

Chapitre 05 :

Les réseaux mobiles cellulaires

Sommaire

- ❑ Historique : différentes générations de la téléphonie mobile
- ❑ Allocation du canal et concept cellulaire
- ❑ Architecture d'un réseau cellulaire : GPRS & GSM

Introduction

Réseau mobile cellulaire ?

o Réseau connecte des équipements mobiles utilisant la voie hertzienne pour communiquer.

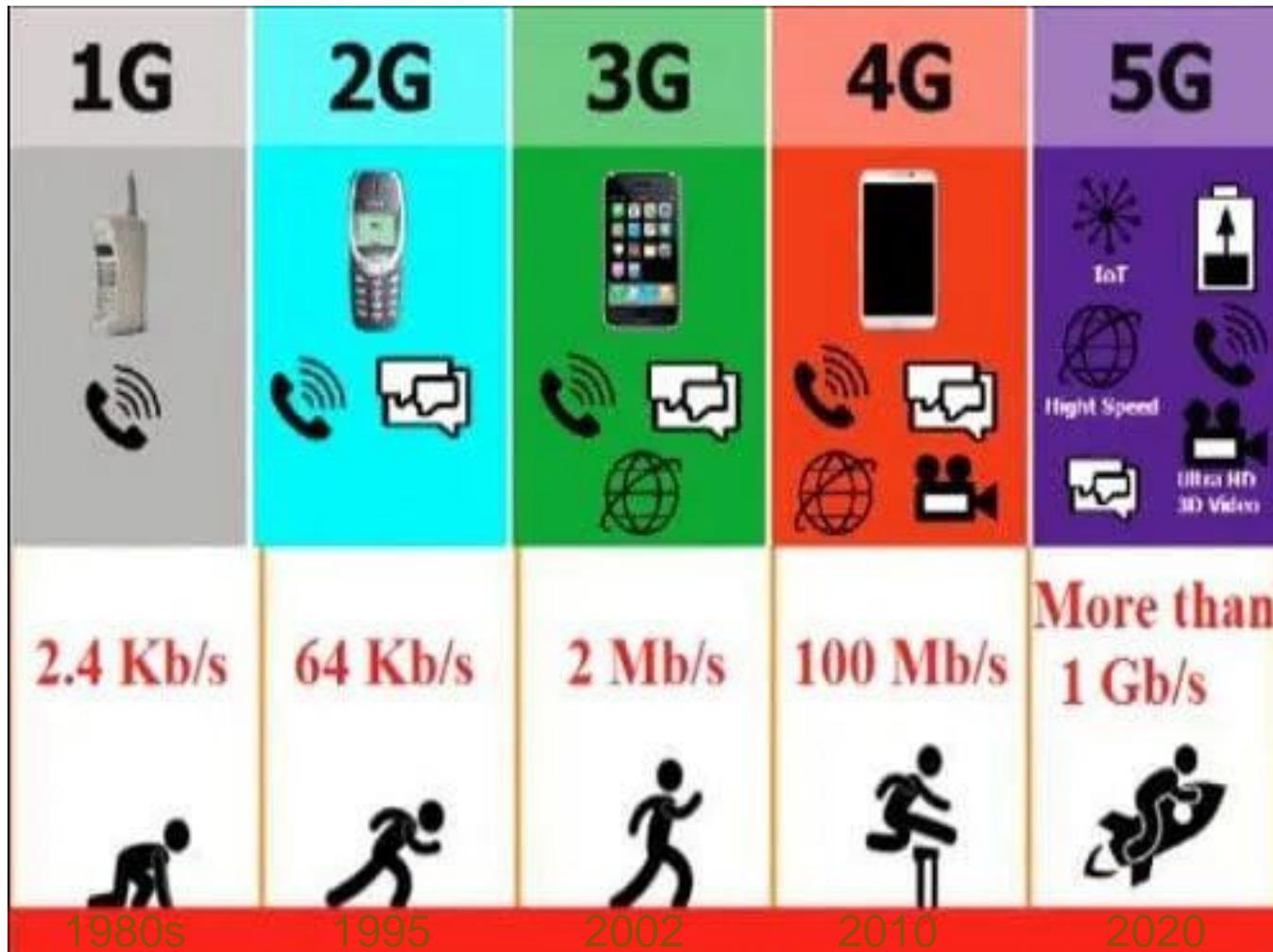
o Structuré sous forme de **cellules** (ou zones géographiques)

o Assure le transfert de la voix (téléphonie) et de données (Internet)

o En évolution depuis les années 1980 (**1 génération** → **5 génération**)



Génération des réseaux mobiles



Génération des réseaux mobiles

- **1G, années 1980**, signaux analogiques pour les communications vocales uniquement. Très moins de **sécurité**.
- **2G, années 1990**, signaux numériques, communications vocales et messagerie texte. Très peu de support pour **Internet**.
- **3G, 1998-99**, Communications vocales, accès Internet mobile et fixe sans fil, appels vidéo et télévision mobile (TV). Moins de support pour **Internet haute vitesse**.
- **4G, 2008-09**, débit de données supérieur (centaines de mégabits par seconde). Pas de **support** pour **50 milliards d'appareils** connectés ubiquitaires

Les défis du développement des réseaux 5G

- Augmenter le **débit** de données et la **capacité** du réseau avec une faible **consommation** d'énergie,
- Scalabilité et flexibilité,
- Gérer les interférences,
- Faible **latence** et haute **fiabilité**,
- Le prix,
- Grande **mobilité**,
- Qualité de service,
- La **sécurité** et la **confidentialité** du réseau et des UE

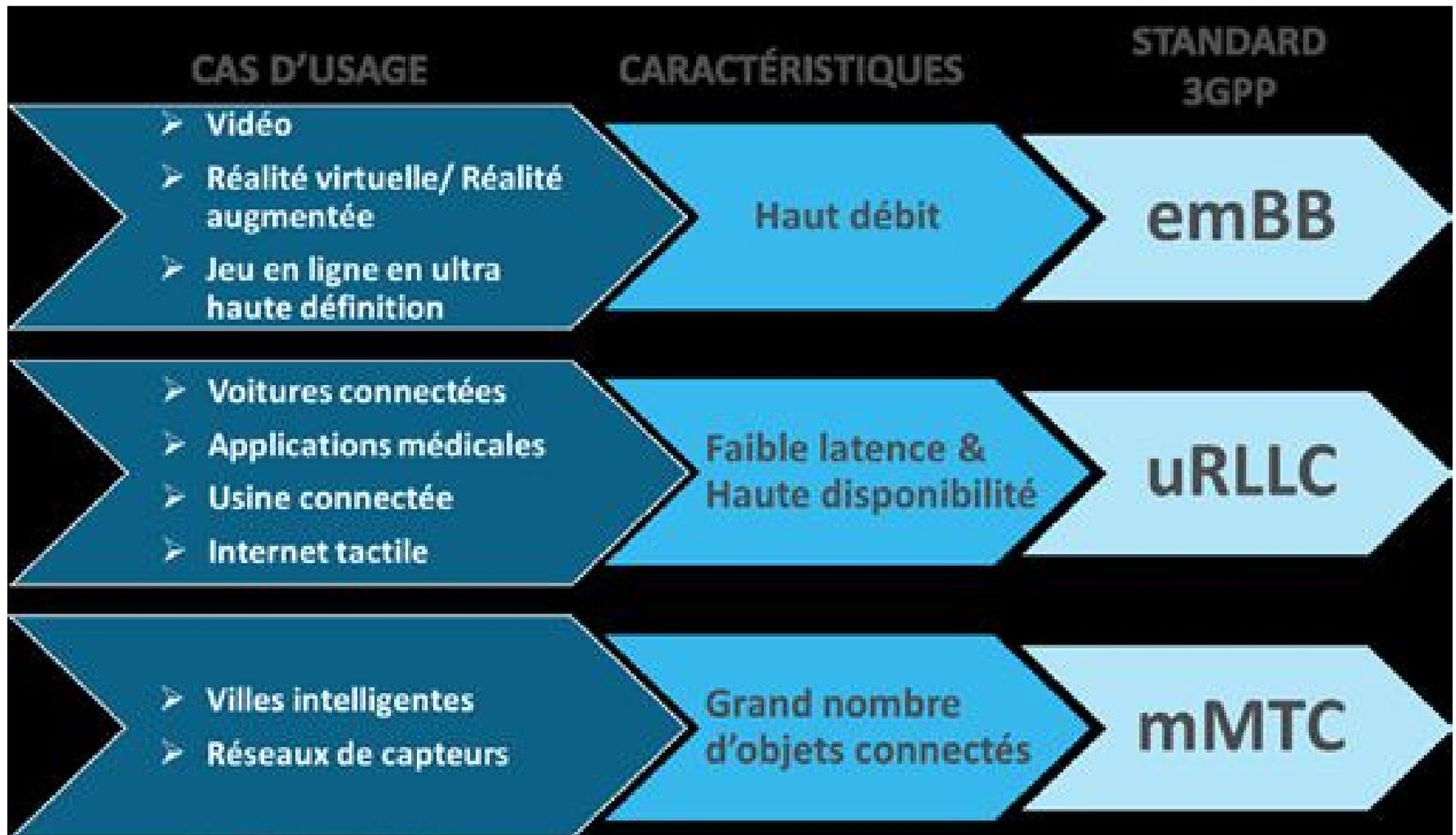
5G



Exemple enjeux et usages de la 5G

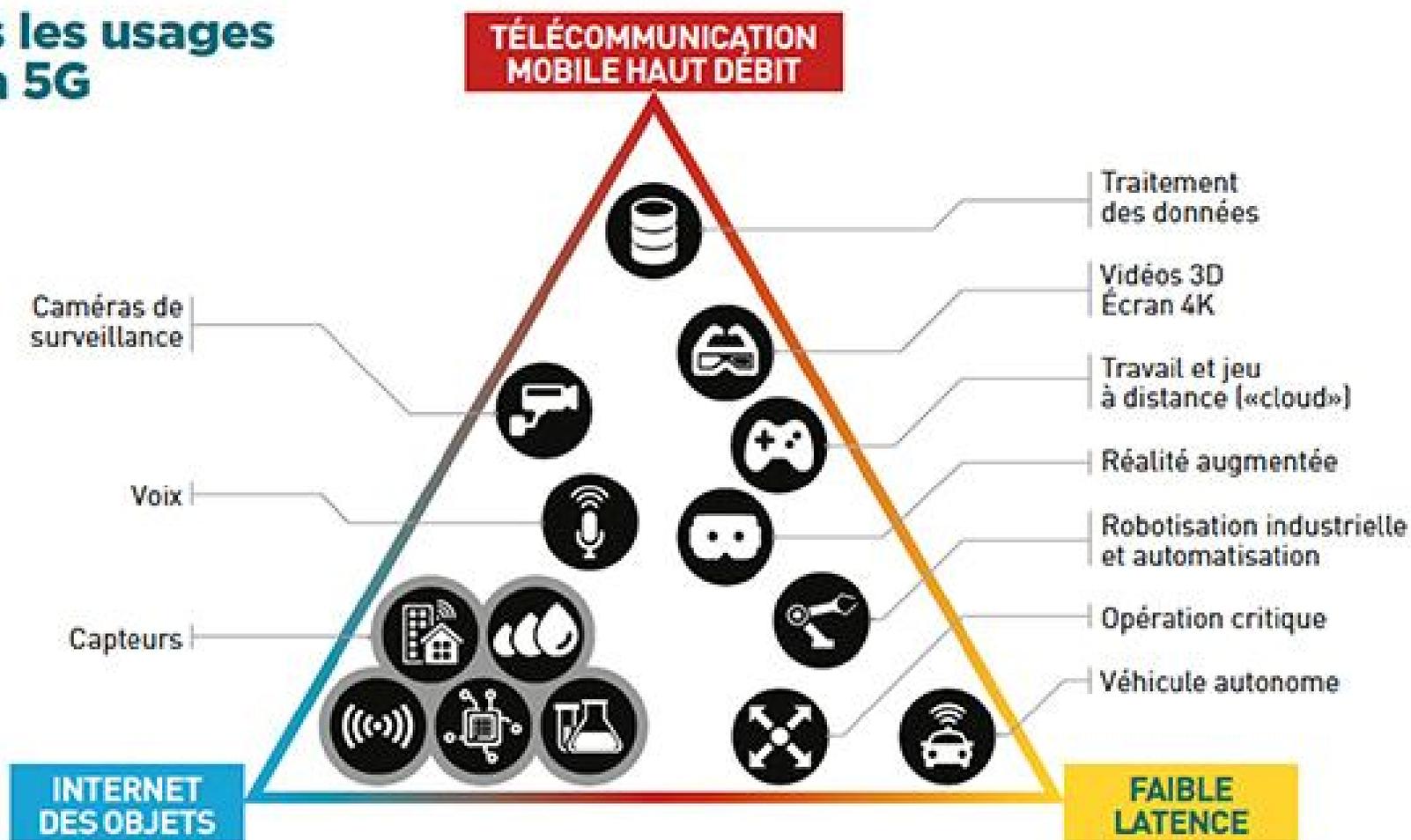


5G: les trois familles d'usage



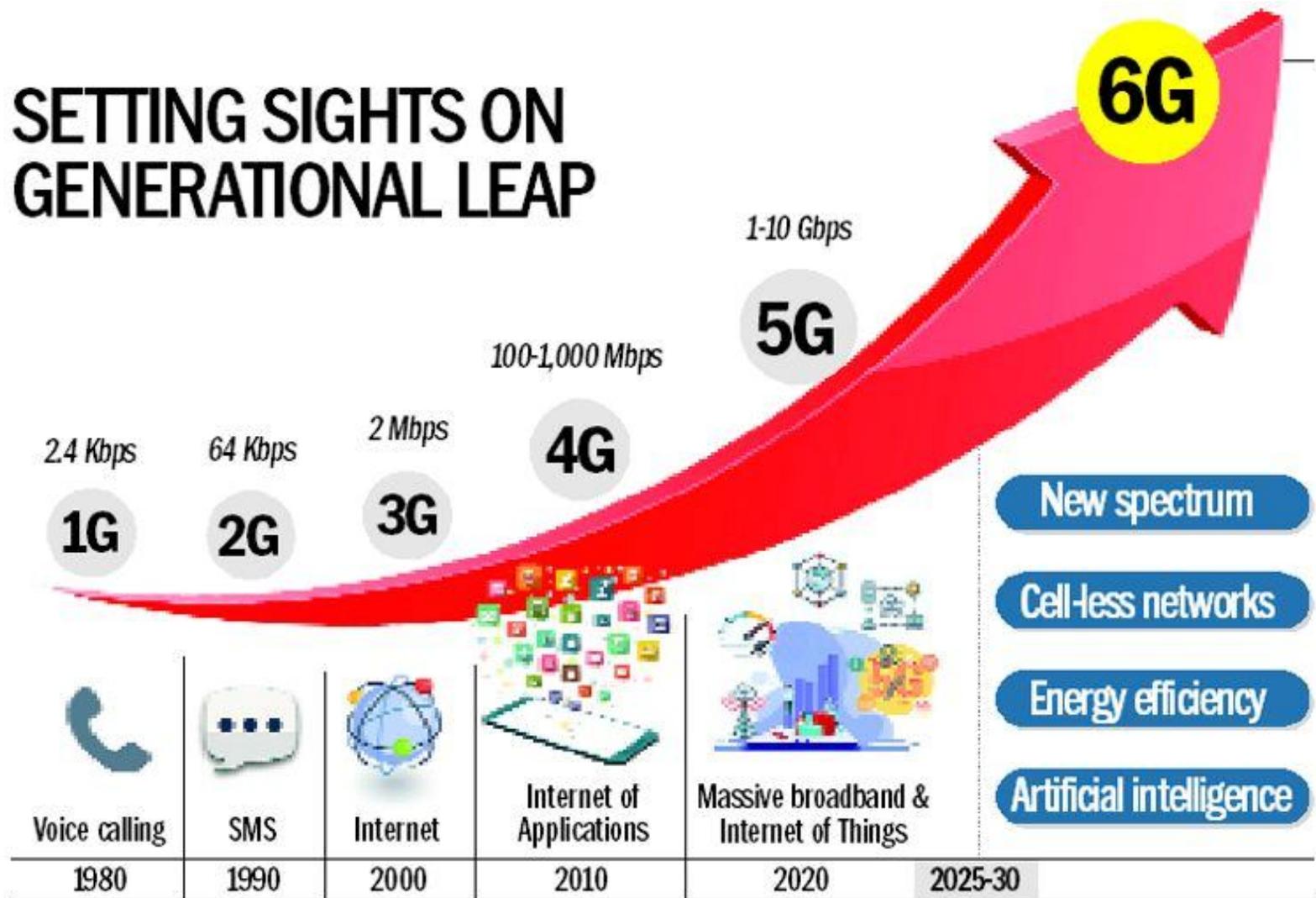
5G: les trois familles d'usage

Tous les usages de la 5G

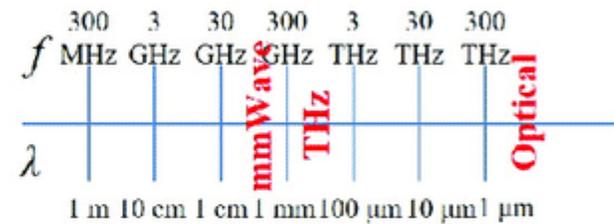
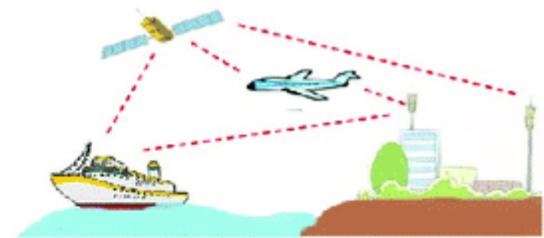
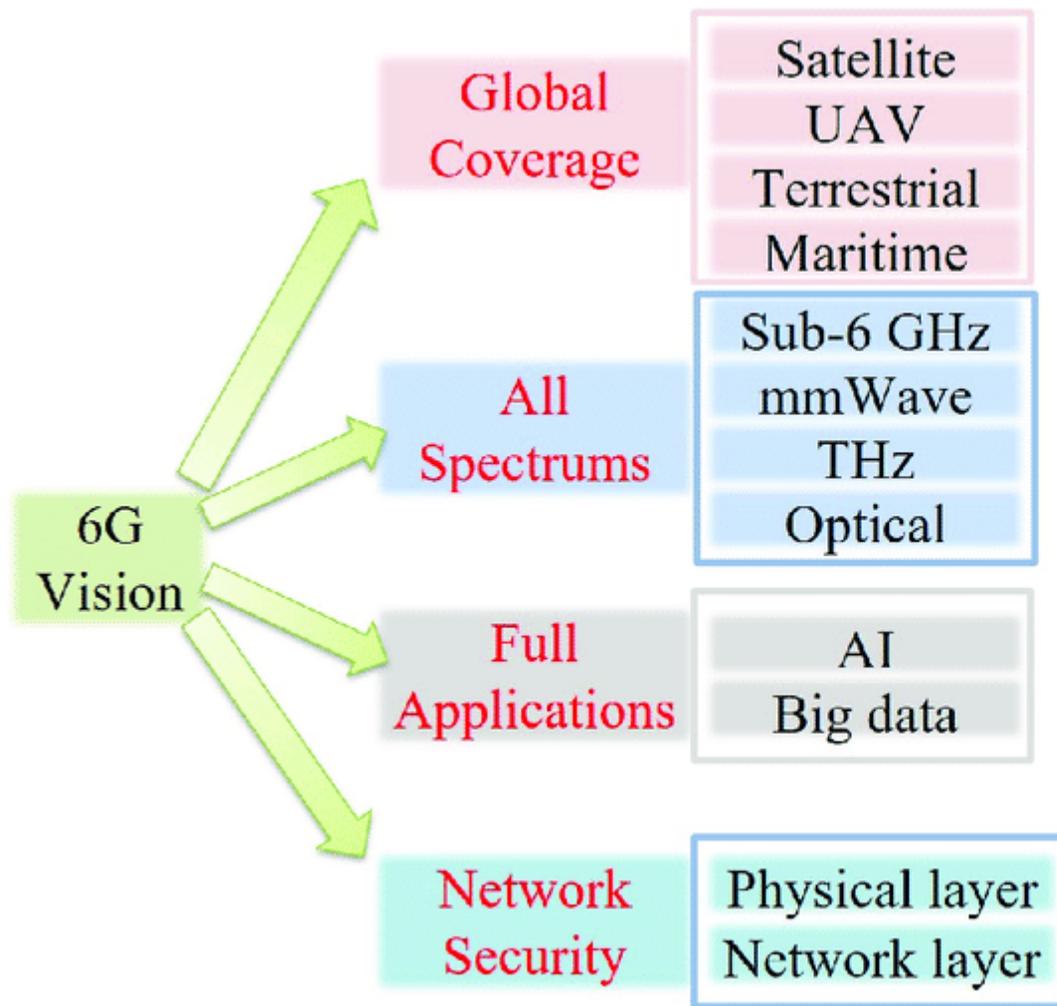


Vision 6G

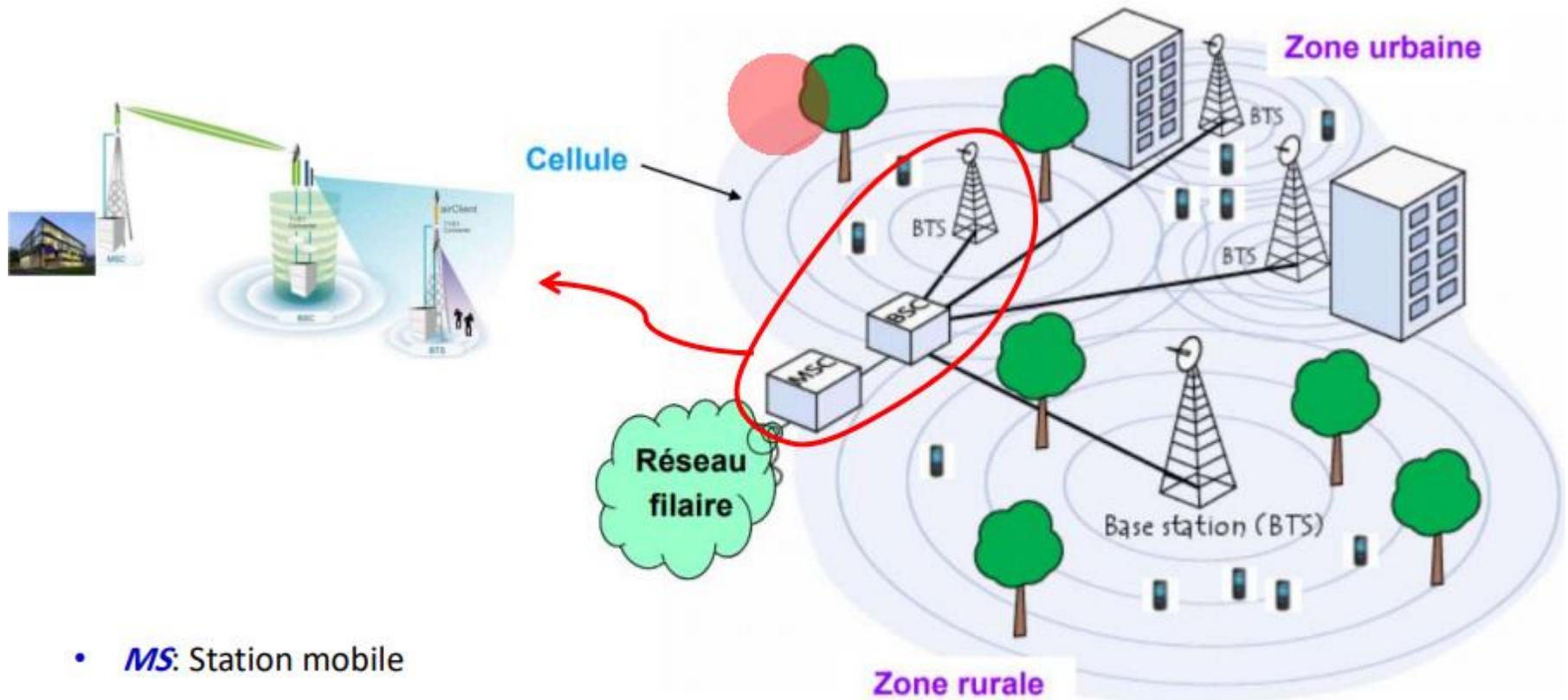
SETTING SIGHTS ON GENERATIONAL LEAP



Vision 6G

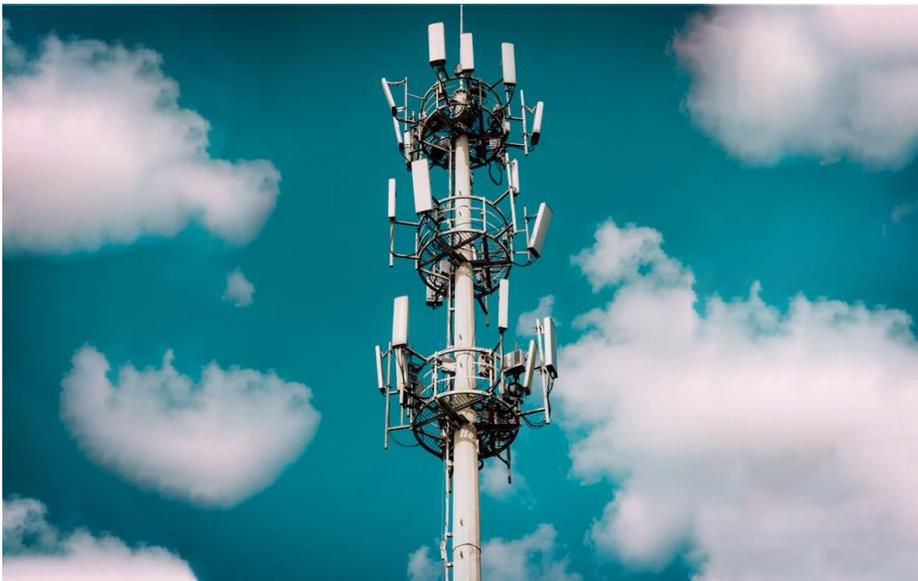


Éléments de base d'un réseau cellulaire



- **MS**: Station mobile
- **BTS**: Base Transceiver Station
- **BSC**: Mobile Station Controller
- **MSC**: Mobile Service Switching

Antennes



15/05/2022

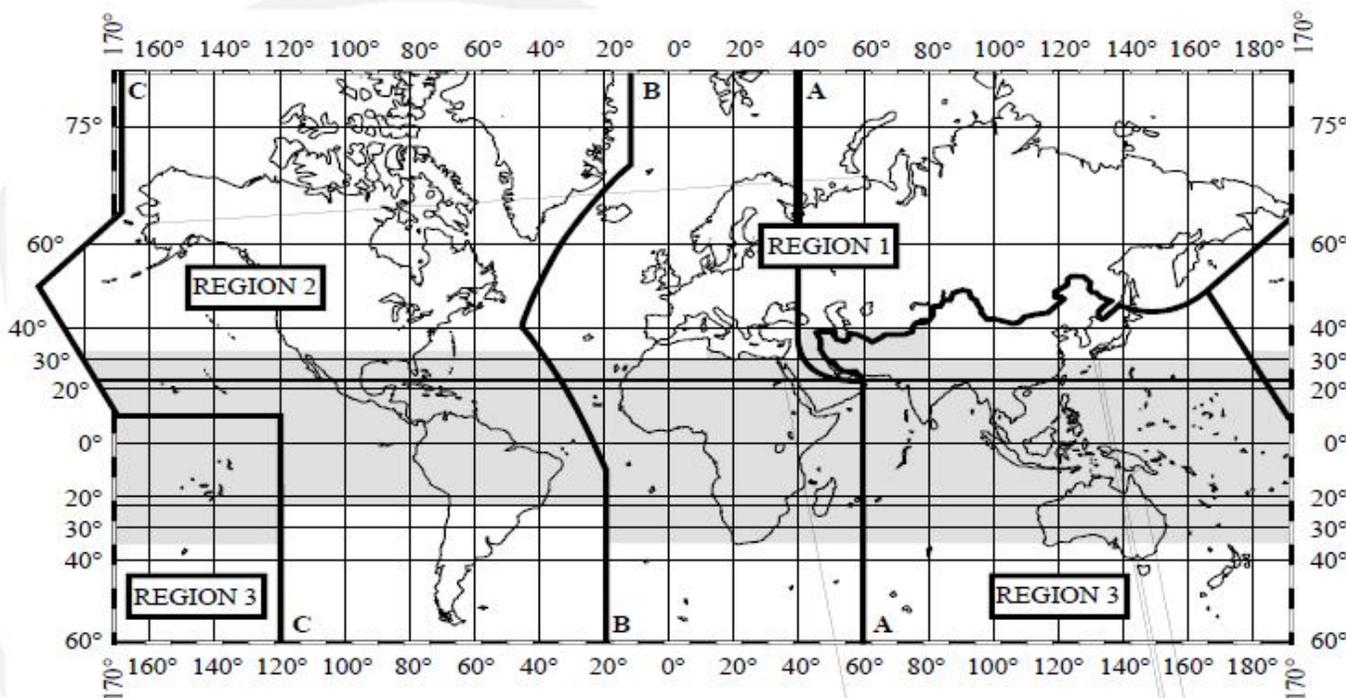
Air Algérie



14

Allocation du spectre de fréquence

- Les ressources spectrales sont limitées.
- Les ressources spectrales sont contrôlées : **Mondialement par UIT et en Algérie: ANF (Agence Nationale des fréquences).**
- Le monde est divisé en trois « régions »:
 - a) **Région 1** : L'Europe – L'Afrique – L'Arabie saoudite – La Turquie et l'U.R.S.S
 - b) **Région 2** : Les Deux Amériques – Le Groenland
 - c) **Région 3** : L'Océanie avec l'Australie – L'Inde – La Chine – Le Japon.

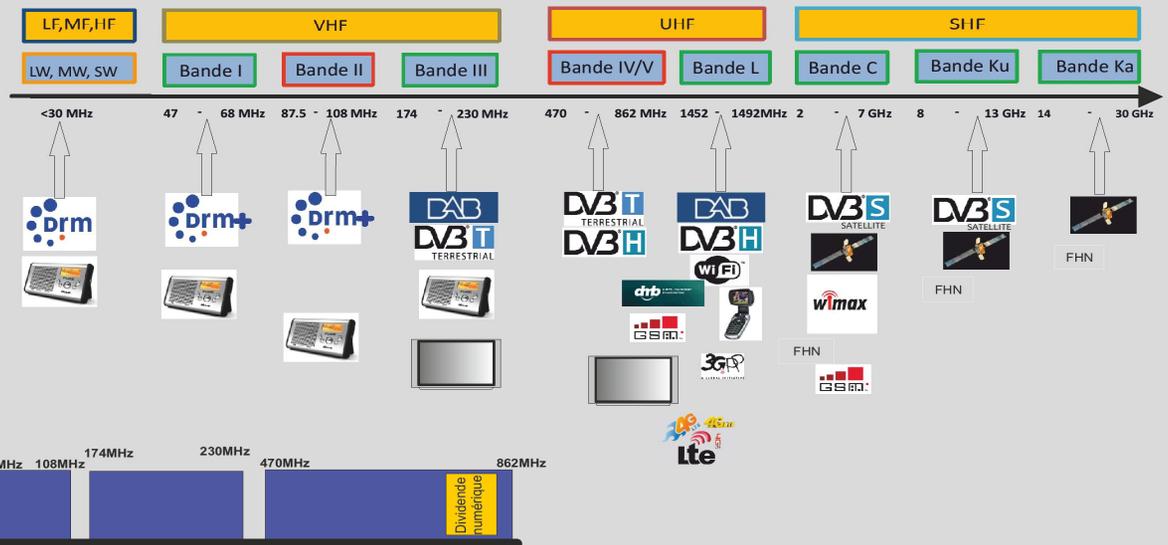
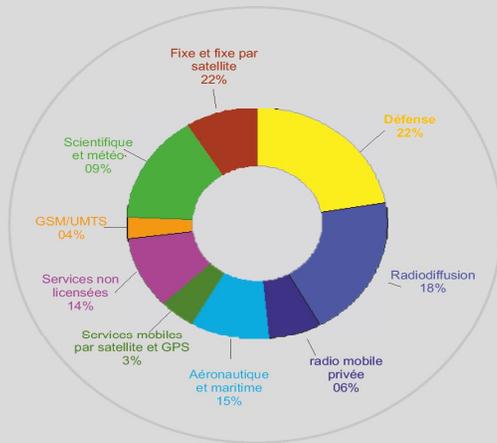


Allocation du spectre de fréquence



SPECTRE DE FREQUENCES RADIOELECTRIQUES

Radionavigation maritime	Radio Grandes Ondes	Radionavigation maritime	Radionavigation maritime	Radio Ondes Moyennes	Radio Ondes Courtes	Radio FM	Radionavigation Aérienne	Radiodiffusion	Radiodiffusion	Radiodiffusion IMT Aérienne	services fixes, mobiles et TV par satellite	radioastronomie
VLF	OL	RN	RN	AM	HF	FM	RNA	TV-BIII	TV-UHF	MOBILE	SHF	EHF
	LF		MF			VHF		UHF				
3KHz	30KHz	300KHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz				



Bandes de fréquences attribuées, dans le Règlement des Radiocommunications, à la radiodiffusion

TABLEAU DES BANDES DE FREQUENCES

Désignation internationale	Désignation	Fréquence	Portée	Exemples d'utilisation
HF (<i>high frequency</i>)	HF (haute fréquence)	3 MHz à 30 MHz	Jusqu'à 1000 Km	<u>Radio diffusion OC</u> , <u>Maritime</u> , Organisations diverses, Militaire, Aéronautique, Radioamateur, Météo, Radio de catastrophe...
VHF (<i>very high frequency</i>)	THF (très haute fréquence)	30 MHz à 300 MHz	2 à 300 Km	<u>Radiodiffusion (TV)</u> , <u>Radio FM</u> , Aéronautique, Maritime, Radioamateur, Gendarmerie nationale, Pompiers, SAMU, Réseaux privés, taxis, militaire, Météo...
UHF (<i>ultra high frequency</i>)	UHF (ultra haute fréquence)	300 MHz à 3 GHz	Moins de 1000 Km	<u>Radiodiffusion (TV)</u> , Réseaux privés, militaire, GSM , GPS, Wi-Fi , Radioamateur...

Bandes de fréquences sans Licence (utilisés Gratuitement)

(ISM = Industrial, Scientific, and Medical)

900 MHz	ISM Band I (Cordless phones, 1G WLANs)	902-928 MHz
2.4 GHz	ISM Band II (Bluetooth, 802.11b WLANs)	2.4-2.4835 GHz
5.8 GHz	ISM Band III (Wireless PBX)	5.725-5.85 GHz
5 GHz	NII Band I (Indoor systems, 802.11a WLANs)	5.15-5.25 GHz
5 GHz	NII Band II (short outdoor and campus applications)	5.25-5.35 GHz
5.8 GHz	NII Band III (long outdoor and point-to-point links)	5.725-5.825 GHz

(U-NII = Unlicensed National Information Infrastructure)

Concept cellulaire



Cellule

Division en des cellules

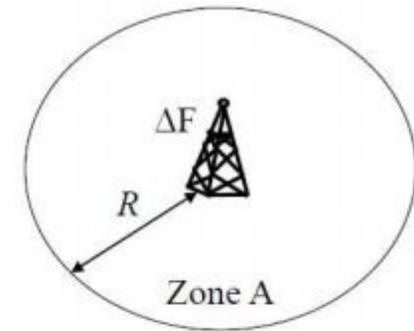
- Le territoire à couvrir est divisé en **cellules**
- Chaque cellule est desservie par une **station de base**
- La division est transparente pour les usagers

Avantages

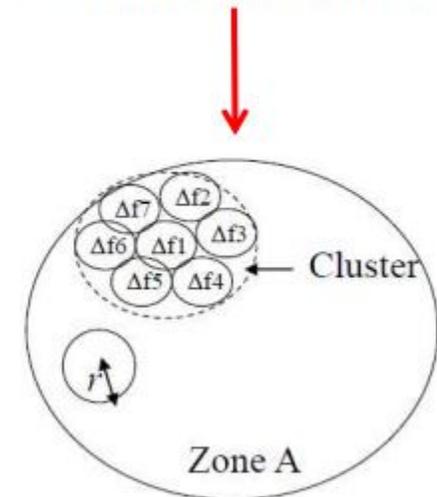
- Desservir de façon continue un très large territoire (plus de couverture).
- Utiliser des puissances d'émission moins importantes.
- Augmenter la capacité du réseau
 - En diminuant la taille des cellules.

Inconvénients

- travail de planification fastidieux et délicat (fait par l'opérateur)
- gestion de la mobilité entre les cellules.



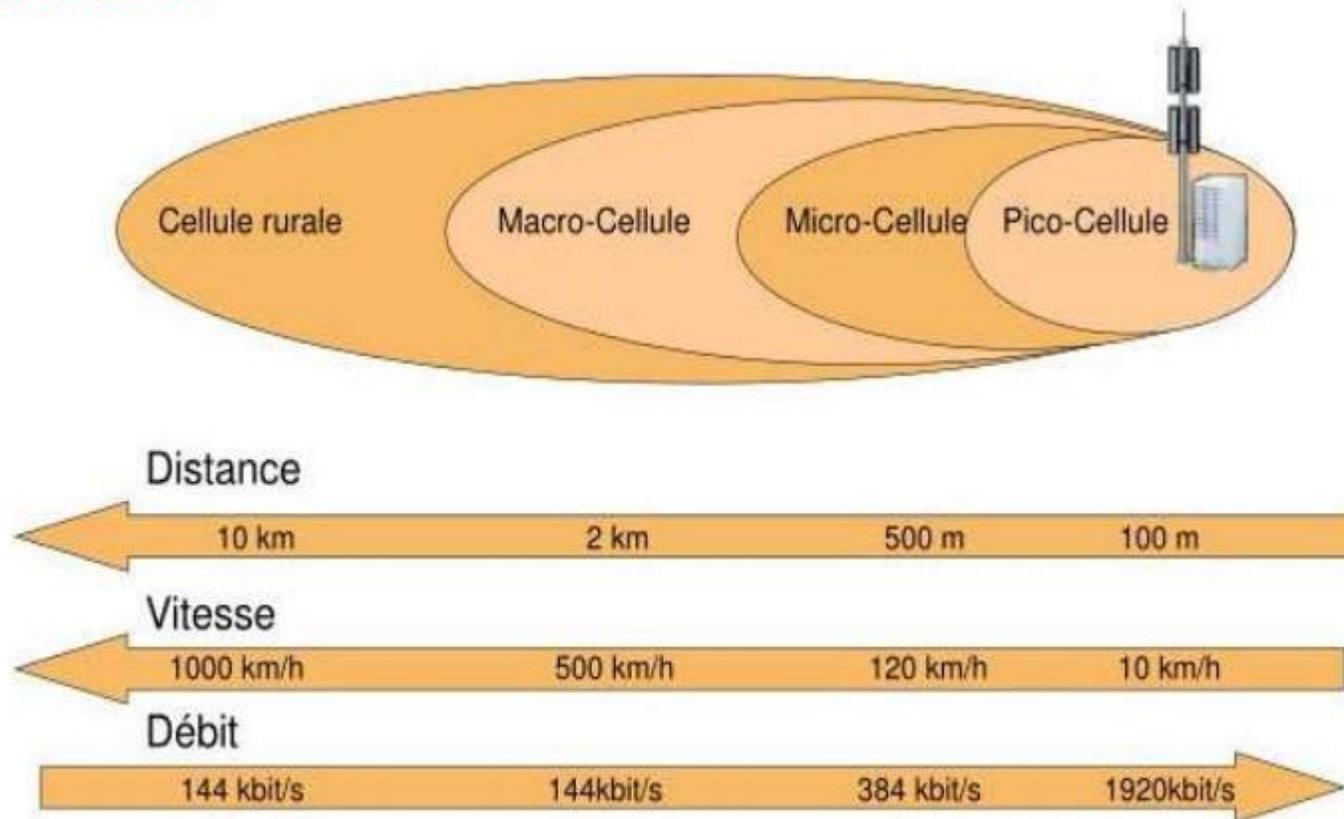
R = 10 Km avec N = 7 fréquences
→ 7 communications simultanées



Activa
r = 500m → $(\pi R^2 / \pi r^2) = 400$ Se
communications **7**

Cellule

Taille de la cellule



N.B. Couverture d'une cellule dépend de la **sensibilité** et de la **puissance d'émission**.

Cellule

Taille de la cellule

- **Zone rurale (faible densité d'utilisateurs).**

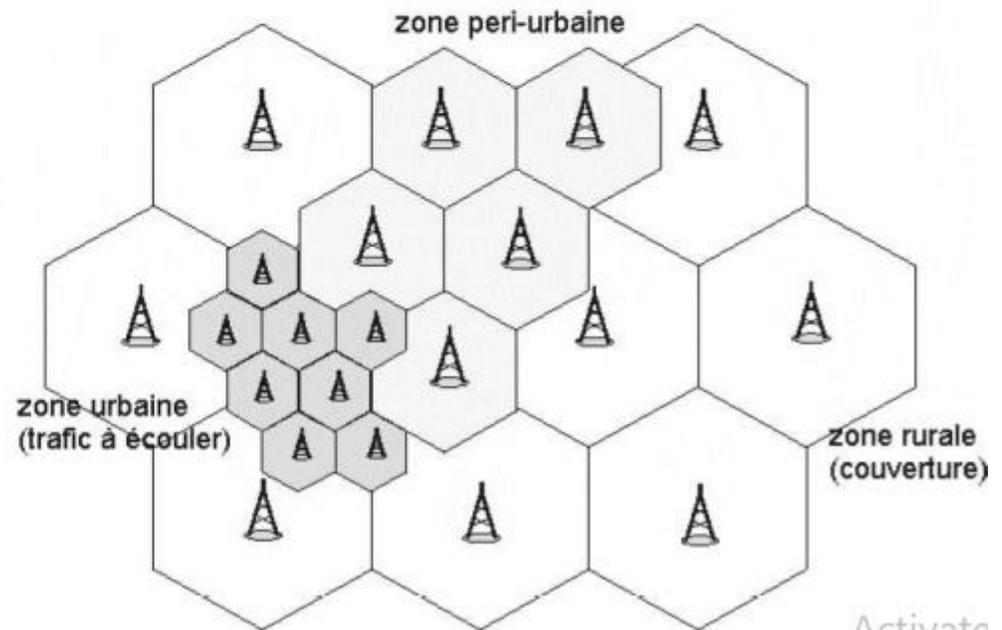
Objectif: assurer une couverture en tout point du territoire.

- chaque terminal est sous la portée d'une station de base et peut l'atteindre.
- Grandes cellules (3 –30 km)

- **Zone urbaine (forte densité d'utilisateurs).**

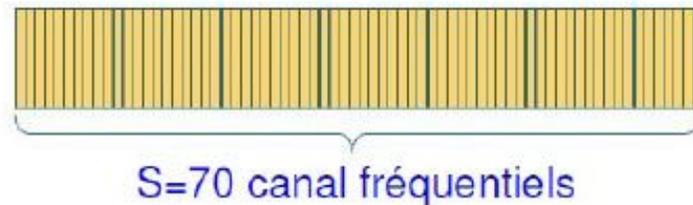
Objectif: écouler le trafic.

- la densité des stations de base est imposée par la charge à écouler
- Taille de la cellule réduite (300 m à 3 km)

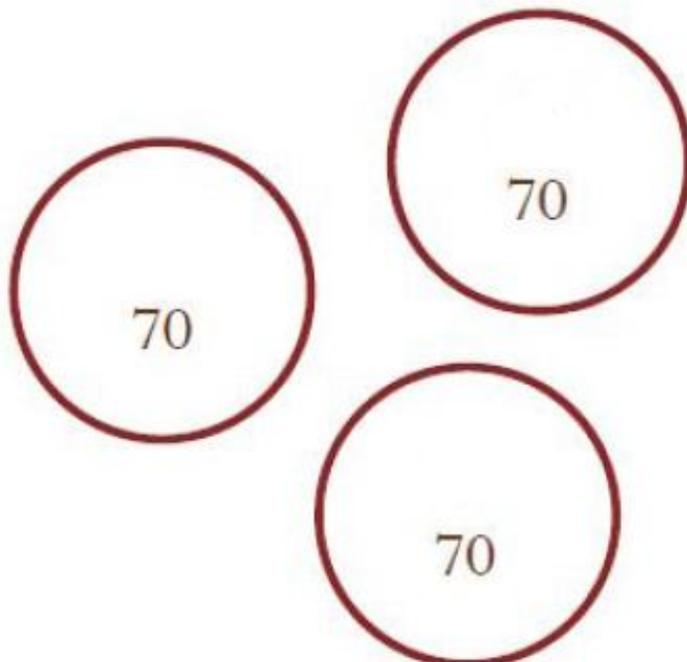


Rayon de cellule ↘ → Capacité ↗

Réutilisation de la fréquence

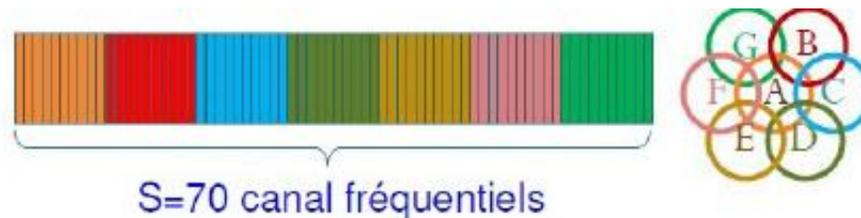


- Supposer que le système admet $S=70$ canaux fréquentiels
- Système Pre-cellulaire (avant le système cellulaire):

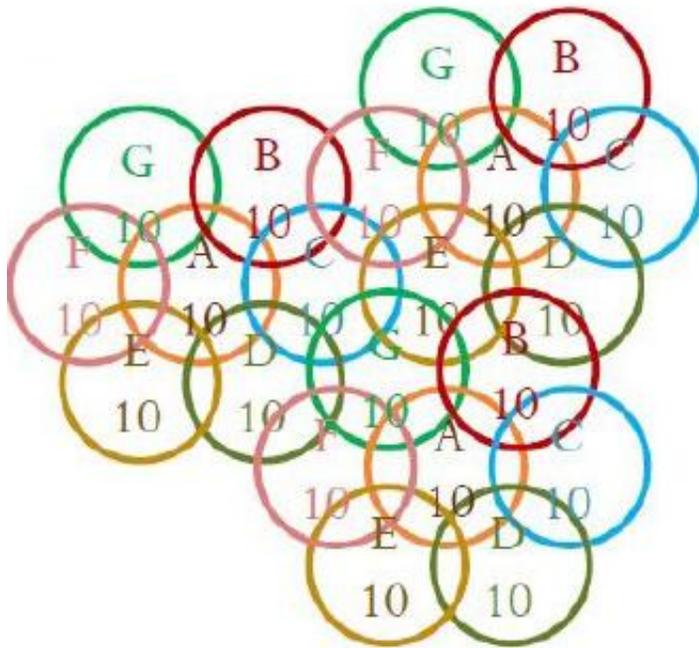


\Rightarrow Capacité du système =
nb d'utilisateurs simultanés
 $= 70 \times 3 = 210$

Réutilisation de la fréquence



- Diviser les 70 canaux en 7 groupes (A,B,C,D,E,F,G) de 10 canaux.
- Les cellules qui utilisent le même groupe sont **éloignées**.



⇒ Capacité du système = nb d'utilisateurs simultanés

$$= 10 \times 7 \times 3 = 210$$

⇒ Avec la même capacité, la puissance de transmission a passé de centaines de Watts à quelques Watts, et même < 1 W par canal.

Activate Windo

Go to Settings to get

Cluster et facteur de Réutilisation

Réutilisation des fréquences

Principe

- Réutilisation des fréquences dans des cellules suffisamment éloignées l'une de l'autre pour éviter les interférences.
- Repose sur la propriété d'atténuation des signaux avec la distance.

Mécanisme

- **Co-cellules** = Cellules utilisant la même fréquence.
- **motif (ou cluster)** = Le plus petit groupe de cellules utilisant l'ensemble de la bande de fréquence du système.

Le motif est répété sur toute la surface à couvrir

Exemple de motif à 7 cellules



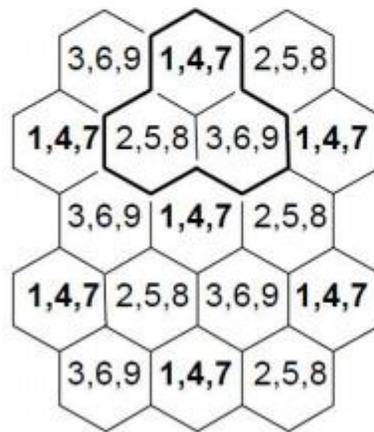
Activate
Go to Setti

Cluster et facteur de Réutilisation

Répartition de fréquences

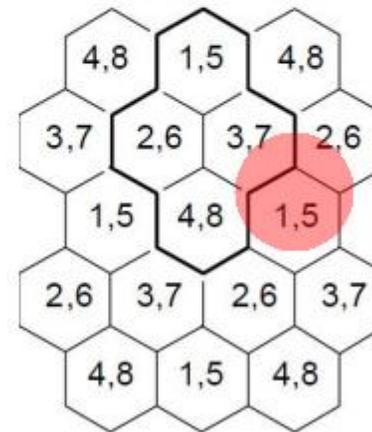
Nbr de fréquences par cellule = $\text{Nbr_de_fréquences} / \text{Nbr_de_cellules} = N/K$

Exemple de répartition de 10 fréquences suivant un motif (N=10)



10

Motif de taille K=3

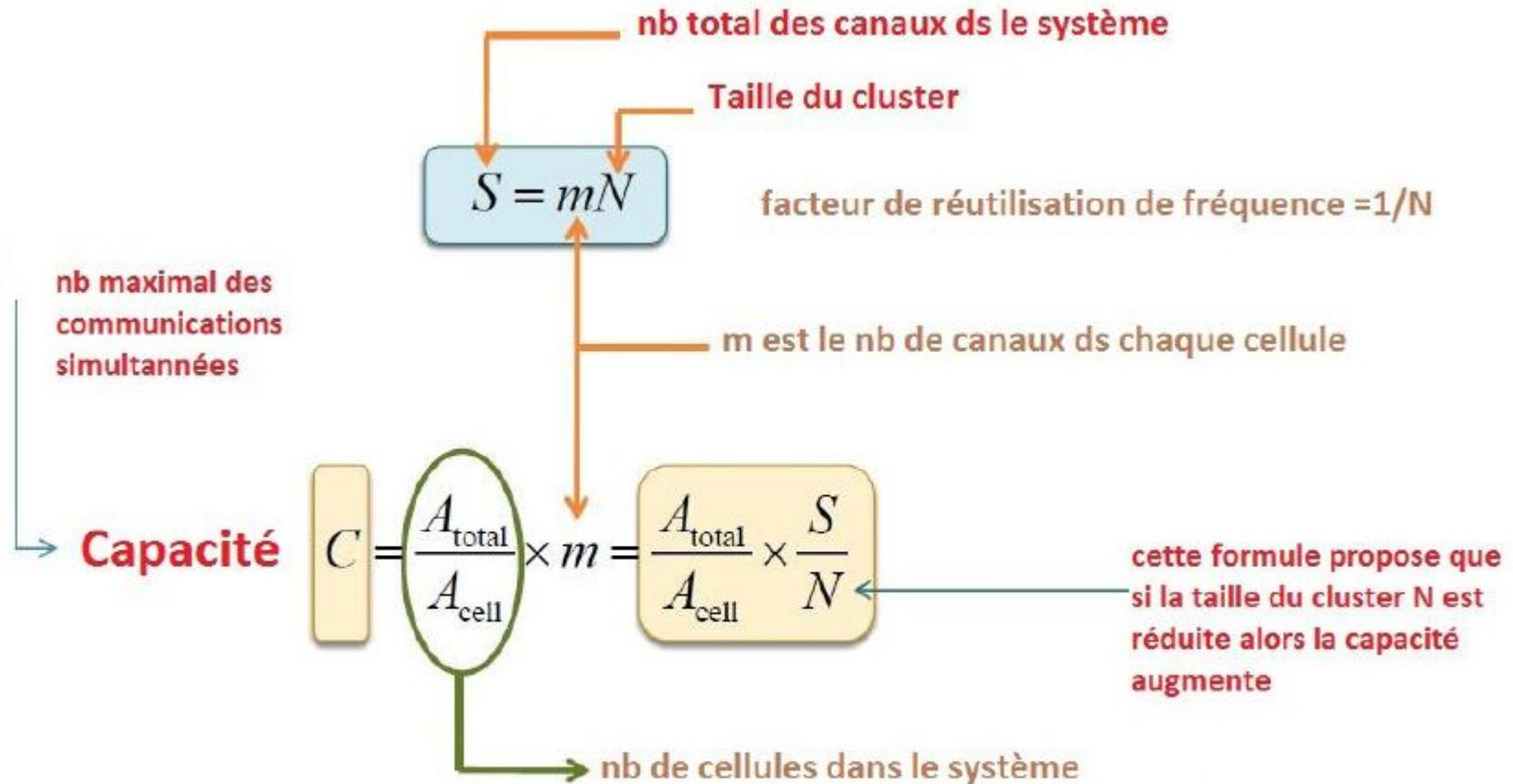


9,10

Motif de taill K=4

Cluster et facteur de Réutilisation

Capacité



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

Activate Windo

Go Settings toad

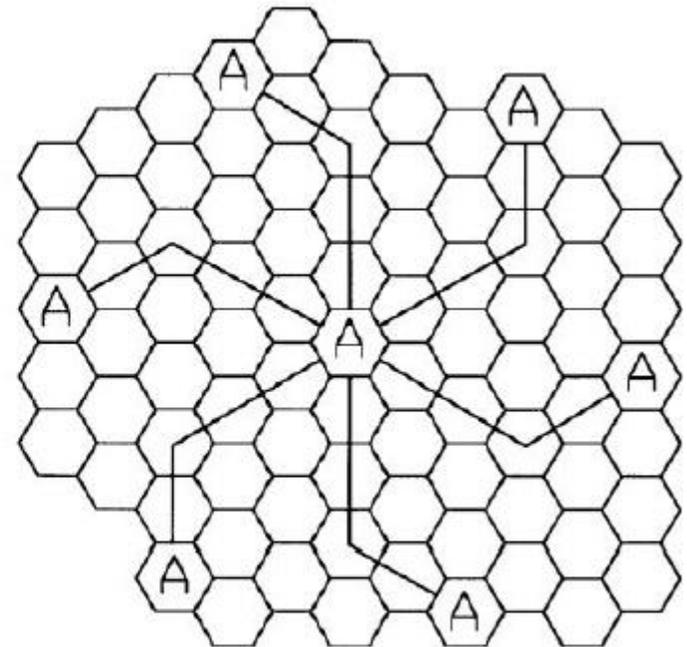
Cluster et facteur de Réutilisation

Taille du Cluster

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

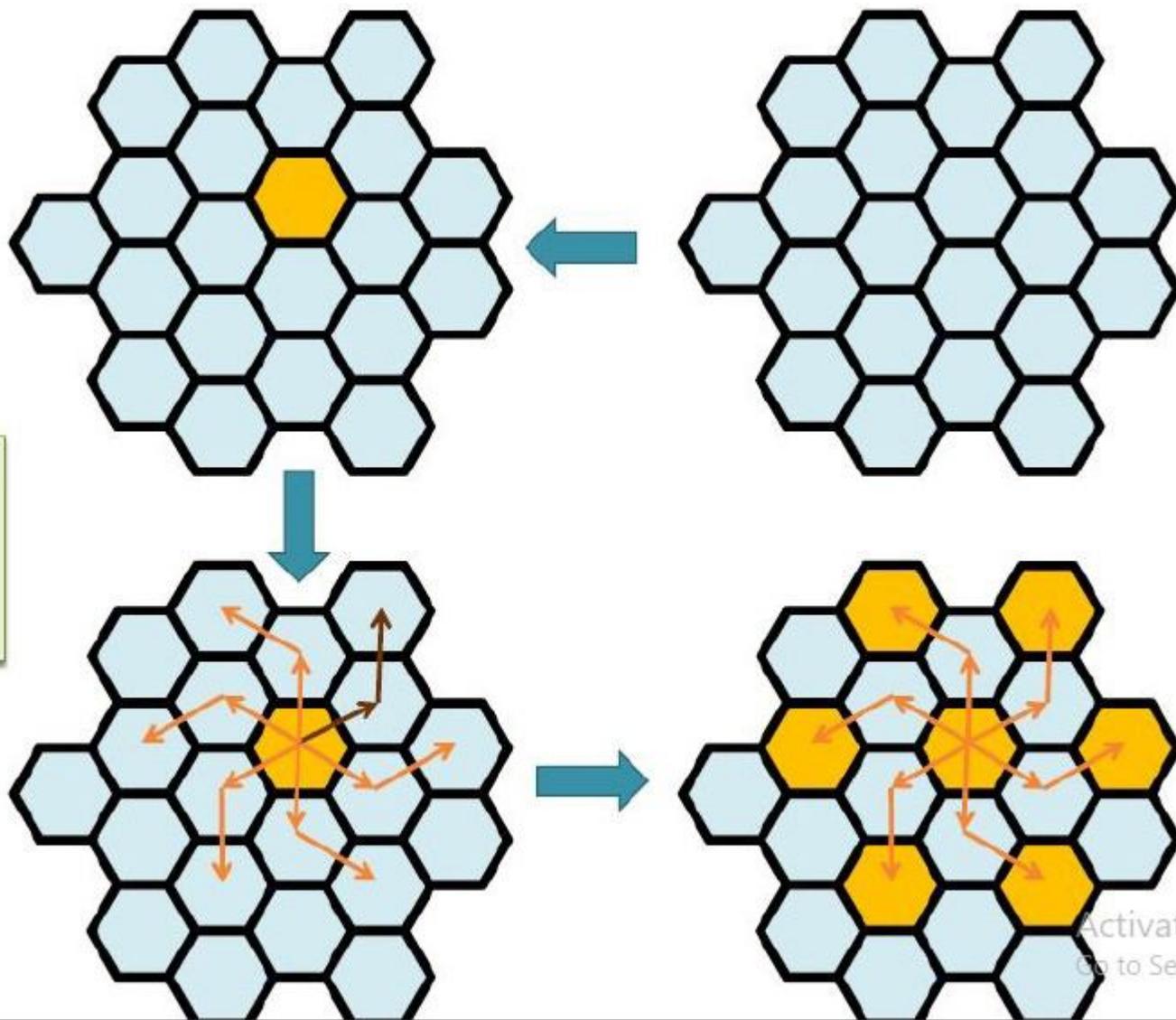
$$N = i^2 + j^2 + i \times j$$

- 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: $i=3; j=2 \implies N=19$

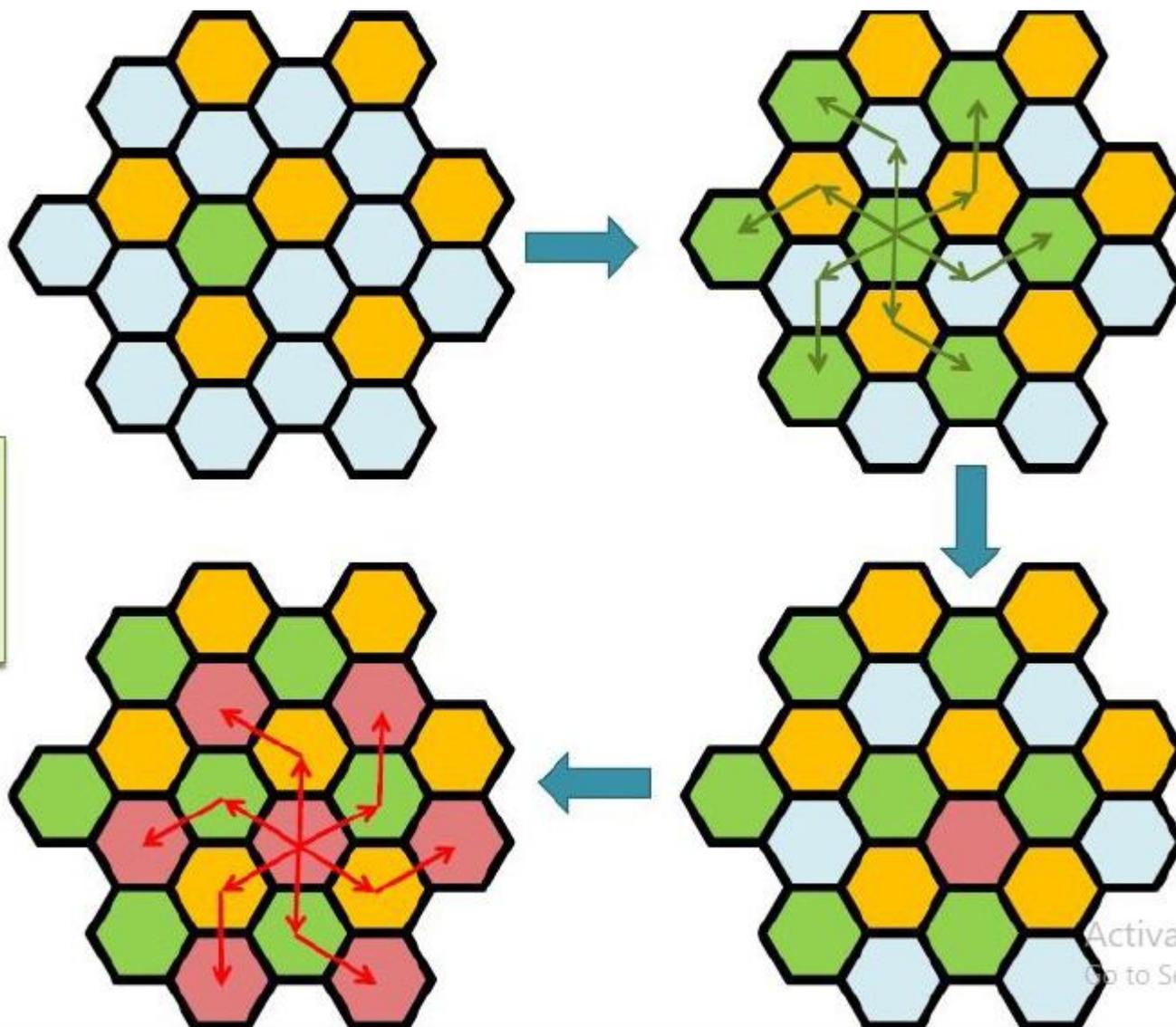


Cluster et facteur de Réutilisation

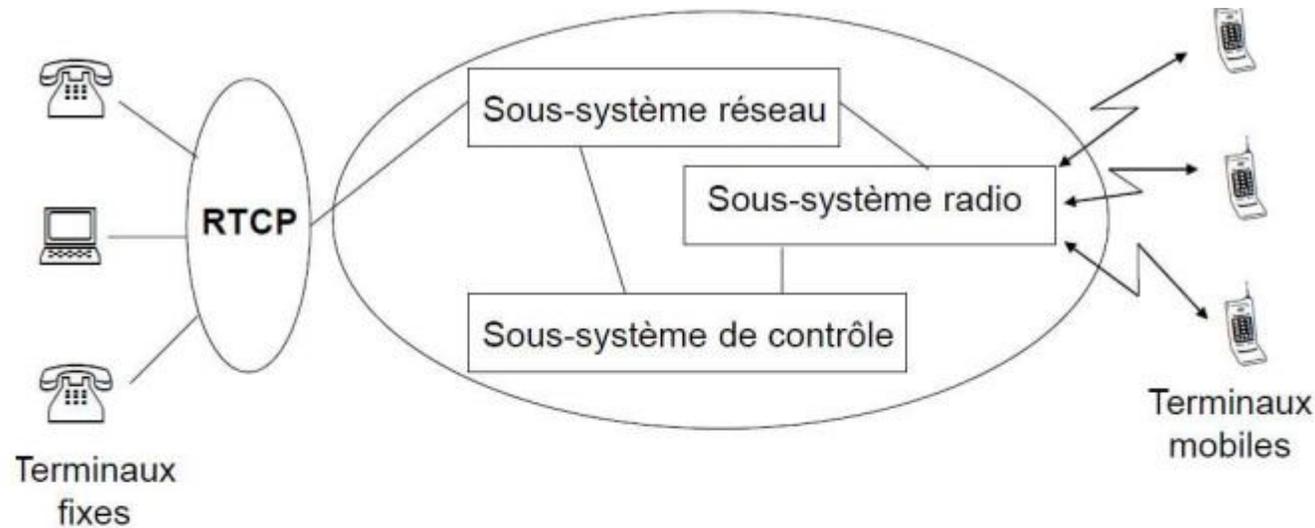
$N = 3$
 $i = 1$
 $j = 1$



Cluster et facteur de Réutilisation



Architecture d'un réseau cellulaire



○ **Sous-système radio - BSS, Base-Station Subsystem**

- Réseau d'accès radio qui assure l'émission et la réception des appels et gère la ressource radio

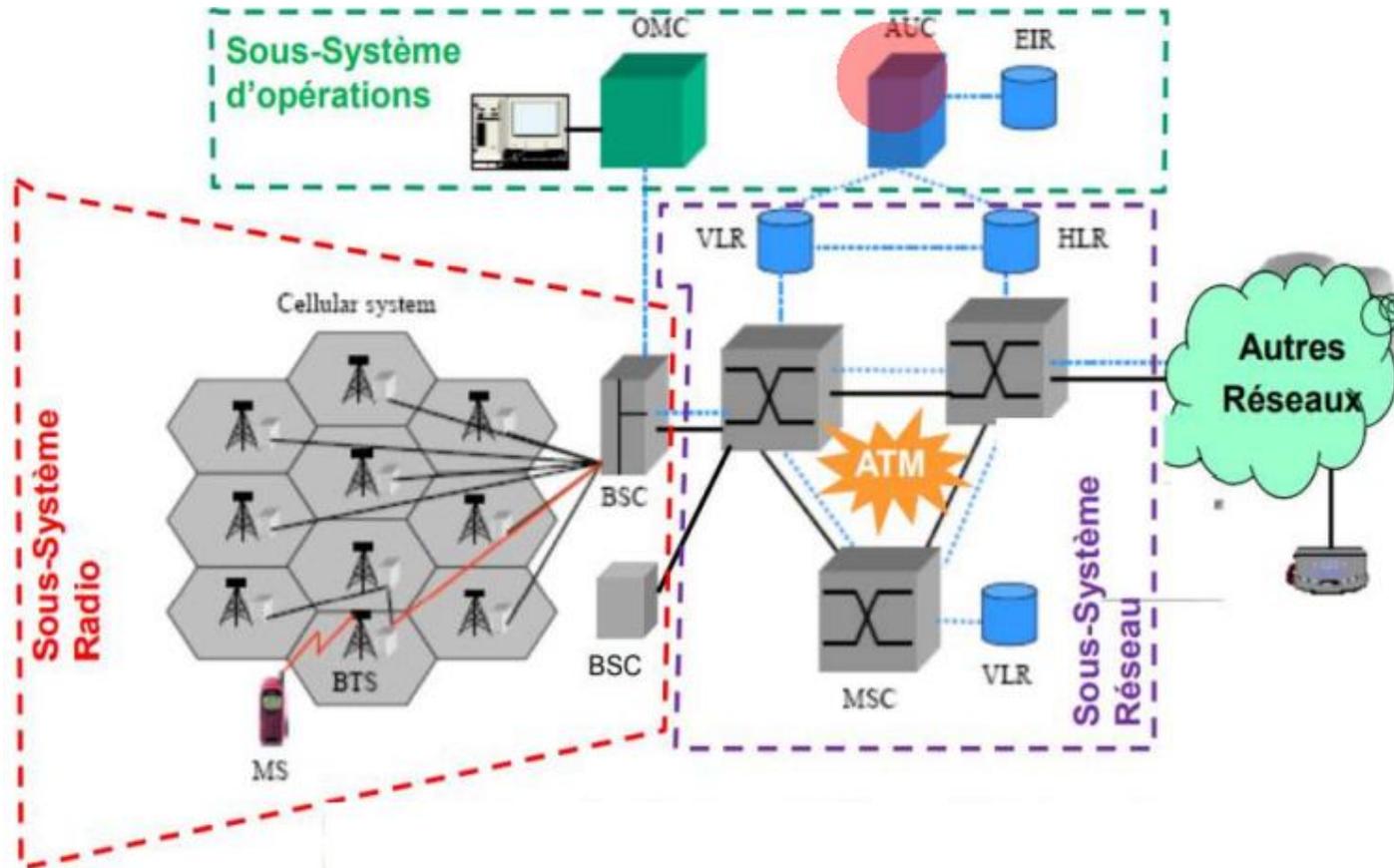
○ **Sous-système réseau - NSS, Network Subsystem**

- Ensemble des fonctions nécessaires à l'établissement des appels, gestion de la mobilité, routage, stockage et mise à jour des données des abonnés.
- Connecté au RTCP par des commutateurs passerelle

○ **Sous-système d'exploitation et de maintenance - OSS, Operation Subsystem**

- supervision et contrôle des sous-systèmes radio et réseau (commander par l'opérateur)

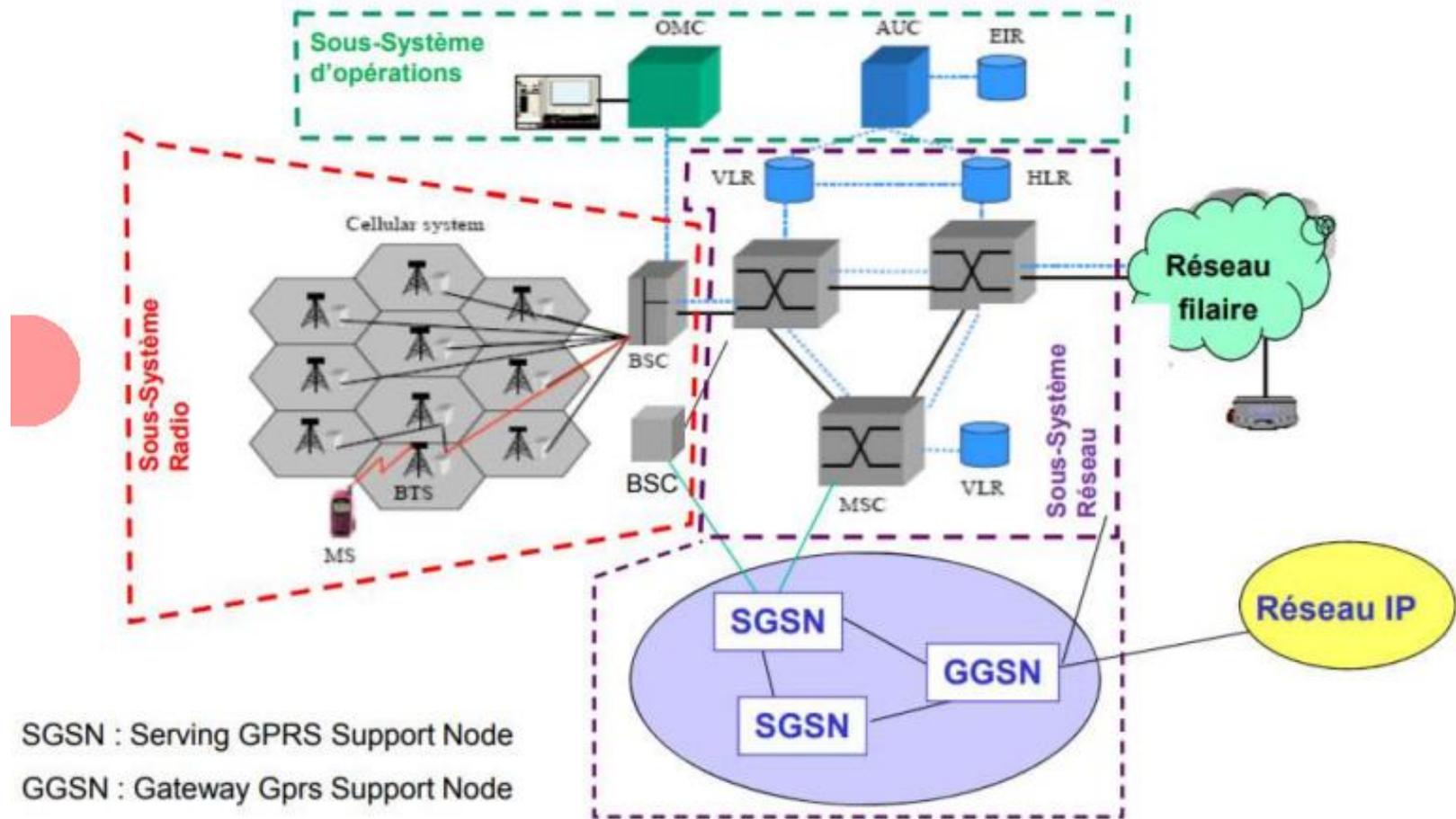
Réseau GSM



BTS : Base Transceiver Station BSC Base Station Controller
 MSC : Mobile Switching Center GMSC : Gateway MSC HLR Home Location Register
 VLR : Visitor Location Register OMC : Operation and maintenance Center

Réseau GPRS

- Applications nouvelles pour accéder à Internet
- Implantation de nœuds spéciaux pour gérer le trafic Paquets (SGSN et GGSN)
- Ajout d'attributs au HLR (liés aux accès Internet)



SGSN : Serving GPRS Support Node
GGSN : Gateway Gprs Support Node

Question?

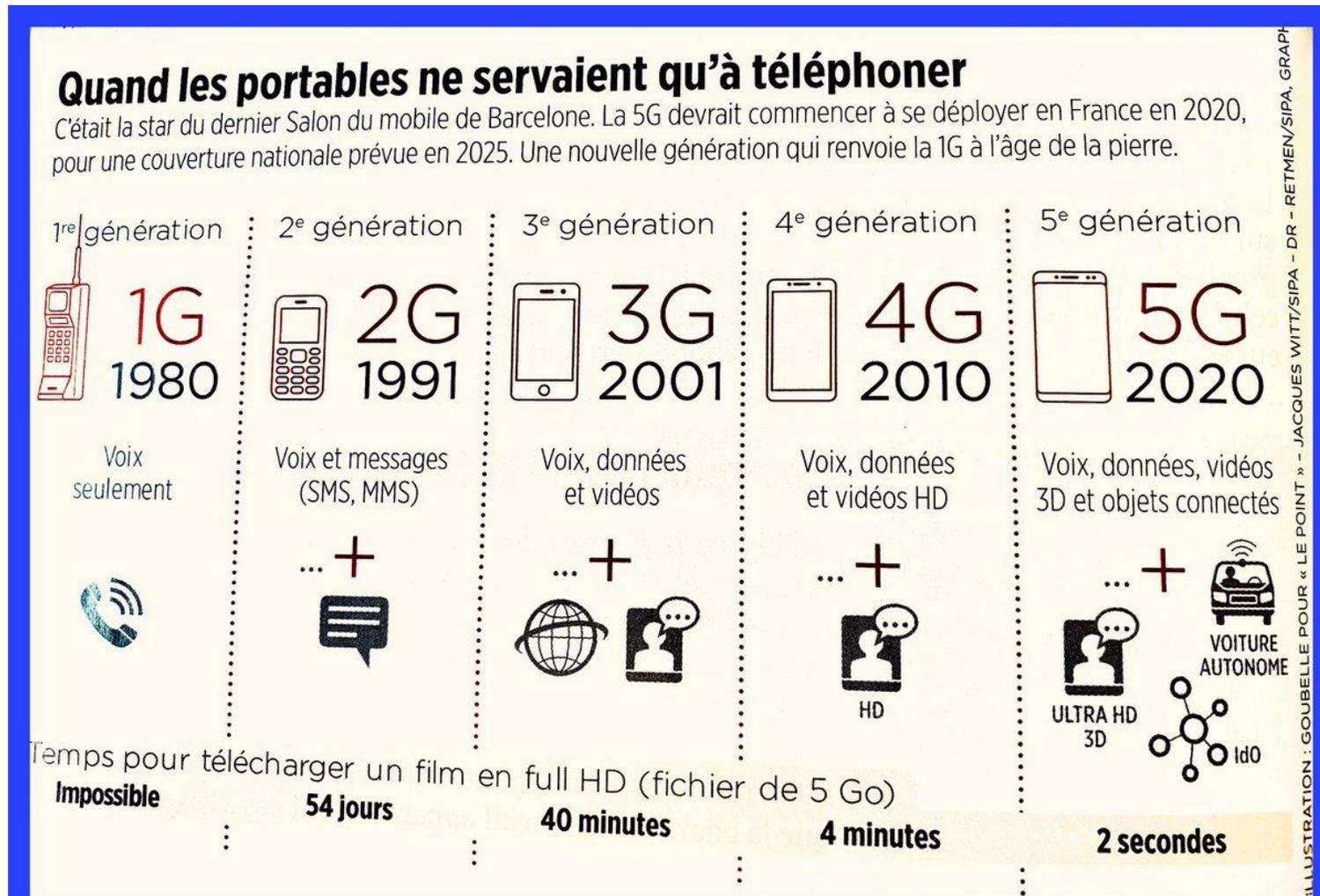
Exercice

Considérons un système cellulaire dont le nb 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 .

Calculer

- 1 Combien de fois un cluster de taille 4 doit être reproduit pour couvrir toute la zone ?
- 2 nb de canaux par cellule ?
- 3 la capacité du système si la taille de cluster, N est 4
- 4 la capacité du système si la taille de cluster est 7
- 5 Est-ce que la diminution de la taille de cluster N augmente la capacité du système? Expliquez.

Génération des réseaux mobiles



1G – NMT (Nordic Mobile Telephone)

- Norme de téléphonie mobile qui a été mise en service en 1981 en réponse à la congestion des réseaux de téléphonie mobiles existants à cette époque
- Ce réseau a été ouvert dans des pays tels que la Suède, le Danemark, la Norvège, d'où le nom de « Nordic » dans son appellation.
- Basée sur une technologie de téléphonie analogique sans-fil.
- Sa technologie de modulation radio est similaire à celle utilisée par les stations radio FM.

Avantages	Inconvénients
Premiers radiotéléphones analogiques sans-fil	Taille imposante des équipements
	Pas de confidentialité des communications
	Réseaux saturés

2G - GSM (Global System for Mobile communication)

- Norme de téléphonie mobile de 2eme génération développée à partir de 1990.
- Représente la première technologie de téléphonie numérique sans fil.
- En 1992, le GSM est utilisé dans 7 pays européens.
- En France, le GSM fonctionne entre les fréquences 900 Mhz et 1800 Mhz.
- Le débit moyen du GSM est similaire à celui du FAX, c'est-à-dire 9,6 kbits/sec.

Avantages	Inconvénients
Meilleure qualité d'écoute	Débit : envoi de données lentes
Taille réduite	
Confidentialité des communications	

2.5G – GPRS (General Packet Radio Service)

- GPRS est une évolution importante du GSM.
- L'objectif principal de cette évolution est d'accéder aux réseaux IP.
- Débit théorique est de l'ordre de 171, 2 kbit/s, et le débit réel est de l'ordre de 30 kbit/s.
- Le GPRS supporte différents niveaux de qualité de service (QoS).

Avantages	Inconvénients
Débits	Pas d'accès à l'Internet global
Accès WAP (Internet allégé)	Réseaux GSM déjà saturés
Facturation à la donnée	Aucune application décisive pour le grand public
Connexion permanente possible	
Support de plusieurs niveaux de qualité de service	

2.75G – EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution)

- EDGE a été développé au cours de l'année 2005.
- C'est une évolution des technologies GSM et GPRS.
- Avec des débits réels de l'ordre de 177 kbits/s (3 fois plus que le GPRS), EDGE se place entre le GPRS et la 3G.

Avantages	Inconvénients
Solution alternative moins onéreuse que la 3G	Obligation de changer de terminal
Débits plus élevés que le GPRS	

3G – UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

- UMTS a été développé en 2004 sous sa première version Release 99 (R99).
- UMTS fonctionne sur la bande de fréquences 1900-2000 MHz
- Permet un débit réel de l'ordre de 384 kbits/s (8 fois plus rapide que le GPRS).

Avantages	Inconvénients
Accès Internet haut-débit depuis un équipement mobile ou un ordinateur	Coût
Visiophonie	Changement des équipements usagers
Télévision	Arrivée du HSDPA

3.5G – HSDPA High Speed Downlink Packet Access

- HSDPA est développée depuis 2006.
- Elle propose des débits réels de l'ordre de 1.8 Mbits/s dans sa première version (presque 5 fois plus que l'UMTS).
- La prochaine version de l'HSDPA proposera des débits réels équivalents à 3.6 Mbits/s.
- Comme l'UMTS, l'HSDPA fonctionne sur la bande de fréquence **1900-2000 MHz**.

Avantages	Inconvénients
Connexion Internet depuis un ordinateur	Concurrent du WiMax (30 Mbits/s)
Débits élevés	Changement des équipements usagers
Contenu multimédia	

4G LTE-Advanced *(Long Term Evolution Advanced)*

- **4^e génération** des standards pour la Téléphone mobile .
- Elle permet le « très haut débit mobile », c'est-à-dire des transmissions de données à des débits théoriques supérieurs à 100 Mb/s,

Vision 6G

12 Challenges for 6G

