

Chapitre 2: Concept cellulaire; Système première génération G1

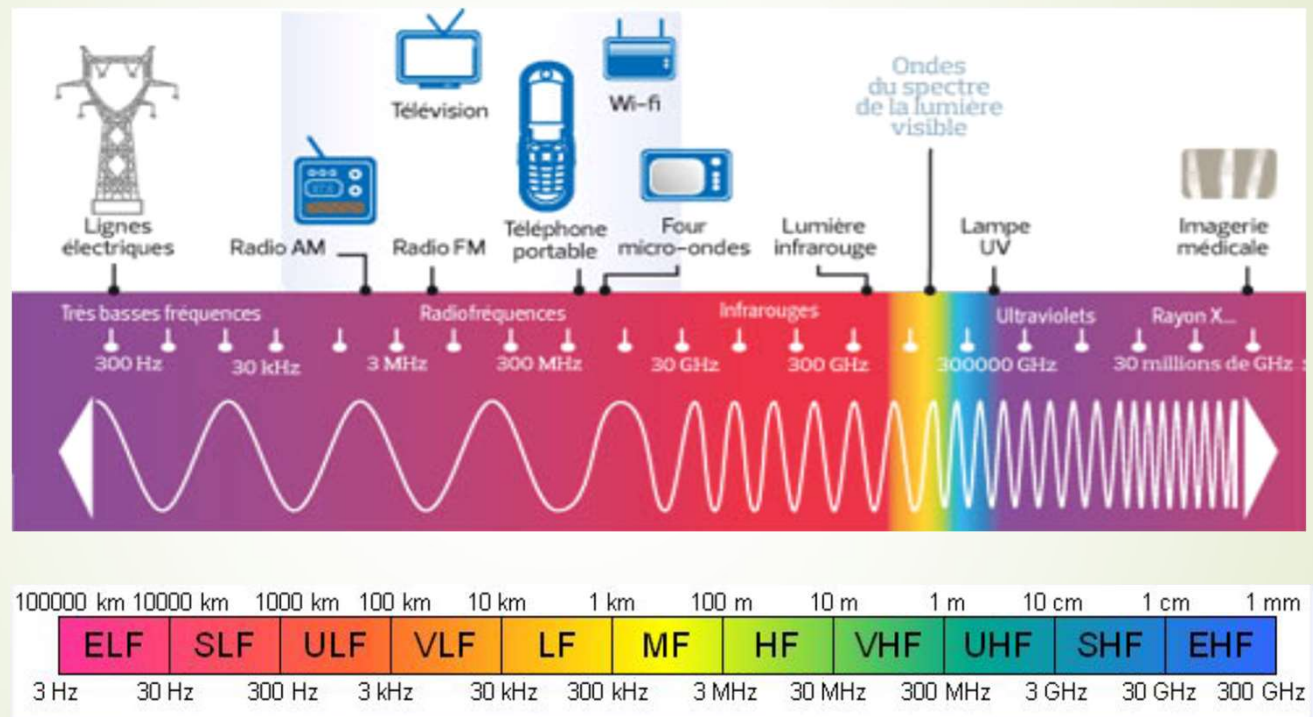
Réseaux Mobiles

Fatma Louati Ben Mustapha – kaouther Sethom

2^e Ingénieur informatique – Enicarthage

2020-2021

Le spectre



UHF (Ultra High Frequency) : De 300 MHz à 3 GHz = Radiofréquences

Allocation du spectre

- 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).
 - Tunisie : Agence Nationale de la fréquence (ANF).



4

Concept cellulaire

Problématique

- Comment desservir une région de taille importante ?
 - Répartir aussi efficacement que possible une bande de fréquences limitée entre de très nombreux utilisateurs.
 - Gérer une densité de trafic importante, variable dans le temps et dans l'espace

Situation de départ

1. Attribution à chaque application (radio, télévision, téléphones, etc.) des groupes de fréquences
 - Ex: en Europe, la téléphonie mobile GSM (*Global System for Mobiles*) a reçu deux groupes de fréquences : autour de 900 MHz et autour de 1800 MHz.

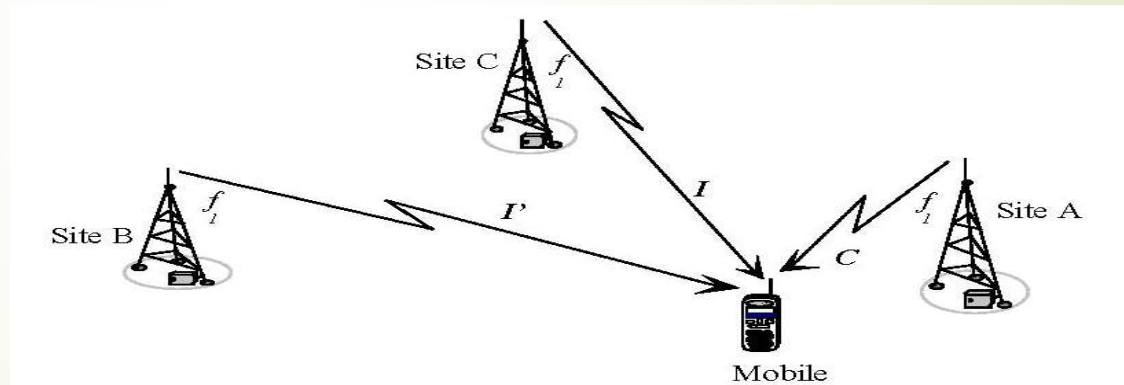
| | Émission (MHz) | Réception (MHz) |
|----------|-------------------|--------------------|
| Groupe 1 | 890-915 | 935-960 |
| Groupe 2 | 1710-1785 | 1805-1880 |

Situation de départ

1. Attribution à chaque application (radio, télévision, téléphones, etc.) des groupes de fréquences
2. Subdivision en canaux:
 - En GSM l'écart fréquentiel entre deux canaux adjacents a été fixé à 0,2 MHz.
 - ⇒ Le groupe 1 peut contenir 125 canaux
 - ⇒ Le groupe 2 peut contenir 375 canaux
 - ⇒ Ce qui fait 500 au total.
 - S'il n'y avait qu'un émetteur pour toute l'Europe, on ne pourrait effectuer que 500 communications à la fois !

1ère solution

- Installation d'un grand nombre d'émetteurs à courte portée (varie de 1 à 30 km).
- Chaque émetteur couvre une zone géographique bien délimitée appelée « **une cellule** » (zone couverte par une antenne) d'où le terme « **téléphonie cellulaire** ».



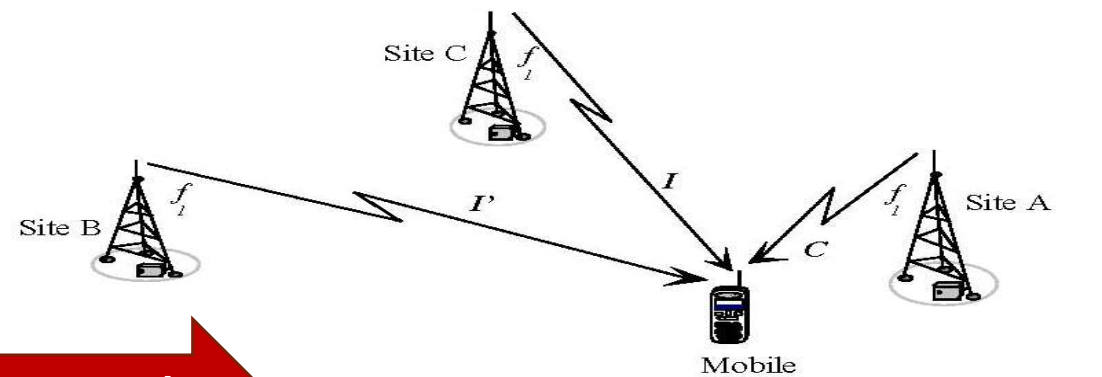
=> Concept cellulaire avec **réutilisation des fréquences**:

- Utilisation des mêmes fréquences porteuses pour couvrir des zones différentes séparées par des distances suffisantes

1ère solution

=> Concept cellulaire avec **réutilisation des fréquences**:

- Utilisation des mêmes fréquences porteuses pour couvrir des zones différentes séparées par des distances suffisantes



Problème d'interférence co-canal

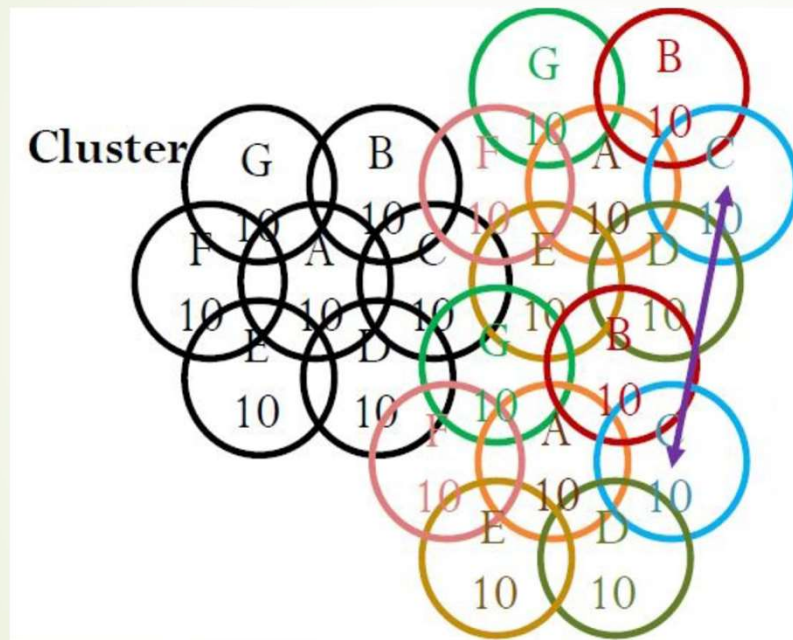
- Si toutes les antennes adjacentes utilisent les mêmes fréquences pour leurs utilisateurs.
- Si un terminal se situe à la frontière entre les deux zones de portée, il reçoit deux signaux qui se perturbent mutuellement.

2ème solution

- Deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences => Organisation du spectre fréquentiel d'une manière sous-optimale:
 - On définit des motifs (aussi appelés **clusters**) constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois.
- **Cluster**
 - Un cluster est un ensemble de cellules dans lequel chaque cellule utilise des fréquences différentes. Les fréquences de la cellule peuvent être réutilisés 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.

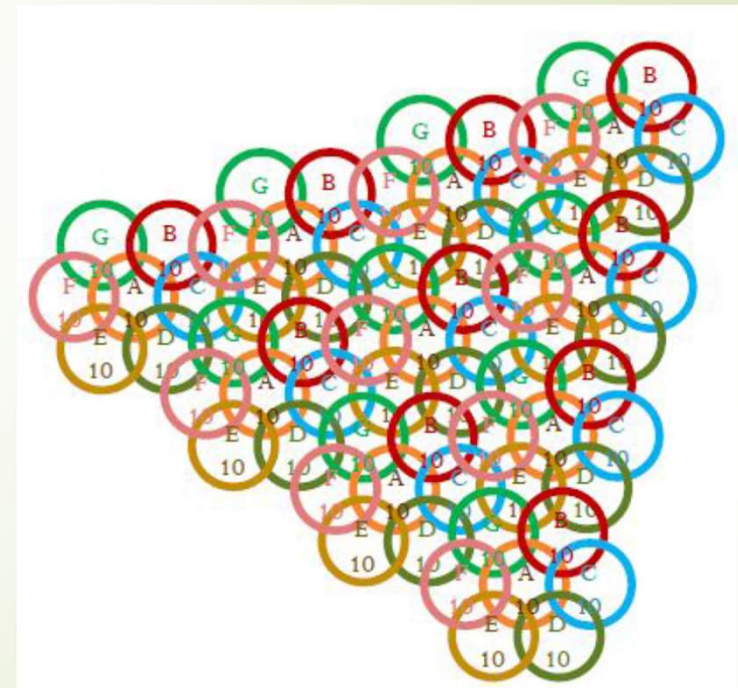
2ème solution

- Cluster: exemple Taille N=7



- Pour augmenter la capacité, utiliser des cellules de faible taille.

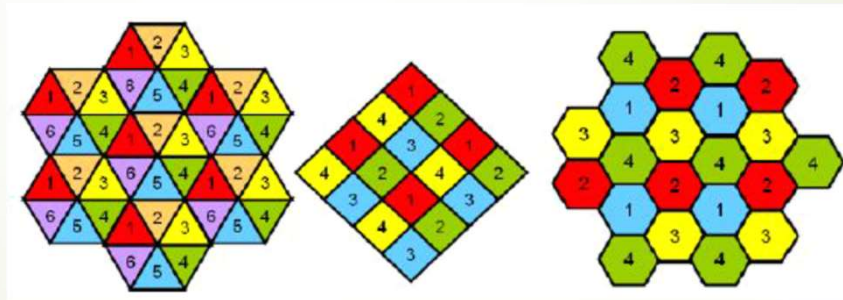
=) Capacité du système = nb d'utilisateurs simultanés



2ème solution

Cluster: la forme hexagonale

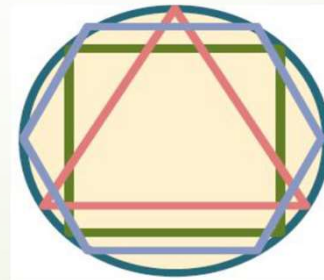
- Les antennes rayonnent selon une forme circulaire (vue de dessus).
- Problème: les cellules circulaires ne peuvent pas être superposées sur une carte sans laisser des zones non couvertes ou sans créer des zones de chevauchement.
- 3 choix: Triangle équilatéral ou carré ou Hexagon



2ème solution

► Cluster: la forme hexagonale

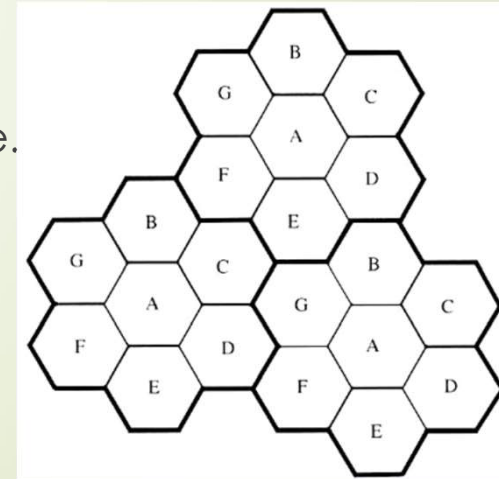
- Une cellule doit être conçue pour servir les mobiles les plus faibles au sein de l'empreinte (forme), et ceux-ci sont généralement situés à la frontière de la cellule.
- L'hexagone possède la plus grande superficie parmi les trois formes.
- En utilisant la géométrie hexagonale, le plus petit nombre de cellules peut couvrir une région géographique
- L'hexagone décrit mieux un cercle



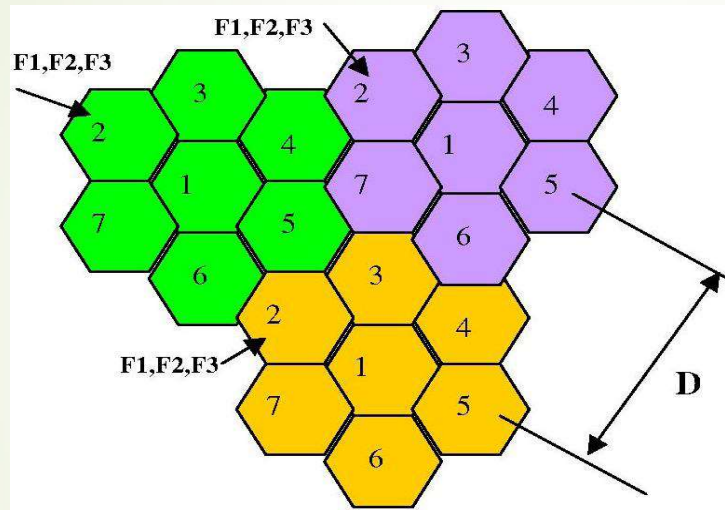
2ème solution

Cluster: la forme hexagonale

- 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, l'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.

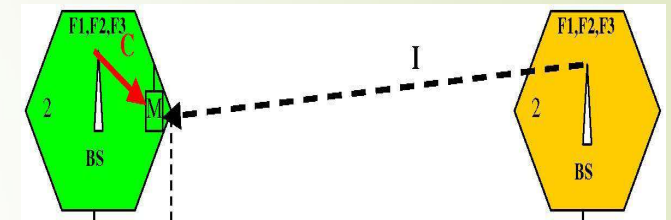


2ème solution



D: Distance inter motif

réutiliser les mêmes fréquences à une distance suffisante pour éviter les interférences..



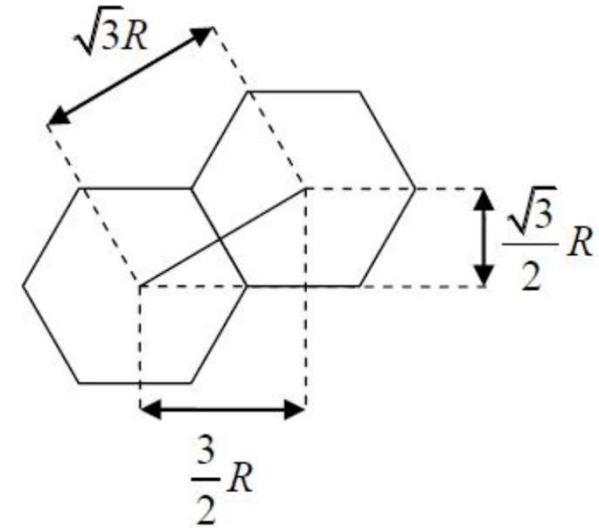
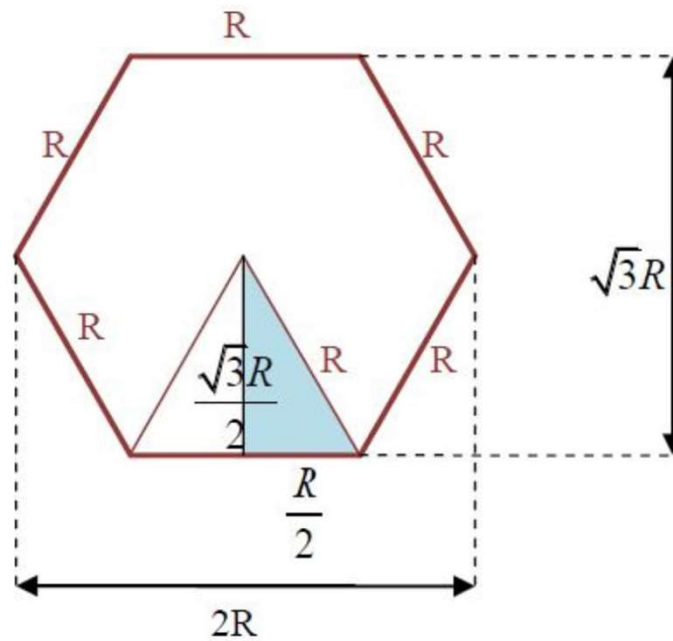
“Réutiliser” F1, F2, F3 si
 $\frac{C}{I} > \text{seuil (e.g. 7 dB)}$

C = signal utile

I = signal d'interférence

En fait

► Géométrie de l'hexagone



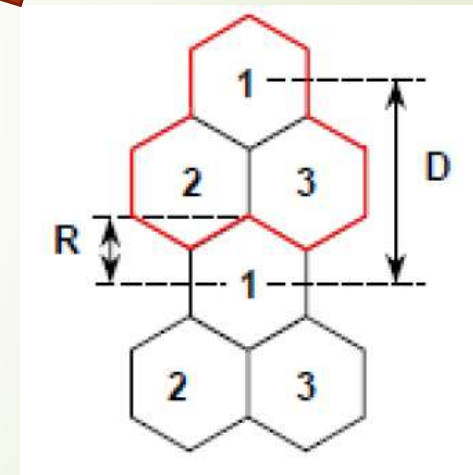
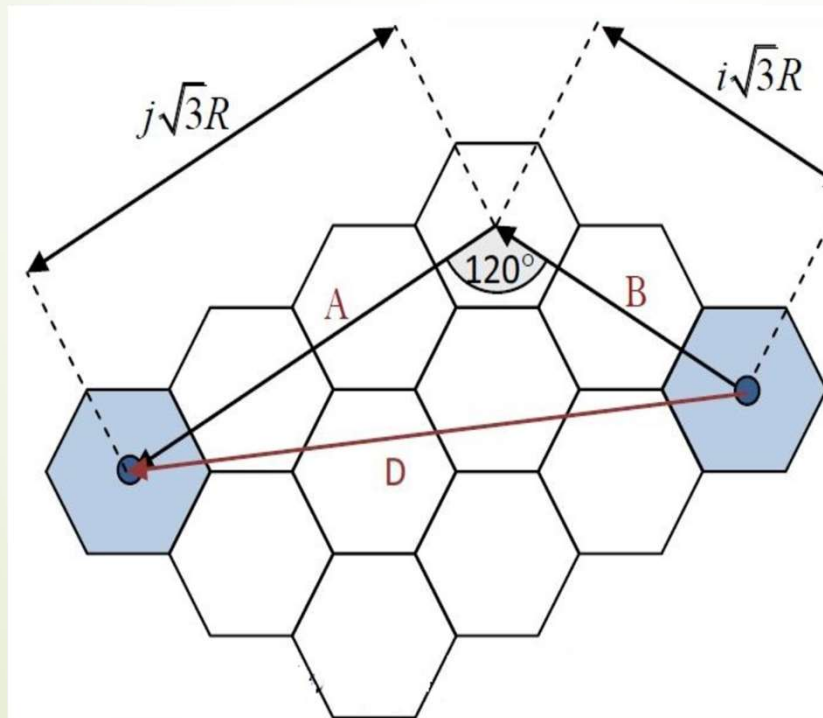
$$\text{Area} = 6 \times 2 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} R \times \frac{1}{2} R \right) = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \approx 2.598 R^2$$

Et donc...

► D: Distance inter motif :

► Distance de réutilisation: $D^2 = A^2 - 2AB\cos(\theta) + B^2$

► $D = R\sqrt{3(i^2 + j^2 + ij))} = R\sqrt{3N}$

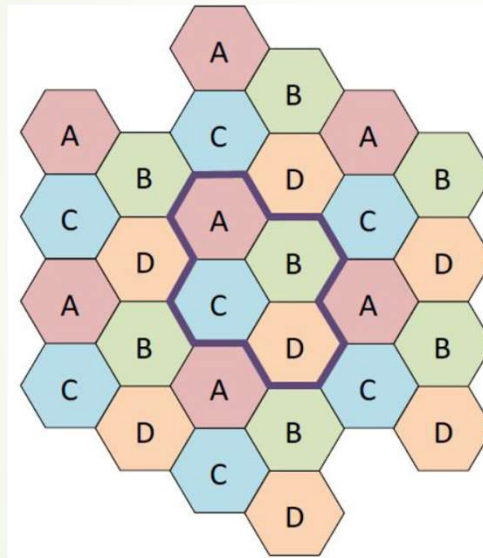


$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

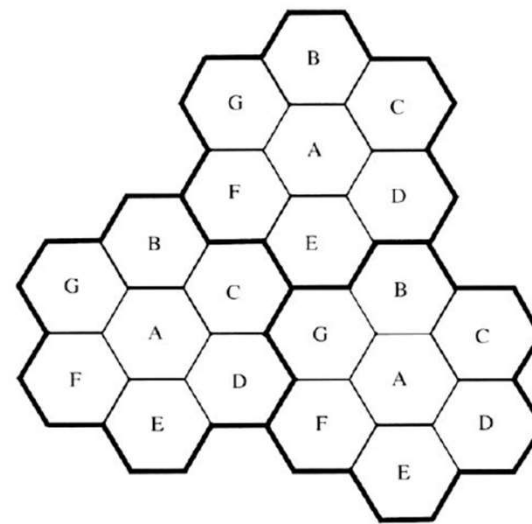
R: rayon de la cellule
N: taille du motif

Réutilisation de fréquence

- Exemples: $N = 4$



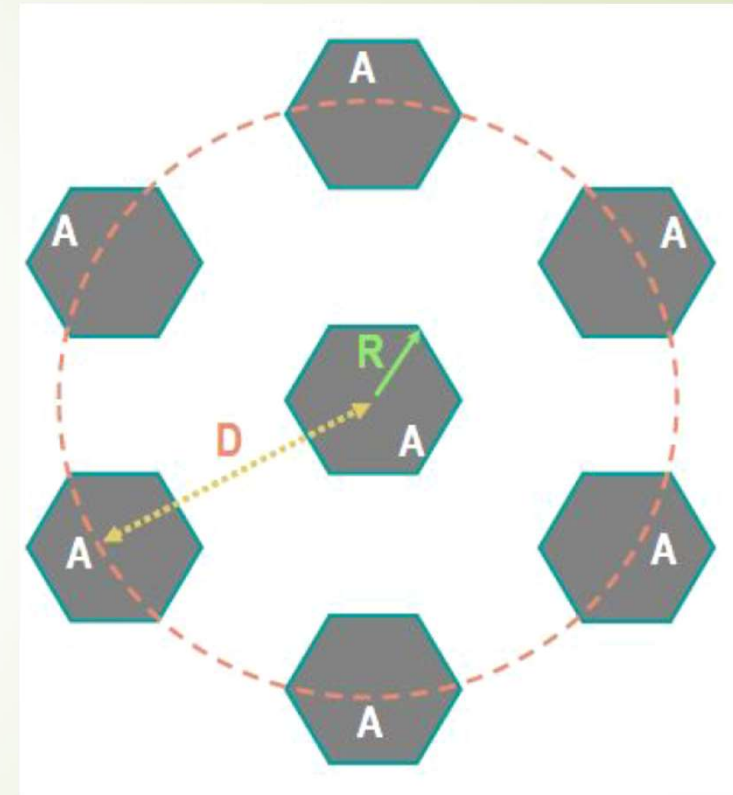
$N = 7$



- Facteur de réutilisation de fréquence = $1/N$
- Chaque cellule utilise $1/N$ des canaux existants

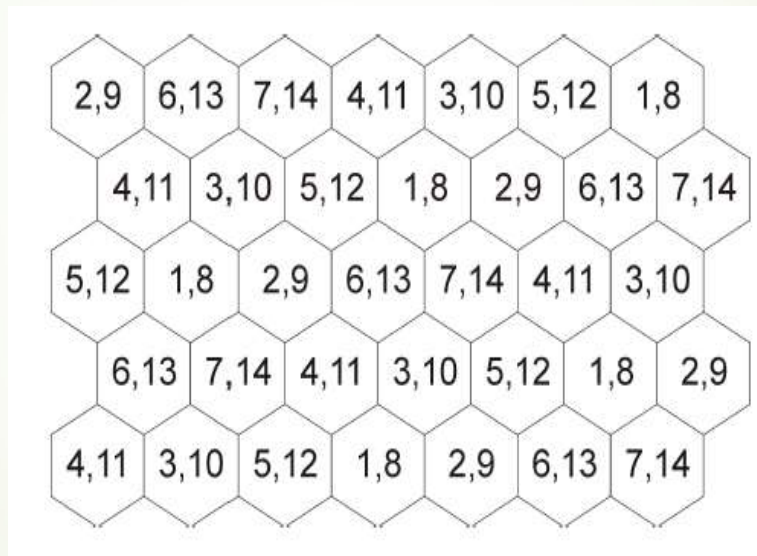
Taux de réutilisation co-canal

- R = Rayon de la cellule (du centre au vertex)
- D = Distance de réutilisation de fréquence
- Taux de réutilisation co-canal :
 - $Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$



Exemple

- Opérateur avec 14 fréquences
 - Planication avec un motif de taille 7



Qualité du signal dans le concept cellulaire

- Mesures de qualité de signal:

- Signal to Noise Ratio **SNR** = $\frac{S}{P_{\text{bruit}}}$

- Signal to Interférence & Noise Ratio **SINR** = $\frac{S}{P_{\text{bruit}} + P_{\text{Interférence}}}$

- Signal to Interférence Ratio **SIR** = $\frac{S}{P_{\text{Interférence}}}$

- 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

- Des tests subjectifs ont affirmé que la plupart des gens considèrent que pour qu'un signal FM (utilisant un canal de largeur de bande 30 kHz) soit clair (perceptible), il faut que la puissance du signal soit au moins soixante fois supérieure à la puissance de bruit ou brouillage \longleftrightarrow SIR \approx 18 dB

Qualité du signal dans le concept cellulaire

- Dans les systèmes cellulaire, on ne considère que les interférences, ce qui signifie que la puissance d'interférence est beaucoup plus grande que la puissance de bruit

- SIR = Interférence co-canal; la mesure de qualité la plus importante

$$\text{➤ SIR} = \frac{S}{P_{\text{Interférence}}} = \frac{S}{\sum_{j=1}^K I_j} = \dots = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{j=1}^K (D_j)^{-\gamma}}$$

- Avec

- R : Rayon de la cellule;
 - I_j : Puissance d'interférence causé par le BTS de la jème cellule co-canal;
 - D_j : distance depuis le BTS de la jème cellule et le mobile;
 - K: nb des cellules co-canal d'interférence (de premier niveau)
 - γ : exposant de perte de trajet (entre 2 et 4 dans les zones urbaines)

Qualité du signal dans le concept cellulaire

- SIR = Interférence co-canal;

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

- Avec

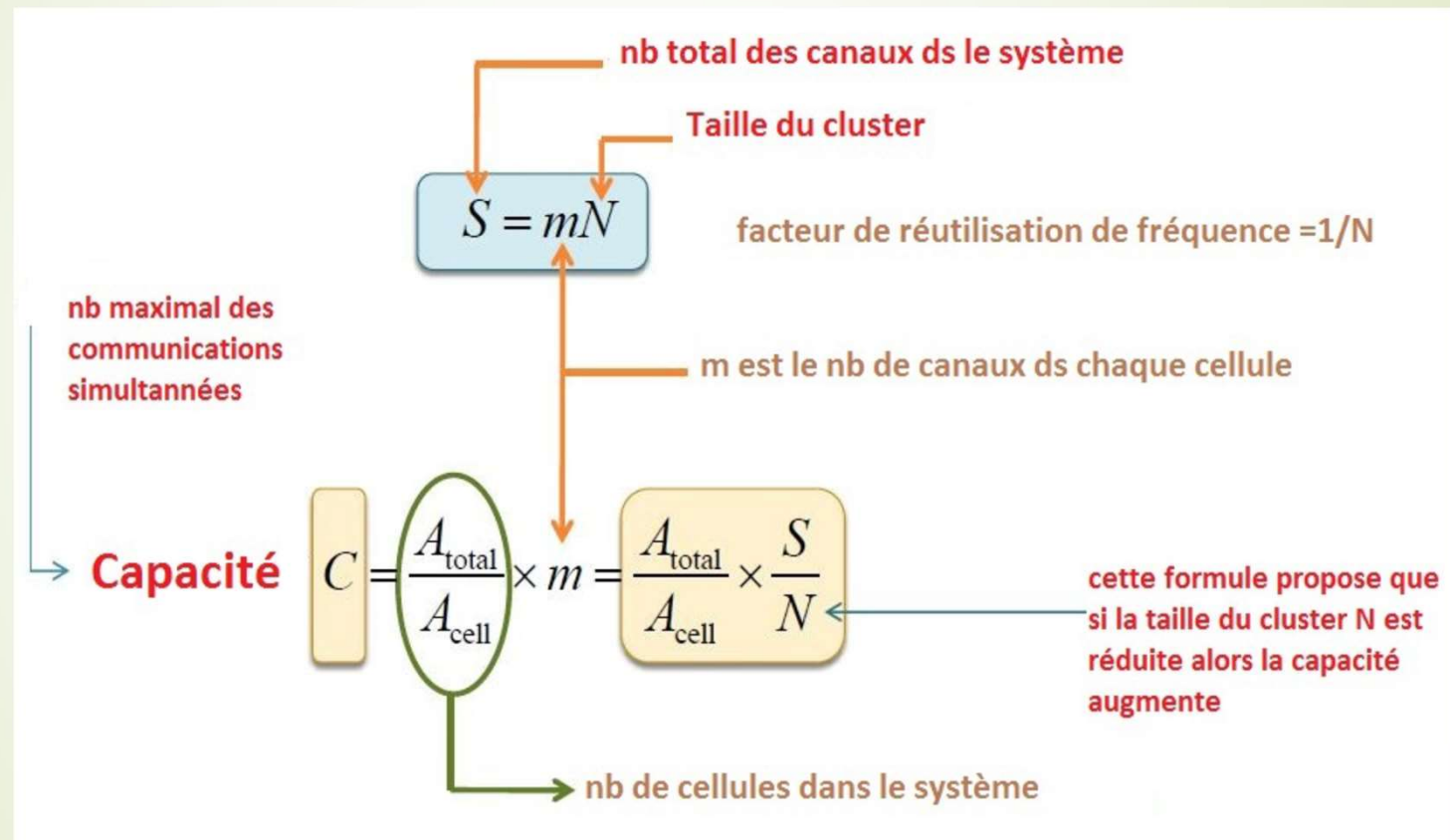
- R : Rayon de la cellule;
- D_j : distance depuis le BTS de la jème cellule et le mobile;
- K: nb des cellules co-canal d'interférence (de premier niveau)
- γ :exposant de perte de trajet (entre 2 et 4 dans les zones urbaines)

- Si on considère la même distance D pour toutes les cellules

- $$\text{SIR} = \frac{(\sqrt{3N})^\gamma}{K}$$

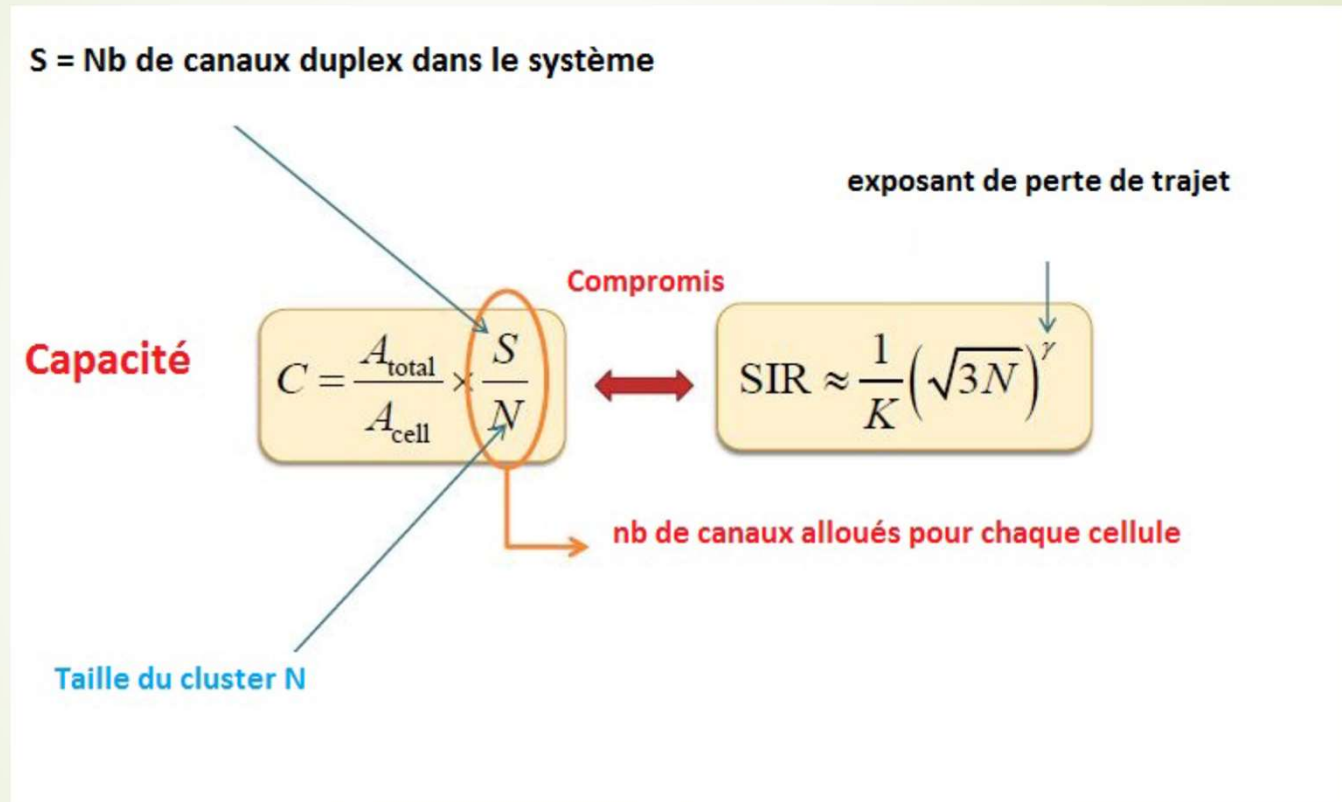
- Pour une géométrie hexagonale, le nb de voisins co-canal de premier niveau est K=6.
- Pour atteindre $\text{SIR} \geq 18\text{dB}$, il faut que $N > 6,49$ pour $\gamma = 4$
- Pour atteindre $\text{SIR} = 18,66\text{dB}$ on doit avoir $N = 7$

Capacité



- Des valeurs réduites de N peut engendrer des interférences

Capacité vs. SIR / Quantité vs. qualité



- Si N augmente, SIR meilleur
- Si N diminue, Capacité meilleure !

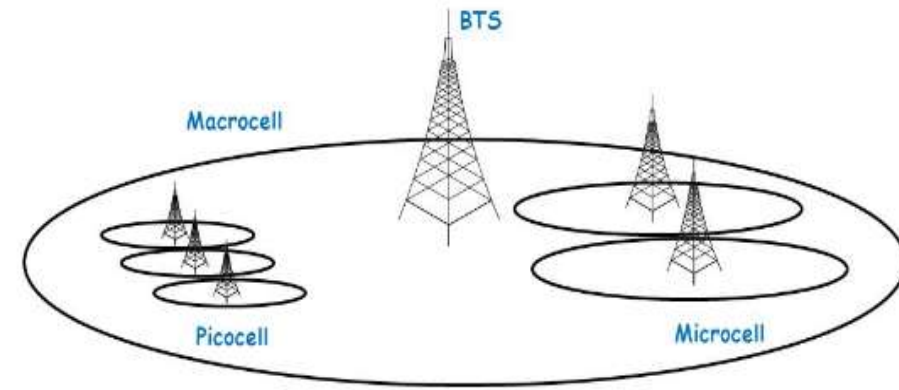
Pourquoi donc le concept cellulaire ?

- 3 Enjeux:
 - Réduire la puissance de transmission
 - Augmenter la capacité du système
 - étaler la couverture par autant de cellules que nécessaire
 - augmenter le nombre maximum des utilisateurs accédant au réseau.
 - Réduire les interférences.

Définition d'une cellule

- **Surface géographique** dont les limites sont fixées par :
 - Puissance transmise et la sensibilité des récepteurs,
 - Rapport C/I fixé par le système,
 - Capacité à gérer le maximum de communications possibles sur la surface allouée avec la QoS demandée,
 - Intégration de la cellule dans l'environnement (CEM, supports matériels, ...)

Les types de cellules



- **Picocellule:** espace de desserte de quelques mètres de diamètres.
- **Microcellule:** surface géographique de quelques dizaines de mètres de diameter
- **Cellule:** superficie dont le diamètre varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.
- **Macrocellule:** étendue géographique de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres de diamètre.
- **Cellule parapluie:** région de quelques centaines de kilomètres de diamètre.

Systeme cellulaire premiere generation G1

Caractéristiques du G1

- Les premiers réseaux téléphoniques cellulaires
- Au début des années 80, le système de 1ère génération le plus répandu en Amérique du Nord a été **AMPS (Advanced Mobile Phone Service)**, développé par AT&T
- 2 bandes de 25 Mhz sont allouées à l'AMPS:
 - Une bande pour les transmissions des stations de base vers les mobiles, l'autre pour les transmissions des mobiles vers les stations de base
- Chacune de ces bandes est divisée en 2 pour encourager la concurrence
- Chaque opérateur reçoit donc seulement une bande de 12,5 Mhz dans chaque direction
- Les canaux sont espacées de 30 kHz, ce qui autorise un total de 416 canaux par opérateur dont 21 sont dédiés au contrôle

Caractéristiques du G1

- Les canaux de contrôle sont des canaux de données opérant à 10 kbit/s
- Les canaux voix transportent les communications par signaux analogiques modulés en fréquence
 - Bande de transmission de station de base: 869 à 894 MHz
 - Bande de transmission du mobile: 824 à 849 MHz
- Espacement entre canaux montant et descendant: 45 MHz
- Largeur de bande d'un canal: 30 kHz
- Puissance maximale du mobile: 3 W
- Taille d'une cellule: 2 à 20 km
- Débit de transmission: 10 kbit/s

Fonctionnement d'AMPS



- Chaque téléphone cellulaire AMPS inclut un module **NAM** (Numeric Assignment Module) dans une mémoire en lecture seule
 - Ce module contient le numéro de téléphone et **le numéro de série de l'appareil**
- A chaque mise en service du téléphone, ces informations sont transmises au **centre de commutation**
- En cas de vol, le numéro de série sert à bloquer tout appel
- Le numéro de téléphone sert à la facturation des appels

G1: déroulement d'un appel

- L'abonné initie un appel en composant le numéro voulu et appuie sur la touche d'envoi
- Le centre de commutation vérifie les droits associés à l'utilisateur, à son numéro de téléphone et au numéro de série de l'appareil (existence ou pas du numéro de série dans la base de données des appareils volés)
- Le centre envoie les canaux de trafic à employer pour l'envoi et la réception
- Le centre envoie un signal d'appel à l'appareil appelé. Toutes ces opérations se font dans un délai de 10 s à partir de l'appel
- Lorsque la personne appelée répond, le centre établit un circuit entre les 2 interlocuteurs et débute l'enregistrement des informations de facturation
- Lorsque l'un des interlocuteurs raccroche, le centre libère le circuit, les canaux radios utilisés et met fin à l'enregistrement

Conclusion

- La téléphonie mobile est un moyen de télécommunication par téléphone sans fil. Ce moyen de communication s'est largement répandu vers la fin des années 1990.
- Grâce à la téléphonie mobile, l'abonné a la possibilité de passer sa communication à n'importe quel endroit (en voiture, en train, à pied...) en état de mobilité ou pas.
- Le concept cellulaire = concept de base des réseaux de téléphonie mobile
- G1: première génération de réseaux mobiles
- A vite laissé la place au réseau 2^{ème} génération 2G ou GSM