maxwell(1831–1879)



Hertz(1857-1894)

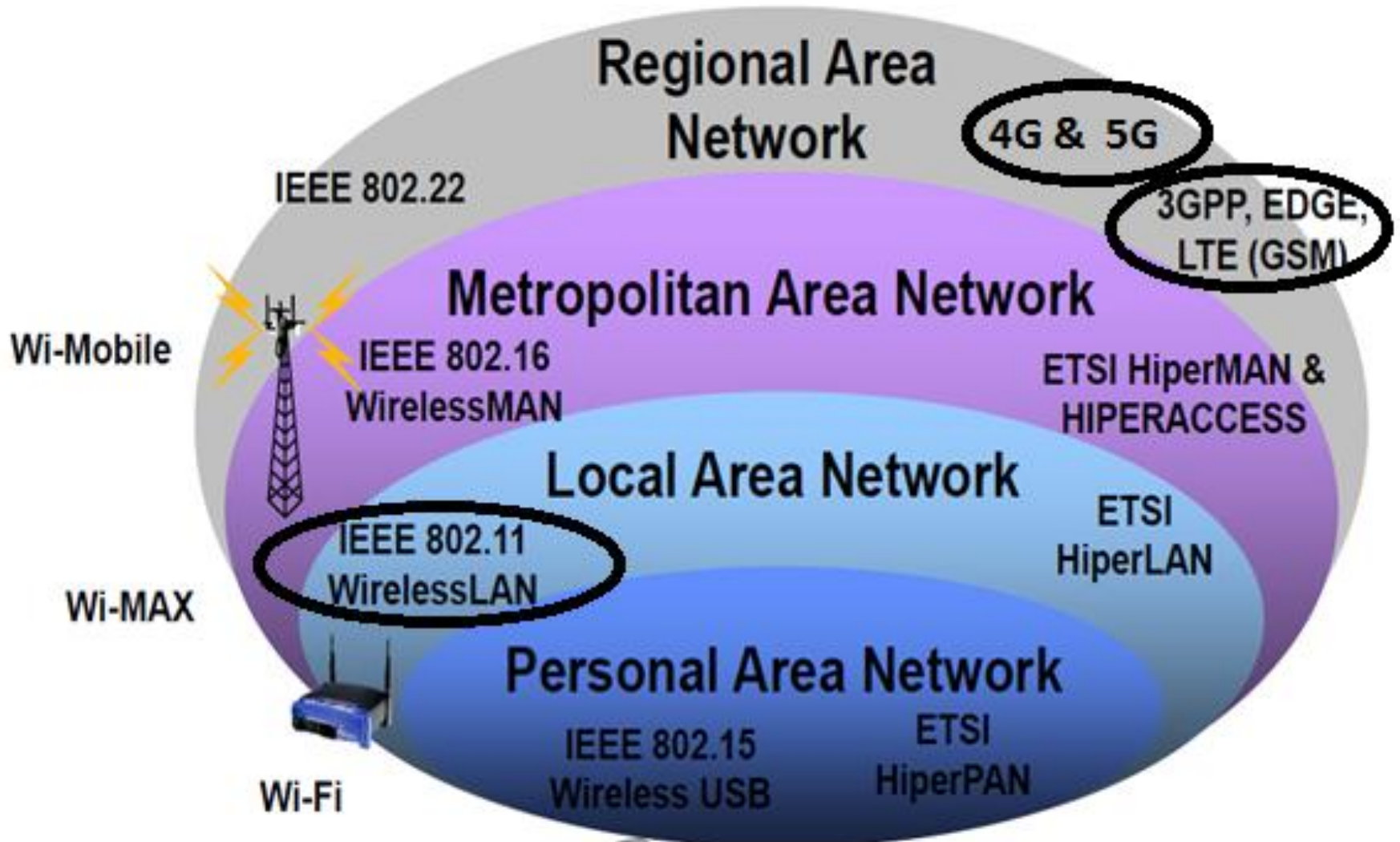


Tesla(1856-1943)



Marconi(1874-1937)

# Les différents types de réseaux sans fils



# Historique:

## ❑ Réseaux mobiles de 1<sup>er</sup> Génération:

- La 1G a émergé au cours des années 1980. Plusieurs technologies ont été développées:
  - **AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*) aux USA
  - **TACS** (*Total Access Communication System*) au Japon et au UK.
  - **NMT** (*Nomadic Mobile Telephone*)
  - **Radiocom2000** en France.
  - **C-NETZ** en Allemagne.
- Ces systèmes étaient conçus pour fournir des services de **téléphonie en mobilité**.
- D'un point de vue technique, ces systèmes étaient basés sur un codage et une modulation de type analogique.

# Historique:

## ❑ Réseaux mobiles de 1<sup>er</sup> Génération:

- Les inconvénients de la 1<sup>ère</sup> G:
  - Systèmes non normalisés (Cloisonnements nationaux)
  - Incompatibilité des systèmes du fait de l'hétérogénéité des systèmes.
  - Impossibilité d'itinérance internationale (roaming)
  - Capacité très faible.
  - Coût très élevé.

## ❑ Conséquence:

*Nécessité de définir des **normes de téléphonie mobile**  
à l'échelle internationale.*

# Historique:

## ❑ Réseaux mobiles de 2<sup>ème</sup> Génération:

- Dans les réseaux mobiles 2<sup>ème</sup> G on trouve:

- **GSM** (*Global System for mobile Communication*) en Europe
- PDC (Personal Digital Communication) au Japon.
- IS-95 aux USA.

En plus de la voix en mobilité ils assuraient des SMS (*Short Message Service*). En complément, ces systèmes permettaient des transferts de données à faibles débits.

## ❑ Progrès Technologiques:

- ❖ Réalisation des circuits hyperfréquences.
- ❖ Dispositifs de traitement numériques du signal

Conséquence: ***Réduction drastique de la taille des terminaux***

# Historique:

## ❑ Réseaux mobiles de 2<sup>ème</sup> Génération:

- Réussite de la 2G:
  - De ces trois systèmes le **GSM** qui a eu le plus grand succès
  - Le GSM a été déployé dans 90% du globe.
  - Le GSM a permis l'itinérance entre ces systèmes

## ❑ Améliorations de la 2G:

- ❖ Utilisation de Codages et modulations de type numérique
- ❖ Introduction du numérique dans les technologies radiomobiles
- ❖ Accroissement des capacités des réseaux grâce puissants DSP
- ❖ Des techniques d'accès multiples très élaborées furent employées
- ❖ Les voies montantes et les voies descendant sont séparées.

Conséquence: Ces techniques accrurent l'efficacité spectrale (débits)

# Historique:

## ❑ Réseaux mobiles de 2<sup>ème</sup> Génération:

### ❑ Inconvénients de la 2G:

- ❖ La première limitation est d'ordre capacitaire. (rejets d'appels aux heures les plus chargées).
- ❖ La seconde est d'ordre fonctionnel, le GSM utilise un réseau coeur à commutation de circuit (l'accès aux services de données étaient lent).

## Développement de deux solutions

- ❖ **GPRS** (General Packet Radio Service) / **2.5 G**
- ❖ **EDGE** (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) / **2.75G**

### Conséquence:

Cette limitation fut à l'origine de la définition  
des technologies 3G

# Historique:

❑ Réseaux mobiles de 3<sup>ème</sup> Génération:

❑ La 3G regroupe deux familles:

- ❖ UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).
- ❖ CDMA2000 issu de l'IS-95.

Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches (CDMA).

## L'UMTS

La 3G caractérisée par la volonté des industriels de Télécom de la définir au niveau mondial.

Les industriels se sont regroupés au sein d'un consortium appelé 3GPP (*3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project*)

A la fin de l'année 1990, la 1<sup>ère</sup> version de l'UMTS appelée Release 99.

# Historique:

❑ Réseaux mobiles de 3<sup>ème</sup> Génération:

❑ L'UMTS a connu deux évolutions majeures:

❖ HSPA (*High Speed Packet Access*).

❖ HSPA+ (*High Speed Packet Access+*).

❖ L'évolution HSPA:

➤ Le HSPDA (*High Speed Packet Download Access*)

➤ Le HSPUA (*High Speed Packet Upload Access*)

❖ L'évolution HSPA+:

➤ La définition d'évolution de HSPA, appelée HSPA+

➤ La définition du LTE

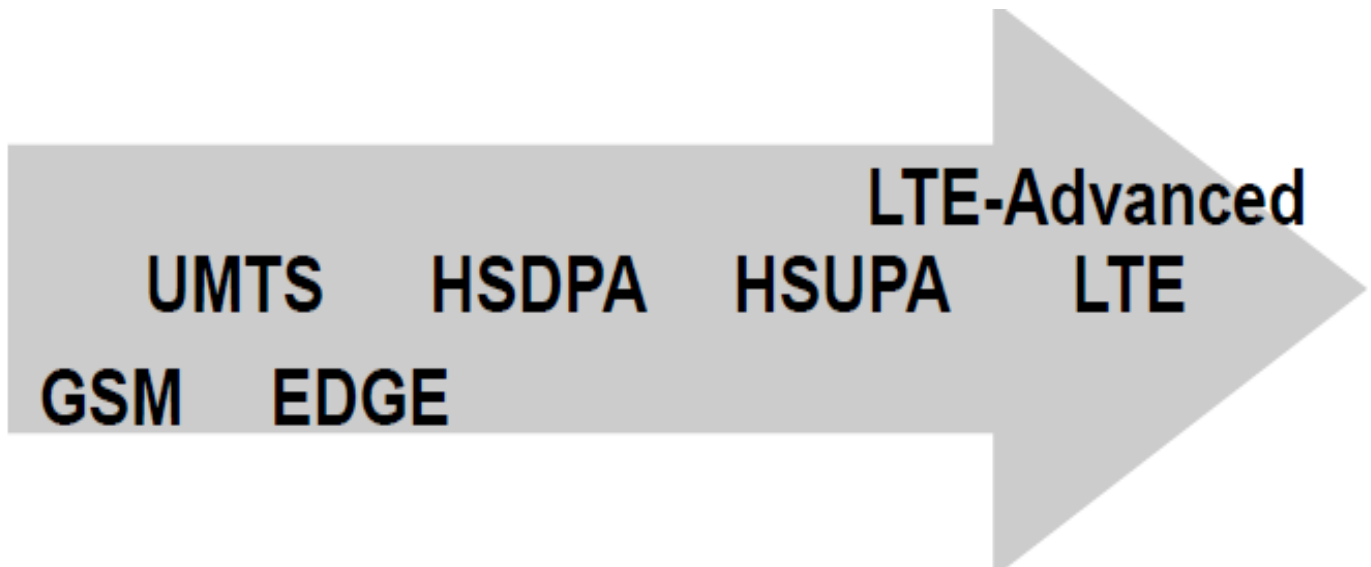
Conséquence:

L'UMTS a donné naissance au LTE qui constitue la technologie 4G.

# Historique:

## ❑ Réseaux mobiles de 4<sup>ème</sup> Génération

**3GPP**



# Concept cellulaire:

- ❑ Le concept cellulaire a été défini au sein des Bell Labs au début des années 1970.
- ❑ Cette technique est une composante technologique clé des réseaux mobiles car elle permet de réutiliser *les ressources radio* du réseau sur plusieurs zones géographiques données appelées *cellules*.
- ❑ A une cellule est associée une ressource radio (fréquence, un code,..) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule lointaine pour éviter tout conflit inter cellulaire.
- ❑ Conceptuellement, une cellule permet d'écouter un certain nombre d'appels simultanés. Le nombre d'appels peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes.
- ❑ Les réseaux mobiles sont tous basés sur ce concept de cellule, c'est pourquoi ils sont appelés *Réseaux Cellulaires*.

# Concept cellulaire:

- ❑ Une cellule est contrôlée par un **émetteur/récepteur** appelé : *station de base “Transceiver”*.
- ❑ La station de base assure la liaison radio avec les terminaux mobiles sous sa *zone de couverture*.
- ❑ La couverture d’une station de base est fonction de plusieurs facteurs:
  - ❖ La *puissance d’émission* du terminal mobile et de la station de base
  - ❖ La *fréquence utilisée*.
  - ❖ Le *type d’antennes* utilisées à la station de base et au terminal mobile.
  - ❖ L’*environnement de propagation* (urbain, rural, etc..)
  - ❖ La *technologie radio utilisée*.

# Concept cellulaire:

- ❑ Une cellule est représentée sous forme d'un **hexagone**. En effet, l'hexagone est le motif géométrique le plus proche de la zone de couverture d'une cellule.
- ❑ Les zones de recouvrement entre cellules adjacentes créent de **l'interférence intercellulaire**.
- ❑ On distingue plusieurs types de cellules:
  - **Les cellules macro**: 40w (46dBm), les hauts et les pylônes.
  - **Les cellules micro**: 10w (40dBm), toits de maison.
  - **Les cellules pico**: 0,25 à 5W (24 à 37 dBm) indoor, hotspots.
  - **Les cellules femto**: ~100mW (20dBm), à l'intérieur des maisons.

# Allocation de fréquences:

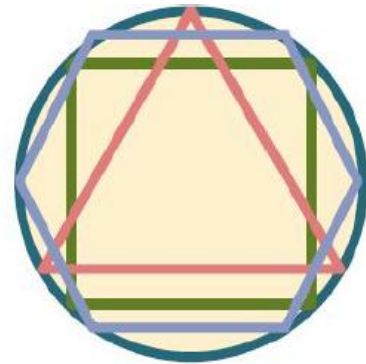
## □ Allocation des fréquences:

- Les ressources spectrales sont limitées.
- Chaque pays a une agence gouvernementale pour contrôler et allouer les ressources spectrales.
- Les ressources spectrales sont contrôlées par :
  - Mondiale : International Telecommunications Union (ITU).
  - USA: Federal Communications Commission (FCC).
  - EU: European Telecommunications Standards Institute (ETSI).
  - Algeria : Agence Nationale de la fréquence (ANF).

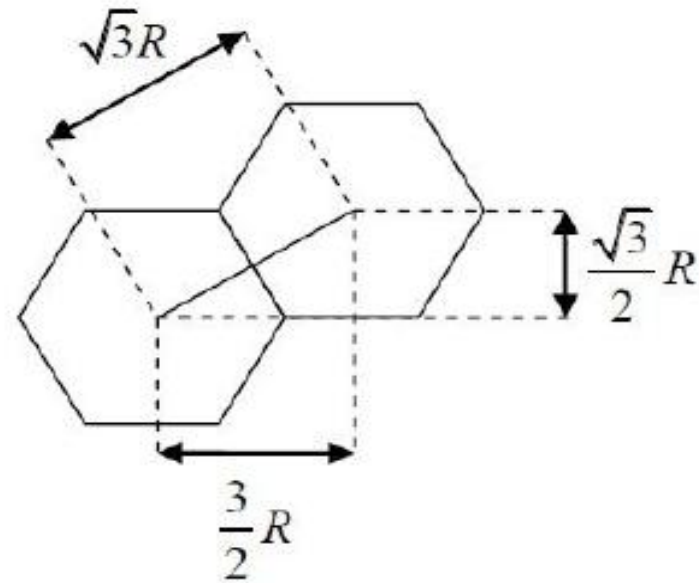
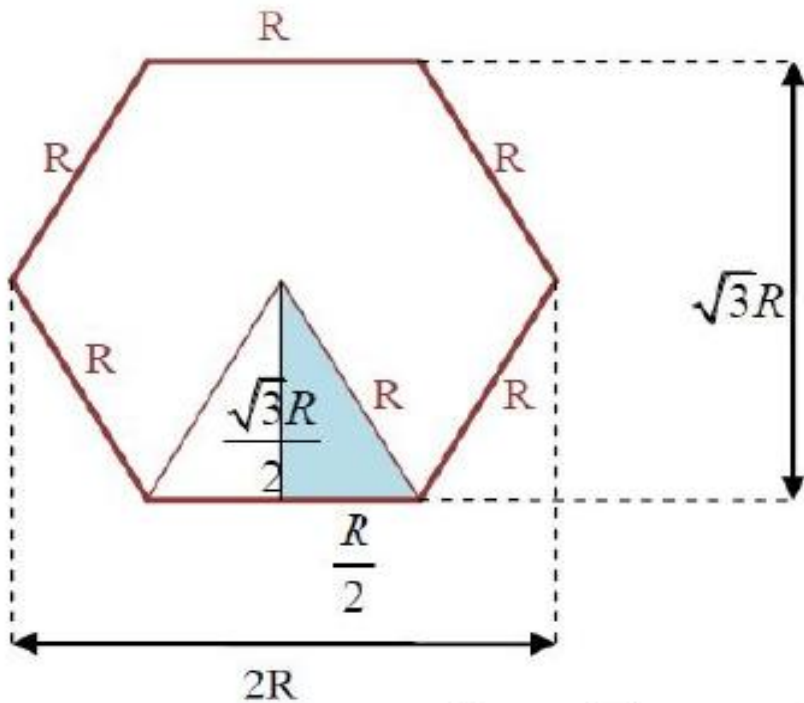


# Forme de la cellule:

- Les antennes omnidirectionnelles rayonnent selon une forme circulaire (vue de dessus).
- Le problème est que les cellules circulaires ne peuvent pas être superposées sur une carte sans laisser des zones incouvertes ou sans créer des zones de chevauchement.
- 3 choix: Triangle équilatéral ou carré ou Hexagone.
- Une cellule doit être conçue pour servir les mobiles les plus faibles au sein de l'empreinte (forme), et ceux-ci sont généralement situés à la frontière de la cellule.
- l'hexagone possède la plus grande superficie parmi les trois formes.
- En utilisant la géométrie hexagonale, le plus petit nombre de cellules peut couvrir une région géographique
- L'hexagone décrit mieux un cercle



# Géométrie de l'hexagone :



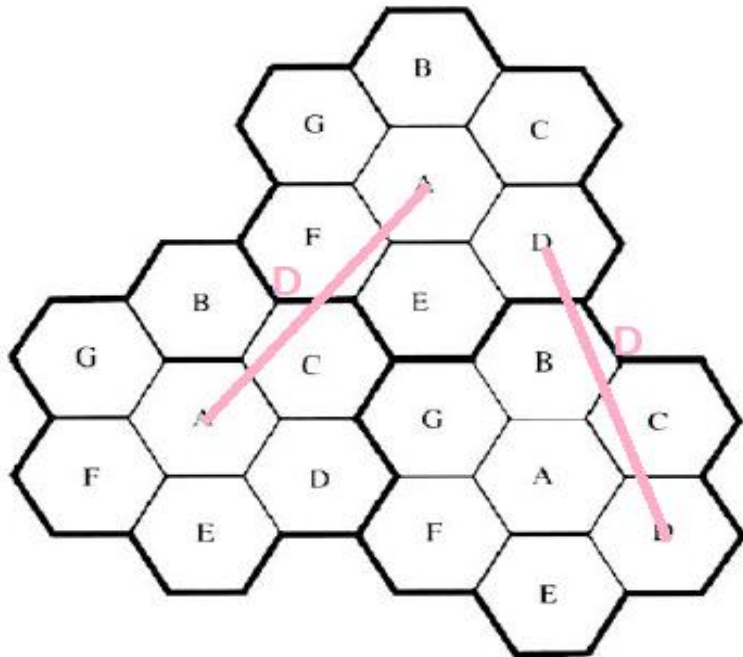
$$\text{Area} = 6 \times 2 \times \left( \frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} R \times \frac{1}{2} R \right) = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \approx 2.598 R^2$$

La surface de l'hexagone permet le calcul du nombre de cellules nécessaire pour la surface à couvrir par le réseau cellulaire.

# Cluster:

## ❑ Organisation du réseau en cluster

Un cluster est un ensemble de cellules dans lequel chaque cellule utilise des fréquences différentes. Les fréquences de la cellule peuvent être réutilisées par d'autres cellules dans le système, mais ces cellules seront dans d'autres groupes et donc suffisamment loin pour ne pas provoquer des interférences.

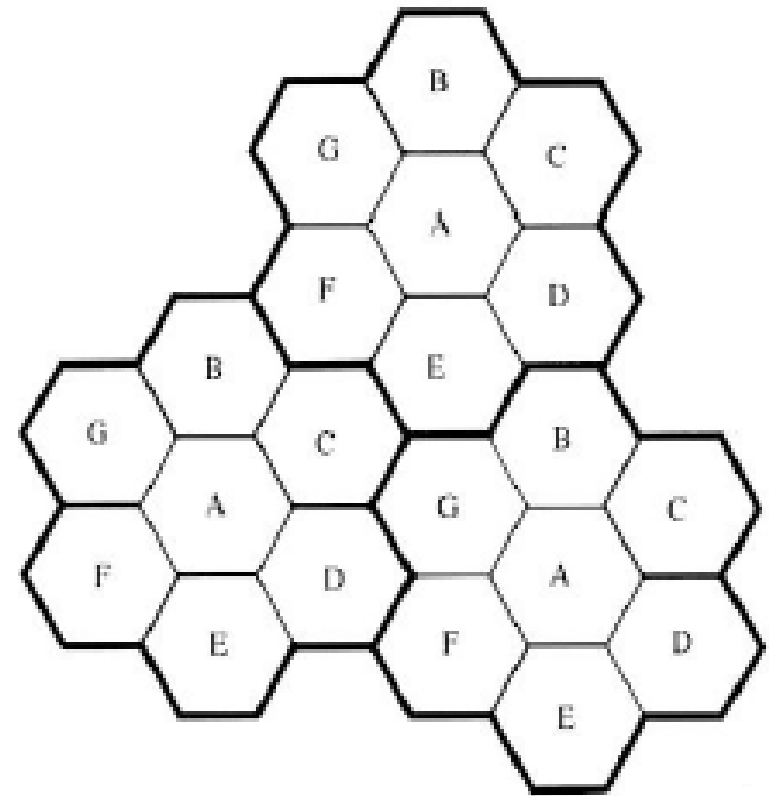


Distance de réutilisation  $D$  =  
Distance minimale entre les  
centres de deux cellules  
utilisant la même canal  
fréquentiel.

# Cluster:

## □ Organisation du réseau en cluster

- La superficie totale de la couverture est divisée en clusters
- Le nombre de cellules  $N$  dans chaque Cluster est appelé **taille du cluster**
- les cellules dans un Cluster utilisent **tous** les canaux fréquentiels
- il n'y a pas d'interférence co-canal dans un même cluster. **interférence co-canal provient de deux cellules utilisant la même bande fréquentielle**
- Le cluster est Reproduit sur toute la zone de couverture.
- ex: l'image montre 3 Clusters de taille  $N=7$ .



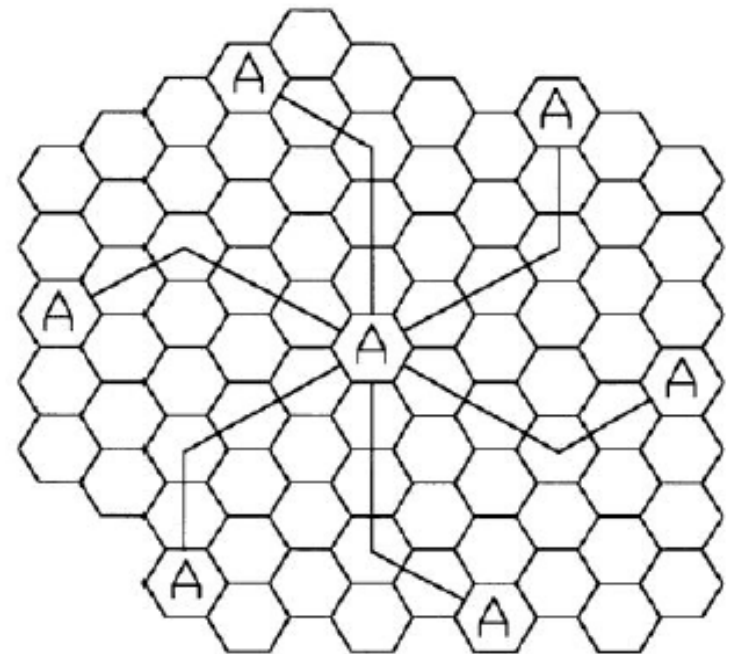
# Taille du cluster :

## ❑ Définition de $i$ et $j$ :

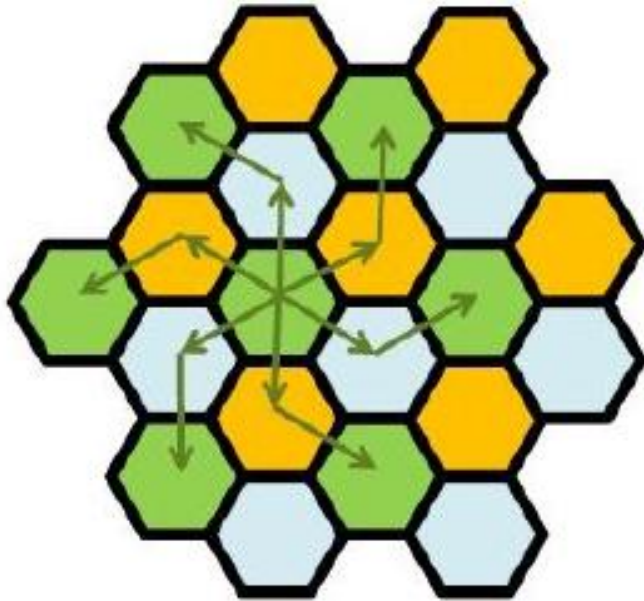
- $N$  peut avoir certaines valeurs précises selon  $i$  et  $j$  des entiers:

$$N = i^2 + j^2 + i \times j$$

- Pour localiser le co-canal le plus proche :
  - Se déplacer  $i$  cellules le long d'une chaîne d'hexagones, puis
  - Tourner 60 degrés contre le sens de la montre et se déplacer  $j$  cellules.
- ex:  $i=3; j=2 \implies N=19$



# Taille du cluster :

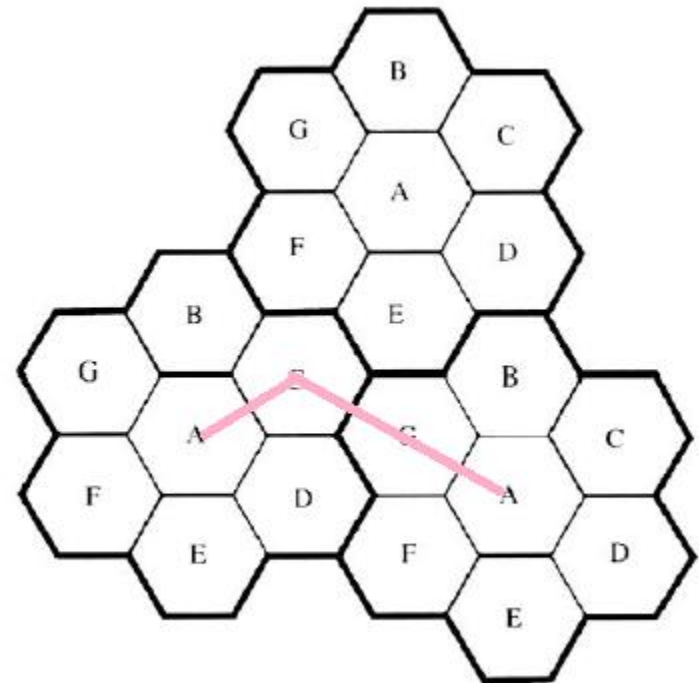


$N = 3$   
 $i = 1$   
 $j = 1$

$N = ?$

$i = ?$

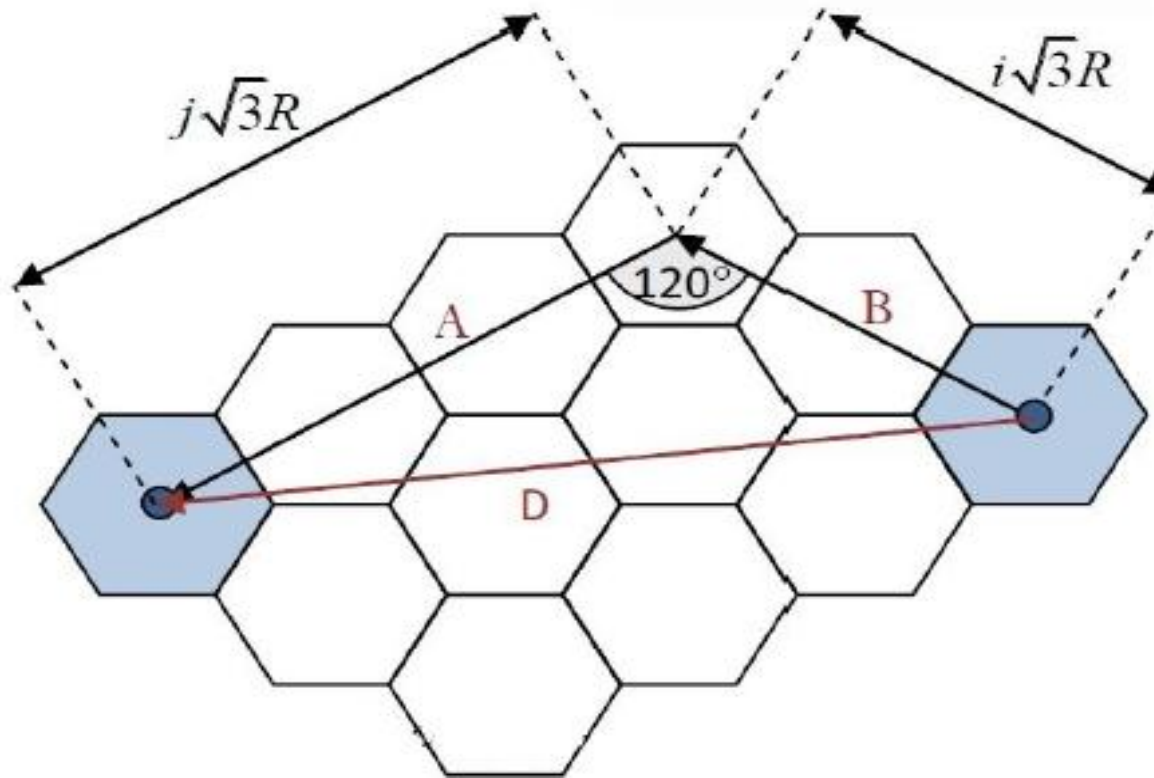
$j = ?$



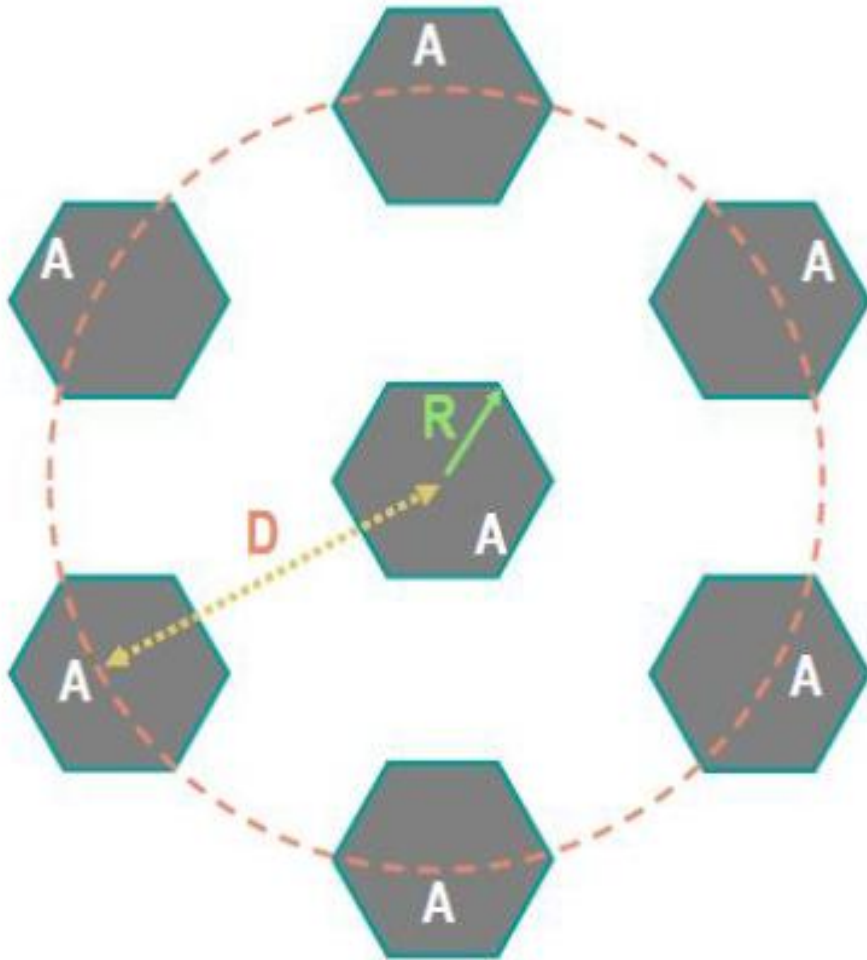
# Distance D de réutilisation de fréquence:

$$D^2 = A^2 - 2AB\cos(\theta) + B^2$$

$$D = \sqrt{(i\sqrt{3}R)^2 + (j\sqrt{3}R)^2 - 2(i\sqrt{3}R)(j\sqrt{3}R)\cos(120^\circ)}$$
$$= R\sqrt{3(i^2 + j^2 + ij)} = R\sqrt{3N}$$



# Taux de réutilisation du co-canal :

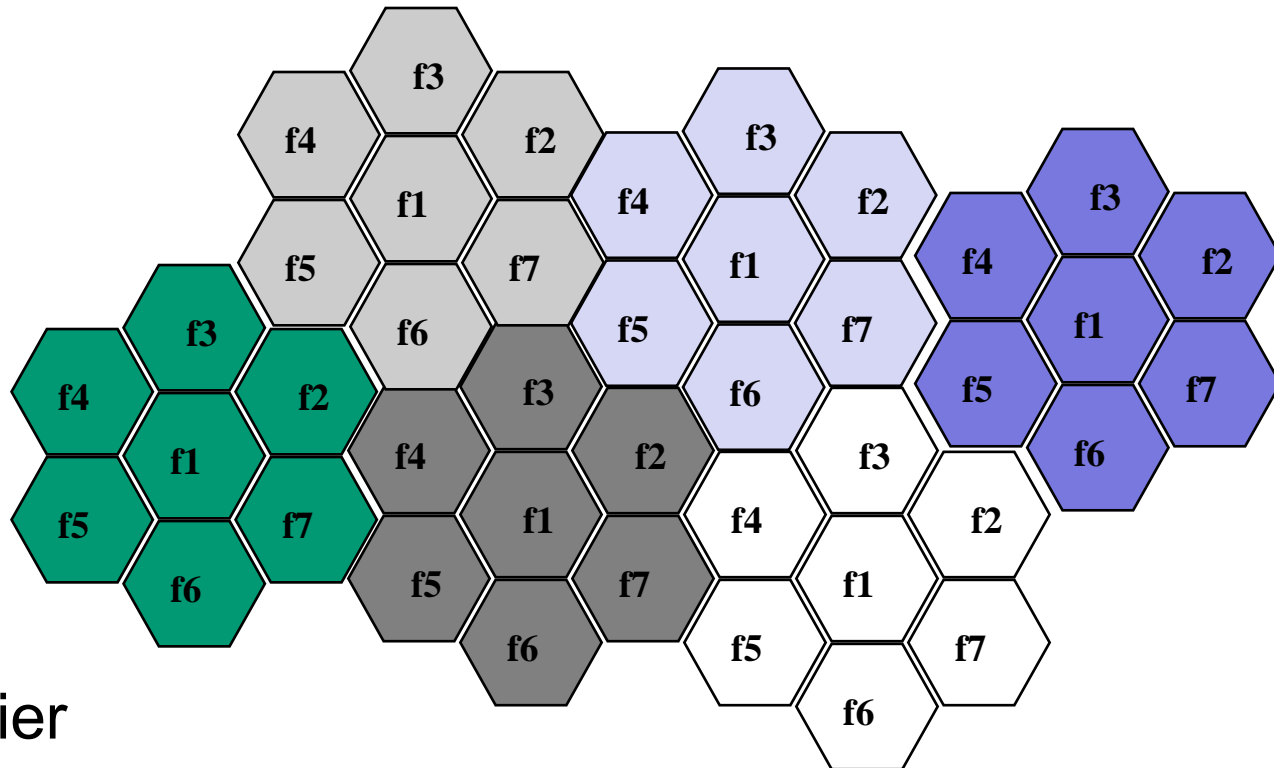


- R = Rayon de la cellule (du centre au vertex)
- D = Distance de réutilisation de fréquence
- Taux de réutilisation co-canal :

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

# Réutilisation des fréquences :

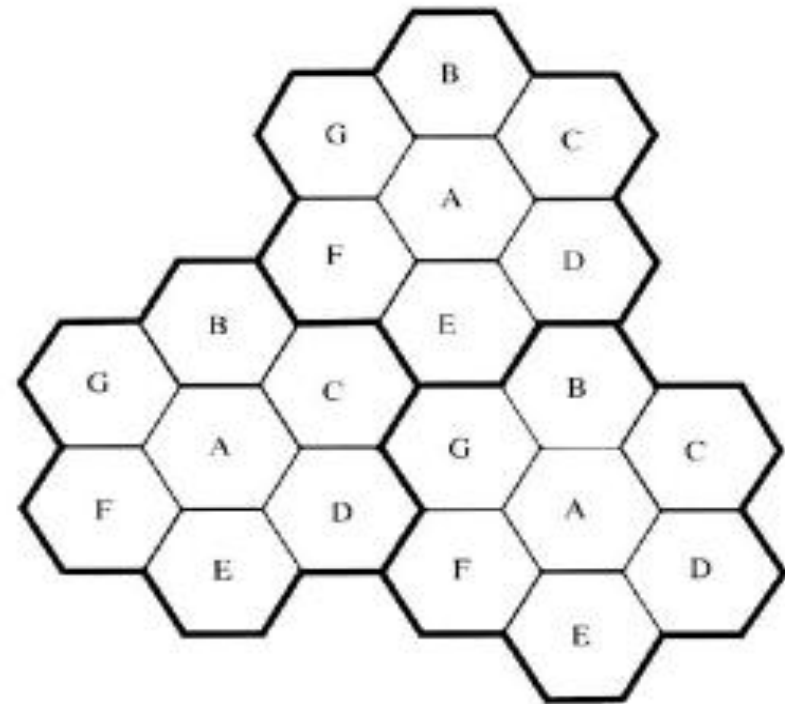
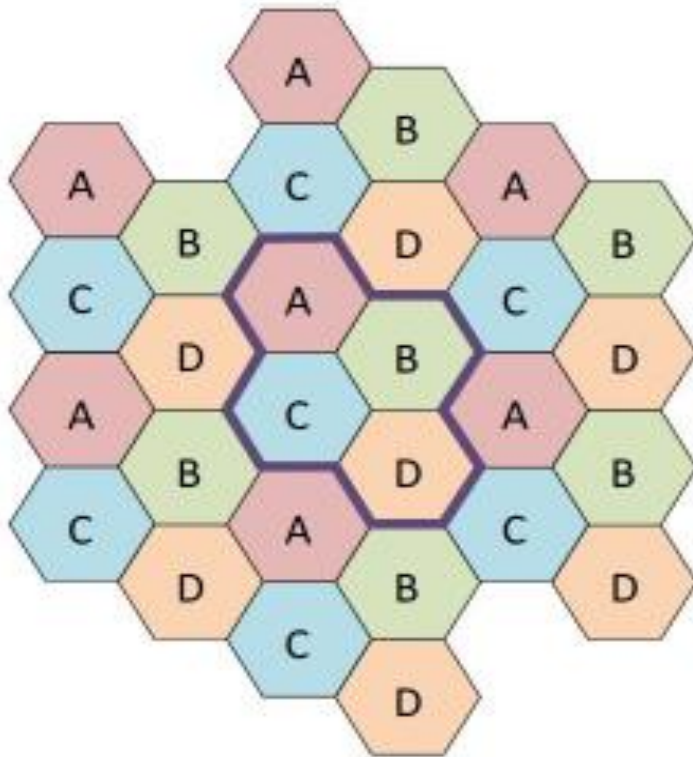
## □ Exemple de réutilisation des fréquences



motif régulier  
à 7 fréquences

# Facteur de réutilisation des fréquences:

## □ Facteur de réutilisation des fréquences

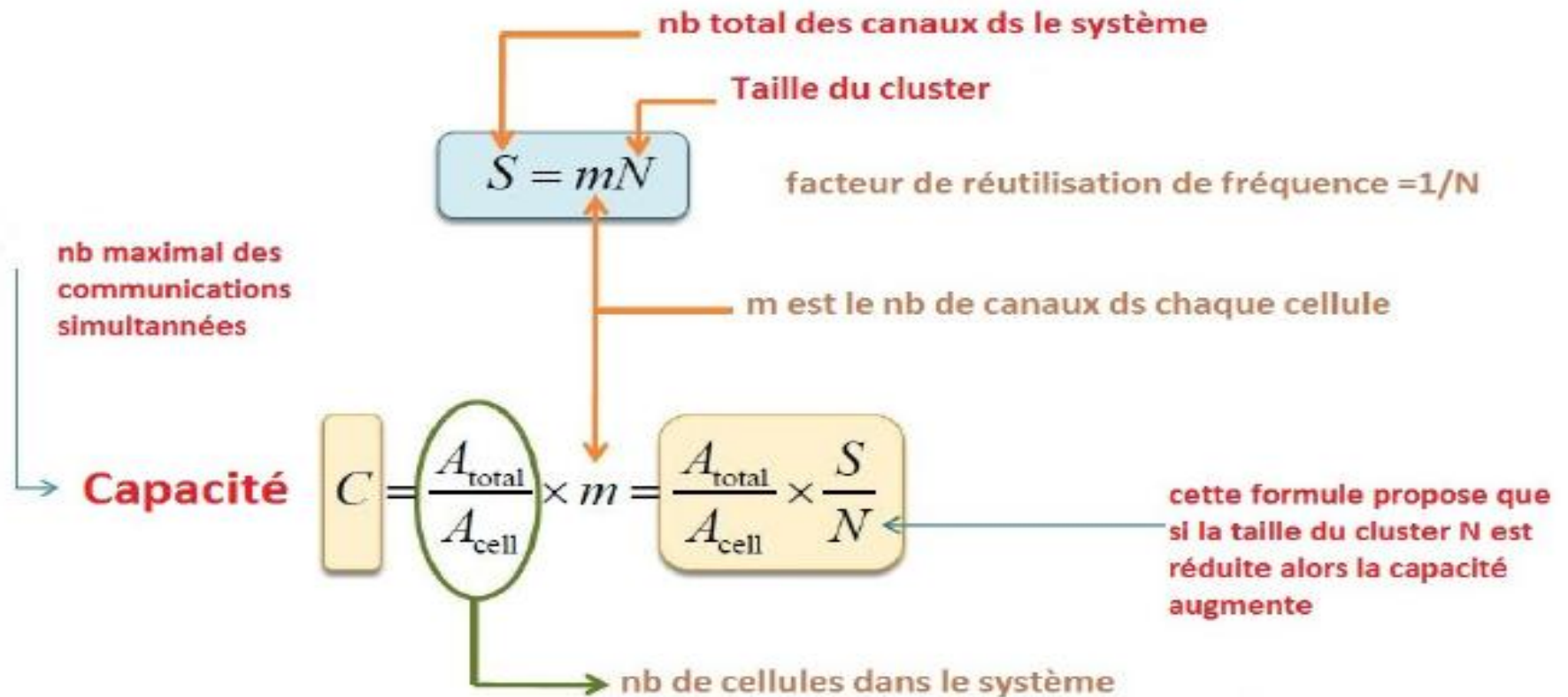


Facteur de réutilisation de fréquence =  $1/N$

Chaque cellule utilise  $1/N$  des canaux existants.

# Capacité vs taille du cluster:

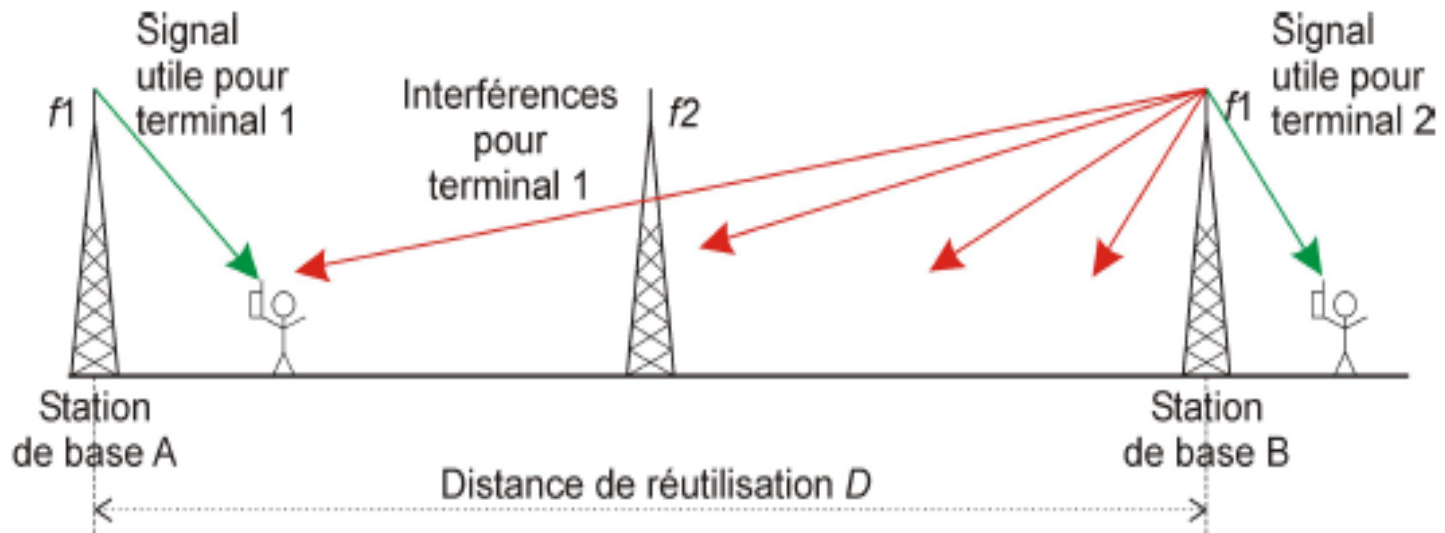
## □ Capacité vs taille N du cluster



⇒ compromis: Des valeurs réduites de N peut engendrer des interférences

# Bruit et interférences:

- Bruit de fond (bruit additif gaussien)
- Interférence co-canal  $\Rightarrow$  assimilé à du bruit additif gaussien
- Interférence canal adjacent  $\Rightarrow$  souvent négligée
- Autres sources d'interférences  $\Rightarrow$  négligées



# Mesures de Qualité:

## □ Rapport Signal sur Bruit (Signal to Noise Ratio)

$$SNR = \frac{P_S}{P_{bruit}}$$

## □ Rapport Signal sur Interférence et Bruit (Signal to Interference & Noise Ratio)

$$SINR = \frac{P_S}{P_{bruit} + P_{interference}}$$

## □ Rapport Signal sur Intérférence (Signal to Interference ratio)

$$SIR = \frac{P_S}{P_{interference}} = \frac{P_s}{\sum_{j=1}^K I_j}$$

$P_s$ : puissance du signal utile

$P_{bruit}$ : puissance du bruit

$P_{interference}$ : puissance des interférences

$K$ : nbre de cellules co-canal

## □ En Réseau cellulaires on ne considère que les interférences

$$P_{bruit} \lll P_{Interference}$$

# Borne inférieure du SIR tolérable / fiable :

## □ Borne inférieure tolérable :

- Les Cellules co-canal, doivent être suffisamment espacées pour que les interférences entre utilisateurs dans les cellules co-canal ne dégrade pas la qualité du signal au **dessous** d'un **niveau tolérable**.

### Niveau minimum tolérable du SIR

Des tests subjectifs ont affirmé que la plupart des gens considèrent que pour un signal FM (utilisant un canal de largeur de bande 30 kHz) soit clair (perceptuellement), il faut que la puissance du signal soit au moins **soixante fois** supérieure à la puissance de bruit ou brouillage.

⇒

$$10 \log_{10}(60) = 17.78 \simeq 18 \text{dB}$$

# Puissance reçue:

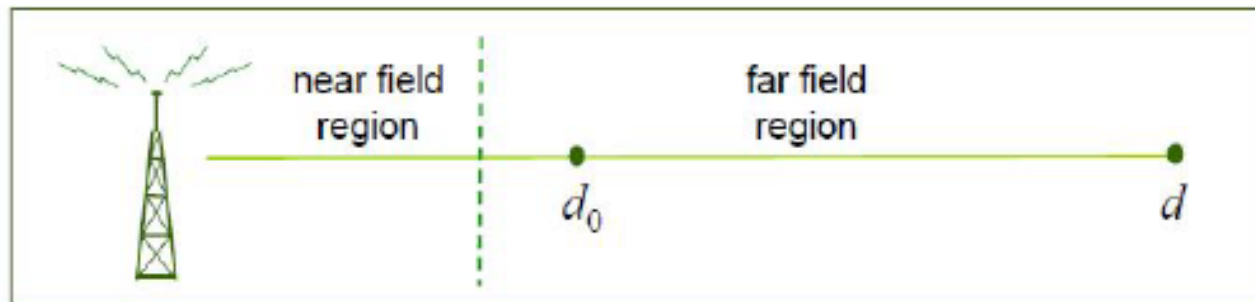
Pour une antenne, la puissance reçue à une distance  $d$  est donnée par

$$P_r(d) = P_r(d_0) \frac{d^{-\gamma}}{d_0^{-\gamma}}$$

$d_0$ : la distance de l'antenne d'émission vers le point de référence (de 1 à 100 m)

$P_r(d_0)$ : puissance reçue à proximité d'un point de référence  $d_0$  dans la région de champ lointain de l'antenne.

$\gamma$  exposant de perte de trajet (entre 2 et 4 dans les zones urbaines)



# Calcul de l'interférence co-canal:

## □ Calcul de l'interférence co-canal des cellules voisines:

Le SIR est

$$\frac{P_s}{\sum_{j=1}^K I_j}$$

il devient

$$\frac{R^{-\gamma}}{\sum_{j=1}^K (D_j)^{-\gamma}}$$

Avec

$R$  : Rayon de la cellule;

$D_j$ : distance depuis le BTS de la jème cellule et le mobile;

$K$ : nb des cellules co-canal d'interférence (de premier niveau)

# Calcul de l'interférence co-canal:

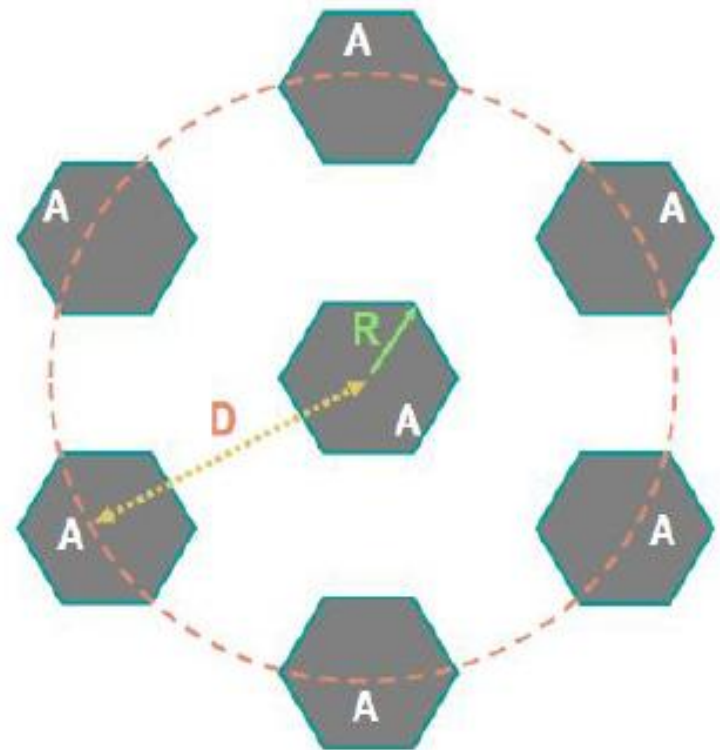
## □ Le cas favorable

Si Même distance est considérée :  $D_j = D$ .

$$\begin{aligned} SIR &= \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{j=1}^K (D)^{-\gamma}} \\ &= \frac{(D/R)^{\gamma}}{K} = \frac{(\sqrt{3N})^{\gamma}}{K} \end{aligned}$$

Pour une géométrie hexagonale, le nb de voisins co-canal de premier niveau est  $K=6$ .

Pour atteindre  $SIR \geq 18dB$ , il faut que  $N > 6.49$  pour  $\gamma = 4$   
 $\implies N \geq 7$  doit être utilisé pour atteindre  $SIR = 18.66dB$



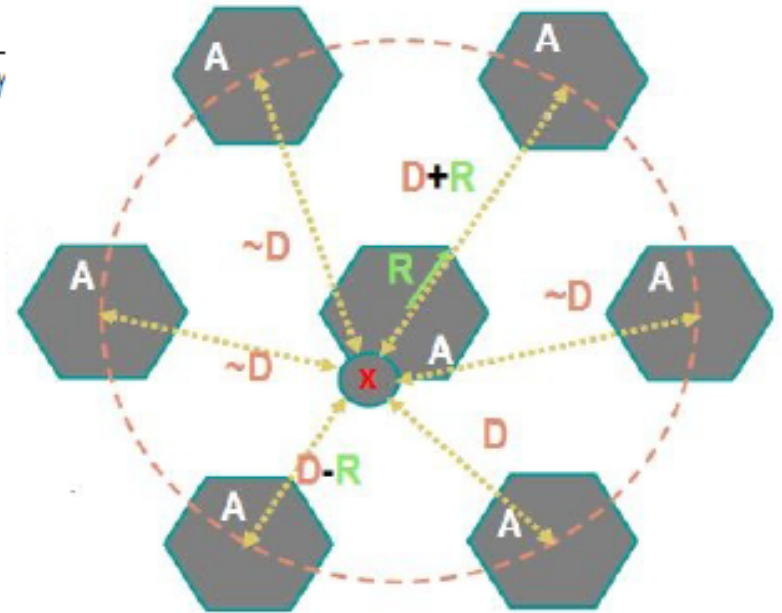
# Calcul de l'interférence co-canal:

## □ Le cas défavorable

Pire des cas: Le mobile est à la frontière de la cellule (pt x), les distances depuis x sont des approximations

$$SIR = \frac{R^{-\gamma}}{(D-R)^{-\gamma} + (D+R)^{-\gamma} + 4D^{-\gamma}}$$
$$= \frac{1}{(Q-1)^{-\gamma} + (Q+1)^{-\gamma} + 4Q^{-\gamma}}$$

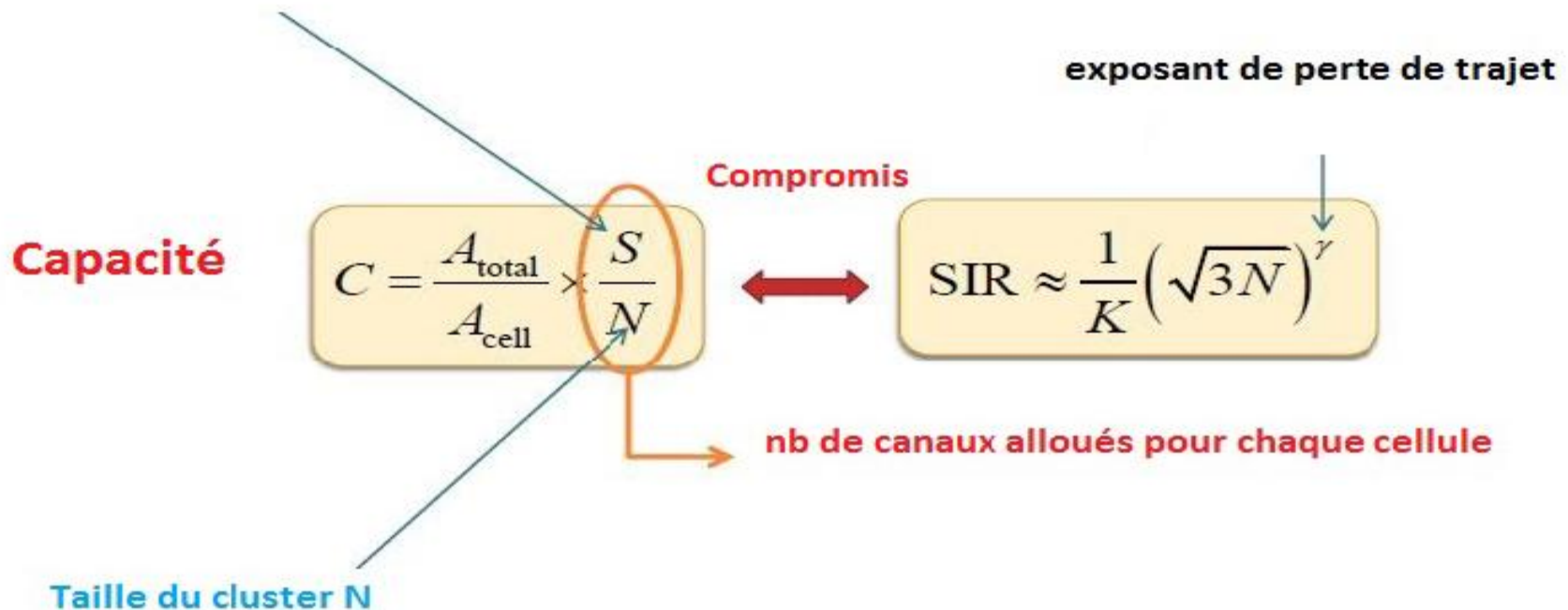
Pour  $N = 7$ ,  $Q = 4.6$ . En supposant que  $\gamma = 4 \implies SIR = 17.9 \text{ dB}$  Puisque la situation pire des cas se produit rarement,  $N = 7$  est acceptable.



# Capacité vs Qualité:

## □ Compromis Capacité Qualité

S = Nb de canaux duplex dans le système



Si N augmente, Distance D augmente  $\Rightarrow$  SIR meilleur  
Si N diminue, Capacité meilleur !

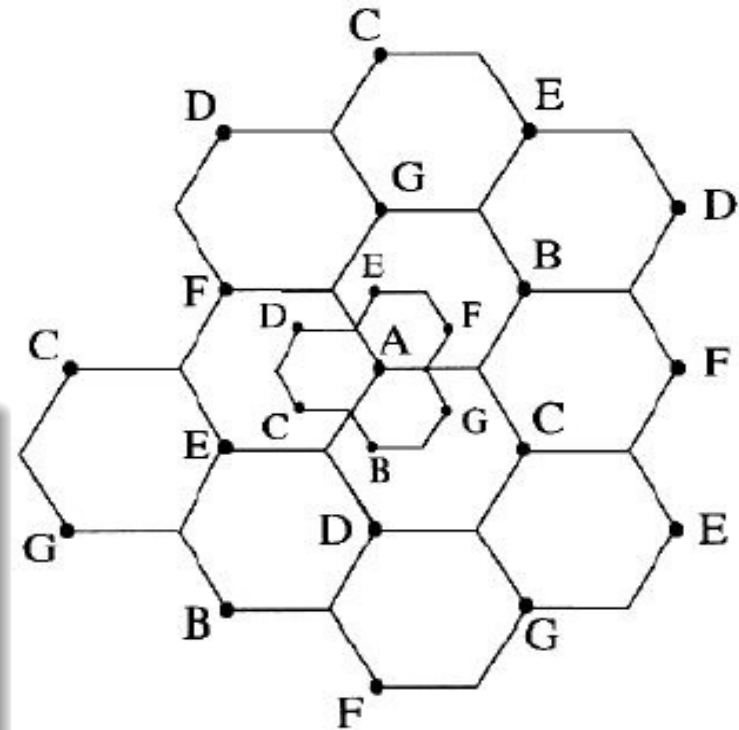
# Augmentation de Capacité & Amélioration de performance:

## ❑ Fractionnement de cellules :

- Comme la demande pour les services sans fil augmente, le nombre de canaux attribué à une cellule n'est pas suffisant pour soutenir le nombre nécessaire de utilisateurs.
- La Solution est d'augmenter les canaux par Unité de zone de couverture.

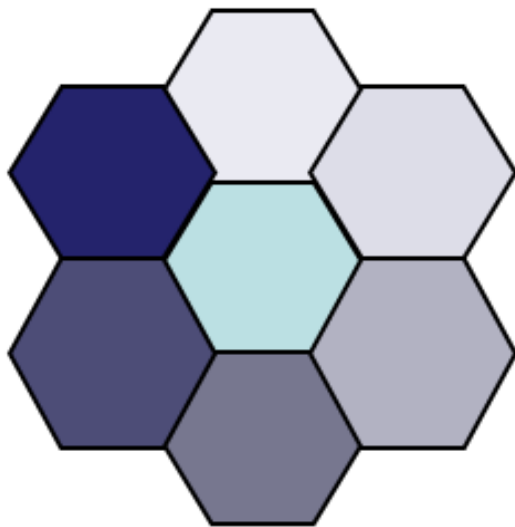
### Cell splitting: fractionnement

- Subdivise une cellule encombrée à des cellules plus petites, chacune avec sa propre station de base.
- Puisque la superficie de la cellule  $A_{cell}$  diminue, compte tenu de l'expression de la capacité  $C$ , elle augmente.

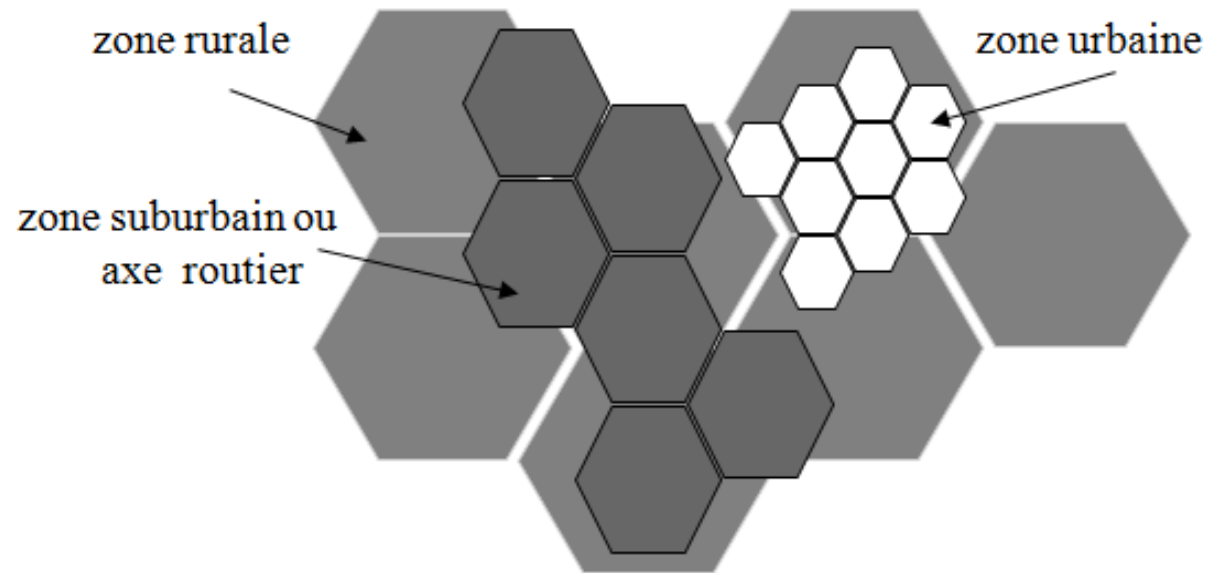


# Augmentation de Capacité & Amélioration de performance:

- Les cellules macros sont déployées selon un motif cellulaire régulier. Les autres sont utilisées pour compléter localement la couverture, formant ainsi un **réseau hétérogène**.



Motif régulier  
Réutilisation de fréquences  
Pour 7 cellules



Réseau hétérogène  
Pour augmenter la capacité, utiliser  
des cellules de faibles tailles

# Augmentation de Capacité & Amélioration de performance:

## □ Sectoring : Antennes



Directionnelles

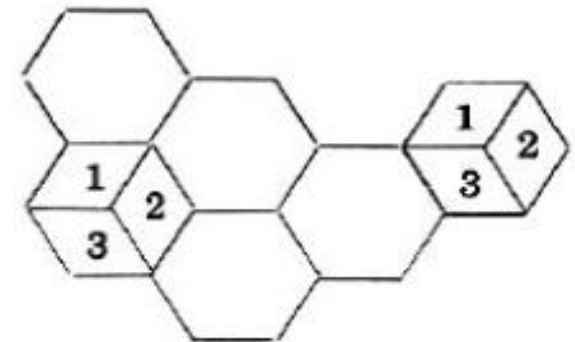


Omnidirectionnelles

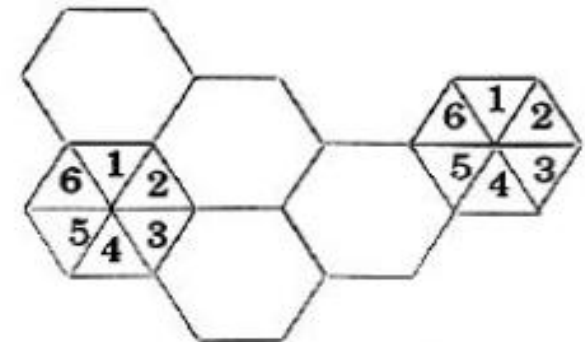
# Augmentation de Capacité & Amélioration de performance:

## □ Sectoring

- **Sectoring:** La technique de réduction d'interférences co-canal par l'utilisation d'antennes directionnelles.
- L'antenne omni-directionnelle unique au BTS est remplacée par plusieurs antennes directionnelles, chacune rayonnant dans un secteur donné.
- Une cellule va recevoir moins d'interférences co-canal.



(a) 120° sectoring

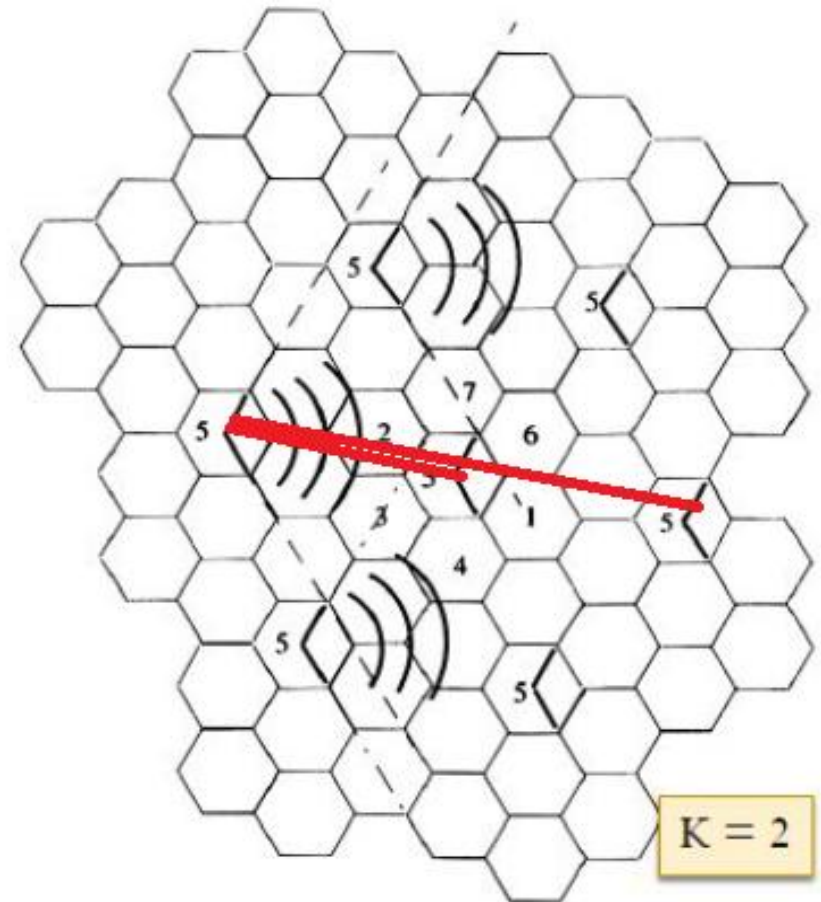


(b) 60° sectoring

# Augmentation de Capacité & Amélioration de performance:

## □ Sectoring 120°

En supposant que le le facteur de réutilisation  $N=7$ , pour le cas de 120° sectoring, le nombre des cellules co-canal interférentes est réduit de six à deux



⇒ K change de 6 à 2

# Augmentation de Capacité & Amélioration de performance:

## □ Avantages & Inconvénients:

Sachant que  $SIR = \frac{(\sqrt{3N})^\gamma}{K}$  ;  $C = \frac{A_{total}}{A_{cell}} \times \frac{S}{N}$

### ● Avantages :

- Réduire les interférences en réduisant K
- Augmenter SIR (une meilleure qualité de l'appel).
- L'augmentation du SIR peut nous permettre de réduire de la taille de cluster (N) pour augmenter la capacité.

### ● Inconvénients

- Augmenter le nombre d'antennes à chaque station de base.
- Les canaux disponibles dans la cellule doit être subdivisée et dédiés à une antenne directionnelle spécifique.