

Ecole Nationale Polytechnique d'Oran- Maurice AUDIN
Département de Génie des Systèmes Informatiques

Intitulé de la matière: **Technologies des Réseaux Sans Fil**

Chapitre 5: Introduction aux Réseaux Cellulaires (WWAN)

Mme Nawel BENDIMERAD

Année universitaire 2023/2024

Contenu du Chapitre 5

- 1/ Introduction
- 2/ Principe de fonctionnement
- 3/ La première Génération (1G)
- 4/ La deuxième Génération (2G)
- 5/ La troisième Génération (3G)
- 6/ La quatrième Génération (4G)
- 7/ La cinquième Génération (5G)
- 8/ Vers la sixième Génération (6G)
- 9/ Techniques d'accès multiple

1/ Introduction (1)

- L'industrie de la télécommunication mobile a commencé depuis le début des années 1970. Cette industrie a assisté à une croissance explosive.
- Passant de l'ère de l'analogique (1G) à l'ère du numérique (2G), la demande croissante de cette technologie a permis le développement des réseaux mobiles et l'évolution vers d'autres générations (3G, 4G, 5G et prochainement la 6G).
- Ces différentes générations ont connu une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large.
- Un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateurs pouvant être supportés.

2/ Principe de fonctionnement (1)

- Les communications mobiles suivent le principe général de la téléphonie : relier deux utilisateurs distants en passant par l'équipement réseau d'un opérateur chargé de gérer le service.
- Mais à la différence du fixe, dans le réseau mobile, ce ne sont pas des fils de cuivre ou de fibre optique qui assurent la liaison finale mais des transmissions radio.
- Le téléphone mobile d'un utilisateur communique par la voie des airs avec une antenne-relais, qui elle-même communique avec le commutateur centralisé de l'opérateur. Celui-ci achemine la communication vers le correspondant sur le réseau fixe ou via d'autres antennes relais.
- Pour communiquer, un utilisateur mobile doit donc être à portée d'une antenne-relais. Celle-ci a une portée limitée, ne couvre qu'un territoire restreint autour d'elle, appelé la «**cellule**» ; d'où le nom de « réseaux cellulaires » souvent utilisé pour désigner les réseaux mobiles.

2/ Principe de fonctionnement (2)

Notion de cellule

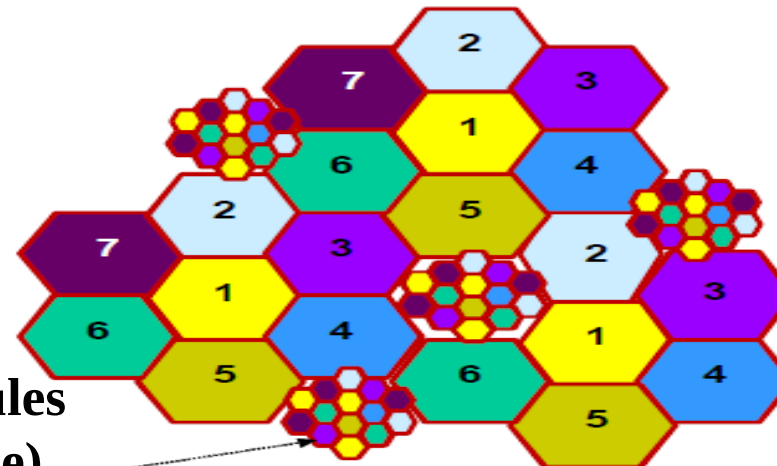
- Une cellule est contrôlée par un émetteur/récepteur appelé station de base (BTS: Base Transceiver Station), qui assure la liaison radio avec les terminaux mobiles sous sa zone de couverture.
- La couverture d'une station de base est limitée par plusieurs facteurs, notamment:
 - La puissance d'émission du terminal mobile et de la station de base ;
 - La fréquence utilisée ;
 - Le type d'antennes utilisé à la station de base et au terminal mobile ;
 - L'environnement de propagation (urbain, rural, etc.) ;
 - La technologie radio employée.
- Une cellule est communément représentée sous la forme d'un hexagone car l'hexagone est le motif géométrique le plus proche de la zone de couverture d'une cellule qui assure un maillage régulier de l'espace.

2/ Principe de fonctionnement (3)

Notion de cellule

- Le territoire à couvrir est divisé en cellules.
- À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource (réutilisation des fréquences uniquement dans des cellules non voisines).
- Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes.
- Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale.

**Microcellules
(zone dense)**



2/ Principe de fonctionnement (4)

Notion de cellule

- Nous pouvons distinguer plusieurs types de cellules en fonction de leur rayon de couverture, lié à la puissance d'émission de la station de base, et de leur usage par les opérateurs.
- **Les macro-cellules:** sont des cellules larges, dont le rayon est compris entre quelques centaines de mètres et plusieurs kilomètres. Les cellules macro couvrent l'ensemble d'un territoire de manière régulière et forment ainsi l'ossature de la couverture d'un réseau mobile. Leurs antennes sont placées sur des points hauts, comme des toits d'immeubles ou des pylônes.
- **Les micro-cellules:** sont des cellules de quelques dizaines à une centaine de mètres de rayon, destinées à compléter la couverture des cellules macro dans des zones denses ou mal couvertes. Leurs antennes sont typiquement placées sous le niveau des toits, généralement en façade de bâtiments.

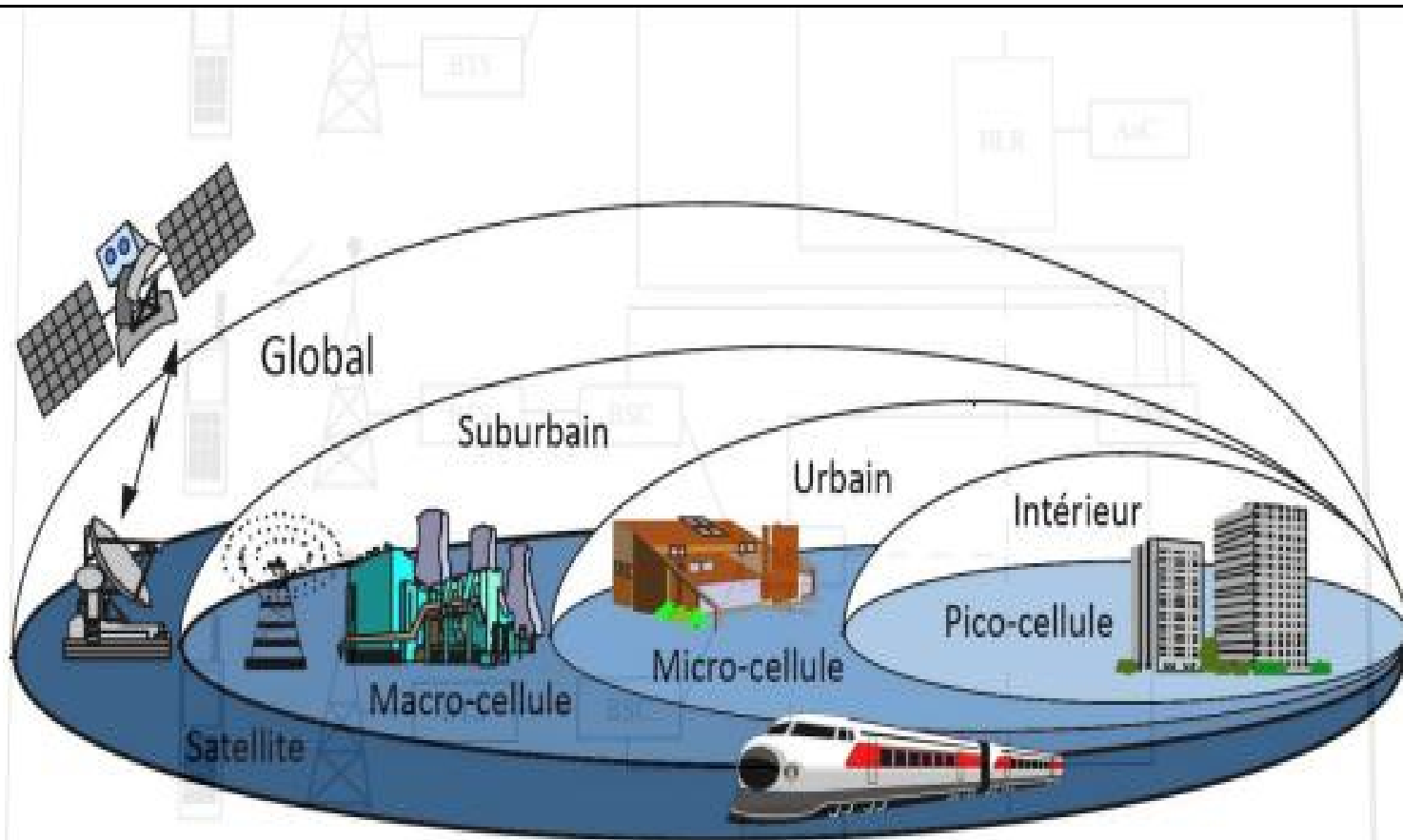
2/ Principe de fonctionnement (5)

Notion de cellule

- **Les pico-cellules:** poursuivent le même but que les cellules micro, mais sont associées à des puissances plus faibles. Elles peuvent notamment servir à couvrir des hot spots, ou de grandes zones intérieures (indoor), tels que des aéroports ou des centres commerciaux. Les antennes des stations de base pico peuvent être placées comme celles des stations de base micro, ou au plafond à l'intérieur des bâtiments.
- **Les femto-cellules:** sont de petites cellules d'une dizaine de mètres de rayon, principalement destinées à couvrir une habitation ou un étage de bureaux. Elles sont associées à des puissances faibles, et sont généralement déployées à l'intérieur des bâtiments (usage résidentiel ou en entreprise).

2/ Principe de fonctionnement (6)

Notion de cellule



3/ La première Génération (1G)

- La 1G est la technologie de téléphonie mobile de première génération.
- Les téléphones portables étaient des téléphones analogiques et étaient introduits en 1980.
- En 1979, le premier système cellulaire dans le monde est devenu opérationnel par «Nippon Telephone and Telegraph (NTT)» à Tokyo, Japon. En 1983, , le premier réseau 1G lancé aux États-Unis était à la norme «Advanced Mobile Phone System (AMPS)». En Europe, les deux systèmes analogiques les plus populaires étaient «Nordic Mobile Telephone (NMT)» et «Total Access Communications System (TACS)», d'autres systèmes analogiques ont également été introduits dans les années 1980 à travers l'Europe.
- Tous les systèmes offraient la fonctionnalité de handover et d'itinérance, mais les réseaux cellulaires n'étaient pas en mesure d'interagir entre les pays. C'était le principal inconvénient de la téléphonie mobile de première génération.

4/ La deuxième Génération (2G) (1)

- La deuxième génération (2G) de systèmes cellulaires repose sur une technologie numérique, elle a été développée à la fin des années 1980.
- Ces systèmes cellulaires utilisent une technologie numérique pour la liaison ainsi que pour le signal vocal.
- Ces systèmes apportent une meilleure qualité ainsi qu'une plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur.
- La deuxième génération de systèmes cellulaires utilise essentiellement les standards suivants :
 - GSM (2G),
 - GPRS (2,5G),
 - EDGE (2,75).

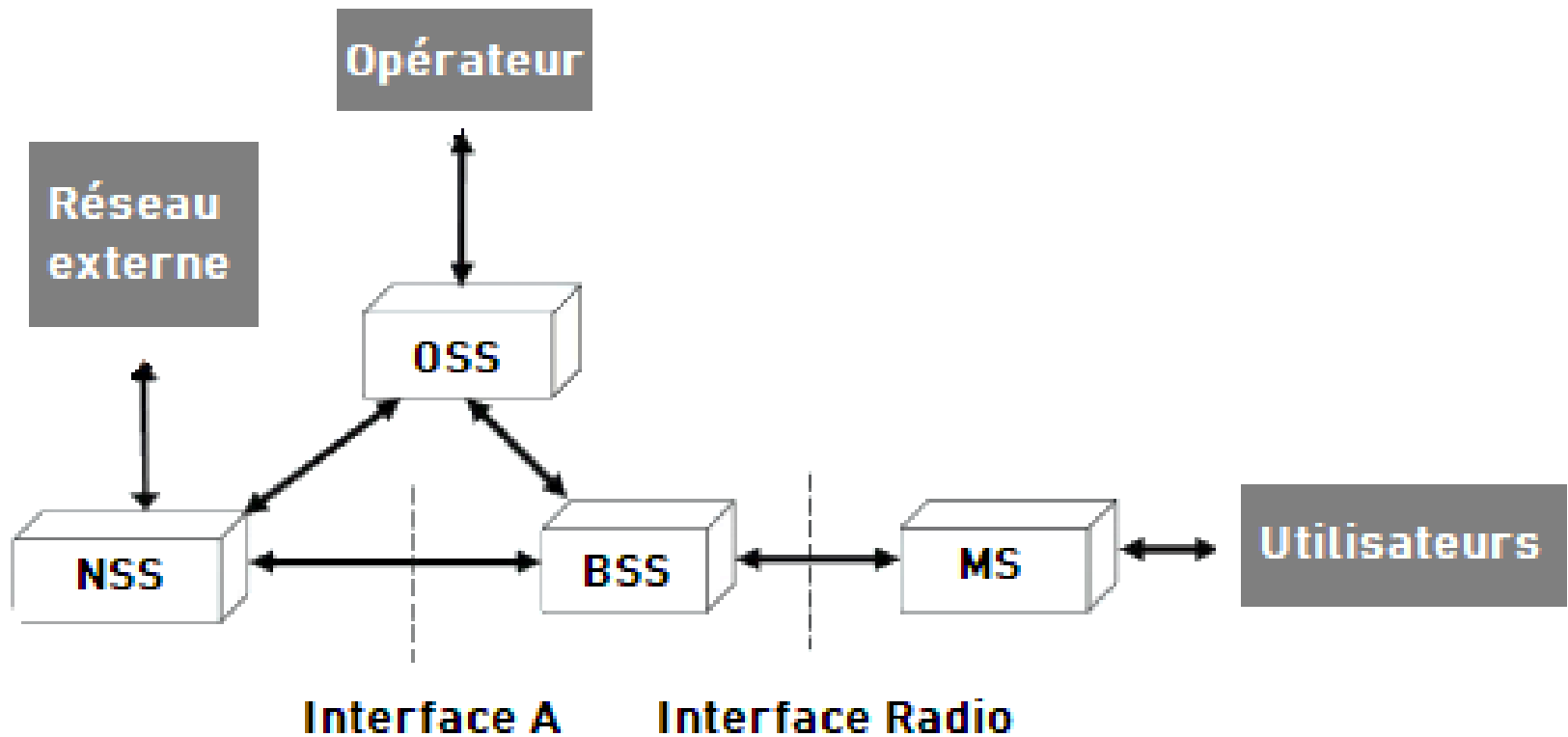
4/ La deuxième Génération (2G) (2)

Le réseau GSM

- Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC - réseau fixe).
- Le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :
 - Le sous-système radio « BSS » contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur qui assure la transmission radioélectrique et la gestion de la ressource radio (BTS et BSC) ;
 - Le sous-système réseau ou d'acheminement « NSS » : Etablissement des appels et mobilité ;
 - Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance « OSS » : admission sur réseau.

4/ La deuxième Génération (2G) (3)

Le réseau GSM



Architecture simplifiée d'un réseau GSM

4/ La deuxième Génération (2G) (4)

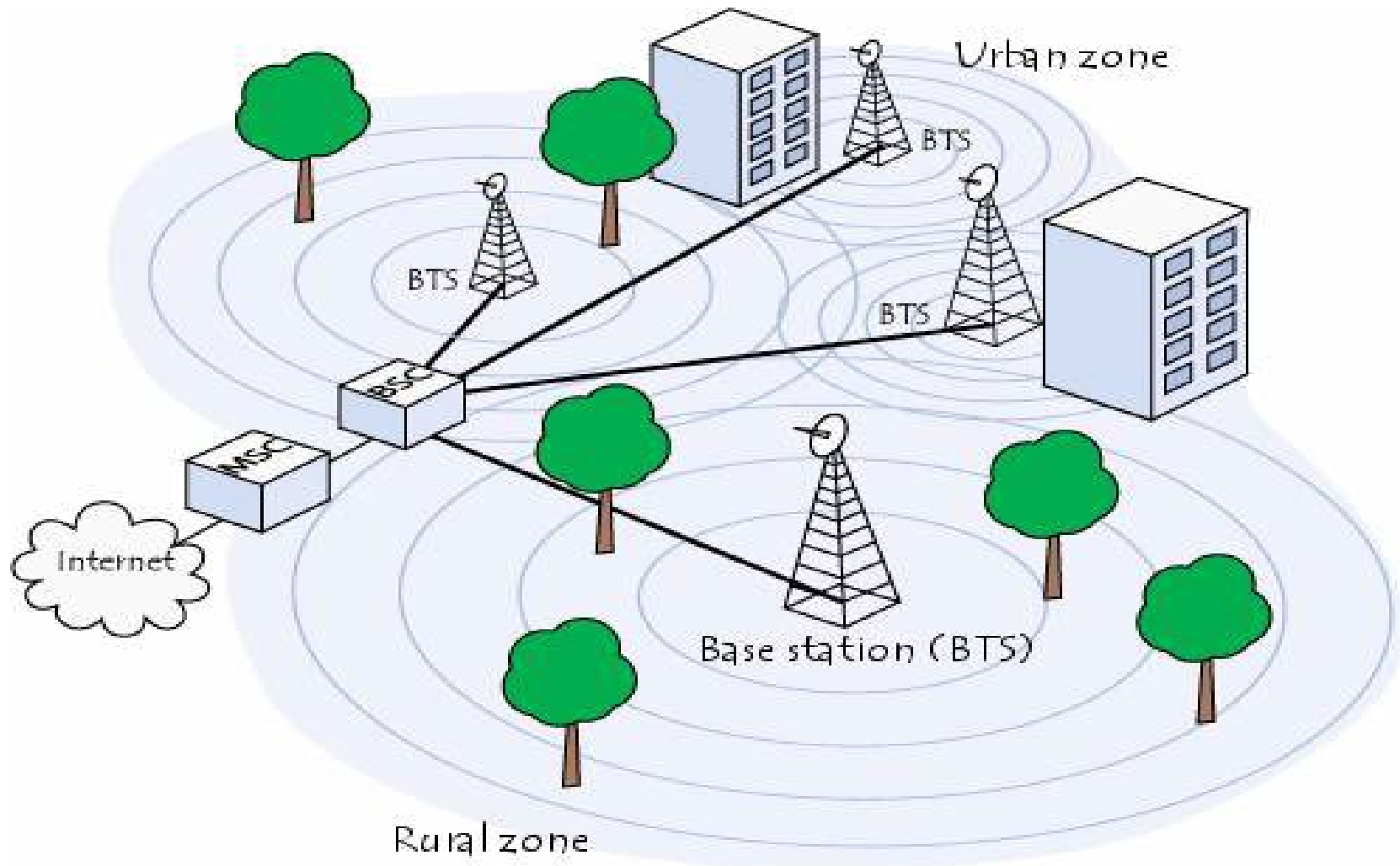
Le réseau GSM

- Les principaux équipements utilisés dans un réseau GSM sont les suivants:

Nom	Fonction
BTS	Station de base réceptionnant les appels entrant et sortant des ME.
BSC	Contrôleur des stations de base.
MSC	Commutateur de réseau.
HLR	Base de données sur l'identité et la localisation des abonnés.
AUC	Centre d'authentification des terminaux sur le réseau.
VLR	Base de données sur les visiteurs du réseau.
EIR	Enregistreur des identités des équipements
OMC	Centre d'exploitation et de maintenance du réseau de l'opérateur.
MS	Station mobile
SIM	Carte SIM identifiant l'abonné sur un réseau défini.

4/ La deuxième Génération (2G) (5)

Le réseau GSM



4/ La deuxième Génération (2G) (6)

Le réseau GPRS

- La norme GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution de la norme GSM. Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération 3G, on parle généralement de 2.5G pour classer la norme GPRS.
- Le GPRS permet d'étendre l'architecture de la norme GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec un débit théorique de 171.2 Kbit/s.
- Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. La norme GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût.

4/ La deuxième Génération (2G) (7)

Le réseau EDGE

- La norme EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution de la norme GSM, permettant d'augmenter le débit des données.
- Tout comme la norme GPRS, il est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner la norme EDGE.
- EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM, ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles.
- Dans la théorie EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 384 kbit/s pour les stations fixes (piétons et véhicules lents) et jusqu'à 144 kbit/s pour les stations mobiles (véhicules rapides).

5/ La troisième Génération (3G) (1)

- La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord.
- Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par les codes (CDMA).
- La 3G est caractérisée par la volonté des industriels de télécommunications de définir une norme au niveau mondial.
- Dans cette perspective, ces entreprises, en particulier celles issues du monde GSM, se sont regroupées au sein du consortium 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project). Cette démarche aboutit à l'élaboration de la norme UMTS à la fin des années 1990.

5/ La troisième Génération (3G) (2)

Le réseau UMTS

- L'UMTS, est la norme de télécommunications de troisième génération.
- Cette norme repose sur les technologies WCDMA (combinaison de CDMA et FDMA) et TD-CDMA (combinaison de TDMA, CDMA et FDMA).
- L'UMTS est compatible avec tous les réseaux du monde du fait de la possibilité de roaming au niveau mondial.
- Les objectifs de l'UMTS étaient d'accroître la capacité du système pour le service voix mais surtout d'améliorer le support des services de données.
- L'idée était d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

5/ La troisième Génération (3G) (3)

Le réseau de la 3G+

- Rapidement, la volonté apparut d'effacer les limites de la norme précédente en matière de débits.
- Les évolutions HSPA, aujourd'hui connues commercialement sous le nom de 3G+, furent introduites:
 - HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) pour la voie descendante ;
 - HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante.
- Ces évolutions ont été définies par le 3GPP afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence du système.
- La latence désigne le temps de réponse du système à une requête de l'utilisateur, et est un facteur clé de la perception des services de données par l'utilisateur.

5/ La troisième Génération (3G) (4)

Le réseau de la 3G+

- L'augmentation du trafic due à l'introduction de nouveaux services implique un partage des ressources entre les utilisateurs et, dans certains cas, une réduction des débits qui leur sont délivrés.
- Avec l'augmentation de la charge des réseaux, la qualité de service fournie aux clients se dégrade, ce qui pose un véritable problème aux opérateurs de réseaux mobiles. Deux pistes ont été suivies par le 3GPP afin de répondre à ces contraintes
 - La définition d'évolutions du HSPA, appelées HSPA+ ;
 - La définition du LTE.
- HSPA+ est un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :
 - Les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système ;
 - La gestion des utilisateurs always-on.

6/ La quatrième Génération (4G)

- Il s'agit d'une nouvelle technologie qui a premièrement été commercialisée utilisant la norme LTE (Long Term Evolution) fin 2009 par l'opérateur téléphonique suédois et finlandais « Telia ». Il s'agit d'une évolution des réseaux GSM/UMTS qui spécifie la prochaine génération du système d'accès mobile à large bande.
- Pour être plus précis, la LTE (Long Terme Evolution) correspond en réalité à la 3,9G, car on n'atteint pas tout à fait les débits fixés par les conventions internationales. Cependant, certains opérateurs n'ont pas hésité à commercialiser la LTE en guise de 4G.
- En 2010, la LTE Advanced été reconnue comme une technologie 4G à part entière. Elle offre un débit théorique de l'ordre de 1Gb/s
- Cette norme utilise la technologie MIMO (algorithme de communication multi-entrées et multi-sorties), qui permet des transferts de données à plus longue portée et à plus grande vitesse grâce à l'utilisation d'antennes multiples.
- Vers la fin de l'année 2015, la technologie LTE-Advanced Pro a vu le jour. Elle est parfois appelée 4,5G ou 4.9G dans le marketing et elle est considérée comme une technologie intermédiaire entre la 4G définis par les premières versions de LTE et la nouvelle interface radio 5G.

7/ La cinquième Génération (5G)

- Le réseau sans fil de cinquième génération abordera l'évolution au-delà de l'internet mobile vers l'IoT (Internet des objets).
- La principale évolution par rapport à la 4G et la 4.5G d'aujourd'hui est qu'au-delà de l'amélioration de la vitesse de transmission des données (jusqu'à 10Gb/s), ce sont les nouveaux cas d'utilisation de l'IoT et des communications critiques qui vont bénéficier des performances améliorées de la 5G (apparue en 2020).
- Par exemple, la faible latence, une caractéristique autorisant l'interactivité en temps réel des services utilisant le cloud, est indispensable au succès des voitures sans conducteur, par exemple.
- À la différence des services IoT actuels qui optent pour des compromis en matière de performances afin de bénéficier au mieux des technologies sans fil actuelles (3G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, etc.), les réseaux 5G seront conçus pour apporter le niveau de performance nécessaire à un déploiement massif d'objets connectés.

8/ Vers la sixième Génération (6G)

- La 6G (sixième génération sans fil) dont les activités de recherche ont commencé en 2020 est le successeur de la technologie cellulaire 5G. Les réseaux 6G pourront utiliser des fréquences plus élevées que les réseaux 5G. Ils peuvent aussi offrir une capacité nettement supérieure et une latence beaucoup plus faible.
- L'un des objectifs de l'internet 6G sera de prendre en charge une communication à latence d'une microseconde.
- La 6G devrait permettre des débits de données de 1 téraoctet par seconde. Les points d'accès pourront servir plusieurs clients simultanément grâce à l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence. Ce niveau de capacité et de latence permettra d'étendre les performances des applications 5G.
- Ces améliorations profiteraient également aux technologies mobiles, ainsi qu'aux technologies émergentes. Des technologies telles que les villes intelligentes, les véhicules autonomes, etc.

9/ Techniques d'accès multiple (1)

- La bande de fréquence est une ressource rare qu'il faut partager entre tous les utilisateurs.
- Il est donc nécessaire de transmettre simultanément sur un même canal le plus grand nombre de messages possibles.
- On fait appel pour cela aux différentes techniques de multiplexage telles que:
 - Le FDMA
 - Le TDMA
 - Le CDMA

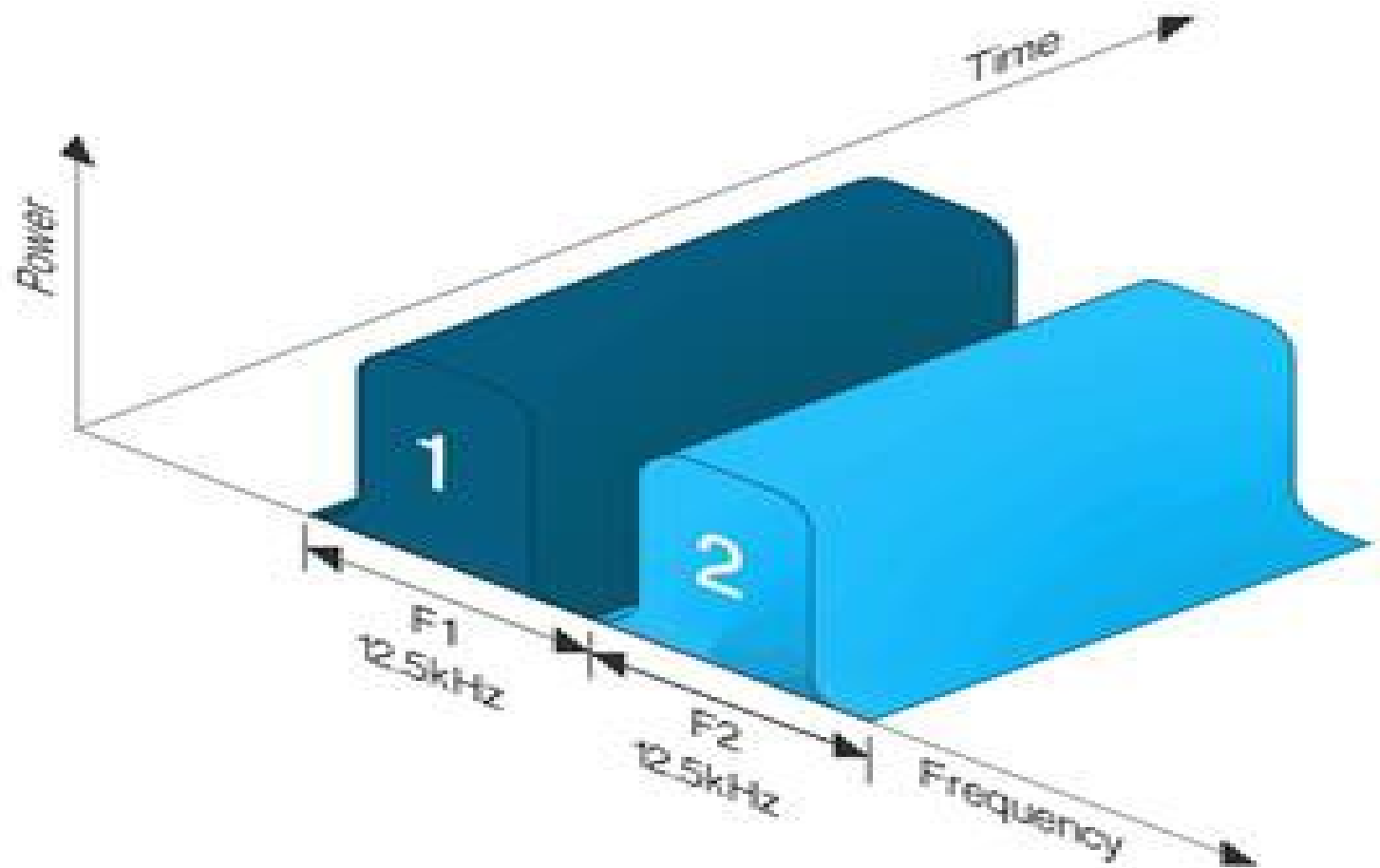
9/ Techniques d'accès multiple (2)

Le FDMA

- L'accès multiple par répartition en fréquence (ou AMRF, en anglais Frequency Division Multiple Access ou FDMA) est une technique de contrôle d'accès au support utilisée en téléphonie mobile.
- Il s'agit d'un découpage en bandes de fréquences de manière à attribuer dynamiquement une partie du spectre à chaque utilisateur.
- De cette manière, chaque utilisateur se voit attribuer une ou plusieurs bandes de fréquences distinctes.

9/ Techniques d'accès multiple (3)

Le FDMA



Principe d'accès multiple par répartition en fréquence

9/ Techniques d'accès multiple (4)

Le TDMA

- L'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT), en anglais (time division multiple access TDMA) est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal ou une seule bande de fréquence.
- Il s'agit d'une division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir le temps disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence (porteuse) ou une longueur d'onde peut être allouée à plusieurs abonnés simultanément.

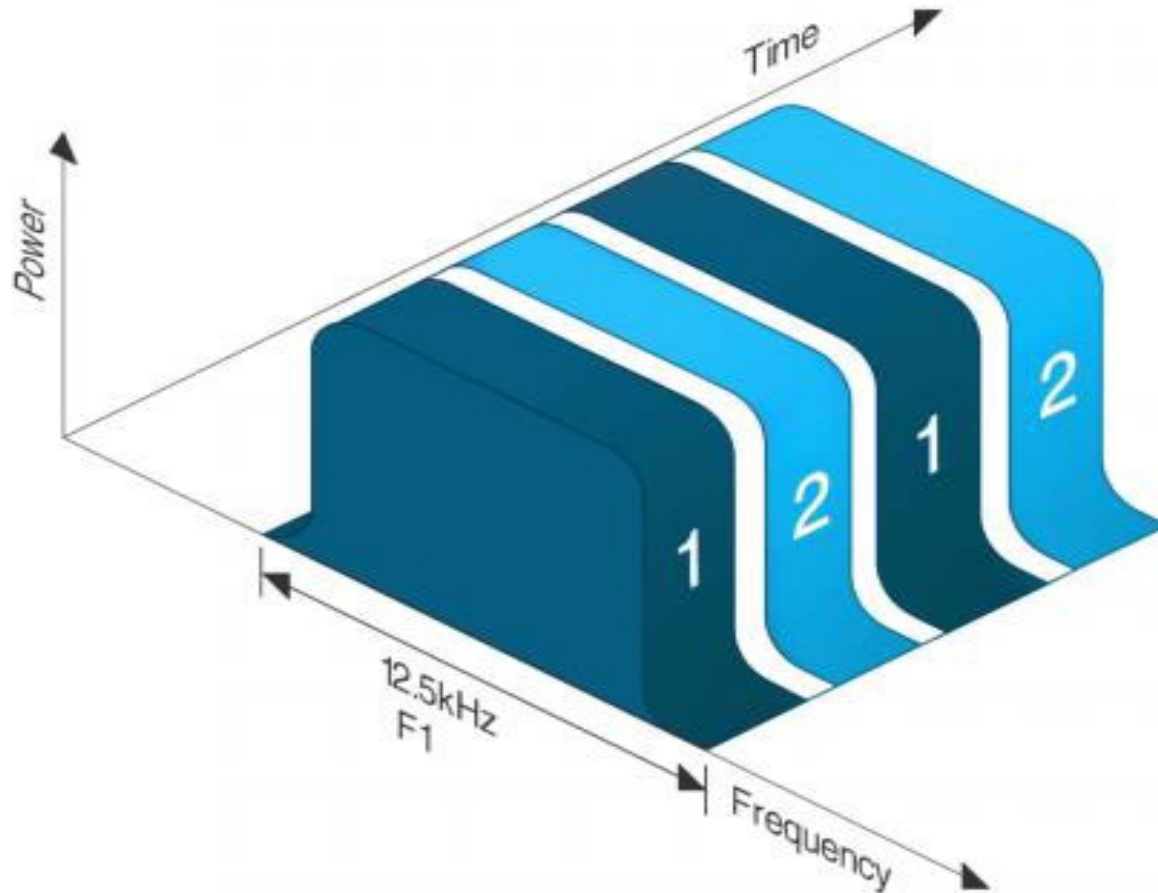
9/ Techniques d'accès multiple (5)

Le TDMA

- Chaque porteuse (canal physique) supporte huit intervalles de temps (time slot) attribués à huit communications, c'est-à-dire que 8 personnes utilisent la même bande de fréquence, mais elles parlent l'une après l'autre.
- Un inconvénient de cette technique est qu'il faut transmettre une synchronisation (horloge) qui soit la meilleure possible pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données reçues et en émettre sans interférence avec les autres abonnés.
- Le GSM utilise le multiplexage TDMA auquel on ajoute la FDMA pour optimiser les ressources fréquentielles ; ce type de multiplexage peut être schématisé par la figure suivante où quatre canaux seulement ont été pris de toute la bande passante.

9/ Techniques d'accès multiple (6)

Le TDMA



Principe d'accès multiple par répartition en temps

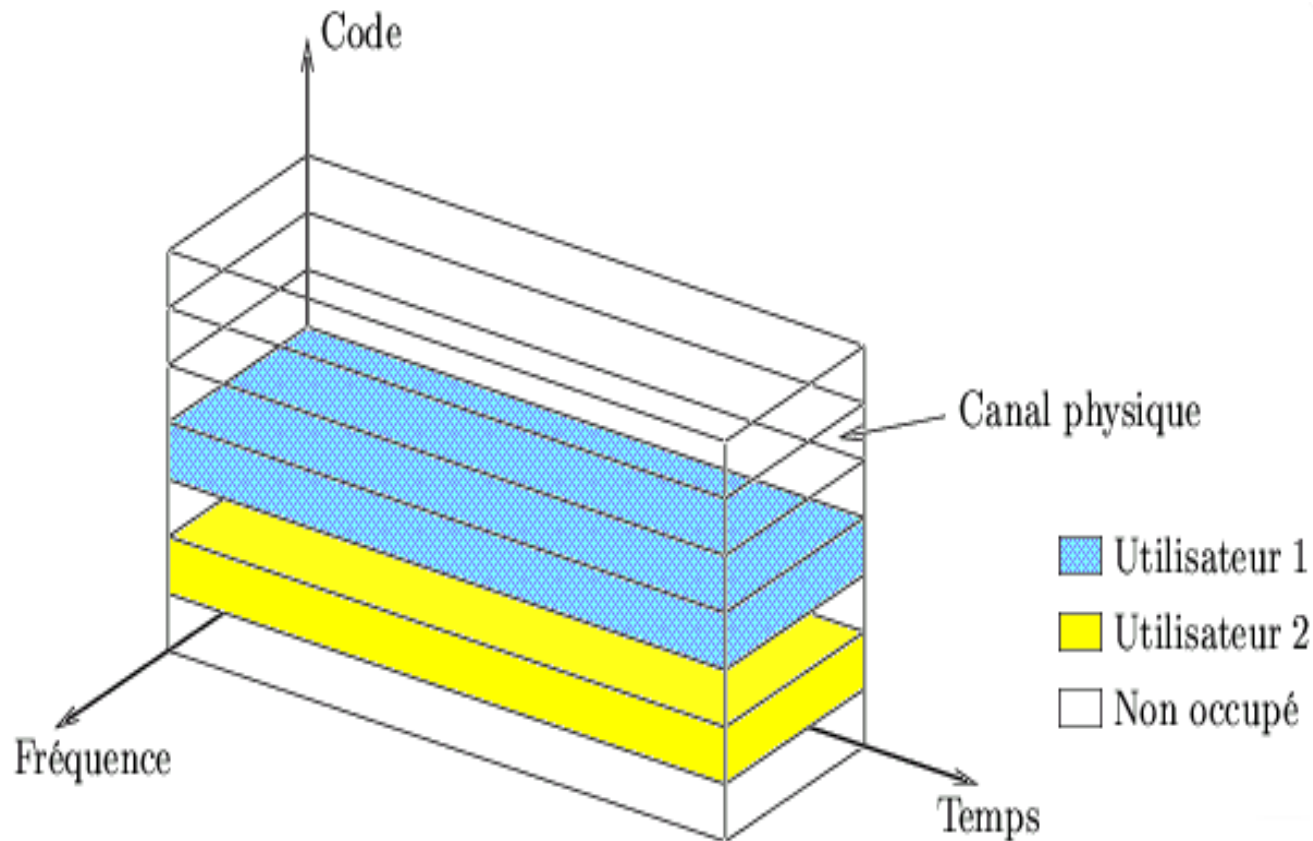
9/ Techniques d'accès multiple (7)

Le CDMA

- La méthode CDMA autorise la prise de la totalité de la bande de fréquences, de manière simultanée par tous les utilisateurs localisés dans la même cellule.
- Pour cela, un code binaire est attribué pour chaque utilisateur. Ce dernier se sert de son code pour transmettre l'information qu'il désire communiquer en format binaire d'une manière orthogonale.
- La difficulté dans CDMA est de trouver des codes suffisamment différents pour éviter les interférences et permettre à la station de base de récupérer des informations en parallèle.

9/ Techniques d'accès multiple (8)

Le CDMA



La technique CDMA