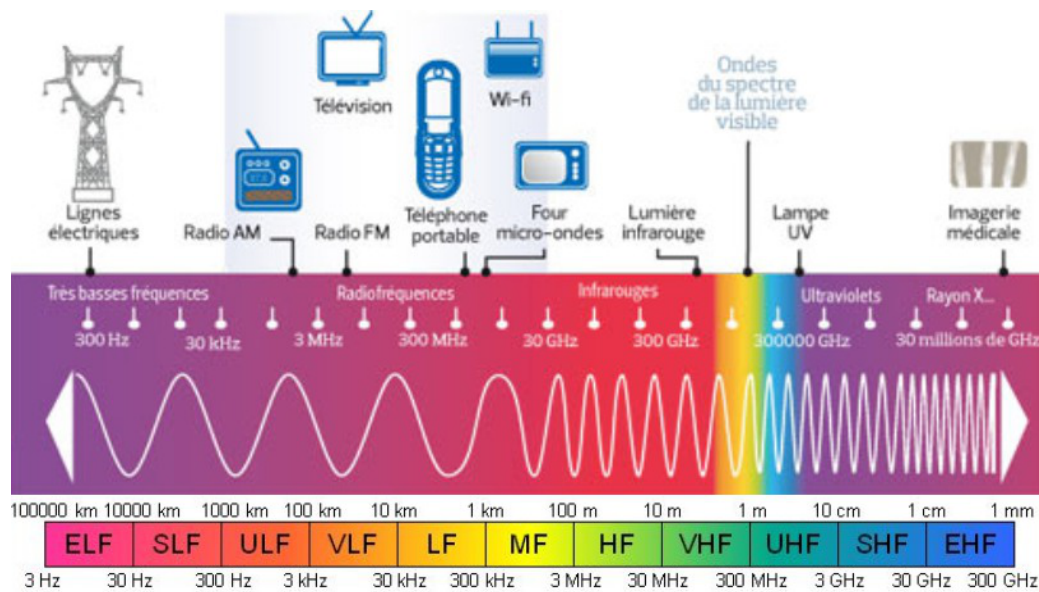


Gestion de la ressource radio



Équipe Pédagogique Réseau Informatique @
UVCI 2018

Table des matières



I - Objectifs	3
II - Introduction	4
III - Notion de cellule	5
1. Concept cellulaire	5
2. Cellule	5
3. Forme d'une cellule	6
4. Mécanisme de réutilisation des fréquences	6
5. Exercice	7
IV - Motif et distance de réutilisation de fréquence	8
1. Motif ou Cluster	8
2. Motif régulier	8
3. Le code de couleur BSIC (Base Station Identity Code)	9
4. Distance et taux de réutilisation	9
5. Capacité du système et nombre de cellules	10
6. Concept de réseaux multicouches	11
7. Exercice	12
V - Solutions des exercices	14



Objectifs

- *Expliquer* le rôle d'une cellule dans la mise en œuvre d'un réseau de mobiles
- *Expliquer* comment les cellules sont utilisées pour couvrir une zone géographique

Introduction



Les réseaux de mobiles utilisent la voie hertzienne pour le transport de l'information sans interruption. De ce fait, ce type de réseau est constitué de cellules qui recouvrent un territoire donné.



Notion de cellule

Objectifs

Expliquer le rôle d'une cellule dans la mise en œuvre d'un réseau de mobiles

1. Concept cellulaire

Dans un réseau GSM, le territoire est découpé en petites zones appelées *cellules*. Le concept cellulaire est le principe de base d'un réseau de mobiles. Il est basé sur :

- La division de l'espace géographique en cellules (desservies chacune par une ou plusieurs BTS) qui est la conséquence du champ de rayonnement d'un panneau ou antenne GSM ;
- Le partage des canaux de fréquences radio entre les cellules est basé sur le principe de réutilisation des fréquences radio dans plusieurs cellules selon la capacité du système à résister aux interférences ;
- Le handover qui est le changement de cellules sans interruption de la communication.

Trois (03) enjeux expliquent les raisons de l'utilisation du concept cellulaire :

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

2. Cellule

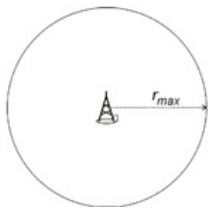
Une cellule est le résultat du champ de rayonnement des panneaux (ou antennes) GSM. Nous avons deux sortes de panneaux GSM :

- Les *panneaux directionnels* ou *antennes directionnelles* qui rayonnent dans une seule direction en général dans un angle de 120° . Il en existe *trois* (3) généralement sur un pylône (BTS). Ce nombre est fonction de la politique de planification de l'opérateur ;
- Et les *panneaux omnidirectionnels* ou *antennes omnidirectionnelles* qui rayonnent sur 360° .



Figure 1 : Quelques exemples d'antennes directionnelles et omnidirectionnelles

3. Forme d'une cellule



- En première approximation, une cellule est un *disque de rayon r_{\max}* .
- Pour avoir une couverture *sans trou*, il faut un *recouvrement* des cellules.
- Ainsi on obtient un maillage des stations de base selon une grille hexagonale afin d'obtenir une *meilleure compacité* (voir Figure 2).

De ce fait, une cellule a une forme plus ou moins *hexagonale* sinon de façon idéale elle est *circulaire*.

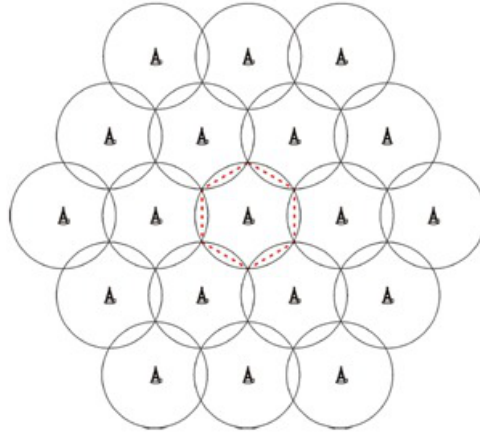


Figure 2 : Recouvrement de cellules circulaires

Nous notons cependant différentes formes de cellules en fonction de la couverture :

- *Couverture fictive* : c'est une zone formée de cellules hexagonales
- *Couverture idéale* : c'est une zone formée de cellules circulaires.
- *Couverture réelle* : c'est une zone formée de cellules qui peuvent prendre tout genre de forme à cause des obstacles tels que des immeubles, des arbres, des montagnes etc...

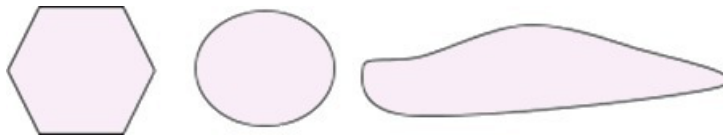


Figure 3 : Différentes formes de cellule (hexagonale, circulaire et quelconque)

4. Mécanisme de réutilisation des fréquences

Ce mécanisme repose sur l'atténuation que subissent les ondes radio lorsqu'elles se propagent dans l'atmosphère. Lorsqu'on se trouve loin d'un émetteur, le signal envoyé par, celui-ci est très faible. On peut alors utiliser la même fréquence lointaine sans crainte d'interférence; *le signal local étant plus puissant que le signal lointain*.



Complément : Allocation du spectre de fréquence

Les ressources spectrales étant limitées, leur gestion est confiée à des structures spécialisées. Ainsi chaque pays a une agence gouvernementale qui est chargée de les contrôler et les allouer. Ce sont :

- Au niveau mondiale : International Telecommunications Union (*ITU*).
- USA : Federal Communications commission (*FCC*).
- EU : European Telecommunications standards Institute (*ETSI*).
- Côte d'Ivoire : l'Agence Ivoirienne de Gestion de la Fréquence radioélectrique. (*AIGF*)
- Tunisie : Agence Nationale de la fréquence (*ANF*),

5. Exercice

[Solution n°1 p 14]

Exercice

Dans un réseau GSM, le territoire à couvrir est subdivisé en .

Une cellule est le résultat du de rayonnement des antennes GSM.

Le partage de canaux entre cellule réponds au principe de des fréquences.

Exercice

Le GSM adopte le concept cellulaire dans le but

- ☐ de couvrir toute la zone géographique
- ☐ de résister au foudre
- ☐ d'optimiser la capacité du réseau
- ☐ d'augmenter le coût des transactions

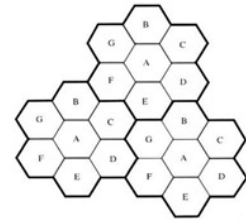
Motif et distance de réutilisation de fréquence



1. Motif ou Cluster

Le réseau GSM utilise un réseau maillé formé d'émetteurs/récepteurs dispersés sur une zone à couvrir. Deux émetteurs voisins utilisent des fréquences différentes mais des émetteurs éloignés réutilisent les mêmes fréquences selon le principe de réutilisation des fréquences.

- En pratique, 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.



L'image ci-contre montre un exemple de 3 clusters de taille $N = 7$

2. Motif régulier

On appelle motif régulier un motif à N cellules vérifiant la relation :

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

Avec i et j des entiers naturels positifs ou nuls

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.

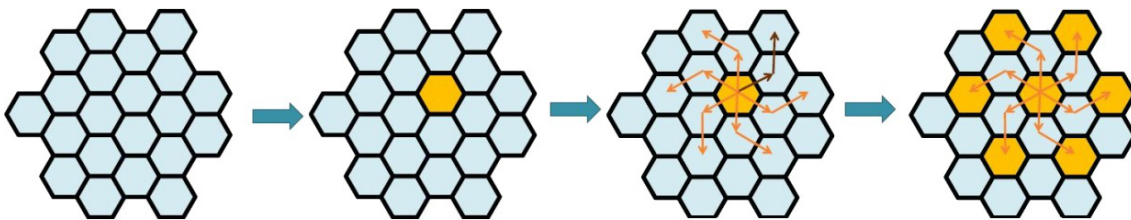


Figure 4 : Localisation du co-canal pour $N=3$ ($i = 1$ et $j = 1$)

Les premiers entiers qui vérifient cette relation et qui correspondent à des tailles de motifs possibles sont : 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, 25, 27, ...

Les tailles en italique correspondent aux tailles de motifs les plus couramment utilisées.

Fondamental

Si un opérateur dispose de N_f fréquences au total, avec un motif de taille N , il pourra mettre $\frac{N_f}{N}$ fréquences dans chaque cellule.

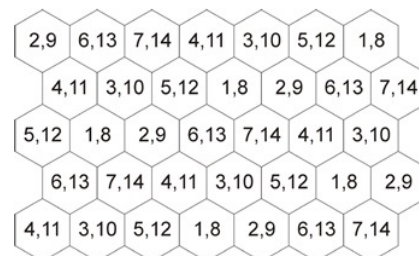
Pour augmenter la *capacité du système*, il faut utiliser des *cellules de petite taille*.

Exemple : Répartition des fréquence

On considère un opérateur de GSM avec un totale de 14 canaux de fréquences à sa disposition et on fait une planification avec un motif de taille $N = 7$.

On obtient le schéma de répartition des fréquences ci-contre avec $N_f = 14$ et $N = 7$.

Cet opérateur peut donc utiliser $\frac{N_f}{N} = \frac{14}{7} = 2$ fréquences dans chaque cellule.

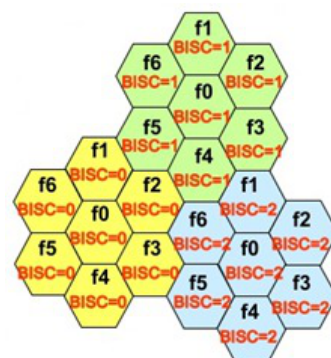


3. Le code de couleur BSIC (Base Station Identity Code)

Afin de différencier deux stations suffisamment éloignées, on utilise le code de *couleur BSIC*.

Le couple (*fréquence*, *BSIC*) permet sur une zone donnée de déterminer parfaitement une cellule. A l'intérieur d'un motif, on utilise le même BSIC.

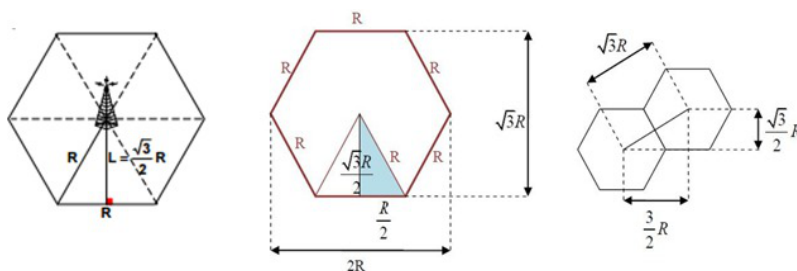
Ainsi, les cellules voisines (cellules de fréquences de voix balise identique) ne font pas parti du même motif.



4. Distance et taux de réutilisation

Rappel : Géométrie de l'hexagone

La longueur de chacun des côtés des triangles est R . Par application du théorème de la hauteur dans l'un des 6 triangles équilatéraux, on obtient donc la *demi-hauteur* (L) de l'hexagone.



$$\text{Aire} = 6 \times 2 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} R \times \frac{1}{2} R \right) = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \approx 2,598 R^2$$

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 *couronnes d'interférences*.

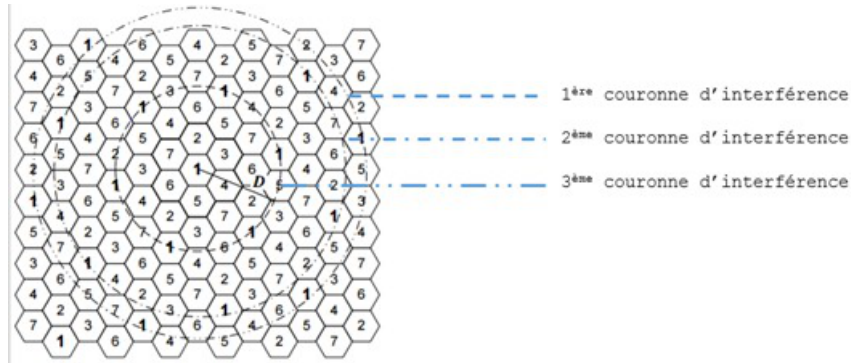


Figure 5 : Couronnes d'interférences

Le rayon du plus petit cercle correspond à la *distance de réutilisation* D . Elle correspond à la distance minimale entre deux émetteurs utilisant la même fréquence. Cette distance est déterminée afin d'éviter les interférences entre les différentes cellules dans le réseau.

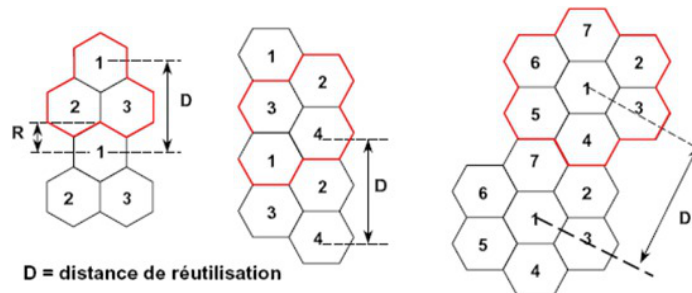


Figure 6 : Exemple de motifs à 3, 4 et 7 cellules

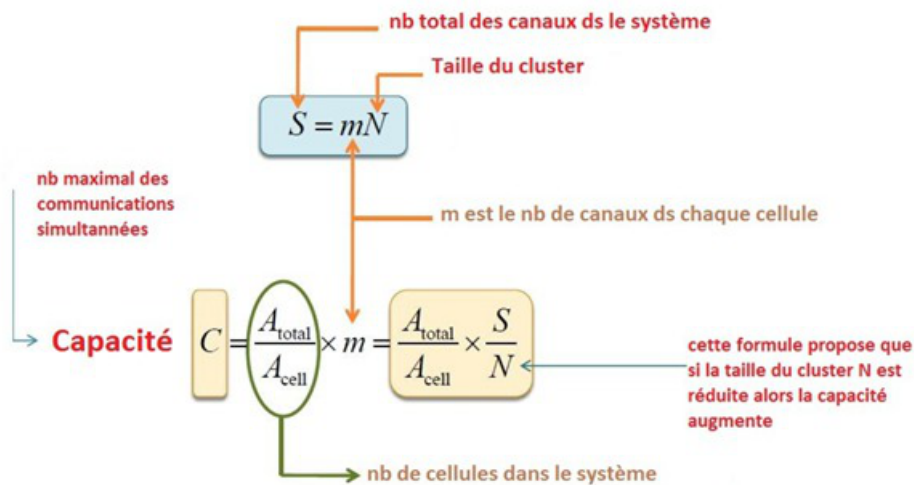
Elle s'exprime en fonction de la *taille du motif* N et du *rayon de la cellule* R par : $D = \sqrt{3N} R$

On en déduit le *taux de réutilisation co-canal* Q par : $Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$

Avec R le rayon de la cellule et D la distance de réutilisation de fréquence

5. Capacité du système et nombre de cellules

La capacité d'un système de réseau mobile C peut se résumer par les expressions ci-dessous :



6. Concept de réseaux multicouches

L'augmentation du nombre d'abonnés fait que le nombre de canaux alloué par l'organe de régulation (*ARTCI* pour la Côte d'Ivoire) devient insuffisant. Pour y remédier, les opérateurs ont recours à des cellules n'ayant pas la même taille sur tout le territoire à couvrir. On parle de réseaux multicouches ou réseaux superposés.

De plus, ces différentes cellules ne comportent pas toutes le même nombre de canaux de fréquences. La taille d'une seule cellule dépend du nombre d'abonnés, du relief et de la localisation.

Pour pallier le manque de capacité réseau suite à l'explosion du nombre de leurs abonnés, les opérateurs ont recours à différentes tailles de cellules pour créer un réseau multicouches. Ainsi dans une zone urbaine, nous trouvons des micro-cellules ; par contre dans une zone rurale, nous avons affaire aux macros cellules. A l'intérieur des bâtiments, on trouve des pico-cellules.

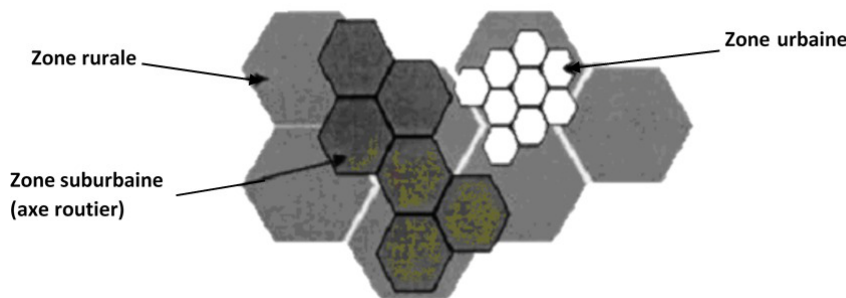


Figure 7 : Réseau multicouche

- *Les macro-cellules*
Ce sont les plus courantes, responsables de la couverture du réseau. Leur zone d'action s'étend jusqu'à 30 km selon les obstacles rencontrés, les antennes des stations de base sont généralement montées sur un mât lui-même parfois érigé sur le toit d'un haut bâtiment pour atteindre une hauteur moyenne de 30 mètres.
- *Les micro cellules*
Elles couvrent quelques rues d'un centre-ville ou une station de métro (portée maximale de 500m), les antennes des stations de base sont accrochées aux murs des maisons, à quelques mètres à peine du sol. Une microcellule est définie comme une surface délimitée par des immeubles dont la hauteur est supérieure à celle de l'antenne émettrice. Les ondes transmises sont principalement guidées le long des immeubles et non plus par-dessus ceux-ci comme dans le cas des macro-cellules, on parle alors de « propagation guidée » ou « street canyon effect ».
- *Les pico cellules*
Elles couvrent un étage d'un grand bâtiment ou d'un centre commercial (portée maximale 100m), les antennes sont placées au plafond à l'instar d'un détecteur de fumée.

7. Exercice

[Solution n°2 p 14]

Exercice

Un opérateur de téléphonie mobile a 12 fréquences numérotées de 1 à 12.

1. Combien de fréquences devra t'il affecter à chaque cellule pour un motif de taille à 3 ?
2. Combien de fréquences devra t'il affecter à chaque cellule pour un motif de taille à 4 ?

Vos réponses ci-dessous :

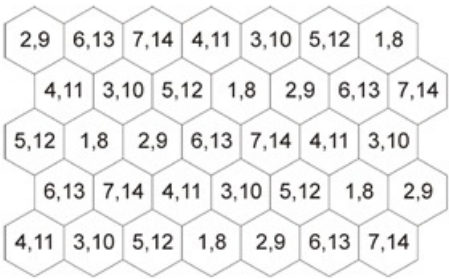
1. $N_f =$

2. $N_f =$

Exercice

On considère un opérateur de GSM avec un totale de 14 canaux de fréquences à sa disposition et on fait une planification avec un motif de taille $N = 7$.

On a le schéma ci-dessous :



1. Quelle est la distance D de réutilisation de fréquence pour $R = 10$ km ?
2. Quelle est la distance D de réutilisation de fréquence pour $R = 10$ km avec $N = 3$?

NB : Les résultats sont arrondis à la valeur entière la plus proche.

Vos réponses ci-dessous :

1. $D =$ km

2. $D =$ km

Exercice

Considérons un système cellulaire dont le nombre total des canaux vocaux disponibles pour gérer le trafic est 960. L'aire de chaque cellule est de 6 km^2 et la zone de couverture totale du système est de 2000 km^2 .

Remplir le tableau suivant en arrondissant les résultats à la valeur entière la plus proche :

Taille du cluster	4	7
Superficie couverte par un cluster en km^2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre de clusters pour couvrir la superficie totale	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre de canaux par cellule	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Capacité du système	<input type="text"/>	<input type="text"/>

* *

*

En résumé :

- La superficie totale de la couverture est divisée en *clusters* ;
- Le nombre de cellules K 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.

Solutions des exercices

> Solution n°1

Exercice p. 7

Exercice

Dans un réseau GSM, le territoire à couvrir est subdivisé en cellule.

Une cellule est le résultat du champ de rayonnement des antennes GSM.

Le partage de canaux entre cellule réponds au principe de réutilisation des fréquences.

Exercice

- ☒ de couvrir toute la zone géographique
- ☐ de résister au foudre
- ☒ d'optimiser la capacité du réseau
- ☐ d'augmenter le coût des transactions

> Solution n°2

Exercice p. 12

Exercice

1. $N_f = 4$

2. $N_f = 3$

Correction détaillée

1. Le nombre de fréquence par cellule : $N_f = 12 / 3 = 4$
2. Le nombre de fréquence par cellule : $N_f = 12 / 4 = 3$

Exercice

1. $D = 46$ km

2. $D = 30$ km

Correction détaillée

1. $D = \sqrt{3N} \times R = \sqrt{3 \times 7} \times 10 = 45,83 \approx 46$ km
2. $D = \sqrt{3N} \times R = \sqrt{3 \times 3} \times 10 = 30$ km

Exercice

Taille du cluster	4	7
Superficie couverte par un cluster en km^2	24	42
Nombre de clusters pour couvrir la superficie totale	83	48
Nombre de canaux par cellule	240	137
Capacité du système	80000	45714

Correction détaillée :

- Superficie couverte par un cluster en km^2 : $Aire_{Cluster} = N \times Aire_{Cellule}$
 - $N = 4$: $Aire_{Cluster} = 4 \times 6 = 24 \text{ Km}^2$
 - $N = 7$: $Aire_{Cluster} = 7 \times 6 = 42 \text{ Km}^2$
- Nombre de clusters pour couvrir la superficie totale : $N_{Cluster} = \frac{Aire_{Totale}}{Aire_{Cluster}}$
 - $N = 4$: $N_{Cluster} = \frac{2000}{24} = 83,33 \approx 83$
 - $N = 7$: $N_{Cluster} = \frac{2000}{42} = 47,62 \approx 48$
- Nombre de canaux par cellule : $N_{Canaux/Cellule} = \frac{N_{Canaux Total}}{N}$
 - $N = 4$: $N_{Canaux/Cellule} = \frac{960}{4} = 240$
 - $N = 7$: $N_{Canaux/Cellule} = \frac{960}{7} = 137,14 \approx 137$
- Capacité du système : $C = \frac{Aire_{Totale}}{Aire_{Cellule}} \times \frac{N_{Canaux Total}}{N}$
 - $N = 4$: $C = \frac{2000}{6} \times \frac{960}{4} = 80\,000$ communication simultanées.
 - $N = 7$: $C = \frac{2000}{6} \times \frac{960}{7} = 45\,714,29 \approx 45\,714$ communication simultanées.

Remarque :

Il est évident que lorsqu'on diminue la valeur de N de 7 à 4, on augmente la capacité du système de 45 714 à 80 000 communication simultanées.

Ainsi, la diminution du facteur de réutilisation N augmente la capacité du système.