



Université de Sousse
IsitCom – Hammam Sousse

Cours Réseaux émergents – 3LT

Chapitre 1 – Les réseaux 4G

Salma BOURBIA

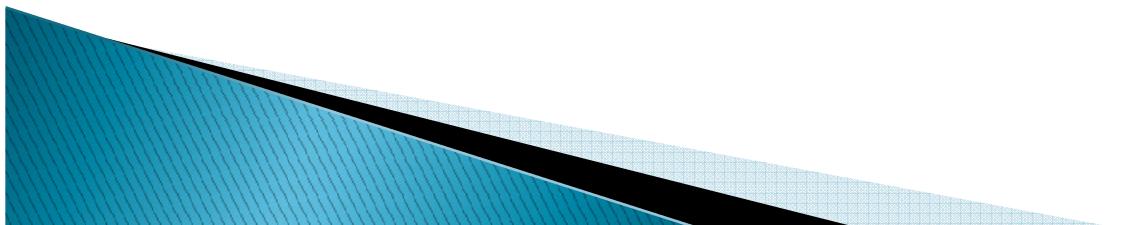
Motivations pour la 4G

- ▶ Objectifs du réseau LTE
 - Demande croissante de débit et de qualité de service
 - Le haut débit devient une nécessité (utilisation quotidienne, connexion internet, le tout est connecté)
 - En sens descendant et en sens montant
 - Augmentation sans cesse des utilisateurs mobiles
 - Le réseau doit supporter un grand nombre d'utilisateur simultanément dans une même cellule
 - + un grand nombre d'utilisateur en veille
 - Réduction des délais: capacité de traiter rapidement les demandes des utilisateurs (faible latence)
 - Délais pour l'établissement des connexions
 - Délais pour la transmission des paquets
 - Réduction de la complexité d'exploitation du réseau
 - Simplification du réseau
 - Augmenter l'efficacité spectrale du réseau et donc de la capacité du réseau



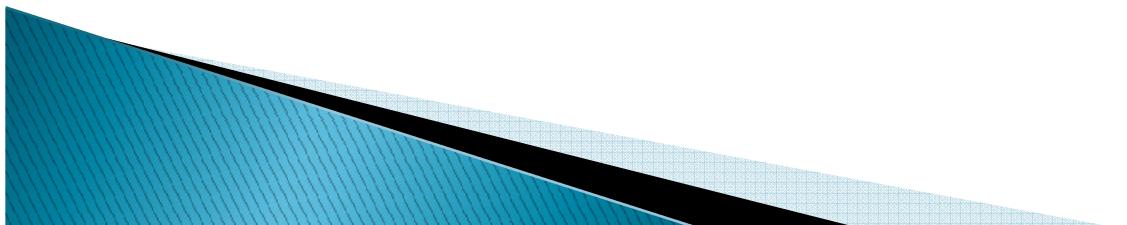
Motivations pour la 4G

- Agilité en fréquence
 - Opérer sur des porteuses de différentes largeurs pour s'adapter à des allocations spectrales variées.
 - Le LTE peut allouer plusieurs bandes (porteuses) de largeur allant de 1.25 MHz à 20 MHz
 - Le réseau doit être capable de coexister avec d'autres technologies cellulaires (handover inter-systèmes)
- Mobilité
 - Le réseau doit rester fonctionnel pour des utilisateurs se déplaçant à des vitesses élevées
 - Optimiser pour des déplacements peu élevés



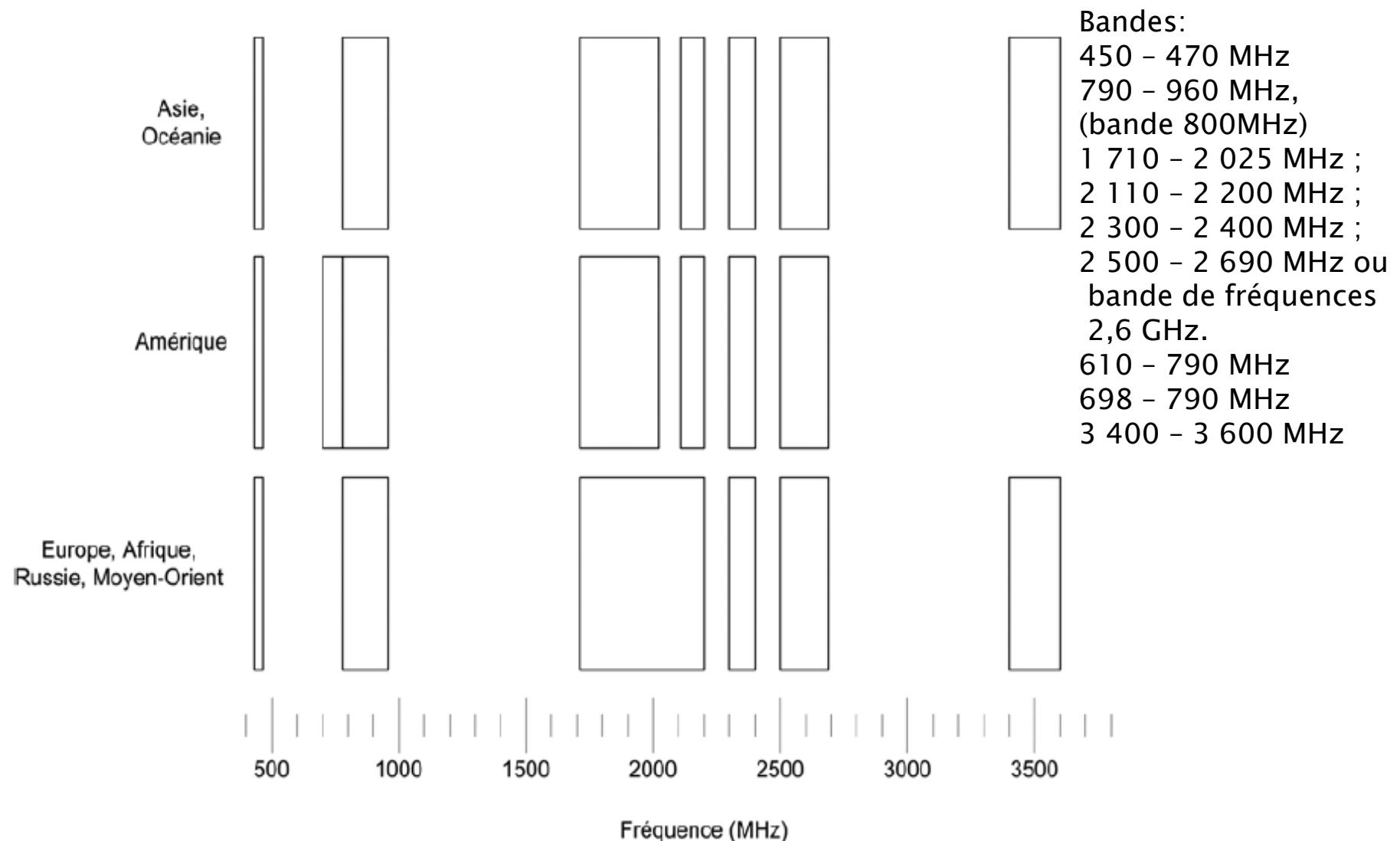
Le réseau LTE: allocation spectrale

- ▶ LTE: Long Term Evolution
- ▶ Une extension du HSPA (3G)
- ▶ Allocation spectrale
 - Le réseau LTE peut être déployé (au niveau fréquentiel) de deux manières
 - Soit sur une bande de fréquence qui est déjà allouée à un autre système 2G ou 3G
 - Soit sur de nouvelles bandes de fréquences
 - Objectif: rendre l'allocation de fréquences neutre et indépendante de la technologie déployée



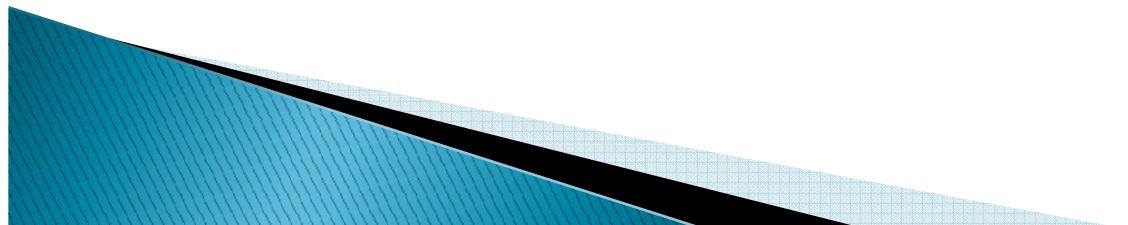
Le réseau LTE: allocation spectrale

Bandes allouées aux différentes technologies IMT (International Mobile Telecommunications : terme qui regroupe 3G et 4G, selon le WRC-07 (World RadioCommunication Conference)

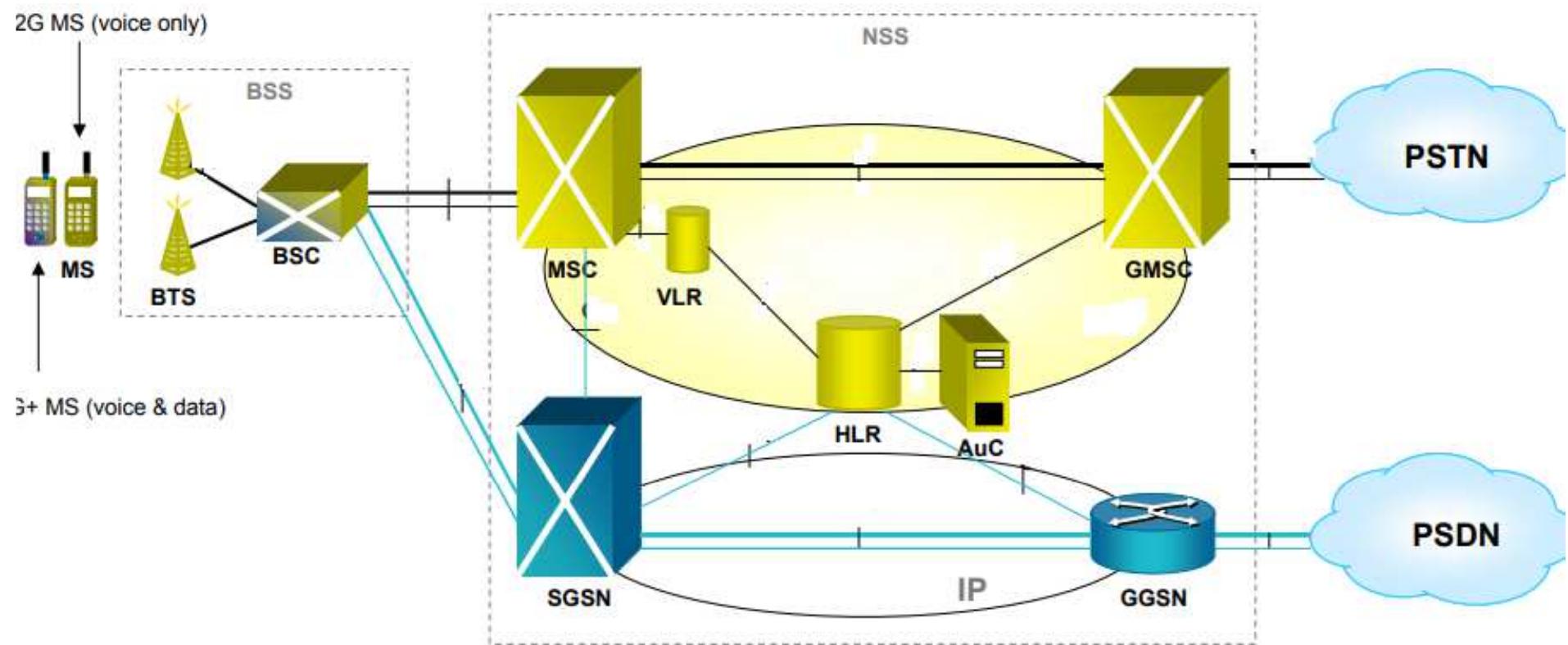


Le réseau LTE: Architecture

- ▶ Architecture simplifiée par rapport à 2G et 3G
 - Les entités SGSN, BSC (de 2G) ainsi que RNC (de 3G) sont remplacées par une entité MME (Mobility Management Entity)
 - ➔ Réduction des temps de traitement
 - La station de base BTS (2G) et NodeB(3G) devient eNodeB dans 4G
 - Les Routeurs Seving gateway et PDN (Packet Data Network) gateway remplacent le GGSN
 - Architecture tout IP



Rappel architecture 2.5 G



BSS — Base Station System

BTS — Base Transceiver Station

BSC — Base Station Controller

NSS — Network Sub-System

MSC — Mobile-service Switching Controller

VLR — Visitor Location Register

HLR — Home Location Register

AuC — Authentication Server

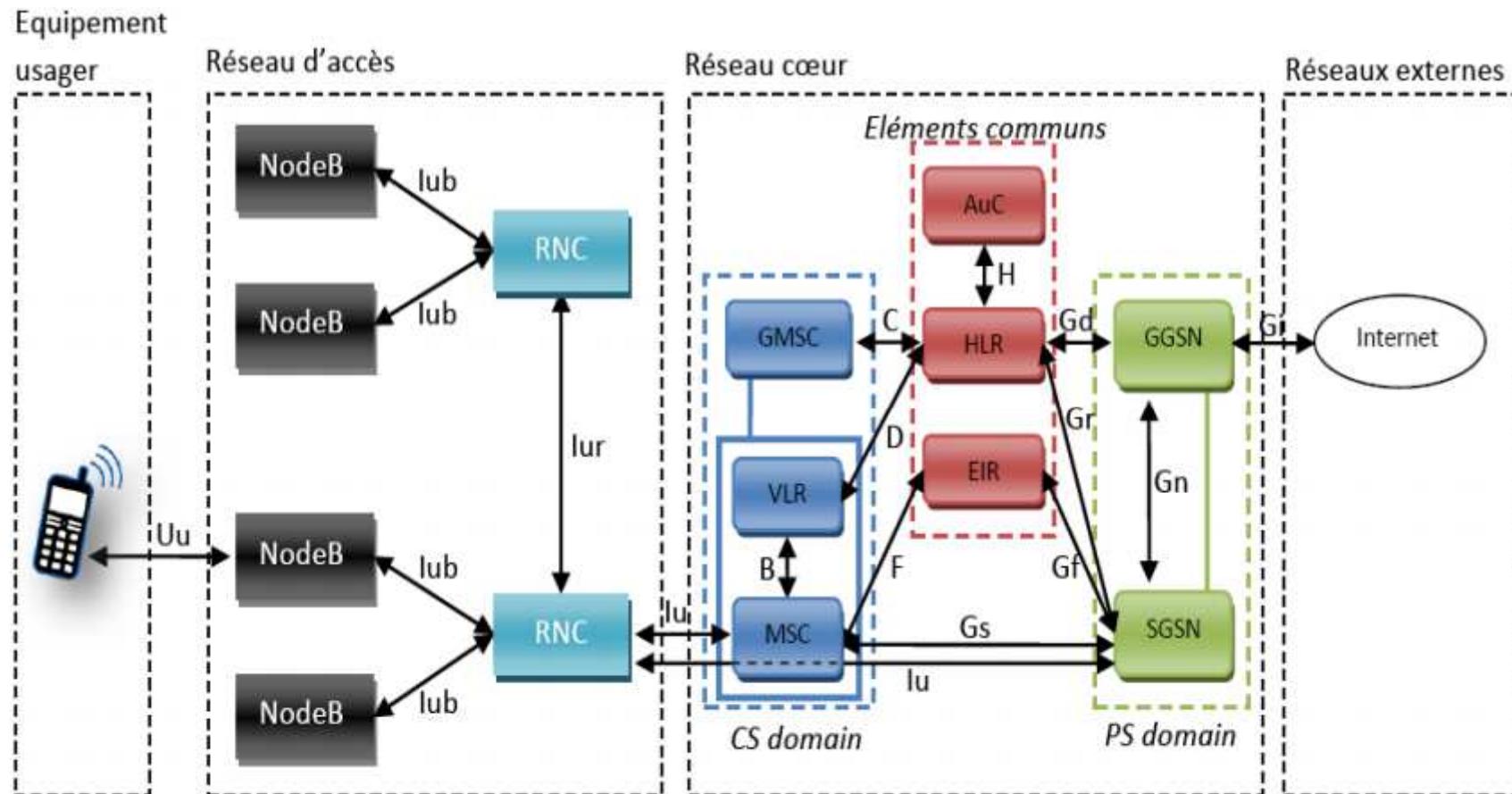
GMSC — Gateway MSC

SGSN — Serving GPRS Support Node

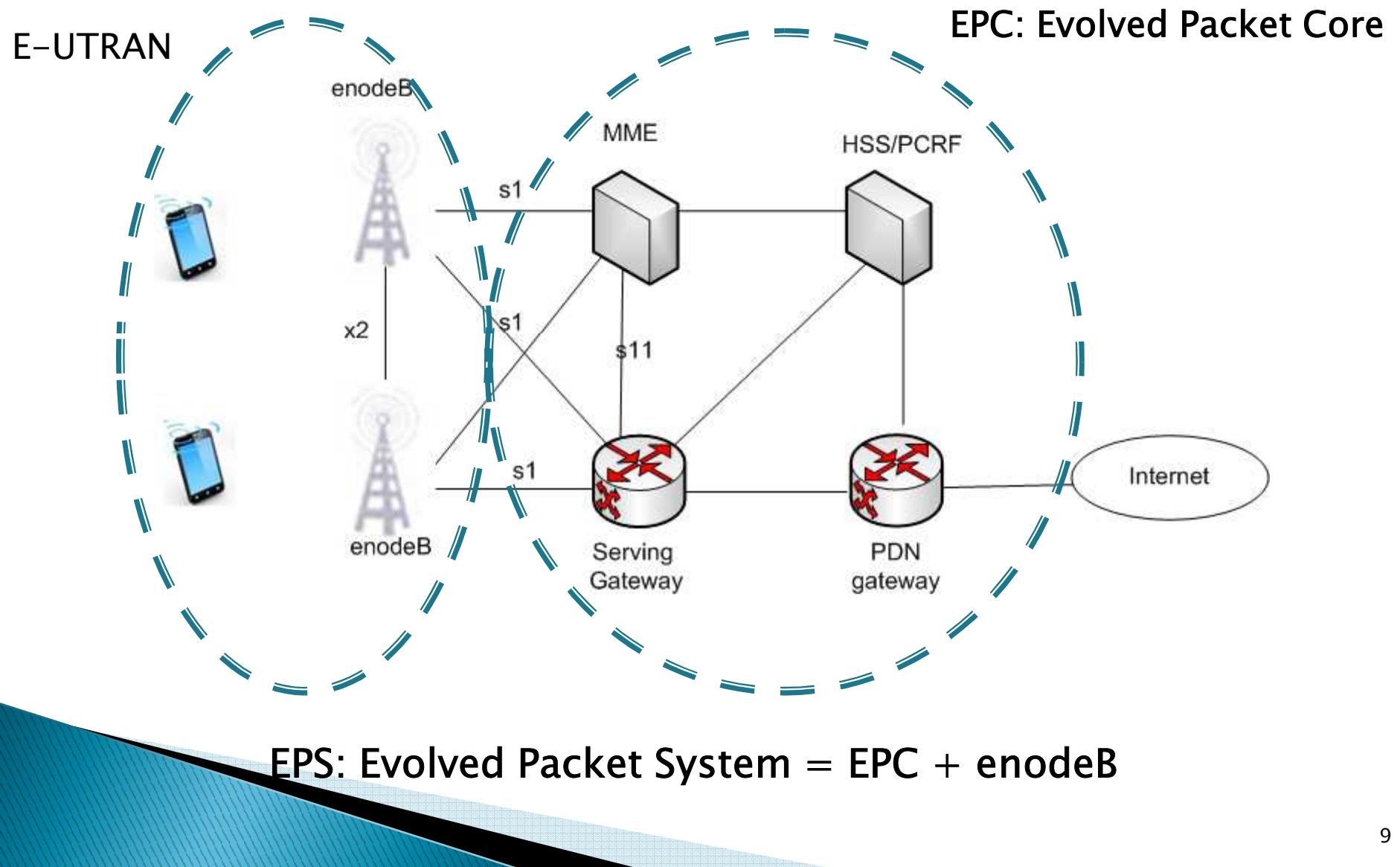
GGSN — Gateway GPRS Support Node

GPRS — General Packet Radio Service

Rappel: Architecture 3G



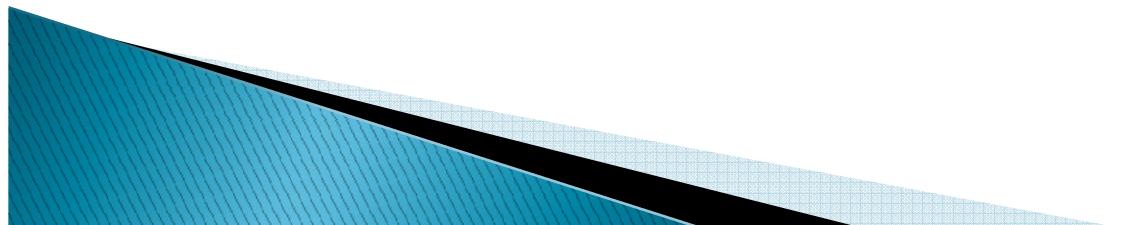
Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)



Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)

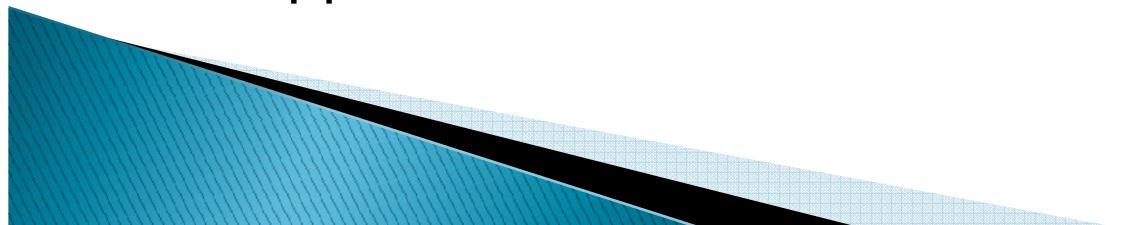
▶ Les fonctions assurées par l'EPS

- Contrôle d'accès au réseau (connectivité, authentification des utilisateurs, taxation, cryptage et sécurité des flux)
- Gestion de la mobilité (permet à l'utilisateur de s'attacher et de se détacher du réseau et de mettre à jour sa tracking area)
- Gestion de session (connectivité IP pour les communications)
- Routage de paquet
- Gestion de ressources radio

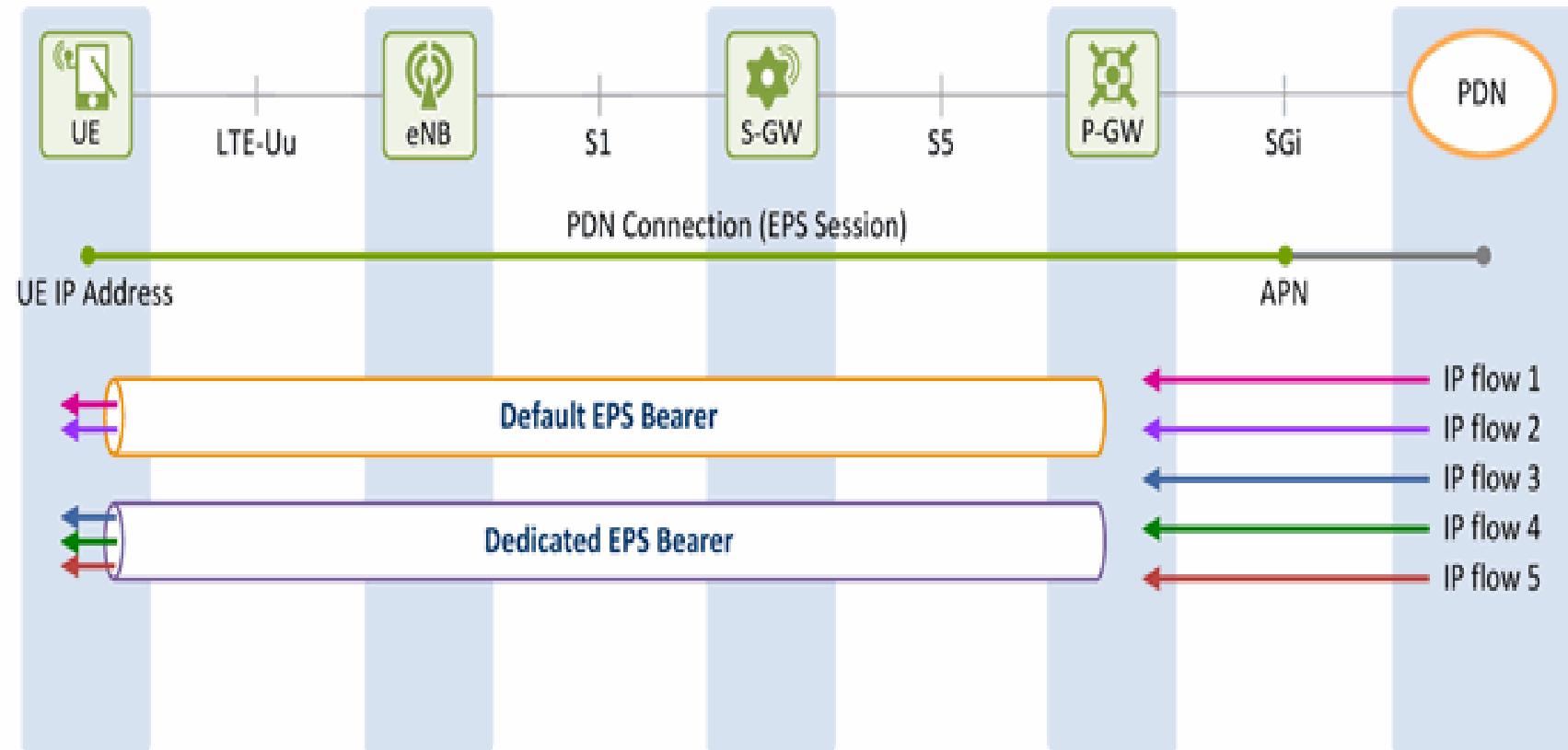


Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)

- ▶ Notion de bearer EPS (porteuse EPS)
 - Une sorte de tunnel construit entre l'équipement utilisateur et le PDN Gateway nécessaire pour le transport des flux IP de communication
 - Le premier bearer (nommé default bearer) est établi par le MME lors de la procédure d'enregistrement (fournir une connectivité IP)
 - Le dedicated bearer est établi à n'importe quel moment après la procédure d'enregistrement (fournir la qualité de service requise par l'utilisateur : débit, latence, ...)
 - Un bearer est caractérisé par des paramètres de qualité de service pour spécifier les besoins des différentes applications



Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)



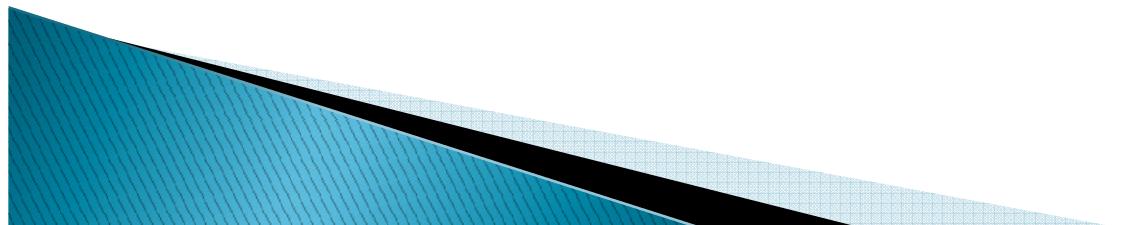
Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)

▶ Entité MME

- Échange de protocoles de gestion de la mobilité (attachement détachement, mise à jour de la localisation) et de gestion des sessions (établissement et libération des sessions de données) avec les équipements utilisateurs
- Authentification des utilisateurs à partir des informations reçues du HSS
- Responsable de la joignabilité de l'équipement utilisateur quand il est en état idle (dans cet état, les paquets qui lui sont destinés sont récupérés dans le serving gateway)
- Assure la sélection du SGSN lors d'un handover avec 2G ou 3G
- Sélection d'un autre MME à l'intérieur du réseau lors d'un handover vers une zone gérée par un autre MME

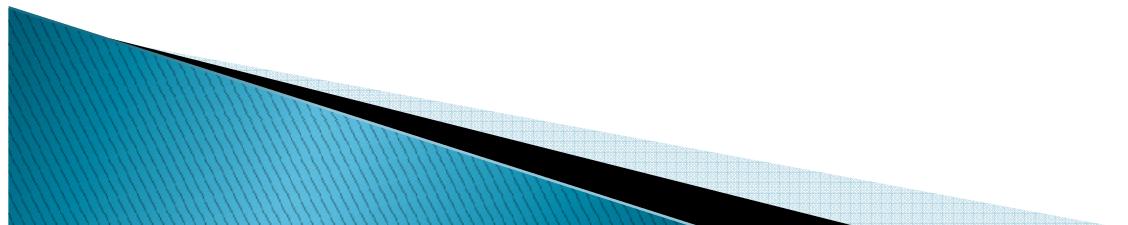
Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)

- ▶ HSS (Home Subscriber Server)
 - C'est un HLR (une base de données) évolué qui contient les informations de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE appartenant au même opérateur
- ▶ PCRF (Policy and Charging Rules Function)
 - Fournir les règles de taxation au PDN gateway pour différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée



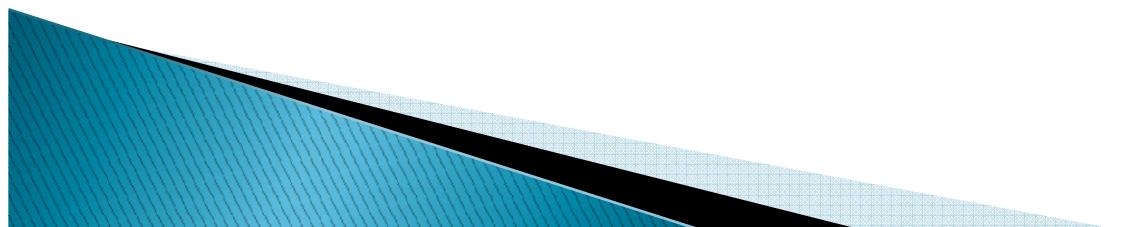
Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)

- ▶ Serving Gateway
 - Routage des paquets sortant au PDN gateway approprié et relaie les paquets entrant à l'enodeB du destinataire
- ▶ PDN Gateway
 - Joue le rôle d'interface avec le réseau externe (internet)
 - Allocation d'une adresse IP à l'équipement utilisateur dès qu'un default bearer est établie à cet utilisateur
 - Taxation des flux montants et descendant en fonction des règles de taxation données par le PCRF



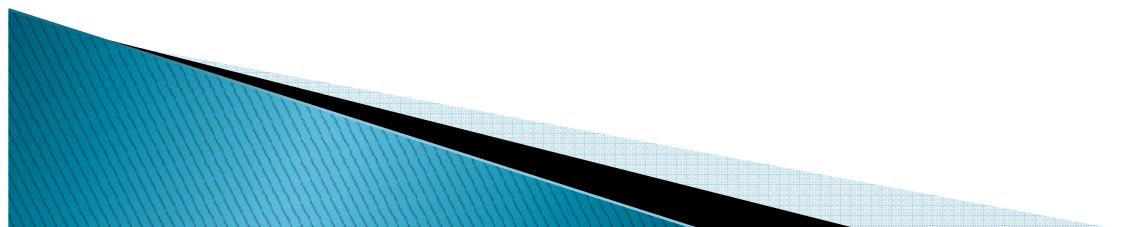
Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)

- ▶ Interface x2
 - Interface logique qui permet aux enodeB d'échanger des informations de signalisation durant le handover sans faire intervenir le réseau cœur
- ▶ Interface s1
 - Relie l'enodeB (réseau d'accès) au réseau cœur du LTE



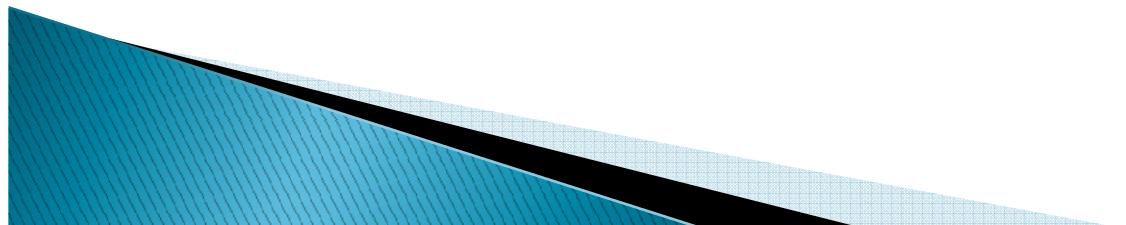
Architecture LTE : l'EPS (Evolved Packet System)

- ▶ Impact de la simplification du réseau cœur 4G par rapport à 3G et 2G
 - Coûts d'acquisition d'infrastructures réduits
 - Économie en terme de consommation d'énergie
 - Architecture tout IP
 - Pas de ressources dédiées comme en mode circuit de 2G et 3G



Architecture LTE :Femtocell

- ▶ Femtocell ou Femtocellule, appelée aussi Home enode B (HeNB) est une station de base qui offre une couverture radio limitée tel que dans une maison ou une entreprise
- ▶ Possède une faible puissance
- ▶ Se connecte au réseau à travers une connexion Internet haut débit (via par exemple une technologie XDSL par câble ou par fibre optique)
- ▶ L'avantage est que l'équipement utilisateur libère des ressources dans la macro-cellule publique tout en restant connecté

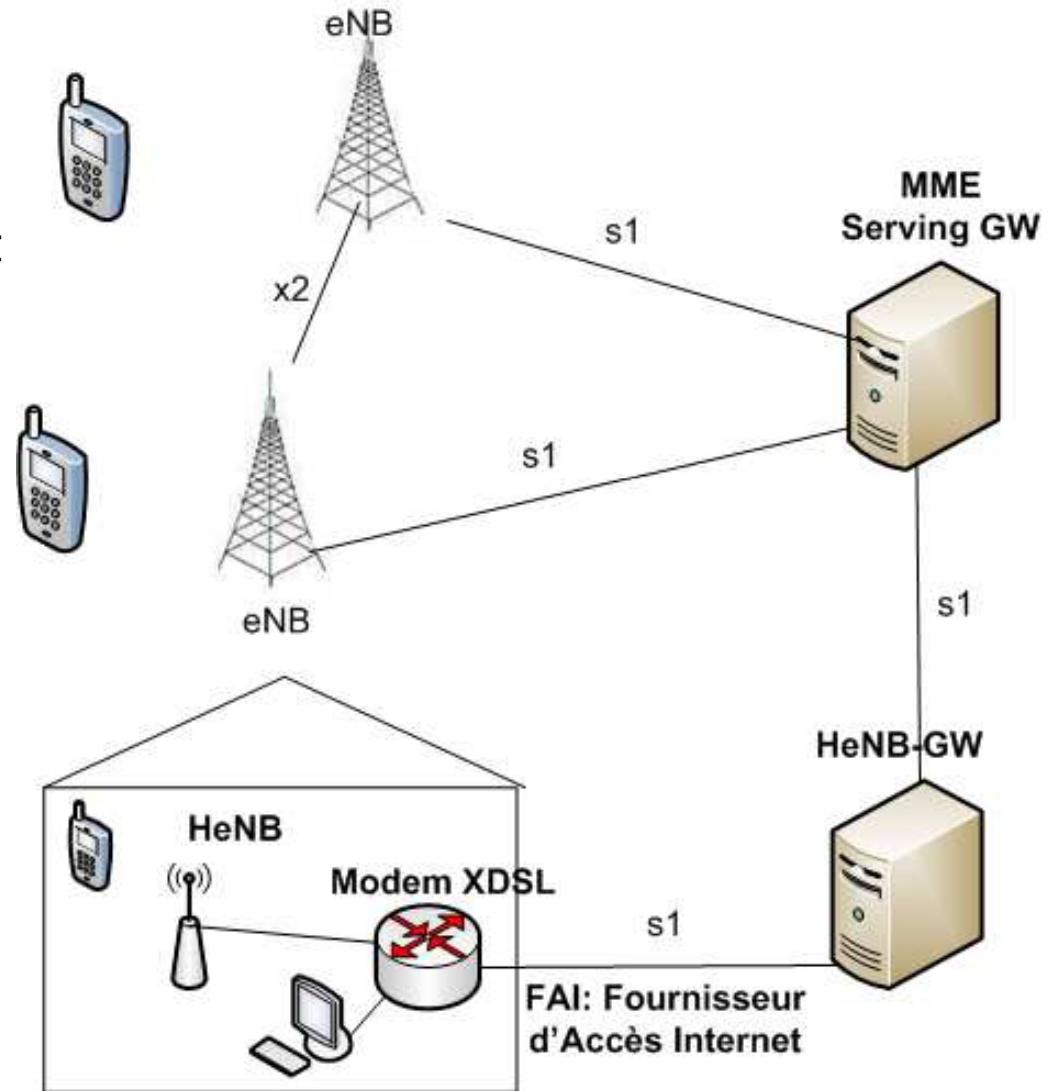


Architecture LTE :Femtocell

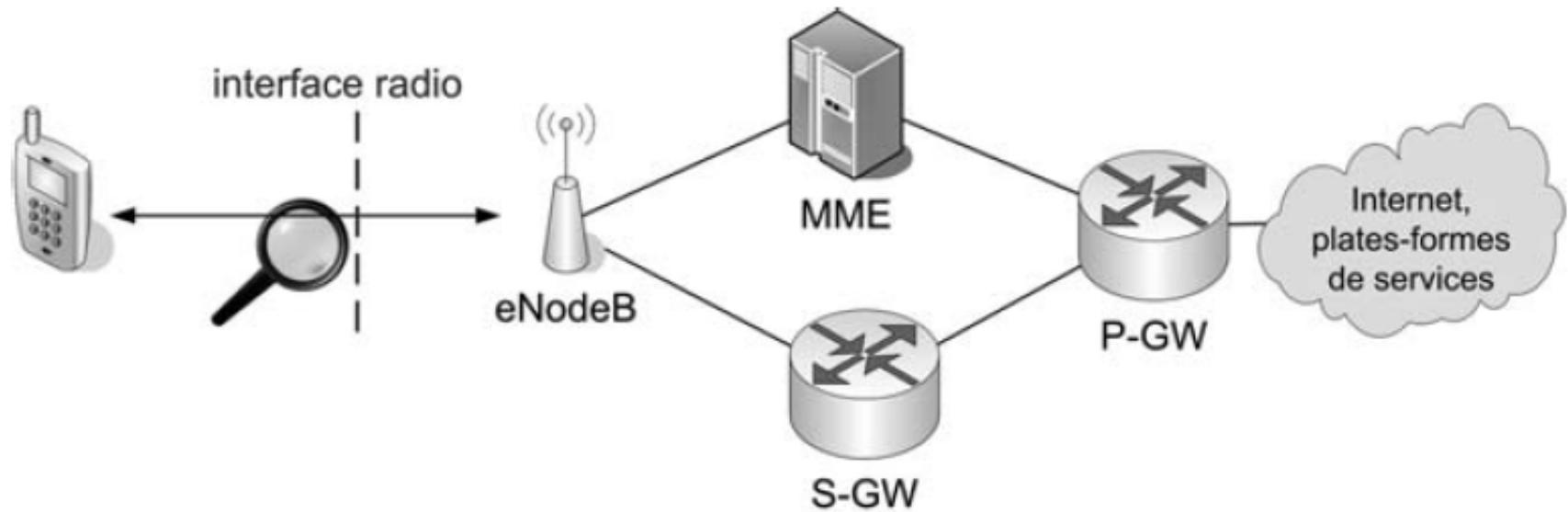
À l'intérieur de la maison, le téléphone mobile détecte le HeNB et s'enregistre.

Toutes les communications passeront ensuite par le réseau du fournisseur d'accès Internet (via un modem xDSL)

→ Le téléphone mobile se comporte comme un téléphone sans fil traditionnel



Interface Radio du LTE

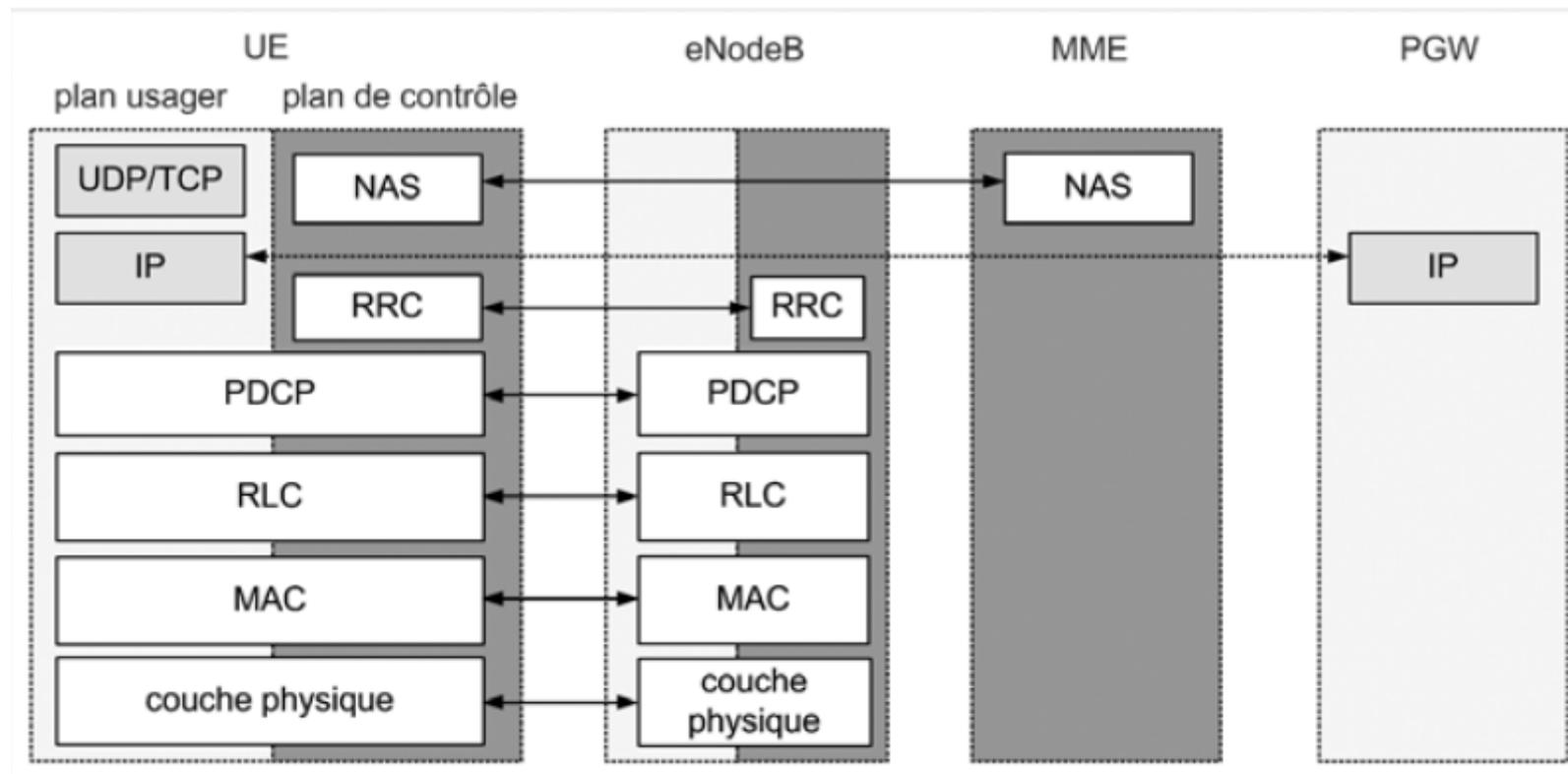


Rôle de l'interface Radio : assurer le transfert (en environnement radio) des données de la couche IP selon le service de l'utilisateur.

L'interface radio doit respecter les exigences en terme de qualité de service (débit, latence)

Contraintes: accès optimisé aux ressources spectrales

Interface radio du LTE : Pile protocolaire



Plan de contrôle : les données traitées sont des données de signalisation

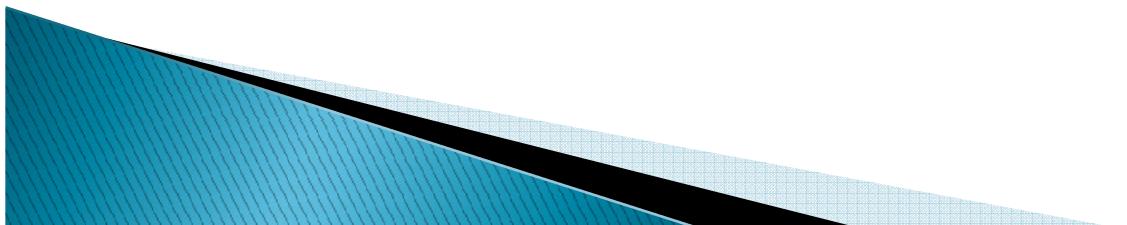
Plan usager : des données utilisateurs communiquées à la couche IP

Interactions logiques entre les couches

Interface radio du LTE : Pile protocolaire

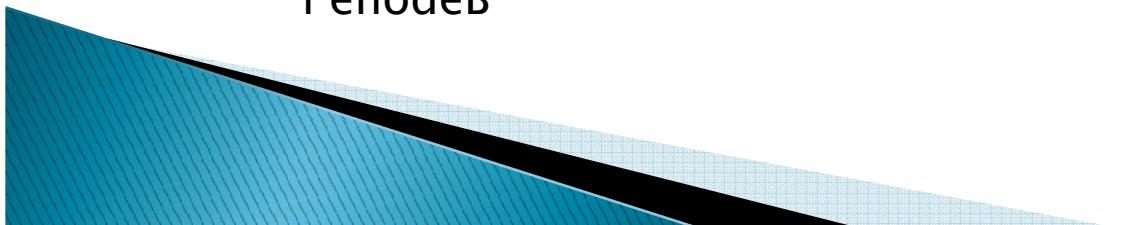
▶ Couches

- Couche 1 : couche physique → transmission des données
- Couche 2 : constituée de 3 sous-couches
 - PDCP (Packet Data Compression Protocol) → fonctions de sécurité des données (chiffrements) et de transfert des données
 - RLC (Radio Link Control) → fonctions de contrôle de liens
 - MAC (Medium Access Control) → mécanisme d'accès au support
- Couche RRC (Radio Ressource Control) → contrôle de l'interface radio, responsable de la configuration et du contrôle des couches 1 et 2



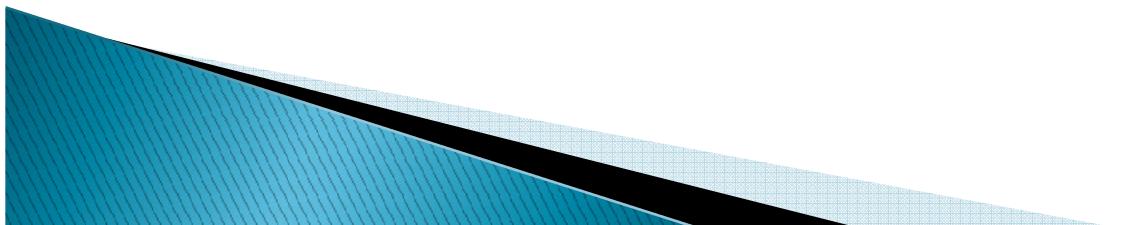
Interface radio du LTE : Pile protocolaire

- ▶ Couche physique : fonctions de transmission de données
 - Codage de canal
 - Modulation : multiporteuses (OFDM – OFDMA)
 - Traitements spatiaux (systèmes d'antennes MIMO)
 - Autres fonctions qui ne concernent pas la transmission des données
 - Les mesures radio : estimer certains paramètres radio comme la puissance reçue d'autres cellules ou d'autres systèmes, les coefficients du canal..
 - Synchronisation en temps et en fréquence avec la porteuse de l'émetteur
 - Détection de cellules : se connecter à une cellule ou préparer un handover
 - Signalisation d'informations de contrôle entre l'utilisateur et l'enodeB



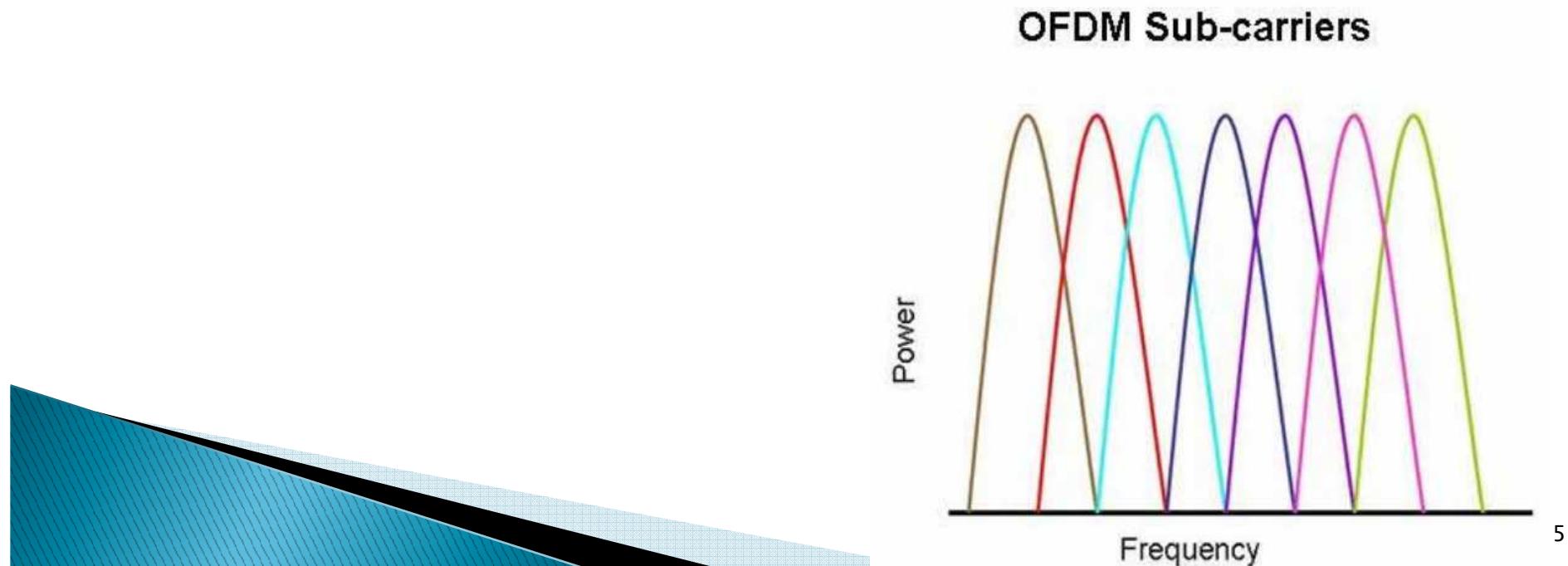
Interface radio du LTE : Pile protocolaire

- ▶ Couche physique : modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - le canal de fréquence est divisé en des sous-canaux de taille plus étroite
 - Pas de bandes de gardes comme dans le cas de FDM
 - Un sous-canal de fréquence est un regroupement d'un nombre de sous-porteuse
 - Chaque sous-porteuse est modulé par le schéma de modulation conventionnel (QAM ou PSK...) avec un faible taux de symboles

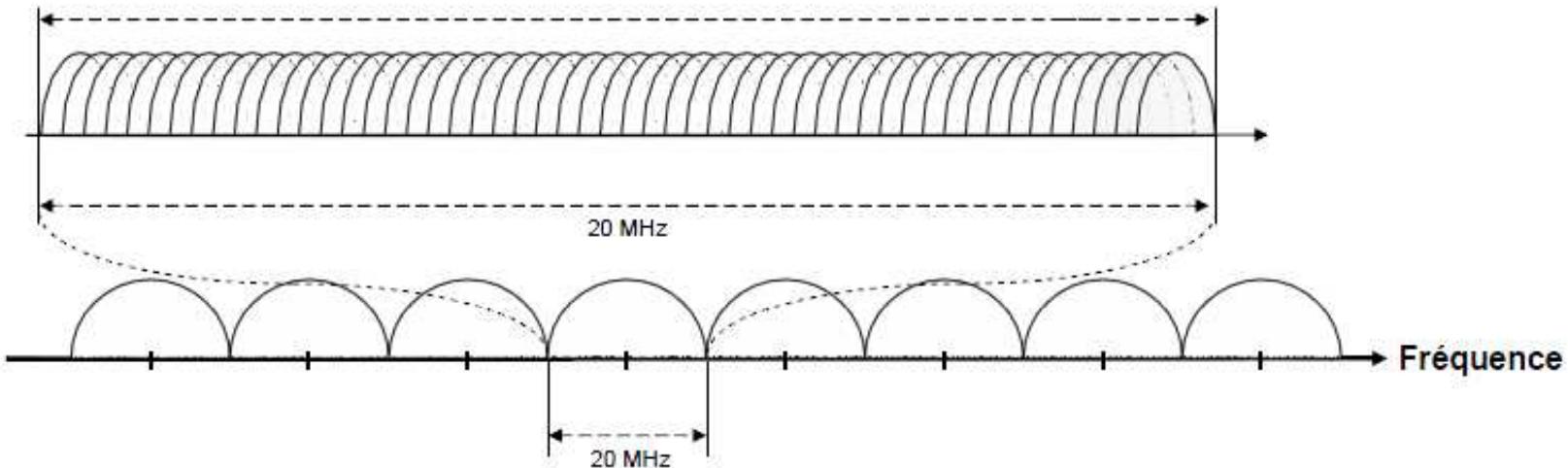


Interface radio du LTE : Pile protocolaire

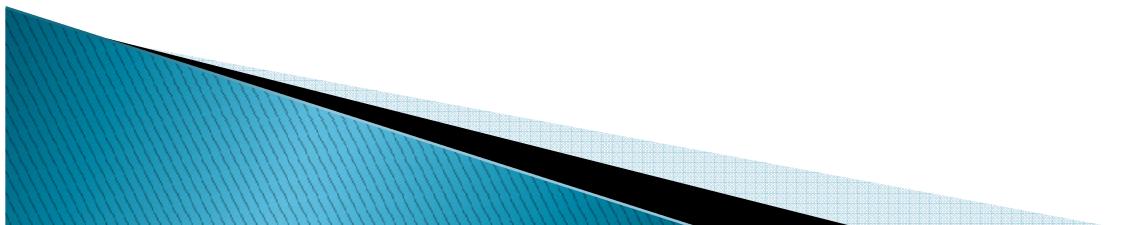
- Le signal numérique est réparti sur les sous-porteuses
 - Les données des utilisateurs sont envoyées en parallèles sur chacune des sous-porteuses à faible taux symbole
- La technique OFDM permet un étagement de spectre



Interface radio du LTE : Pile protocolaire

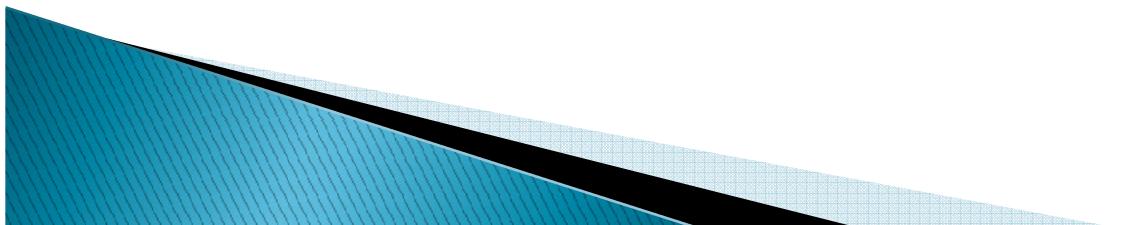


Les sous-porteuses se chevauchent mais elles n'interfèrent pas car elles sont orthogonales entre elles



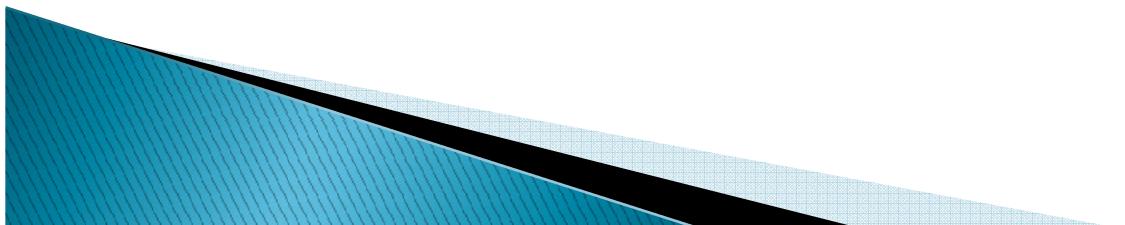
Interface radio du LTE : Pile protocolaire

- ▶ Sous-couche PDCP : transport de la signalisation et des données utilisateurs
 - Compression d'entête
 - chiffrement des données et de la signalisation RRC
 - Protection de l'intégrité des données
 - Détection et suppression des doublons (unité de données PDCP reçues deux fois)



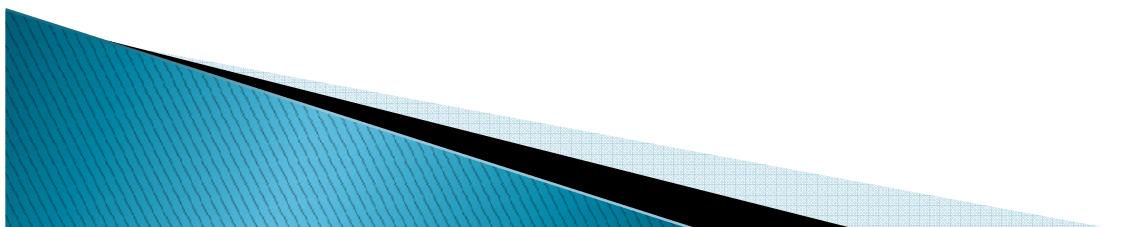
Interface radio du LTE : Pile protocolaire

- ▶ Sous-couche RLC : assure les fonctions de contrôle de lien qui existent dans la couche 2 du modèle OSI
 - En mode acquittement: détection et retransmission des unités de données manquantes
 - Remise en séquence des unités de données pour préparer l'ordonnancement effectué à la couche PDCP
 - Utilisation des fenêtres d'émission et de réception
 - Pas de contrôle de flux



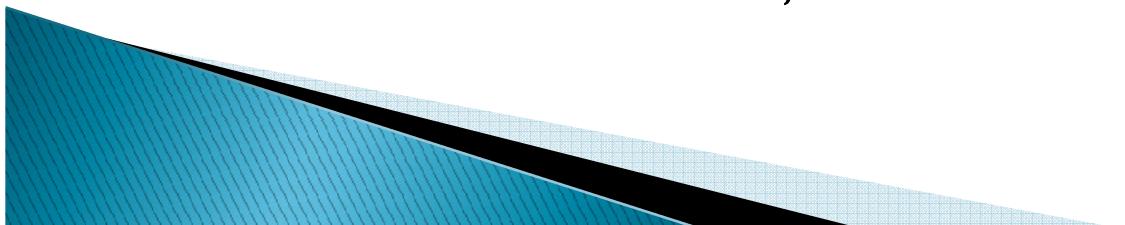
Interface radio du LTE : Pile protocolaire

- ▶ Sous-couche MAC: méthode d'accès au support
 - Accès aléatoire à la voie montante
 - Correction d'erreur: retransmission en cas d'acquittement négatif
 - Allocation dynamique des ressources radio
 - Maintien et synchronisation sur le lien montant
 - Gestion des priorités dans le fluxmontant



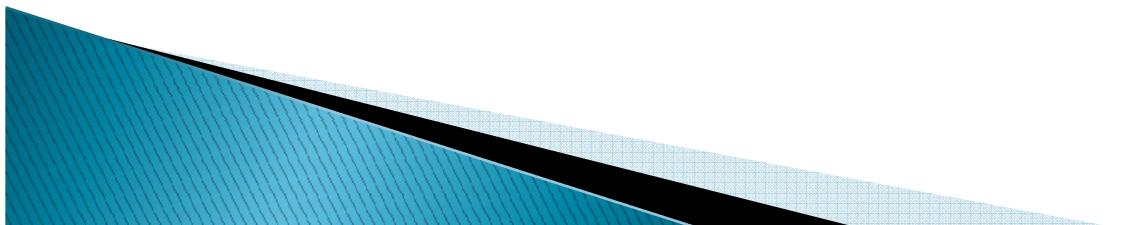
Interface radio du LTE : Pile protocolaire

- ▶ Couche RRC: configuration et contrôle des couches 1 et 2
 - Un équipement utilisateur en mode veille dans une cellule → il n'a pas de connexion RRC active avec l'enodeB
la RRC gère la mobilité en mode veille (sélection et ré-selection de la cellule)
 - Un équipement utilisateur en mode connecté → il établi une connexion RRC avec l'enodeB. Dans ce cas la couche RRC gère: la connexion active, la mobilité le transfert de la signalisation NAS, la sécurité de l'échange(gestion des clés), le contrôle des mesures radio de l'UE et leur remonté à l'enodeB, le contrôle des bearers.



Interface radio du LTE : Pile protocolaire

- ▶ NAS (Non Access Stratum)
 - Ensemble de protocoles établi entre l'UE et le réseau cœur
 - Permet l'échange d'information (données ou signalisation)
 - Deux rôles essentiels : gestion des sessions et gestion de la mobilité



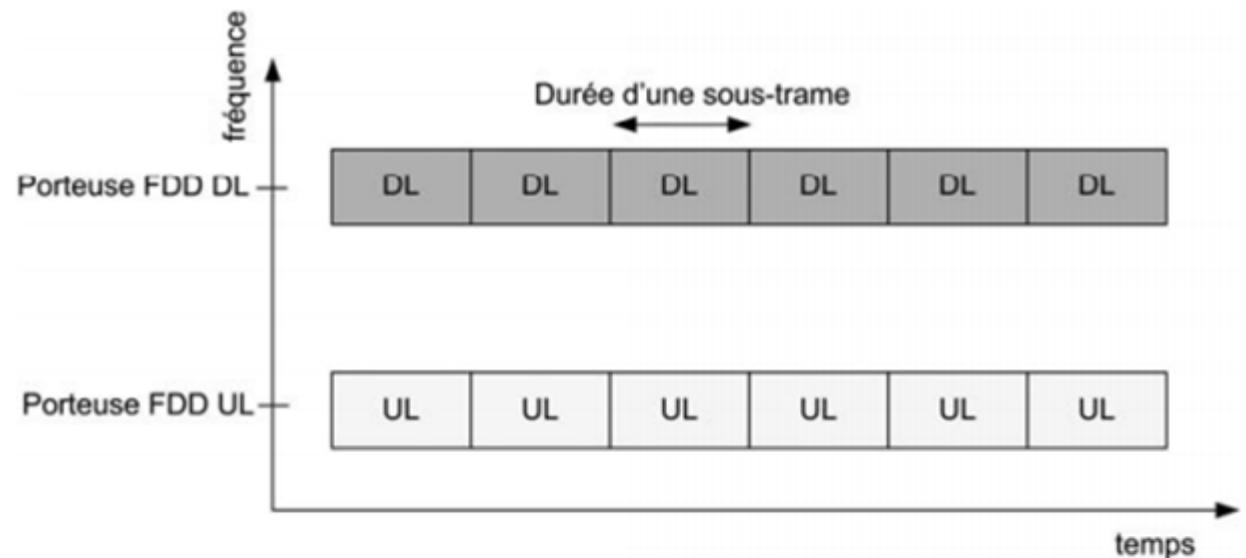
Interface radio du LTE : Modes de duplexage

- ▶ Trame LTE
 - Décomposée de 20 slots de 0.5ms et numérotés



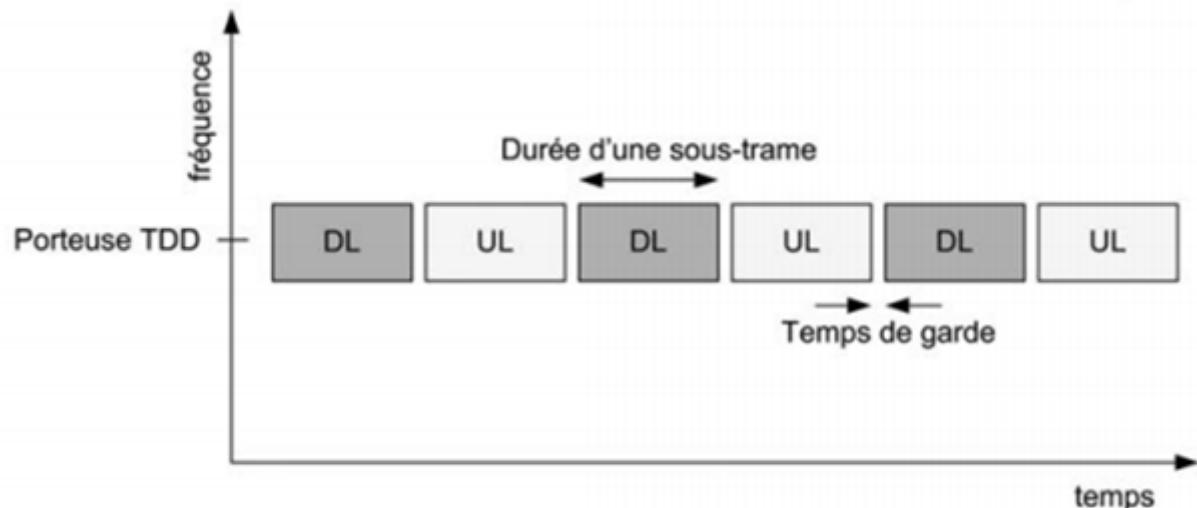
- Une sous-trame est un bloc correspondant à deux slots (1ms)
- ▶ Deux modes de duplexage existent en LTE (le duplexage est la manière dont sont organisées les transmissions montantes et descendantes)
 - FDD
 - Les voies montantes et descendantes opèrent sur deux fréquences différentes séparées par une bande de garde
 - TDD
 - Les deux voies utilisent la même fréquence, certains intervalles de temps sont réservés à la voie montante et d'autres à la voie descendante

Interface radio du LTE : Modes de duplexage -FDD

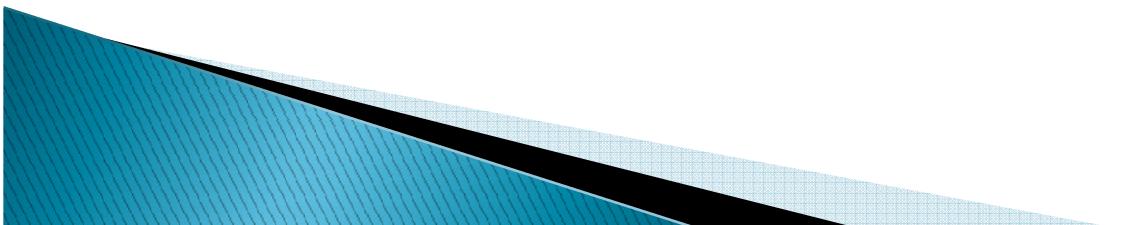


- Bande de garde pour éviter les interférences de canal adjacent de la bande d'émission sur la bande de réception
- Généralement la bande basse est dédiée à la voie montante et la bande haute est dédiée à la voie descendante. Par contre, dans des cas de coexistence avec d'autres systèmes (2G ou 3G), la voie montante peut opérer sur la bande haute
- Nécessité d'un duplexeur au niveau de l'émetteur et du récepteur pour différencier les fréquences

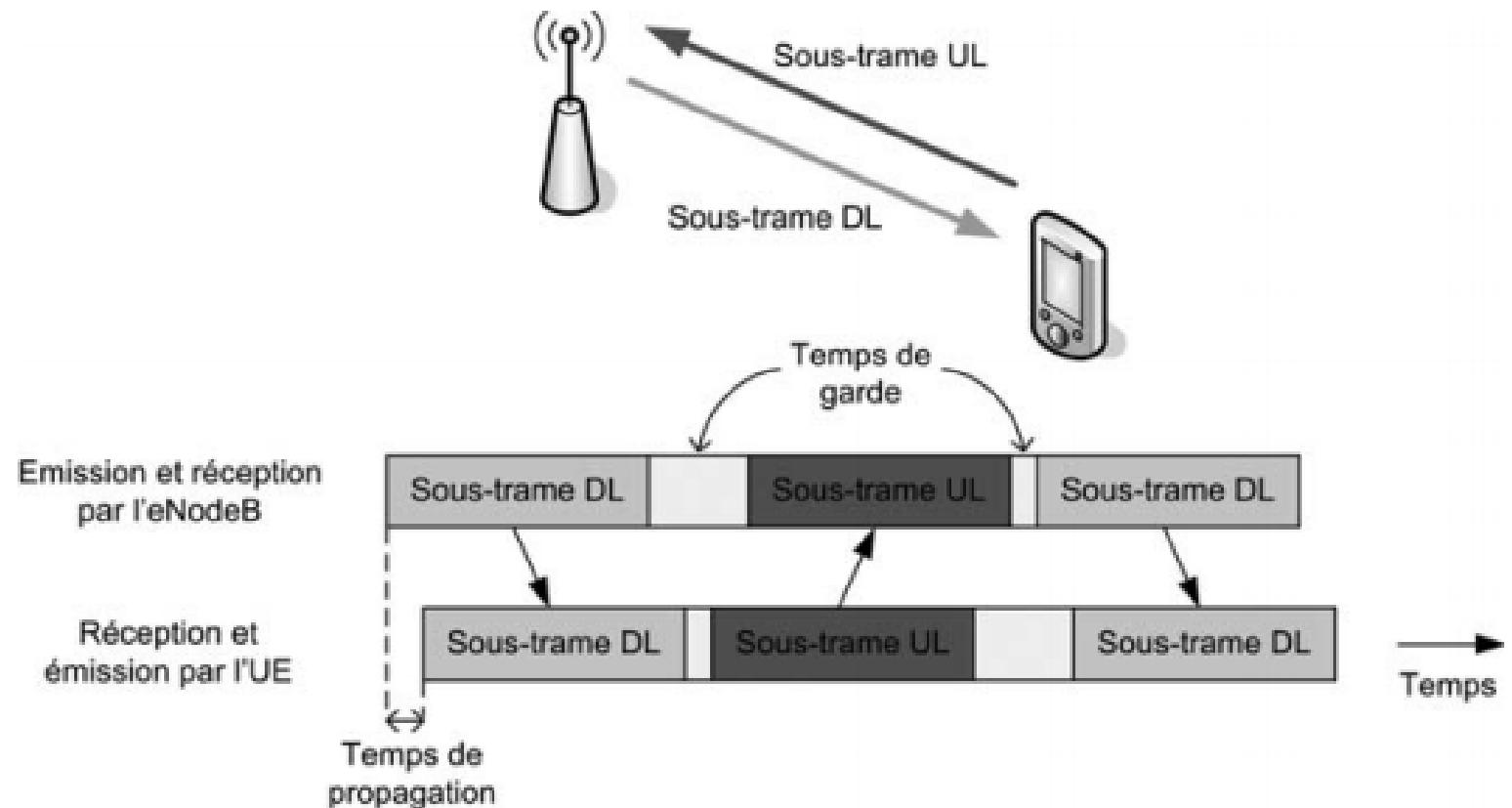
Interface radio du LTE : Modes de duplexage -TDD



- Quand le volume de données en voie descendante est plus important, l'opérateur peut configurer un plus grand nombre de sous-trames pour la voie descendante que pour la voie montante
- Pas besoin de duplexeurs au niveau des terminaux → moins coûteux
- Contraintes de temps dues aux dépendances temporelles



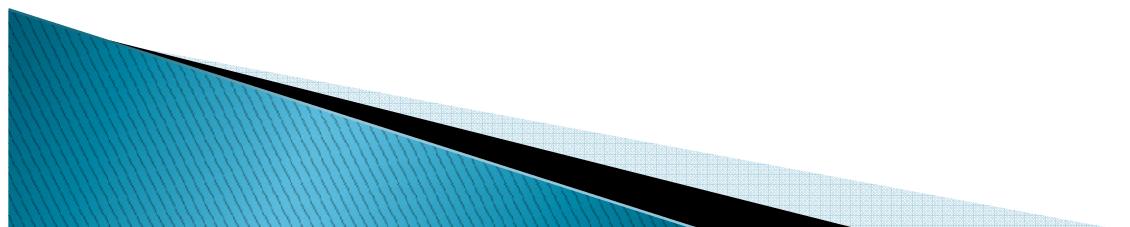
Interface radio du LTE : Modes de duplexage



Interface radio du LTE : Modes de duplexage

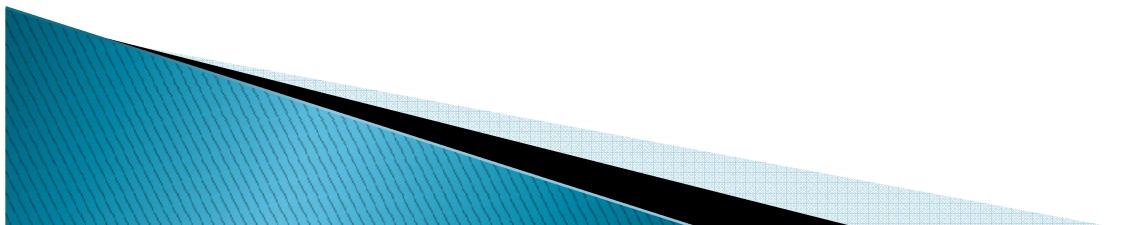
▶ Temps de garde

- temps nécessaire à un équipement pour basculer entre émission et réception
- Temps nécessaire à l'enodeB pour la transition entre la réception d'une sous-trame montante et l'émission d'une sous-trame descendante



La technologie MIMO

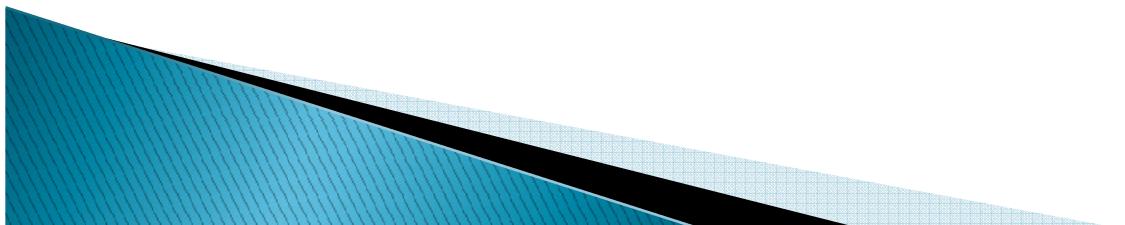
- ▶ Système d'antenne MIMO (Multiple Input Multiple Output)
- ▶ Emplacement de plusieurs antennes à l'émission et à réception
- ▶ Augmentation des débits des liens de transmission tout en gardant la même largeur de bande



La technologie MIMO

▶ Principe

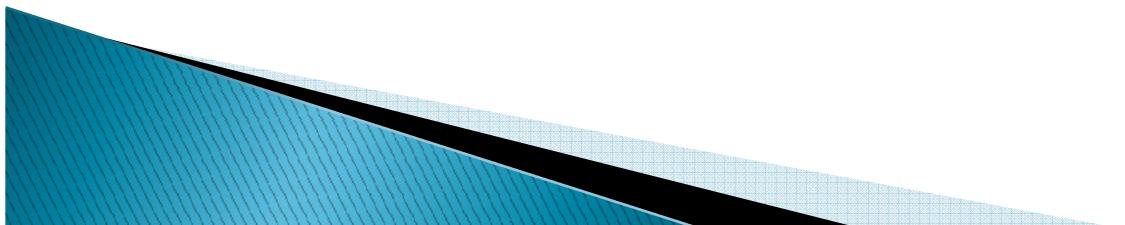
- Émettre dans un même canal des signaux transmis sur des antennes différentes (en réception aussi)
- Le flux est divisé en n flux différents de même fréquence qui sont envoyés par les n antennes d'émission aux n antennes de réception
- Algorithme en réception permettant de restituer le flux d'origine



La technologie MIMO

- ▶ Différents types de techniques MIMO
 - La diversité spatiale MIMO
 - Le même message est transmis simultanément sur les n antennes
 - Le multiplexage spatial MIMO
 - Le message à envoyer est découpé en sous-messages, chacun envoyé sur une antenne d'émission
 - Les signaux reçus sur les antennes de réception sont rassemblés pour former le message d'origine
 - Augmentation du débit de transmission

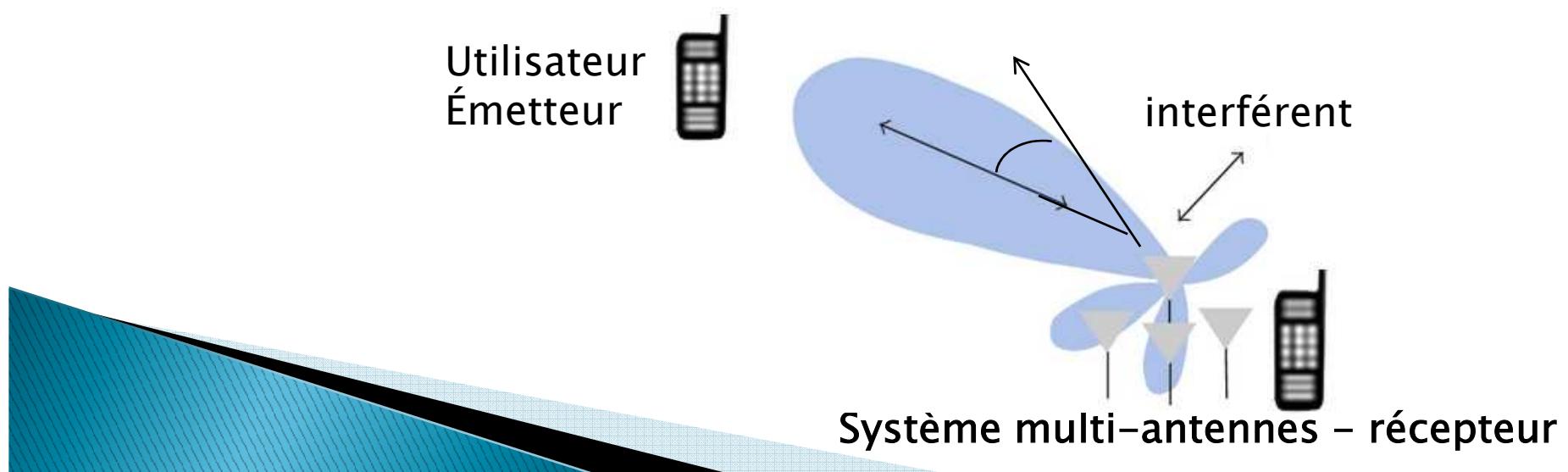
Les 2 techniques de diversité spatiale et multiplexage spatial peuvent être appliquées conjointement pour un même système MIMO



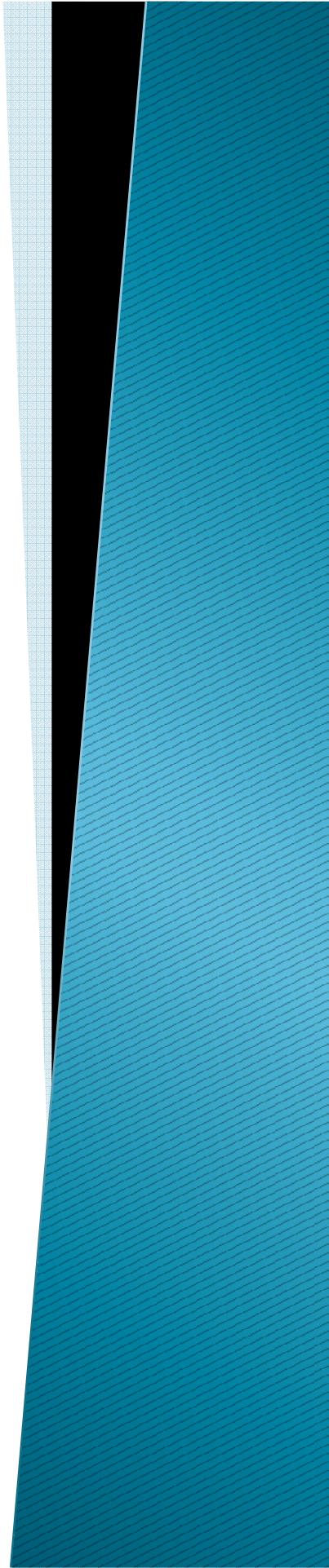
La technologie MIMO

- Le Beamforming

Cette fonction consiste à diriger le lobe principal vers la direction de le terminal émetteur pour recevoir le signal utile et réduire les signaux interférents. En cas de mobilité du récepteur ou de l'émetteur, la fonction recalcule l'angle d'arrivée du signal utile et change la direction du lobe principal de l'antenne vers cette direction.

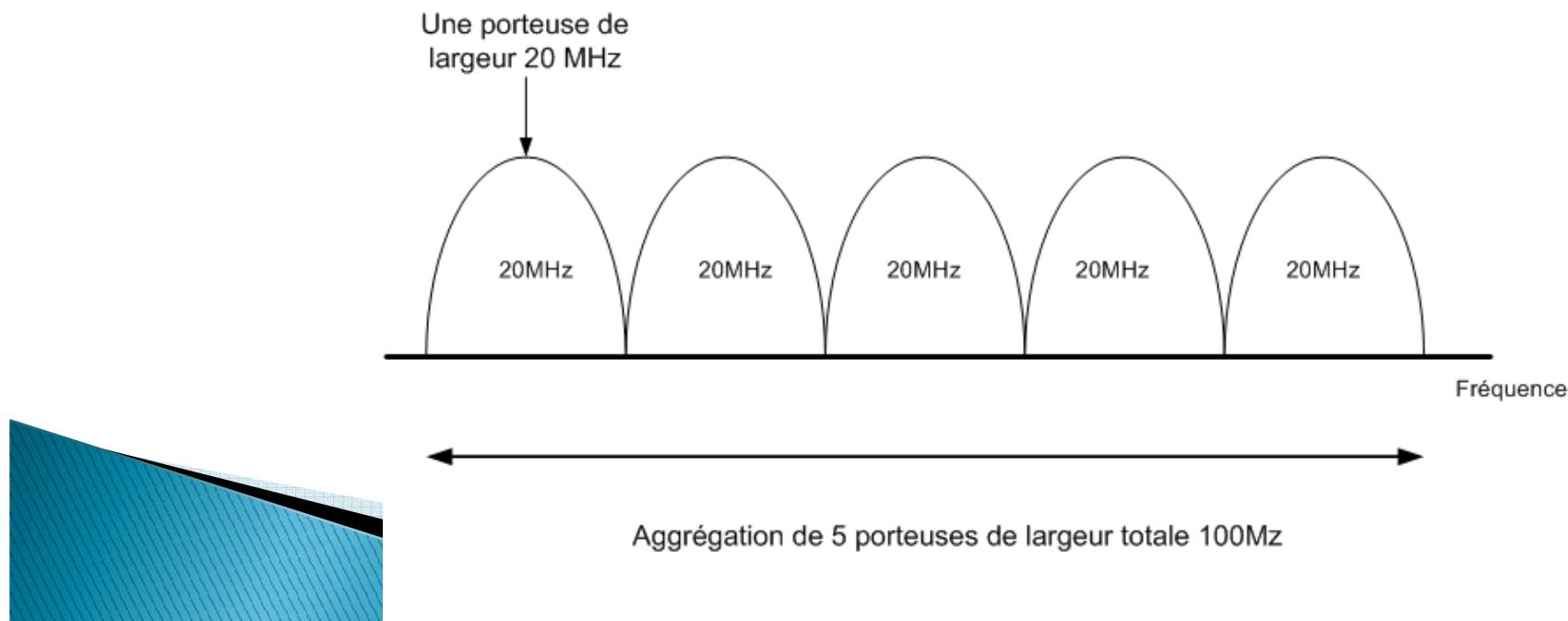


LTE Advanced : Evolution du réseau LTE



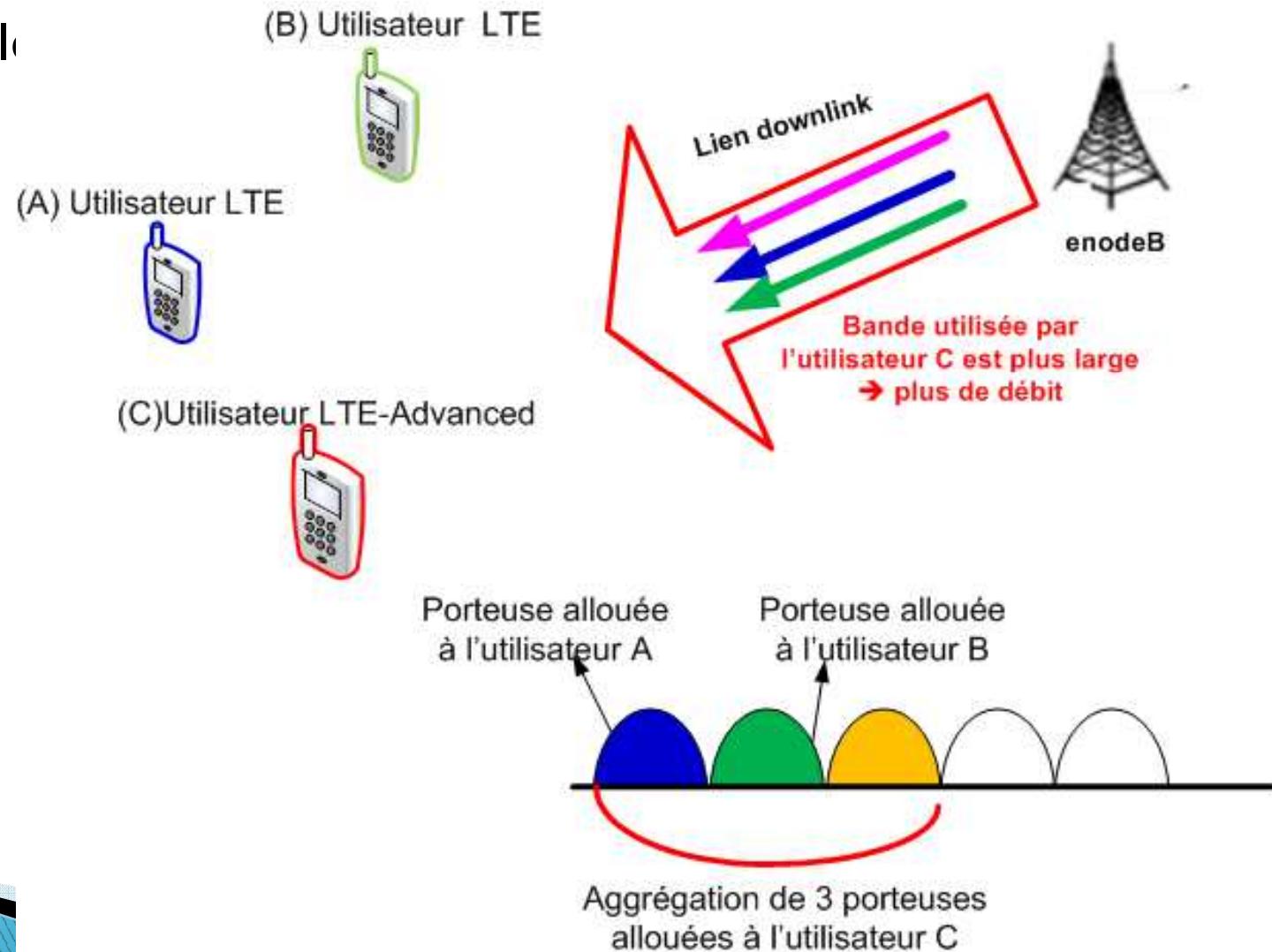
1. Aggrégation de porteuses (Carrier Aggregation)

- ▶ Ajouter plus de bande passante → augmenter le débit
- ▶ Étendre la bande de fréquence jusqu'à 100MHz par le principe d'aggrégation de porteuses (rassemblement d'au maximum 5 porteuses)



1. Aggrégation de porteuses (Carrier Aggregation)

- Exemple

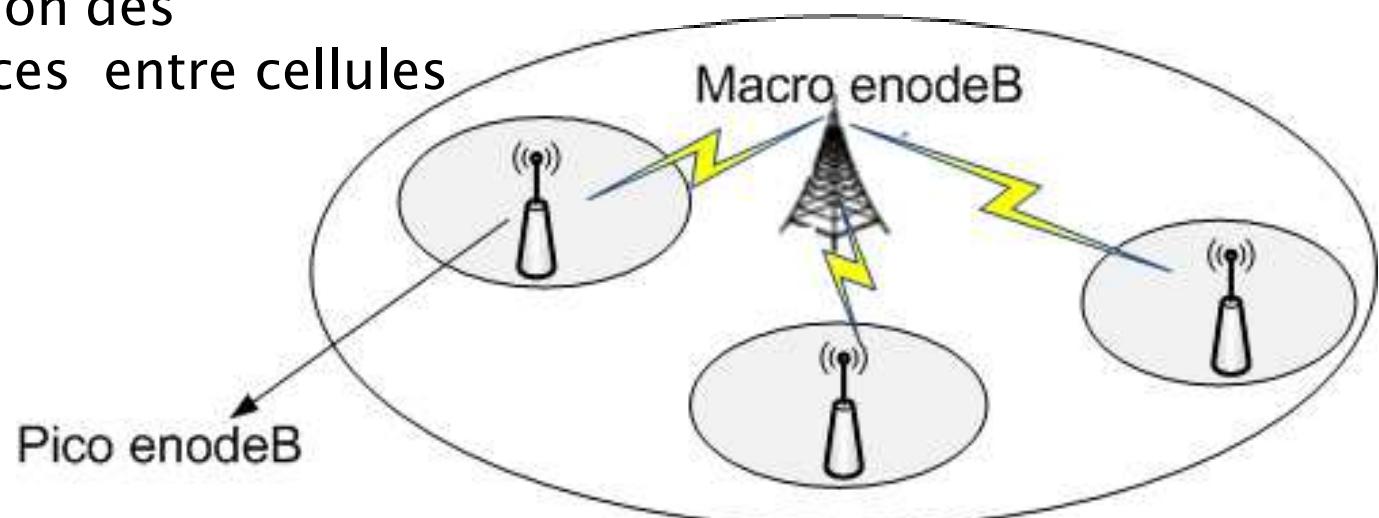


2. Réseaux hétérogènes

► Réseau hétérogène

- Superposition des cellules de tailles différentes (macro cellules, picocellules....)
- => amélioration du débit cellulaire et de la couverture

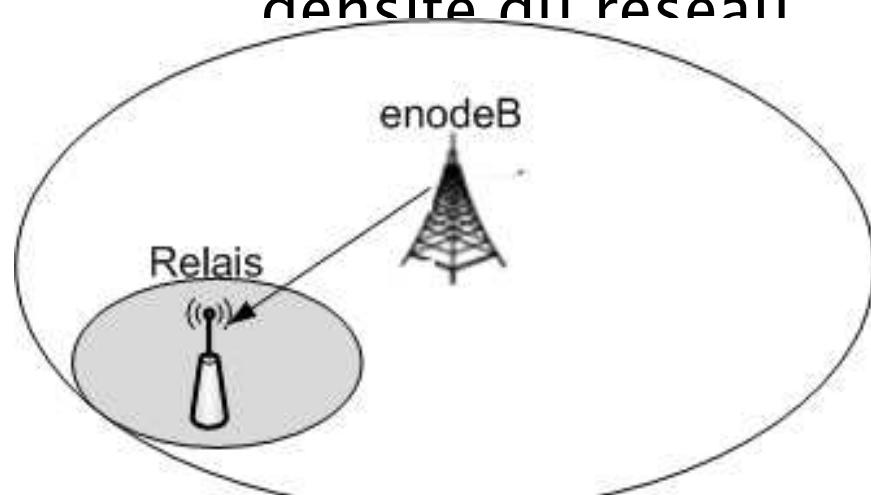
Coordination des
interférences entre cellules



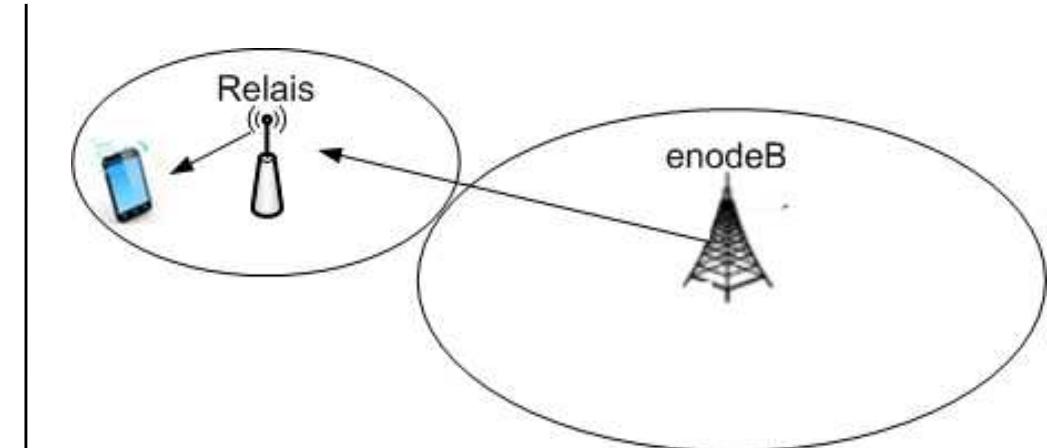
3. Relais

► Ajout de relais

- Un nœud de raccordement entre l' enodeB et l'équipement utilisateur
- Crée une cellule séparée
- Permet d'étendre la couverture ou d'augmenter la densité du réseau



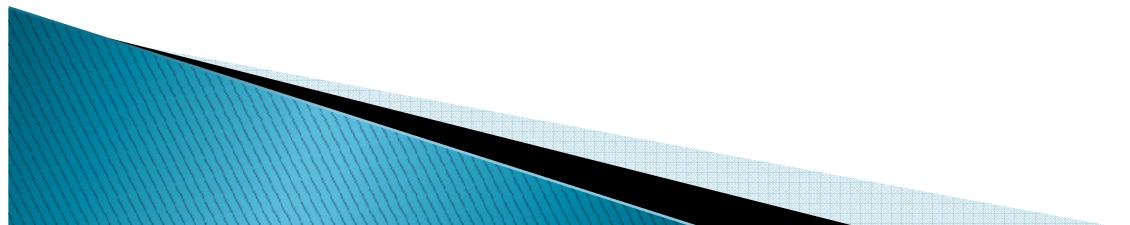
Augmentation de la densité du réseau



Extension de la couverture du réseau

4. Coordination multi-point

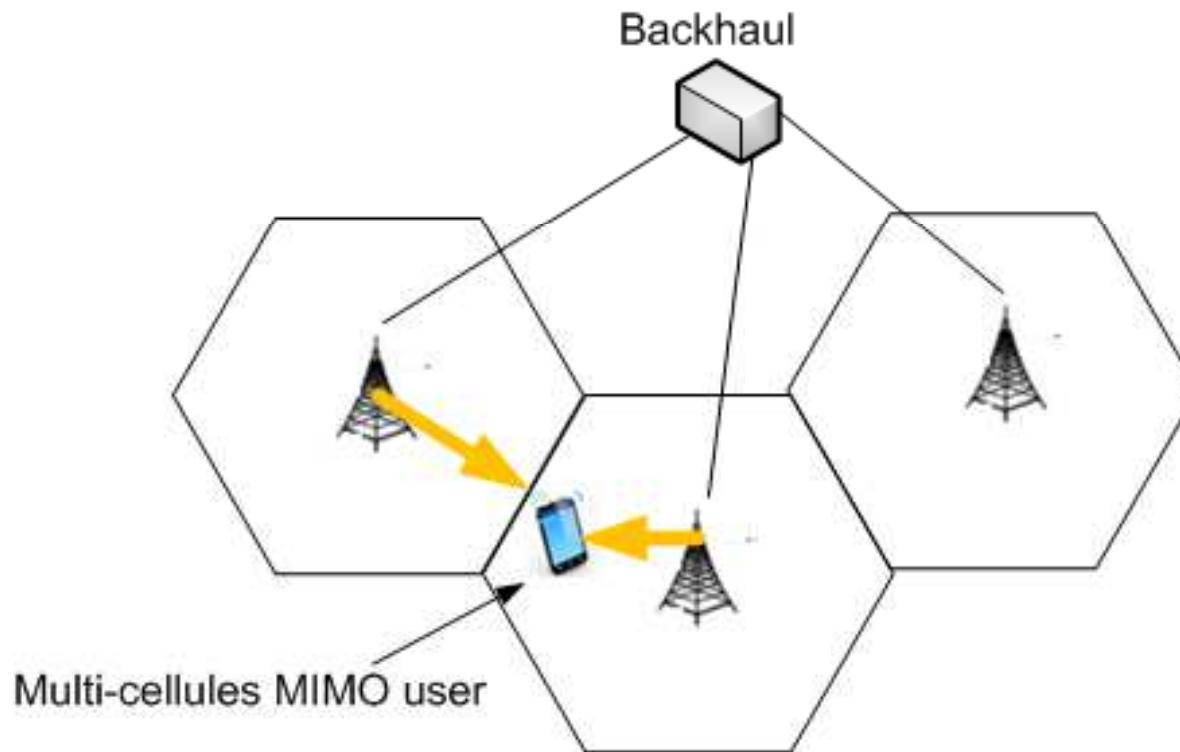
- ▶ Le problème avec les équipements utilisateurs dans les frontières des cellules :
 - Un débit plus faible vu leur éloignement des stations de base
 - Ils subissent les interférences inter-cellules
- ↓ **Solution**
- ▶ Coopération entre les enodeB pour combattre les interférences multi-cellulaires pour les utilisateurs dans les frontières et améliorer la qualité de service qui leur est offerte
- ▶ Coordination dynamique de transmission entre les enodesB
 - Transformer les interférences inter-cellules en des signaux utiles de coopération entre les cellules



4. Coordination multi-point

- En lien descendant :

➤ Coordination au sein d'un Backhaul entre les enodeB géographiquement éloignés pour la transmission des données à l'équipement utilisateur



4. Coordination multi-point

- ▶ En lien montant:
 - Les enodeB reçoivent les données de l'utilisateur et les traitent conjointement
 - ➔ Amélioration de la performance du réseau
 - ➔ Utilisation plus efficace des ressources
 - ➔ Amélioration de la qualité de service offerte à l'utilisateur

