

Réseaux Cellulaires

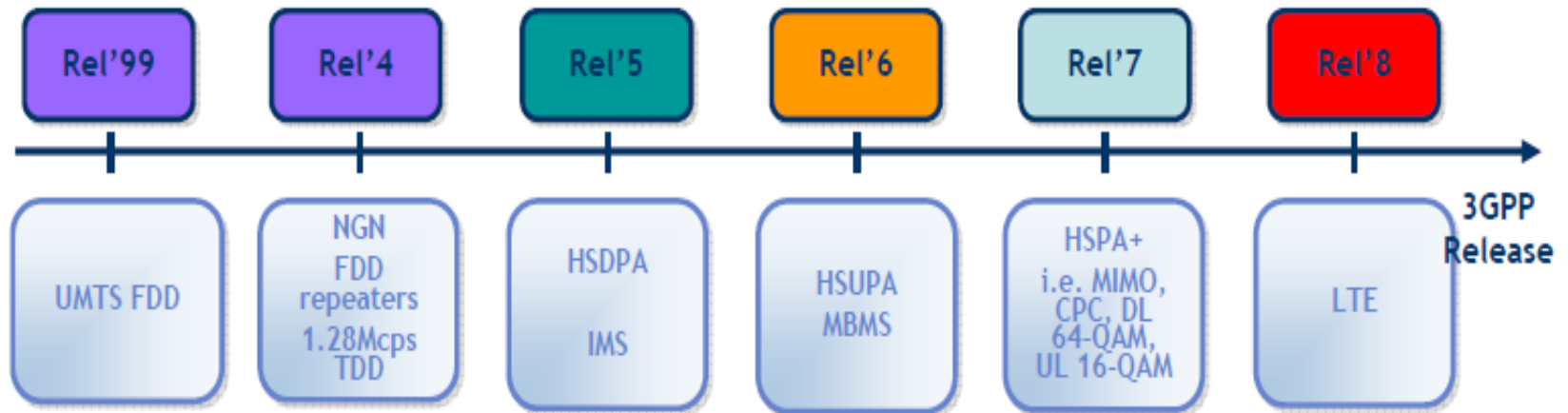
LTE (4G)

Module: Réseaux Cellulaires

Introduction:

□ La 3GPP appartient à IMT de l'IU.

- La 3GPP est chargé de la norme LTE de la 4G.



Introduction:

❑ L'évolution HSPA.

- Les évolutions de la HSPA sont:
 - ❑ HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) la voie montante
 - ❑ HSUPA (*High Speed Downlink Packet Access*) la voie descendante
- Ces évolutions ont permis :
 - Accroître les débits
 - Réduire la latence.
- **La latence:** désigne le temps de réponse du système à une requête de l'utilisateur, c'est un facteur clé de perception des services de données par l'utilisateur.

Introduction:

❑ L'évolution HSPA.

- Les évolutions de la HSPA sont:
 - ❑ HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) la voie montante
 - ❑ HSUPA (*High Speed Downlink Packet Access*) la voie descendante
- L'innovation principale du HSPA est le passage

d'une **commutation de circuit** sur l'interface radio où les ressources radio sont réservés à chaque UE pendant la durée d'appel

Vers une **commutation de paquets** où la station de base décide dynamiquement du partage de ressources entre les UE actifs.

Introduction:

❑ Evolution de la HSPA:

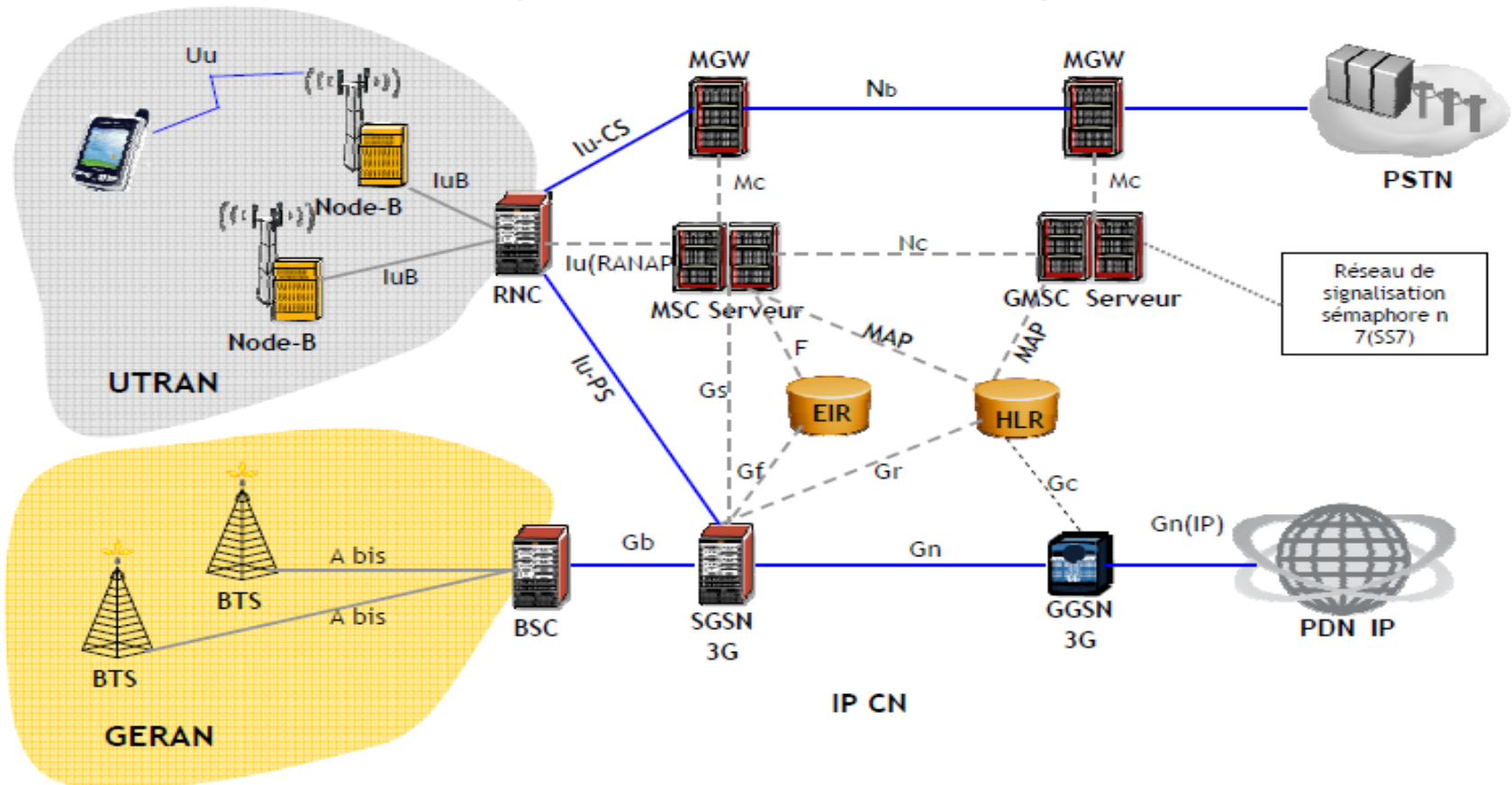
❑ L'ordonnancement (*Schedling*)

- L'allocation dynamique des ressources est effectuée par la fonction d'ordonnancement ou *scheduling* en fonction de:
 - La qualité instantanée du canal radio de chaque UE
 - Contraintes de QoS
 - Efficacité. globale du système
- **Remarque:**
 - La commutation par paquets optimise ainsi l'usage des ressources radio pour les services de données.

Introduction:

□ Evolution vers la LTE:

Evolutions de la Release 4 (NGN: Next Generation Network)

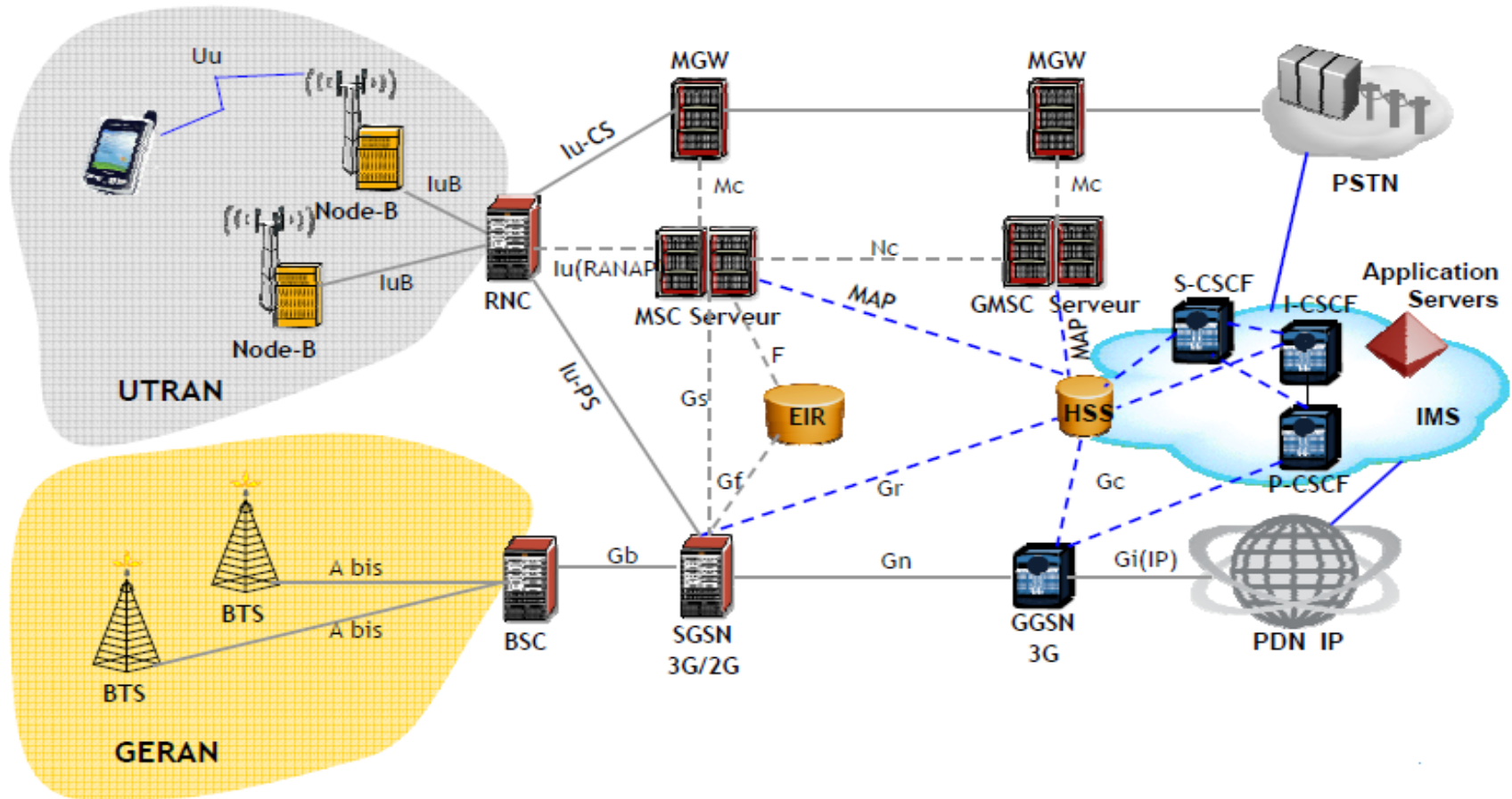


Introduction:

Evolution vers la LTE:

Evolutions de la Release 5 (IMS)

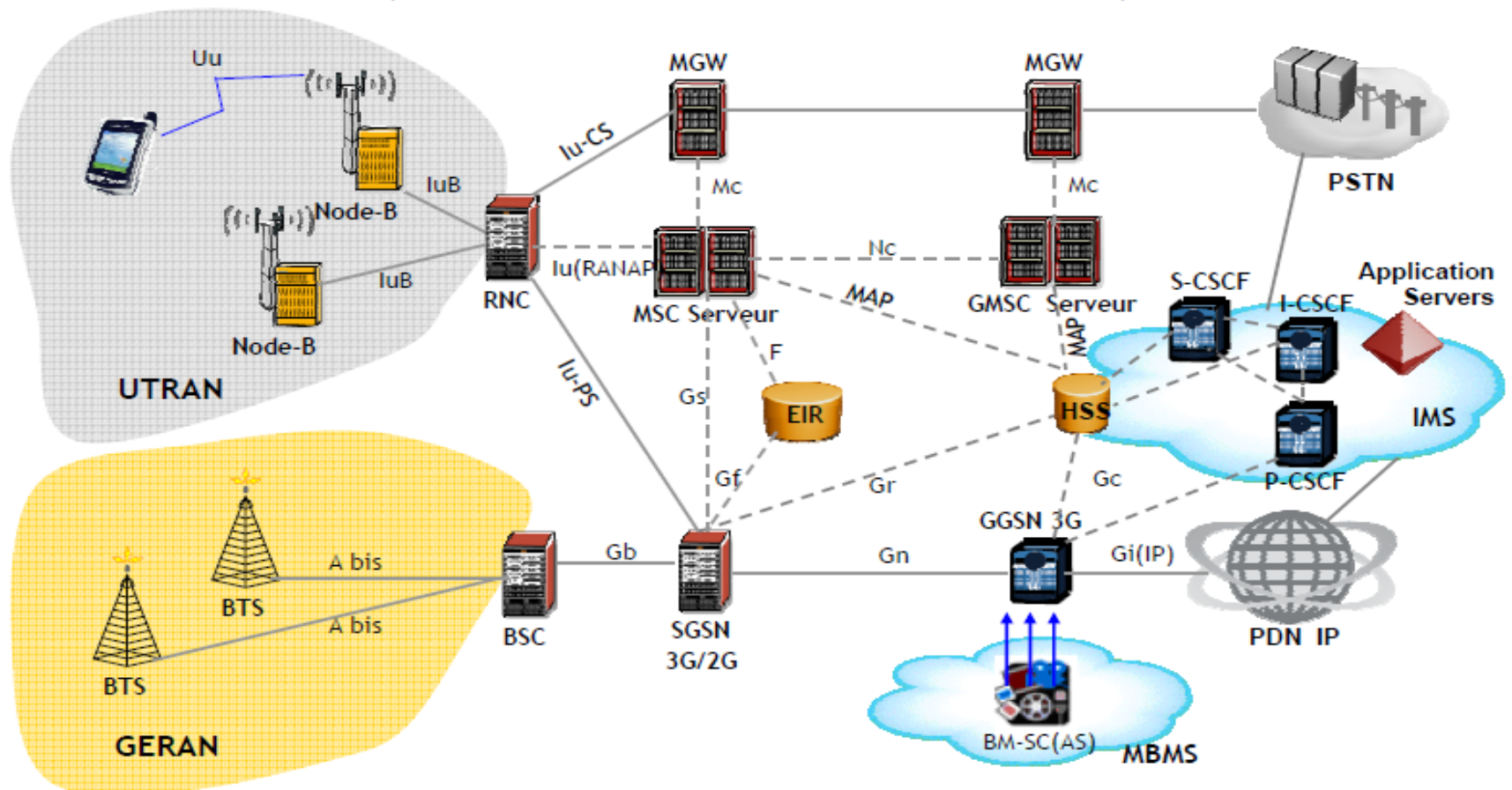
(IMS: IP Multimedia Sub-system)



Introduction:

Evolution vers la LTE:

Evolutions de la Release 6 (MBMS:Multimedia Broadcast/Multicast Service)



Introduction:

❑ Pourquoi la technologie LTE:

- Plusieurs raisons ont poussé le groupe 3GPP à élaborer la norme LTE parmi lesquelles on peut citer:
 - La demande croissante de débit plus élevé.
 - La demande de nouveaux services avec une meilleure QoS.
 - La nécessité de réduire les délais.
 - Assurer la continuité de la compétitivité de 3G avec la WiMAX
 - L'optimisation des systèmes à commutation de paquets.
 - La réduction de la complexité.

Introduction:

❑ Les caractéristiques de la LTE:

- Offre un débit de donnée crête sur la voie montante de 50 Mbit/s.
- Un débit pic théorique de 100 à 300 Mbits/s sur la voie descendante.
- Un délai de moins de 10 ms sur l'interface radio (RAN).
- La LTE utilise une largeur de bande de 2x20 MHz et supporte le duplexage temporel TDD et fréquentiel FDD
- La taille des cellules est de 5 km pour des performances optimales.
- Les performances sont dues:
 - Antennes MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)
 - Transmission OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
 - OFDMA (*OFDM Multiple Access*) sur voie descendante
 - SC-FDMA (Single carrier FDMA) sur voie montante

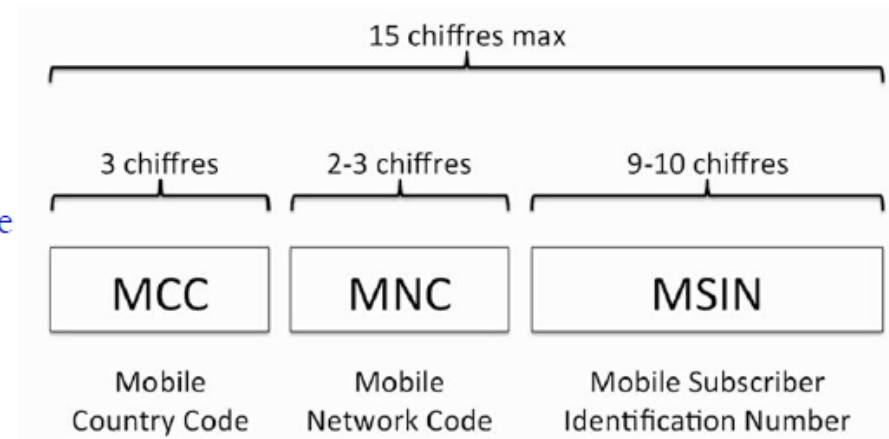
Architecture LTE :

Elements visibles du réseau : UE, carte SIM, antennes, eNodeB, EPC, eUTRAN

Terminal, UE : User Equipement :

Doit être muni d'une carte SIM, Subscriber Identity Module

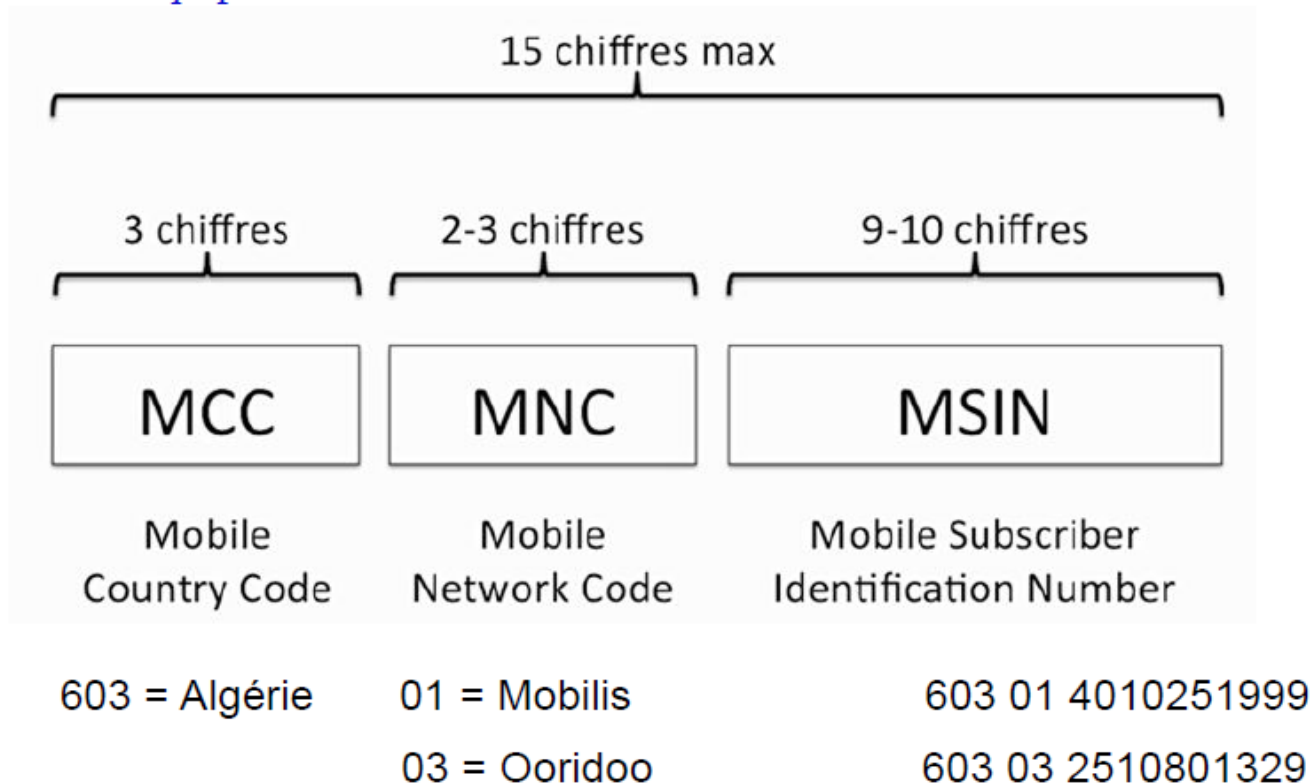
- Elle est fournie par l'opérateur.
- Pour les mobiles 3G/4G, la carte s'appelle précisément USIM, Universal Subscriber Identity Module.
- La carte SIM contient les données d'abonnement comme l'IMSI, International Mobile Subscriber Identity, un identité d'abonnement unique au monde



Architecture LTE :

Elements visibles du réseau : UE, carte SIM, antennes, eNodeB, EPC, eUTRAN

Terminal, UE : User Equipement : l'IMSI



Architecture LTE :

Elements visibles du réseau : UE, carte SIM, antennes, eNodeB, EPC, eUTRAN

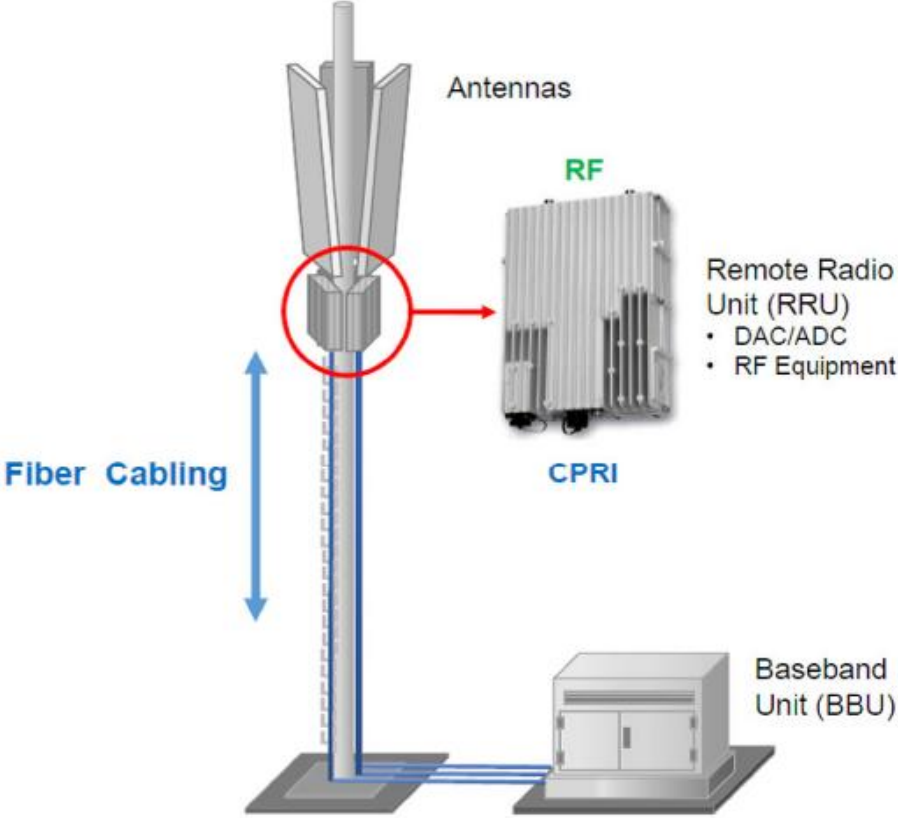
1- Station de base :

Ensemble d'émetteurs-récepteurs placé en un lieu

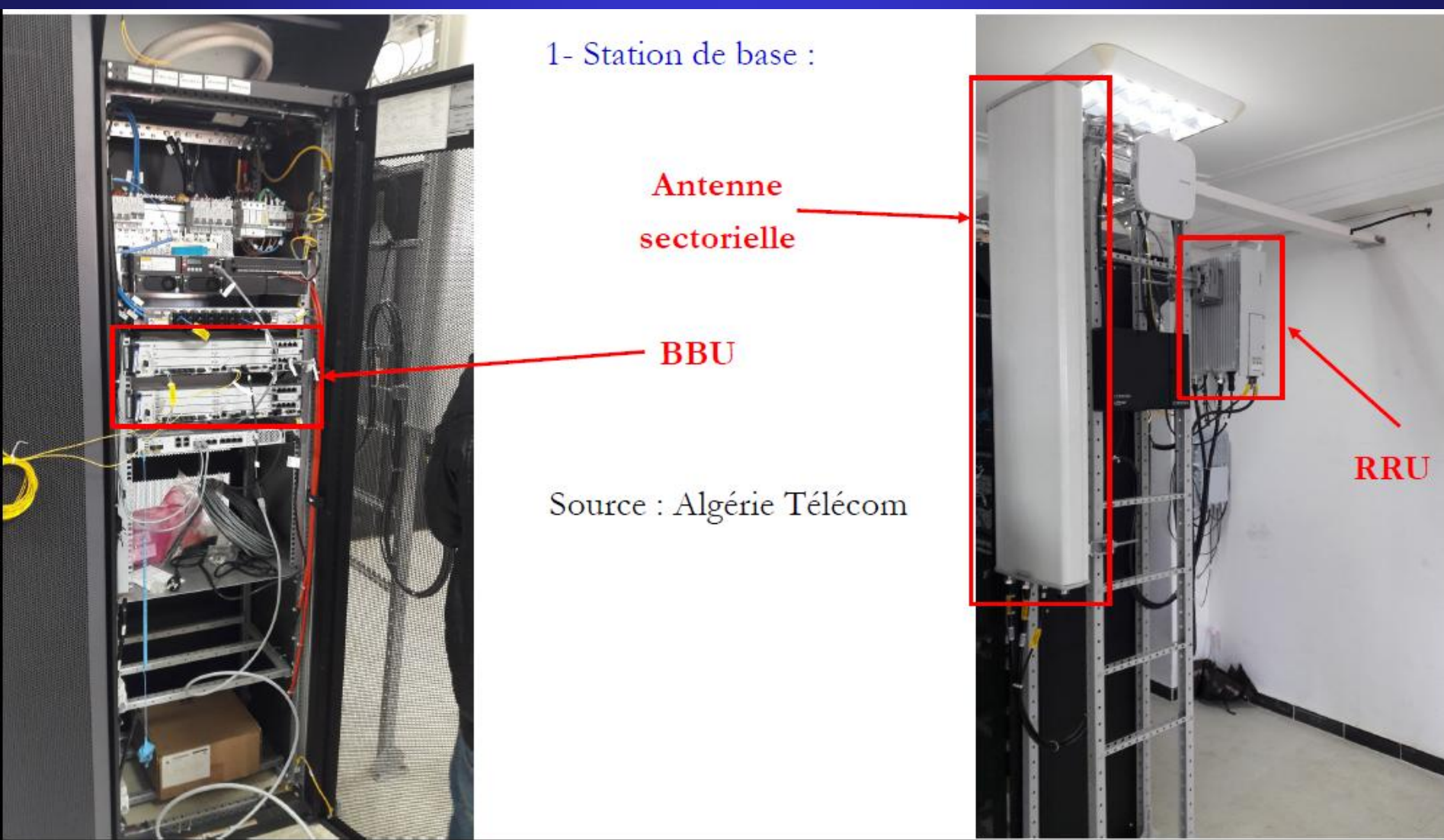
- Chaque station de base est munie d'antennes
- Les terminaux autour de la station de base peuvent communiquer avec la station de base par voie radio
- En technologie 4G, une station de base s'appelle un eNB ou eNodeB :
 - e pour « evolved » (évolution par rapport à la 3G)
 - Node pour noeud car la station de base est insérée dans un réseau
 - B pour Base station

Architecture LTE :

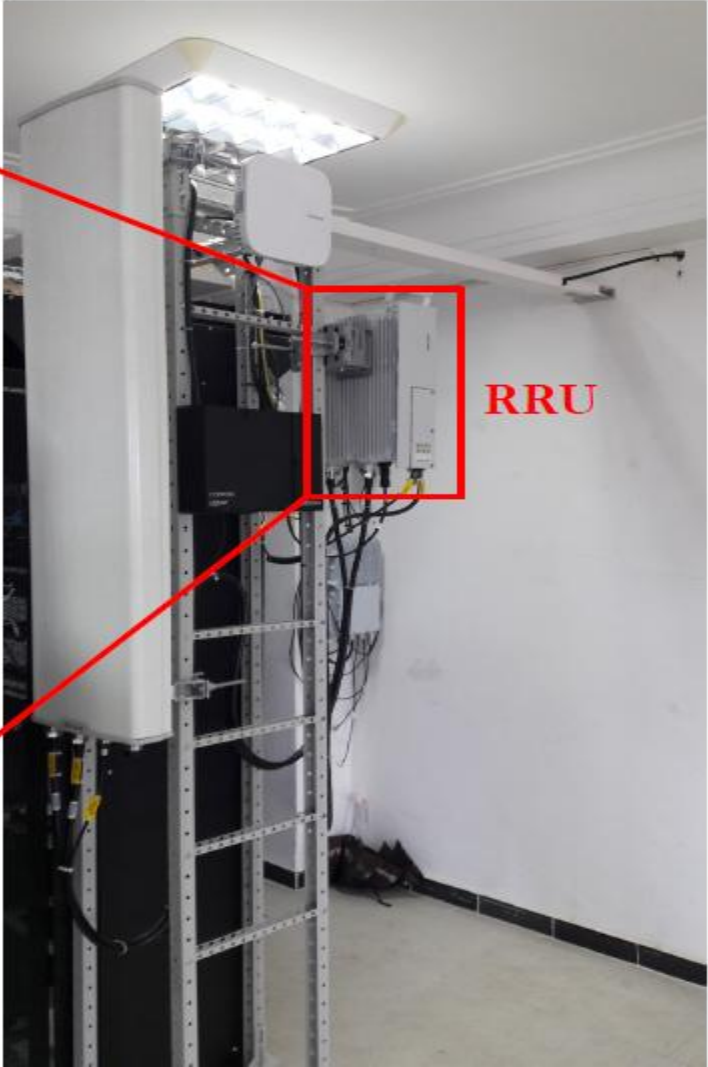
1- Station de base :



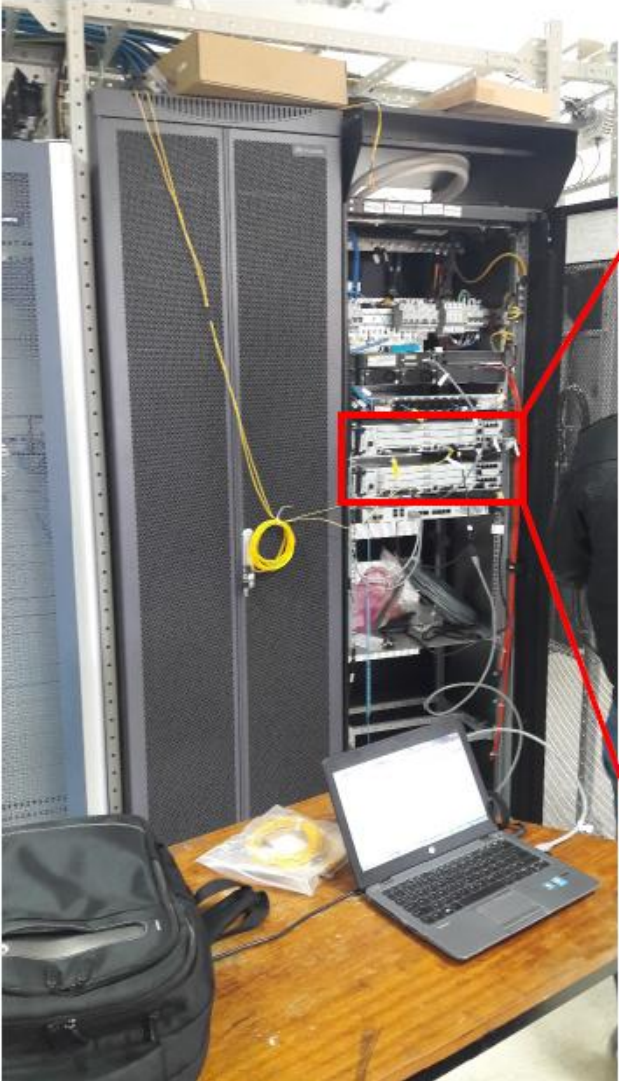
Architecture LTE :



Architecture LTE :

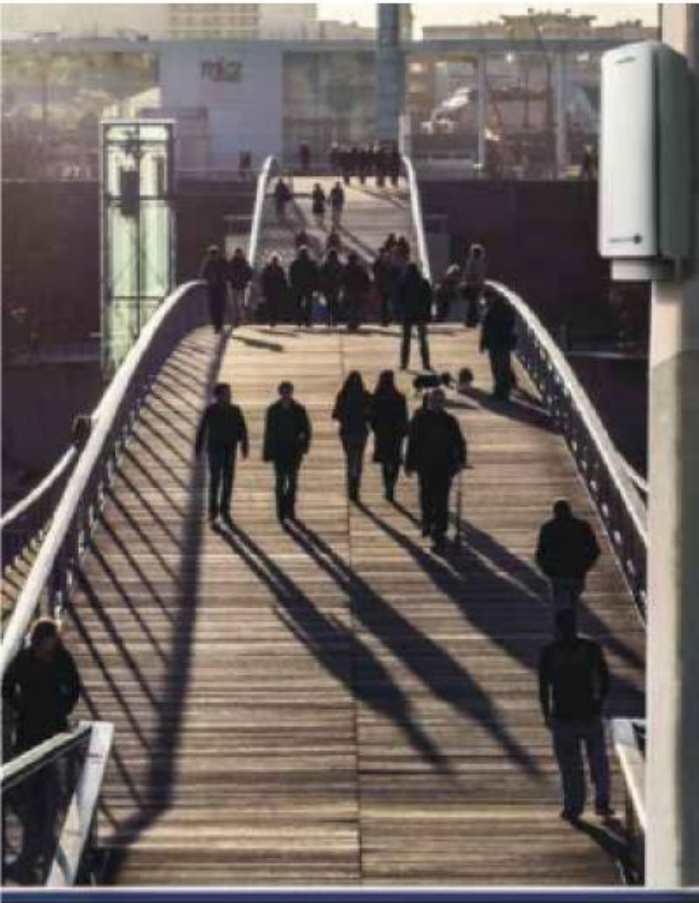


Architecture LTE :



Architecture LTE :

Exemples eNodeB :



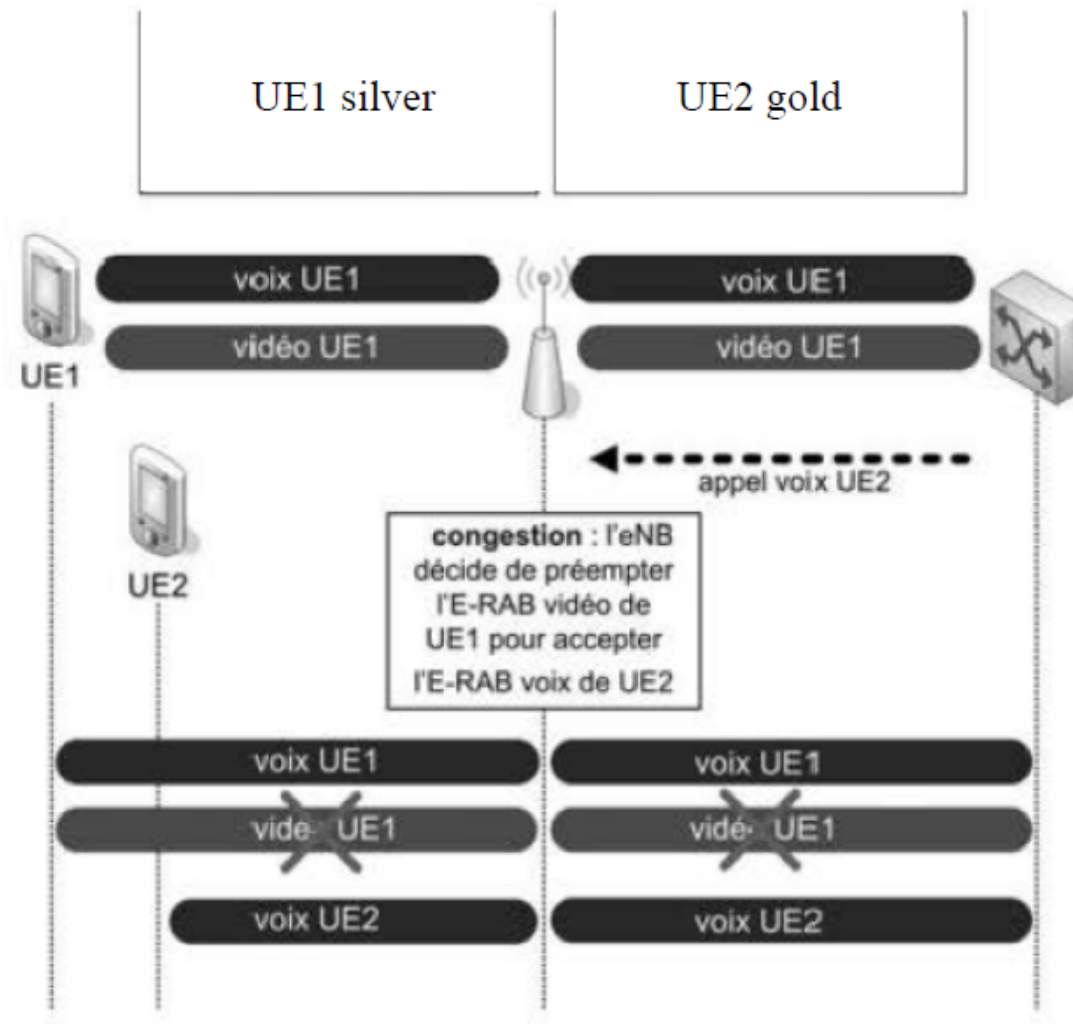
Architecture LTE :

Fonctions principales de l'eNodeB :

Assure les fonctions interdépendantes liées à la gestion des ressources radio **RRM (Radio Resource Management)** comme :

Le contrôle d'admission radio :

Par exemple dans une situation de congestion de la cellule, l'eNodeB décide si la demande d'accès à un service peut être acceptée, aux dépens d'un autre déjà établi, ou doit être rejeté selon la priorité de la requête (abonné gold, silver ou bronze)



Architecture LTE :

Fonctions principales de l'eNodeB :

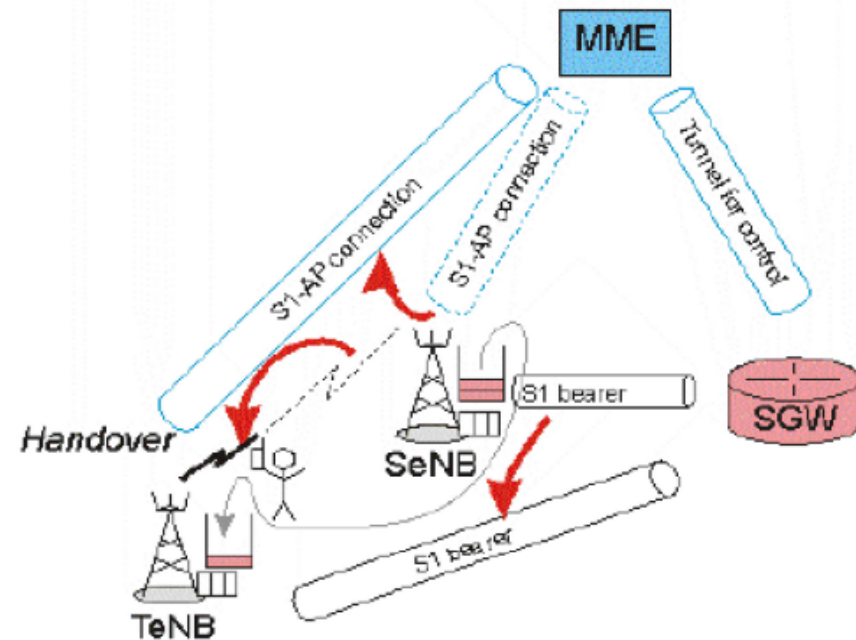
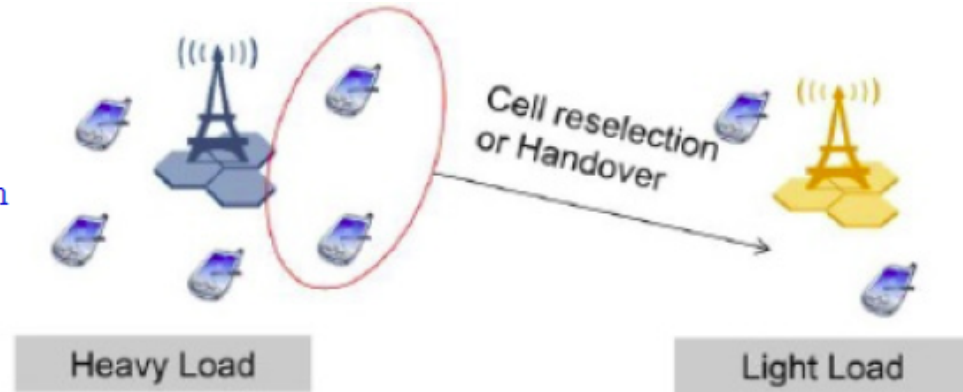
Assure les fonctions interdépendantes liées à la gestion des ressources radio **RRM (Radio Resource Management)** comme :

L'équilibrage de charge intercellulaire :

Dans une situation de congestion de la cellule, l'eNodeB peut décider de transférer une partie de la charge vers les cellules voisines (adaptation de couverture).

Contrôle de la mobilité en mode connecté :

Lors d'un handover, l'eNodeB source transfère la liaison radio, les flux de connexion sur le réseaux cœur ainsi que les paquets en attente (si possible) vers l'eNodeB cible.



Architecture LTE :

Fonctions principales de l'eNodeB :

Assure les fonctions interdépendantes liées à la gestion des ressources radio **RRM** (*Radio Resource Management*) comme :

L'ordonnement de paquets (scheduling) :

A travers l'allocation dynamique de ressources à l'UE :

A un instant donné, quels UEs et combien d'UEs servir ? Combien de ressources fréquentielles (bande) leur allouer ? Avec quel schéma de modulation/codage, quelle puissance en UL,... ? (limites dues à l'état du canal).

L'ordonneur de paquets (packet scheduler) de l'eNodeB permet :

Fournir un compromis entre la capacité de la cellule et l'équité (en termes de débit, latence et taux d'erreur) entre UEs

Gestion de priorités entre services à débit ou latence garantis (voix, streaming) et services best effort (FTP, HTTP), et plus généralement entre des liaisons radio associées à des QCI (QoS Class Identifier) différents :

Certaines applications nécessitent une latence faible (GBR : Guaranteed Bit Rate) par le réseau, par exemple une session de streaming vidéo en direct ou un appel voix, d'autres requiert un taux d'erreur faible même au détriment d'une forte latence comme le téléchargement de données (non-GBR : Guaranteed Bit Rate).

Architecture LTE :

Fonctions principales de l'eNodeB :

Assure les fonctions interdépendantes liées à la gestion des ressources radio **RRM** (*Radio Resource Management*) comme :

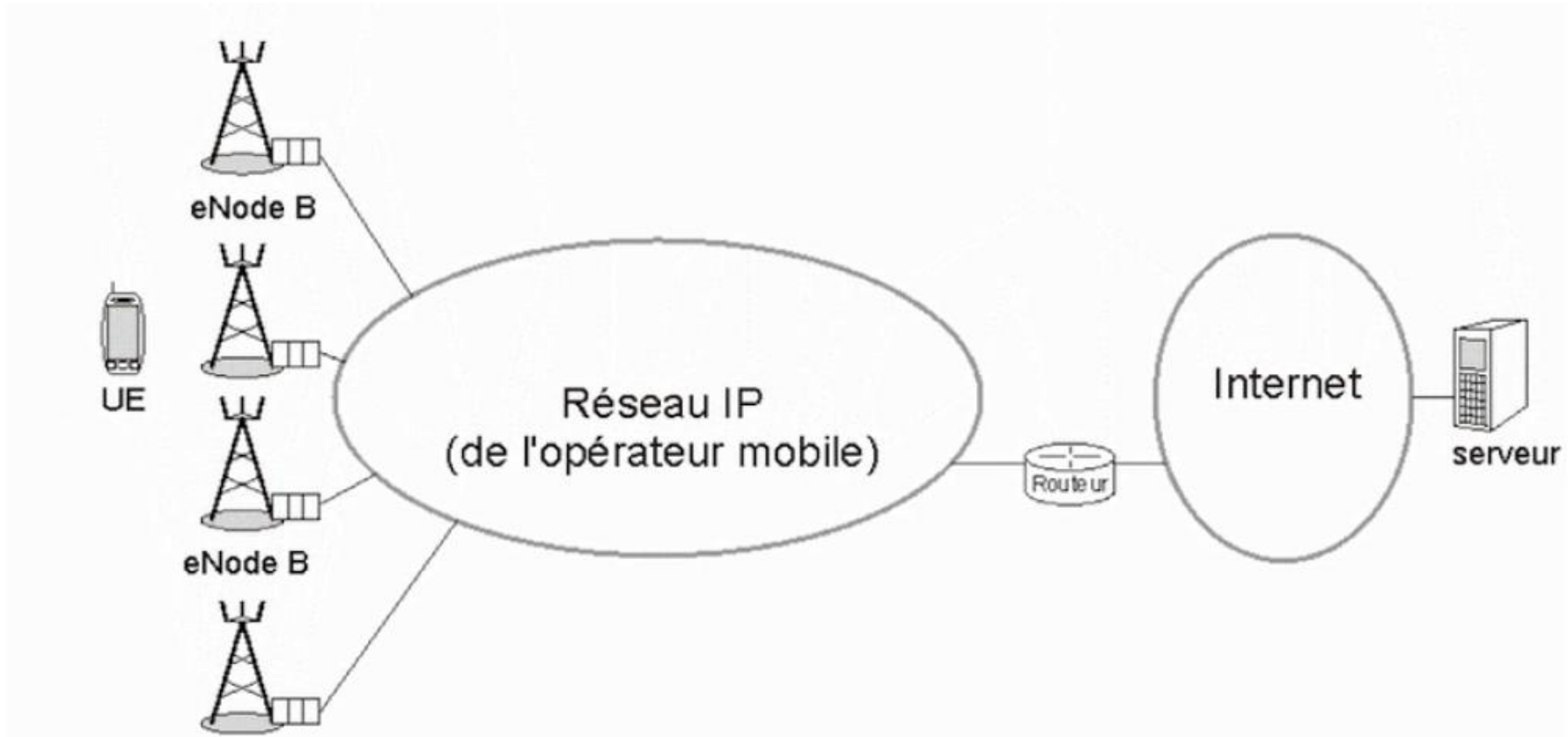
L'ordonnancement de paquets (scheduling) :

Table de correspondance des paramètres QCI

| QCI | Type de ressource | Priorité | Délai de transmission | Taux d'erreur résiduel | Exemples d'utilisation |
|-----|-------------------|----------|-----------------------|------------------------|---|
| 1 | GBR | 2 | 100 ms | 10^{-2} | Voix |
| 2 | | 4 | 150 ms | 10^{-3} | TV, streaming vidéo |
| 3 | | 3 | 50 ms | 10^{-3} | Jeu interactif |
| 4 | | 5 | 300 ms | 10^{-6} | Vidéo à la demande |
| 5 | non-GBR | 1 | 100 ms | 10^{-6} | Signalisation IMS |
| 6 | | 6 | 300 ms | 10^{-6} | Vidéo à la demande, services basés sur TCP (navigation web, courriel, chat, FTP, transfert de fichier, peer-to-peer...) |
| 7 | | 7 | 100 ms | 10^{-3} | Voix, streaming vidéo, jeu interactif |
| 8 | | 8 | 300 ms | 10^{-6} | bearer EPS par défaut pour des abonnés <i>premium</i> ou <i>privilegiés</i> |
| 9 | | 9 | | | bearer EPS par défaut pour des abonnés non <i>premium</i> |

Architecture LTE :

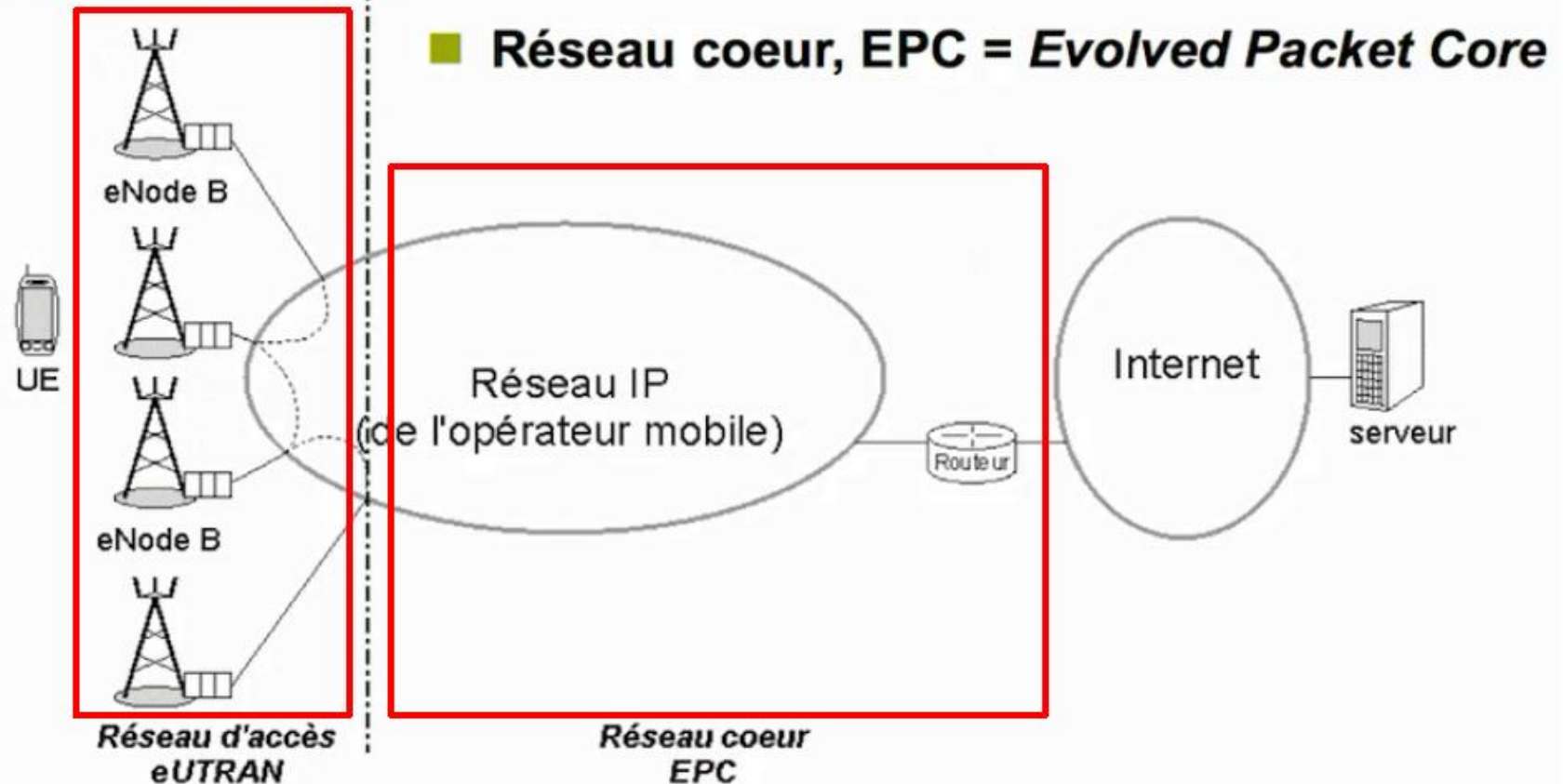
2- Réseau d'accès et réseau cœur :



**Les stations de base sont reliées à un réseau IP, déployé par l'opérateur mobile
Ce réseau est interconnecté au réseau Internet (aux réseaux IP des autres opérateurs)**

Architecture LTE :

2- Réseau d'accès et réseau cœur :



Réseau d'accès, eUTRAN = *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*

Architecture LTE :

3- Equipements du réseau cœur EPC :

La PGW, Packet GateWay :

Par où passent les paquets quand je consulte un serveur ?

Le réseau internet à la base ne sait pas gérer la mobilité. Un paquet est destiné à une adresse (IP) correspondant généralement à une localisation physique qui n'est pas supposée être en mobilité !

Solution :

Les paquets de données doivent être routés vers une « porte d'entrée » unique : **PGW**, Packet GateWay ou Packet data network GateWay

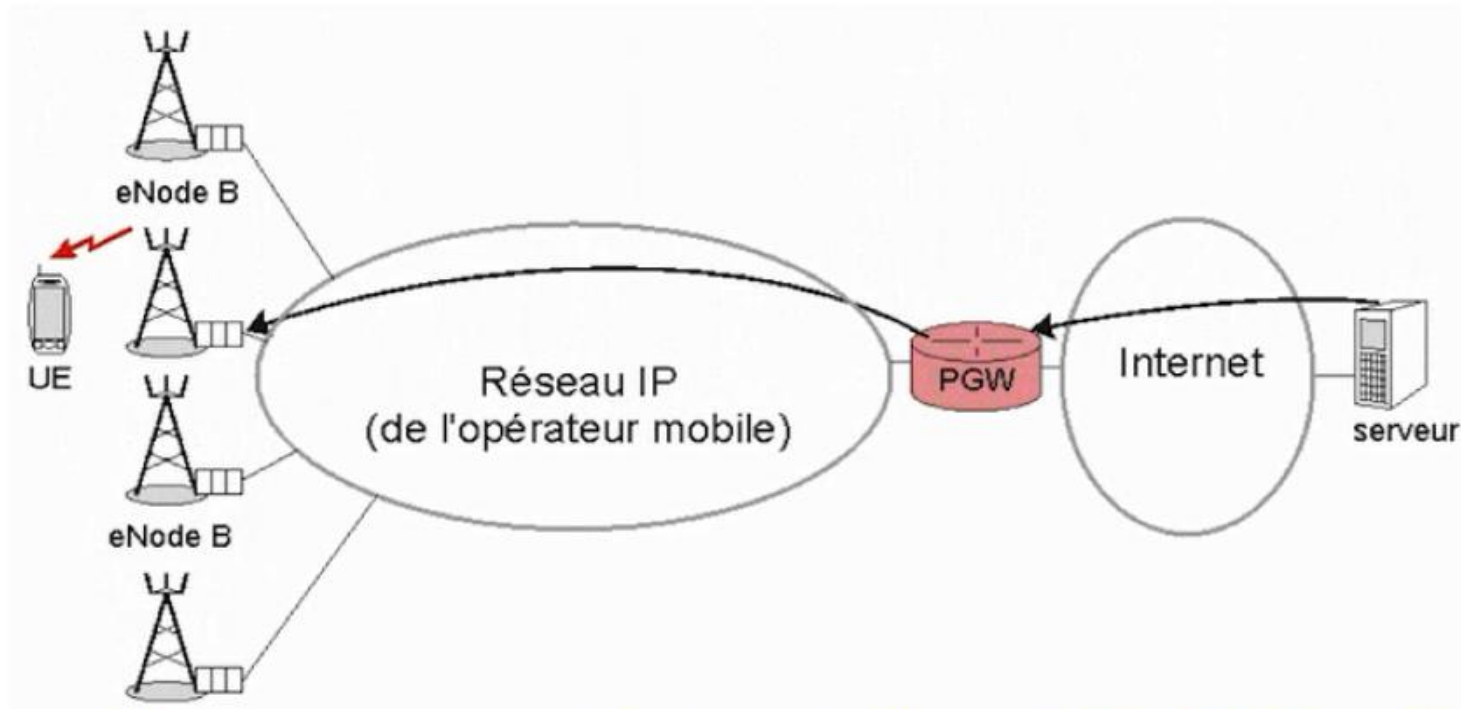
Ainsi :

Lorsqu'on consulte un serveur, une connexion logique est établie entre PGW et l'UE. Elle est dite **bearer EPS** (ou tunnel EPS, Evolved Packet System). Les paquets sont alors acheminés du serveur vers PGW, puis du PGW vers l'eNodeB en utilisant le réseau IP propre à l'opérateur mobile et enfin de l'eNodeB à l'UE par voie radio. Cette connexion radio est appelée **radio bearer**.

Architecture LTE :

3- Equipements du réseau cœur EPC :

La PGW, Packet GateWay :



Lorsqu'on consulte un serveur, une connexion logique est établie entre PGW et l'UE. Elle est dite **bearer EPS** (ou tunnel EPS, Evolved Packet System). Les paquets sont alors acheminés du serveur vers PGW, puis du PGW vers l'eNodeB en utilisant le réseau IP propre à l'opérateur mobile et enfin de l'eNodeB à l'UE par voie radio. Cette connexion radio est appelée **radio bearer**.

Architecture LTE :

3- Equipements du réseau cœur EPC :

La PGW, Packet GateWay :

Fonctions principales de la PGW :

En plus d'acheminer les données vers le terminal + les données du terminal vers l'Internet, la PGW a pour rôle :

- D'allouer une adresse IP à l'UE.
- D'analyser les paquets et détermine la nature des flux (GBR ou non-GBR) en vue gérer la QoS : Par exemple, la PGW peut décider de brider le débit d'un flux de type P2P en fonction de la politique de l'opérateur ou même détecter un usage soumis à la souscription d'une option tel que l'usage modem.
- De mettre en œuvre la facturation par flux de données, conformément à l'offre d'abonnement.
- D'assurer l'interconnexion avec les réseaux IP d'autres opérateurs locaux ou étrangers (roaming).
- D'assurer certaines fonctions de sécurité.

Architecture LTE :

3- Equipements du réseau cœur EPC :

La SGW, Serving GateWay :

Dans un réseau mobile il y a typiquement ~10000 eNodesB et quelques PGW. Dans les zones urbaines denses, le rayon des cellules est de l'ordre ~100m, lorsqu'un UE se déplace il change très fréquemment de cellule et il faut avertir la PGW de re-router les paquets à chaque changement d'eNodeB.

Re-routages des paquets fréquents → échange d'un nombre important de messages de signalisation → congestion des PGWs.

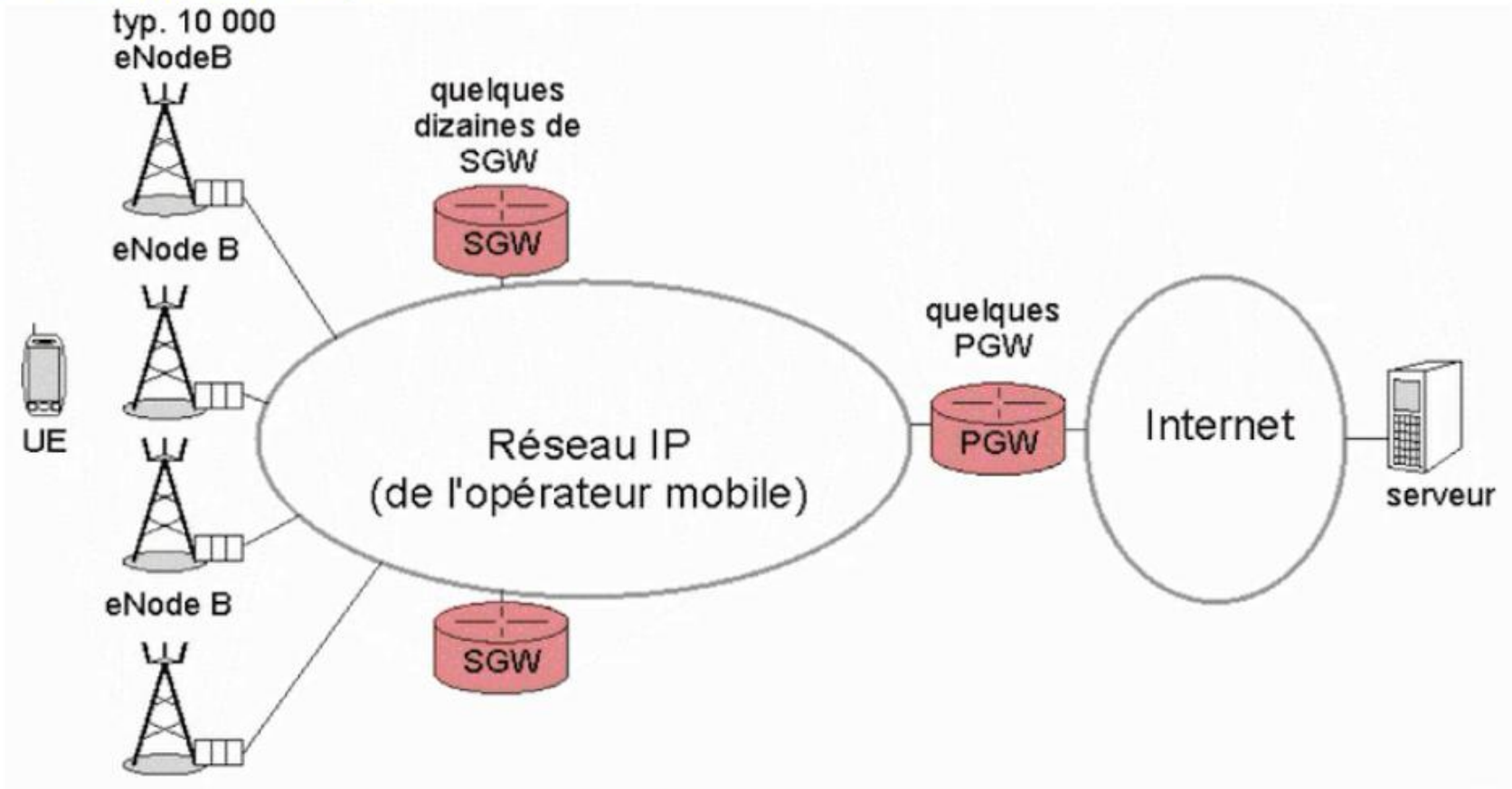
Solution :

Pour éviter des re-routage fréquents, on introduit un équipement intermédiaire dit **Serving GateWay, SGW**. Une **SGW** sert une zone géographique donnée (Une grande ville ou ensemble de quelques villes).

Architecture LTE :

3- Equipements du réseau cœur EPC :

La SGW, Serving GateWay :

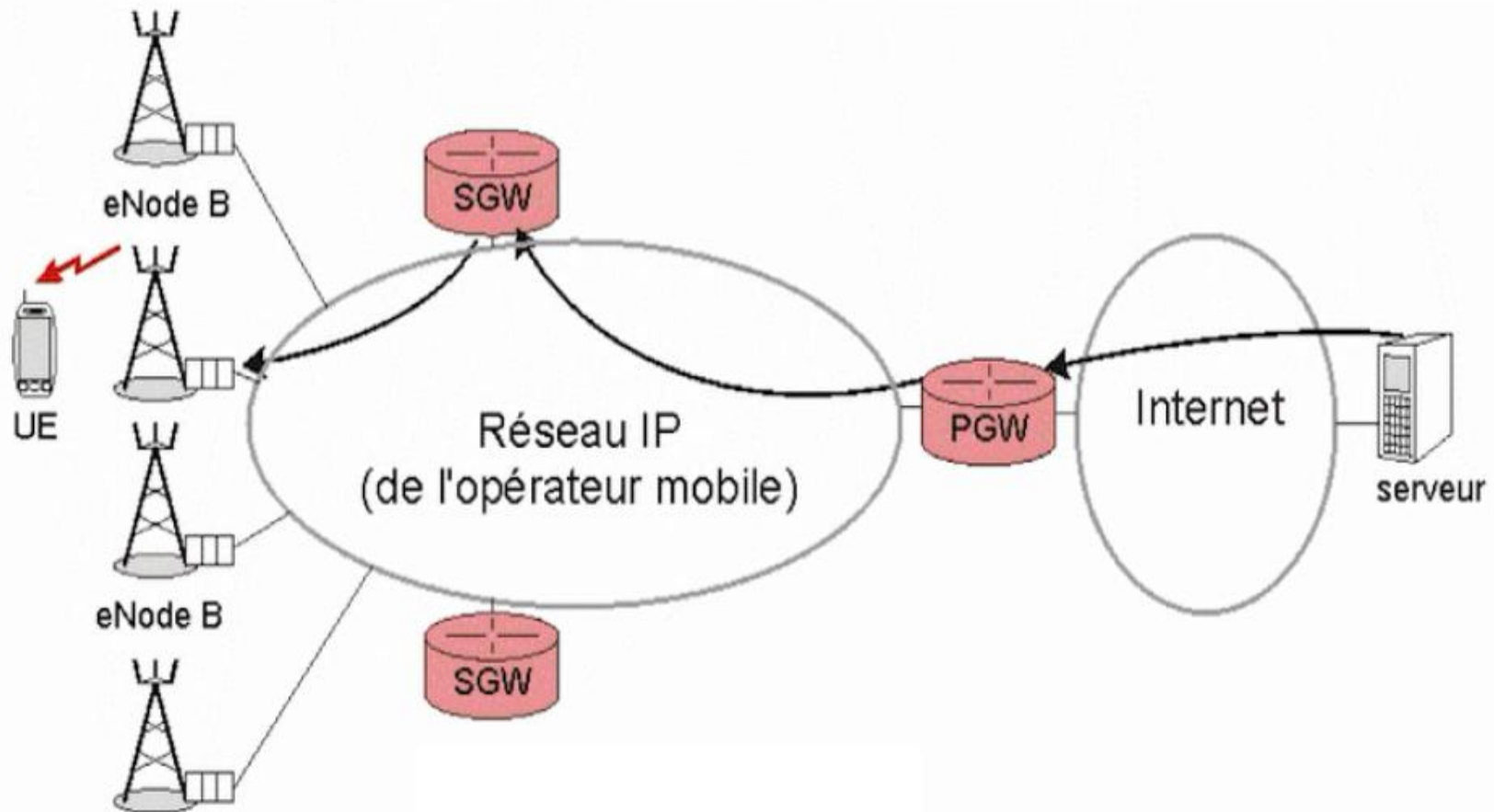


Passerelles qui servent une zone géographique : SWG, Serving GateWay

Architecture LTE :

3- Equipements du réseau cœur EPC :

La SGW, Serving GateWay :



Architecture LTE :

3- Equipements du réseau cœur EPC :

La SGW, Serving GateWay :

Fonctions principales de la SGW :

- La collecte des données envoyées par les terminaux mobiles à travers différents eNodeBs
- La distribution des données venant des serveurs vers les eNodeBs où se trouvent les UEs mobiles.
- Lorsque l'UE est en mobilité entre plusieurs eNodeBs, la S-GW conserve des contextes sur les bearers de l'UE lorsqu'il est en veille.
- L'interconnexion avec le réseau source (home network) dans le contexte d'itinérance ainsi que l'envoi d'informations pour la facturation (par exemple, le volume de données envoyées et reçues par l' UE)

Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

Puis-je utiliser librement mon terminal sur n'importe quel réseau ?

Comment l'accès au réseau est-il contrôlé ?

Plan usager et plan de contrôle :

On distingue deux types de données pouvant transiter sur les interfaces du système LTE/EPC :

données utilisateurs, portées par le **plan usager**, et les **données de signalisation**, qui transitent via le **plan de contrôle**.

Le **plan usager** : correspond aux protocoles et fonctions mis en œuvre pour le traitement des données de l'utilisateur (en provenance ou à destination de celui-ci) transitant sur le réseau mobile, et liées au service auquel cet usager accède (appel voix, Internet, streaming vidéo,...).

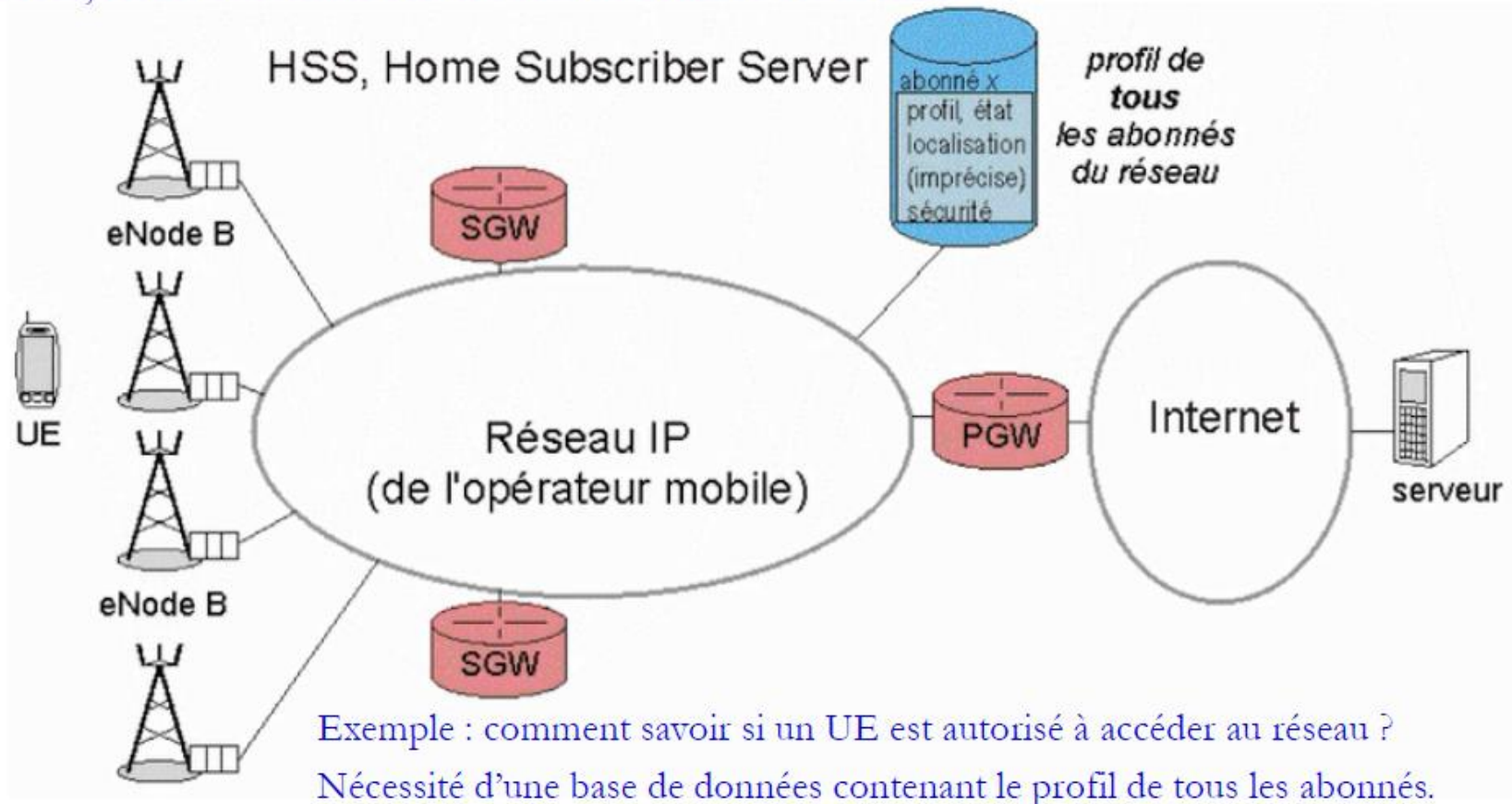
Le **plan de contrôle** : permet, comme son nom l'indique, de contrôler le plan usager par l'établissement, la reconfiguration et la relâche de connexion, l'échange d'informations et de contextes associés à l'UE. Il permet ainsi d'établir le service et d'en assurer la continuité dans l'environnement du réseau mobile.

On notera que le plan de contrôle d'une interface ne porte pas nécessairement des messages en provenance ou à destination de l'UE.

Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

Le HSS, Home Subscriber Server : base de données des abonnés

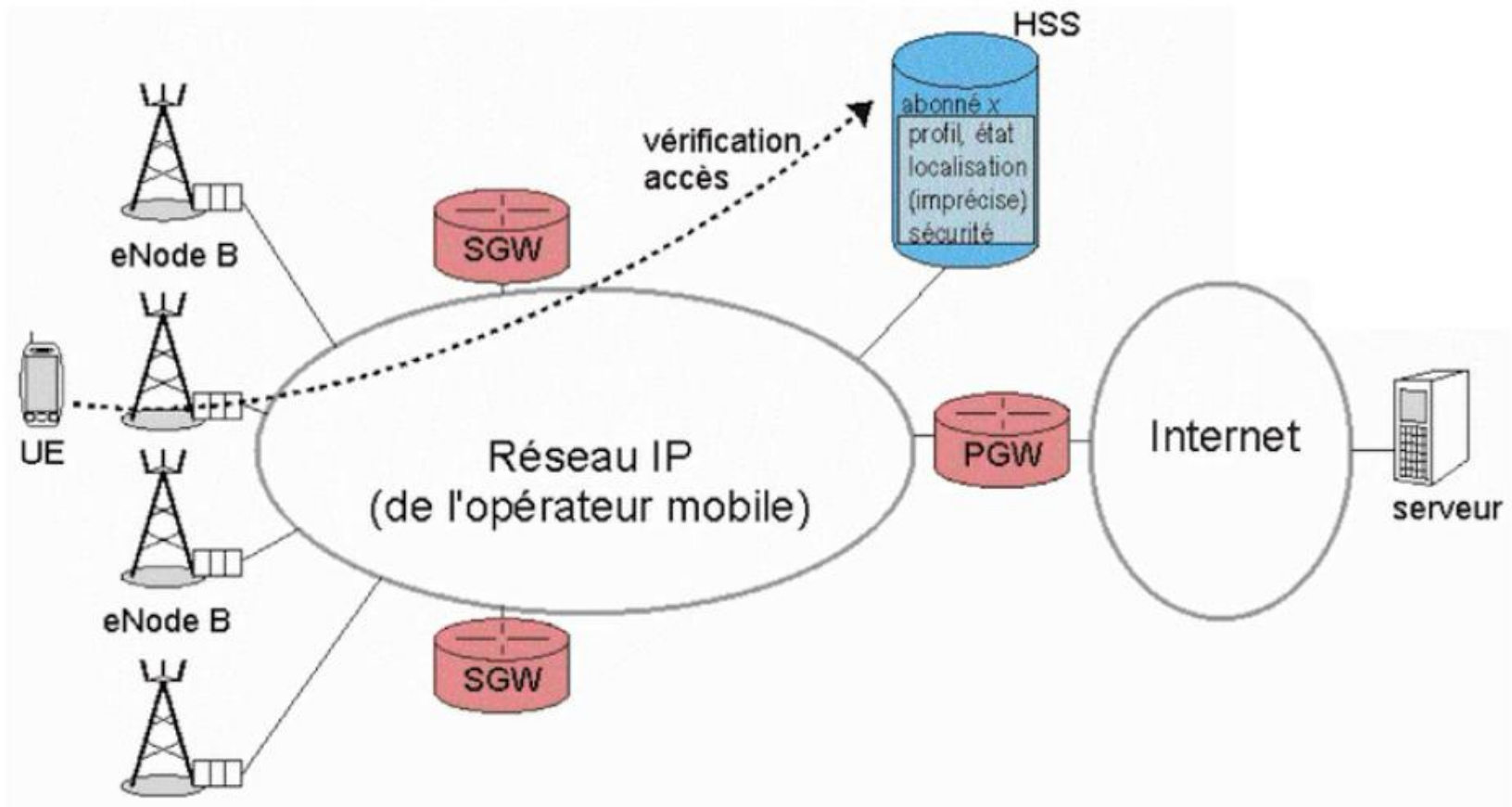


Profil abonné = son identité (IMSI), offres de services auxquelles il a souscrit, des données de sécurité, localisation (imprécise)

Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

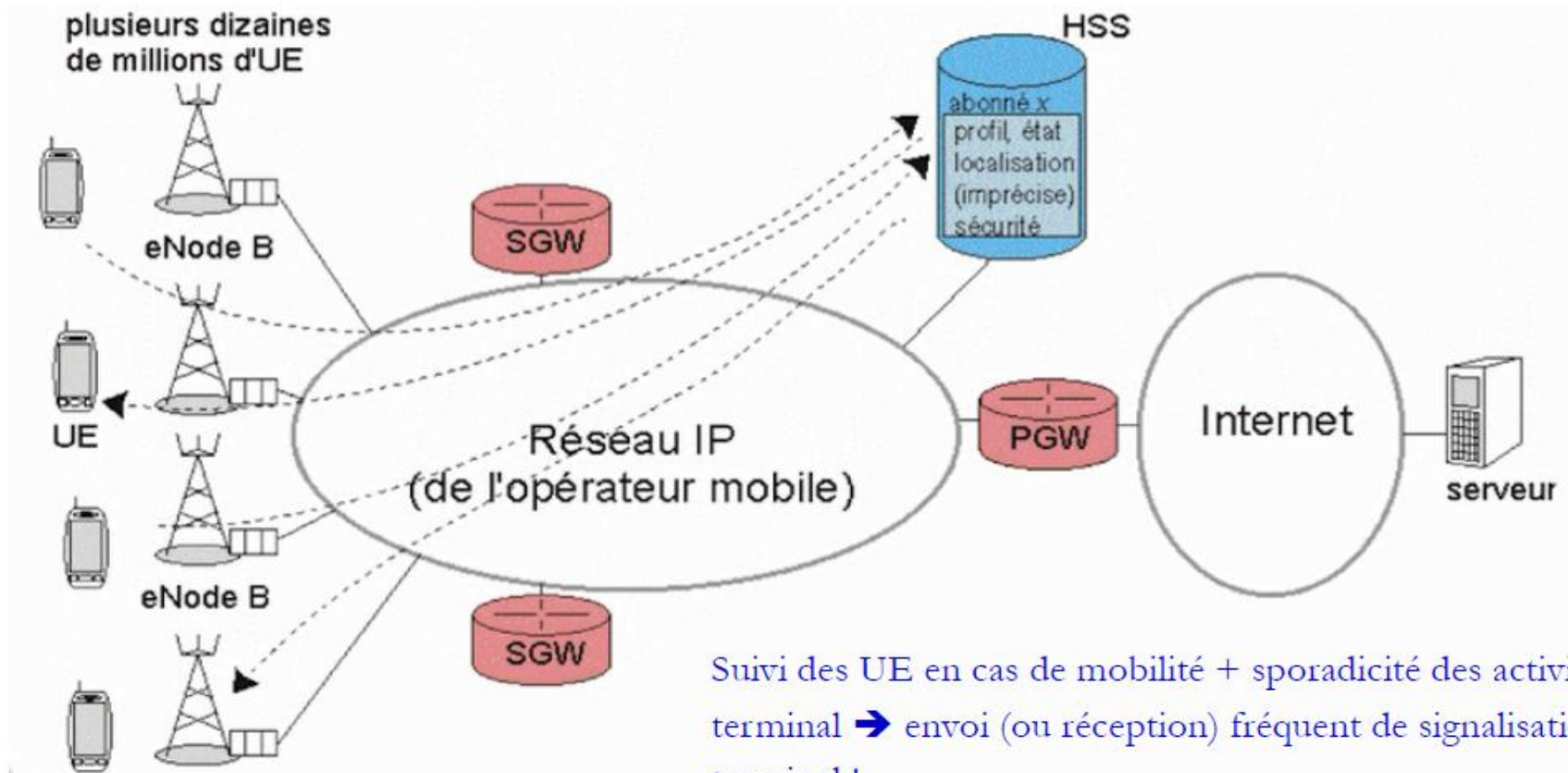
Le HSS, Home Subscriber Server : base de données des abonnés



Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

Le HSS, Home Subscriber Server : base de données des abonnés

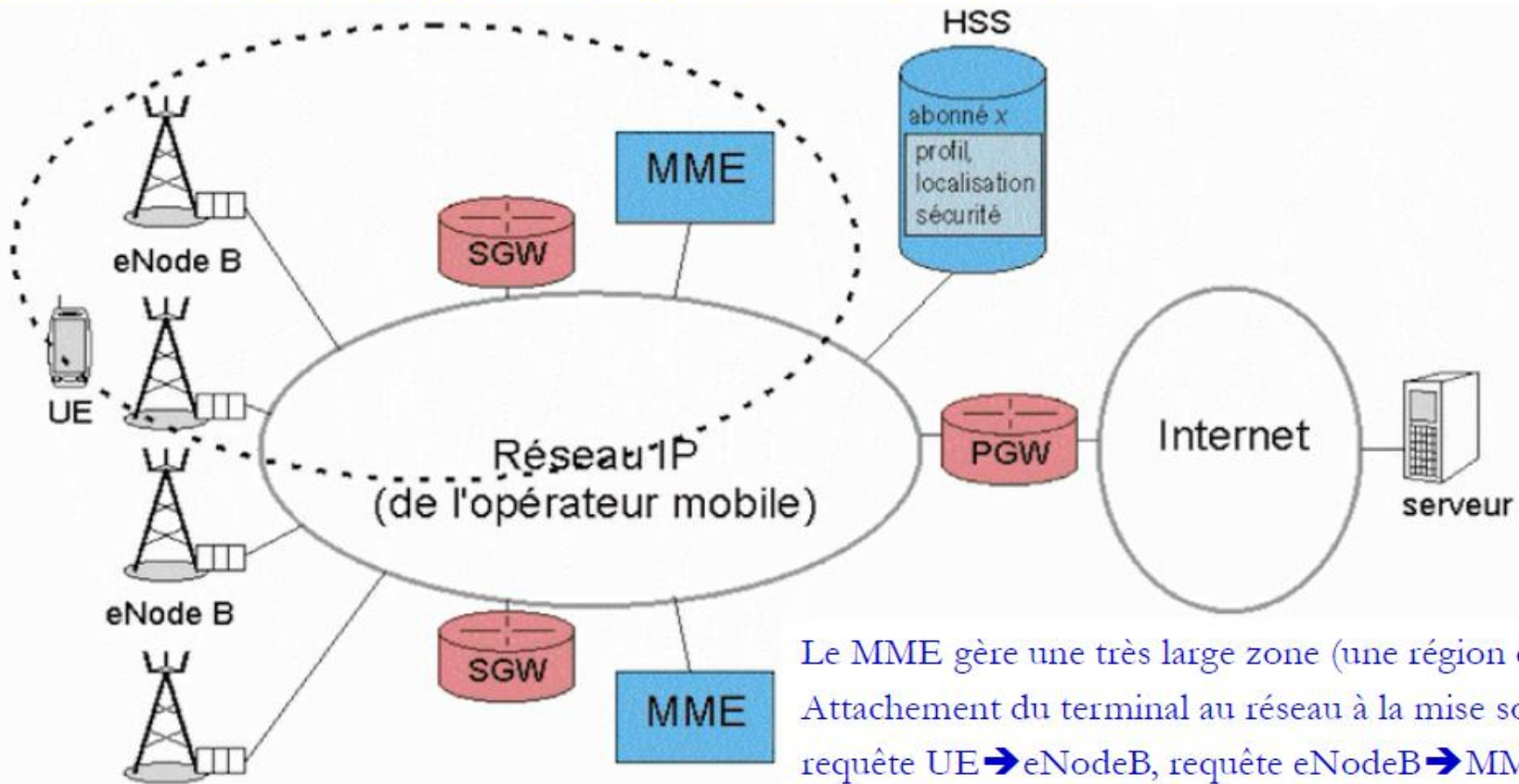


Suivi des UE en cas de mobilité + sporadicité des activités du terminal → envoi (ou réception) fréquent de signalisation par terminal !

Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

Le MME, MME, Mobility Management Entity : le contrôleur de mobilité

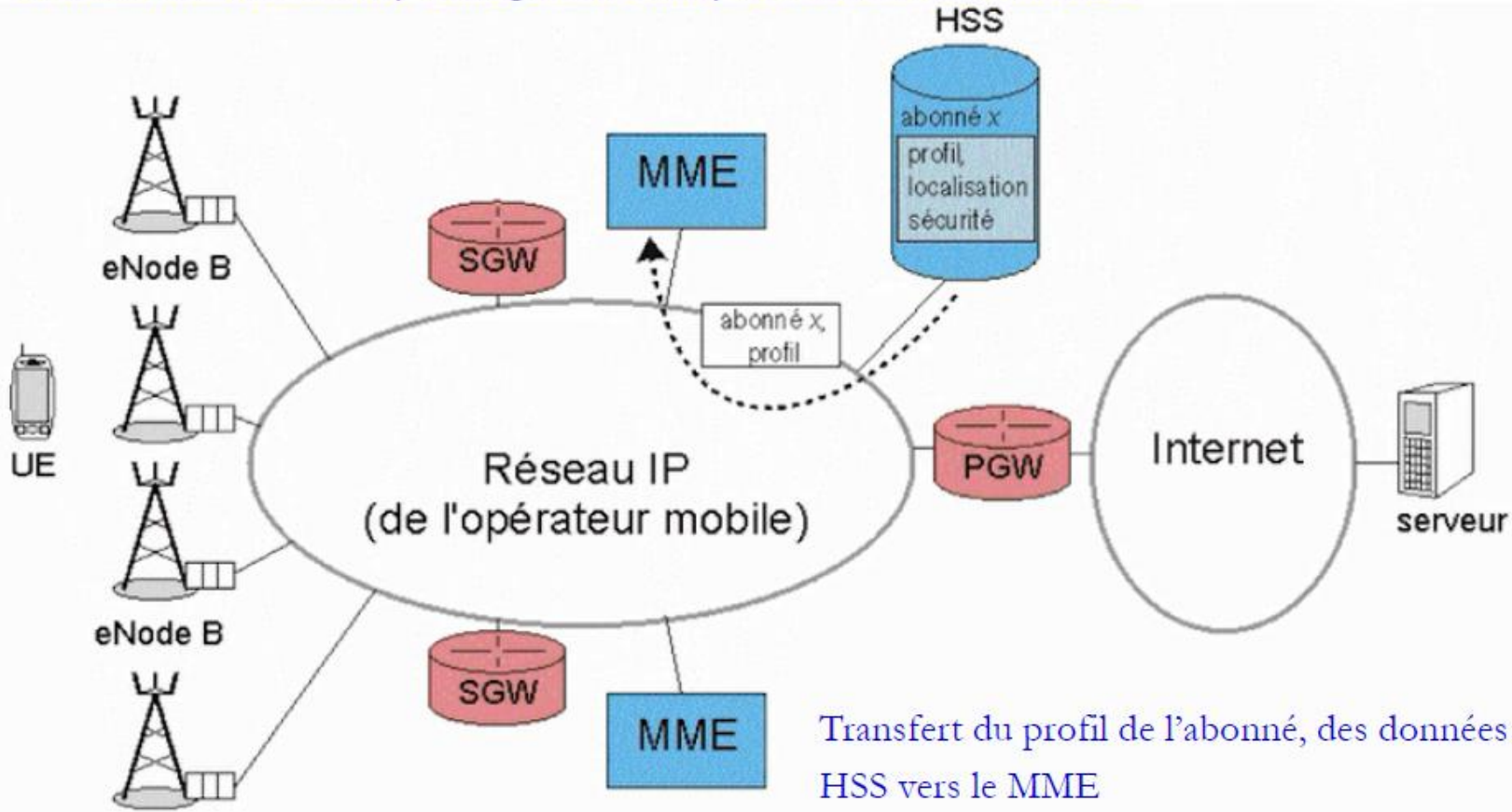


Le MME gère une très large zone (une région de l'algérie).
Attachement du terminal au réseau à la mise sous tension:
requête UE → eNodeB, requête eNodeB → MME

Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

Le MME, MME, Mobility Management Entity : le contrôleur de mobilité

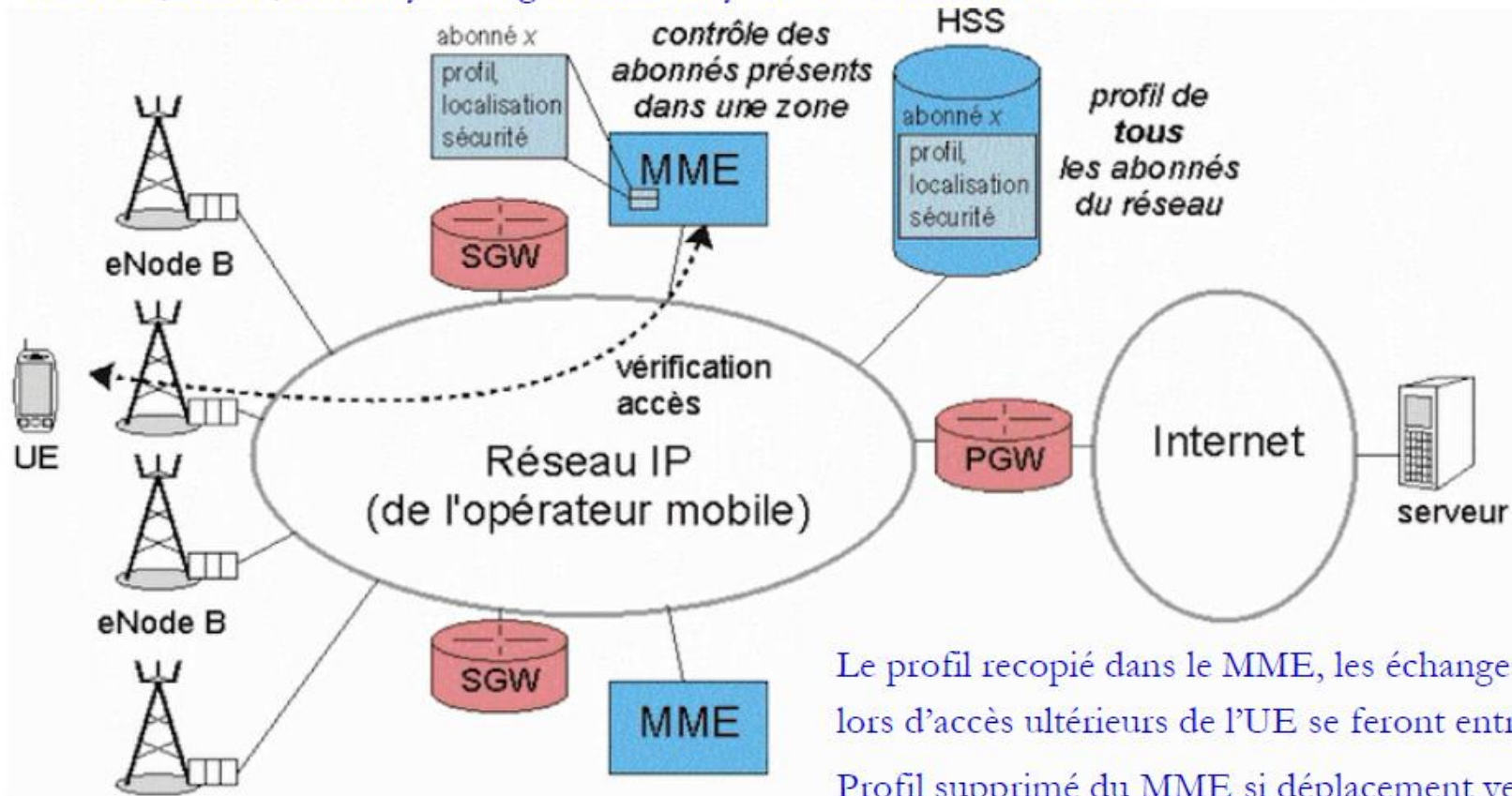


Transfert du profil de l'abonné, des données de sécurité, du HSS vers le MME

Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

Le MME, MME, Mobility Management Entity : le contrôleur de mobilité



Le profil recopié dans le MME, les échanges de signalisation lors d'accès ultérieurs de l'UE se feront entre UE et MME. Profil supprimé du MME si déplacement vers une zone gérée par un MME différent ou UE longtemps inactif

Architecture LTE :

4- Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME) :

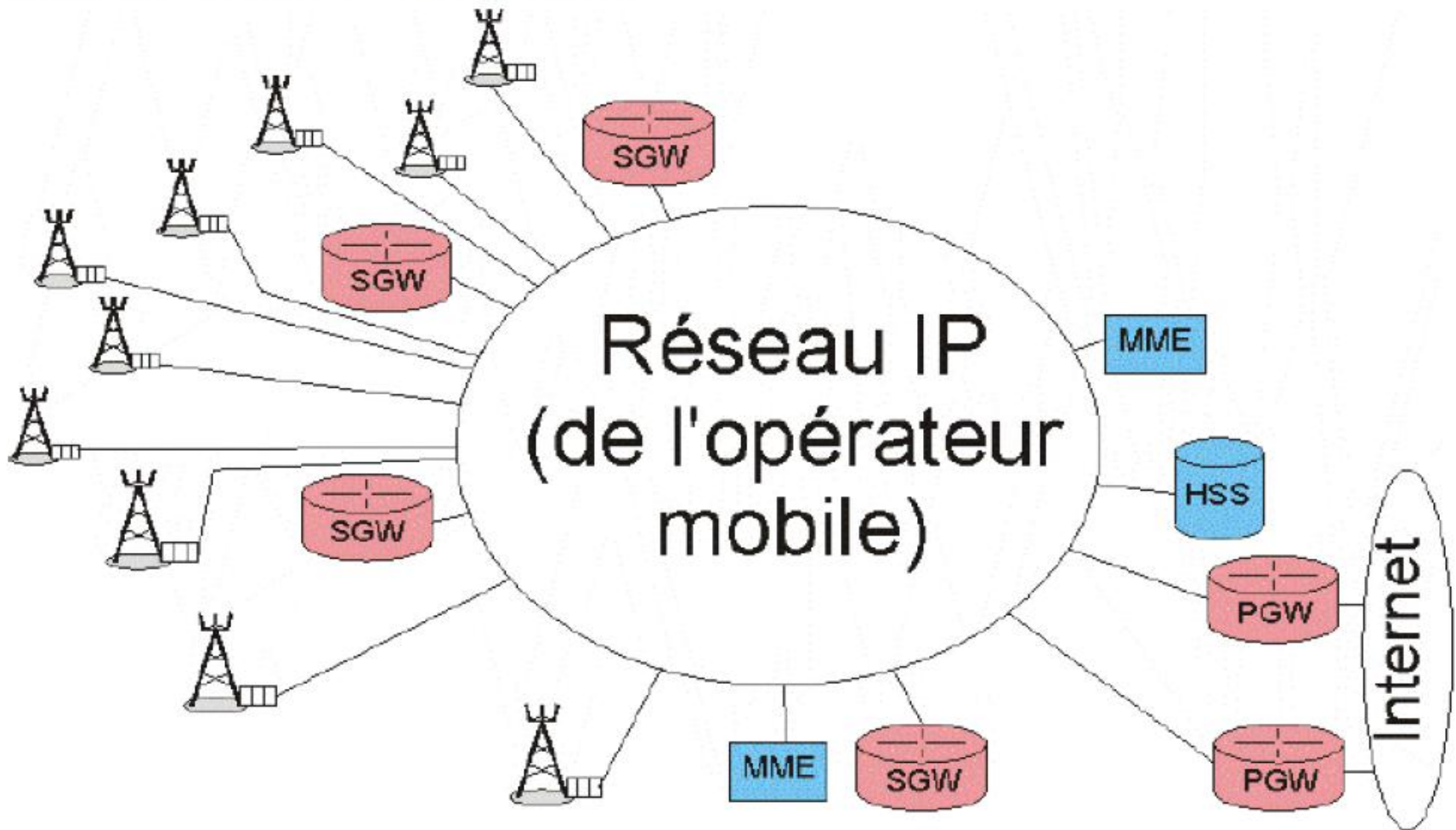
Fonctions principales du MME :

Le MME est le noeud de contrôle qui gère la signalisation entre l'UE et le réseau cœur, il :

- Dialogue avec un ensemble de stations de base typiquement d'une même région (voire d'un même pays)
- Dialogue avec le HSS pour récupérer le profil et les données de sécurité des abonnés présents dans la zone qu'il gère
- Stocke ces profils et ces données de sécurité
- Gère les mécanismes de signalisation liés à l'accès au réseau, la sécurité et la mobilité pour les terminaux présents dans sa zone
- Maintient la connaissance de la localisation des terminaux dans sa zone
- Sélectionne le PGW et le SGW quand le terminal s'attache au réseau et se connecte au réseau Internet
- Est impliqué dans le transfert intercellulaire (handover)

Architecture LTE :

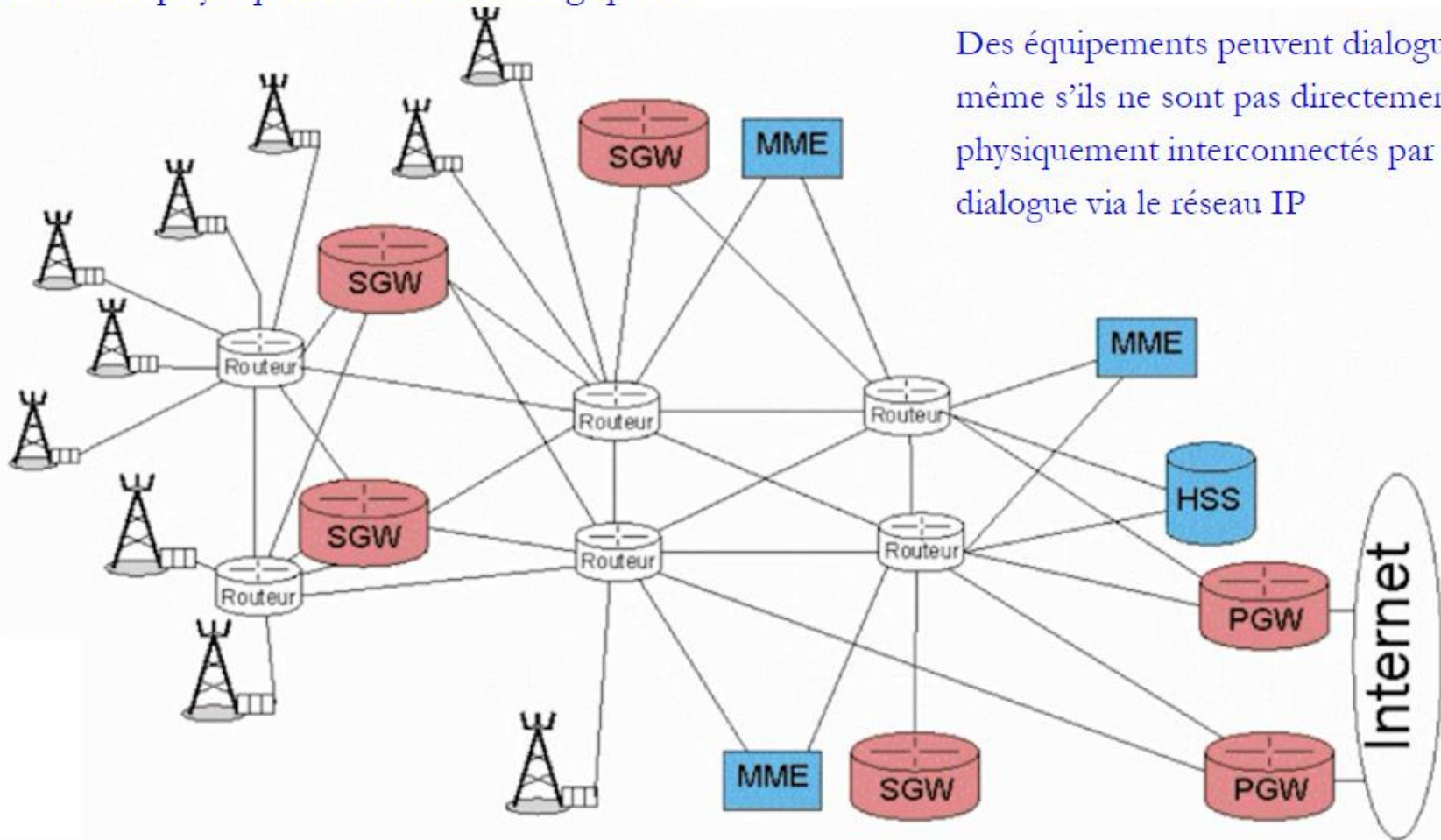
5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:



Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



Des équipements peuvent dialoguer entre eux même s'ils ne sont pas directement physiquement interconnectés par une liaison : dialogue via le réseau IP

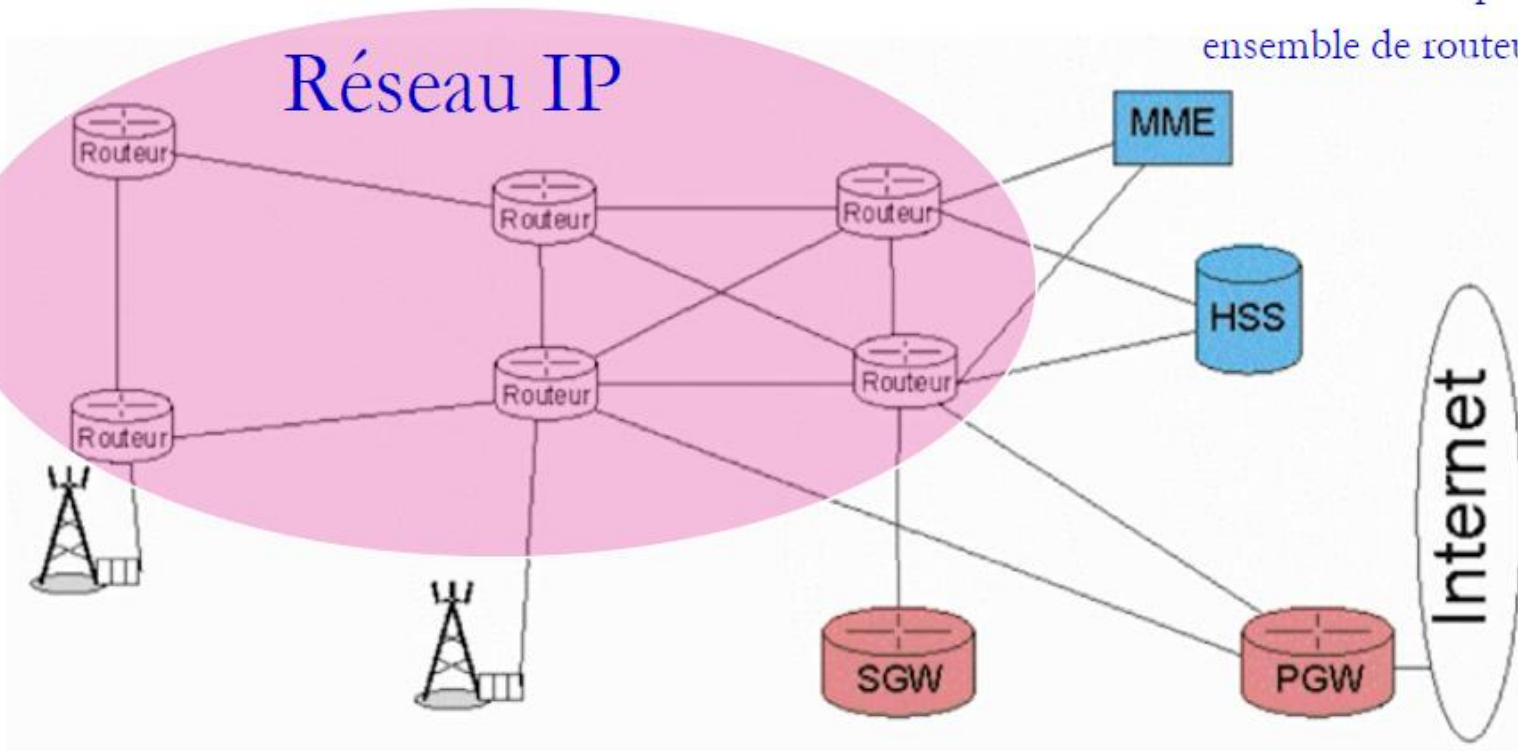
Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :

Réseau IP

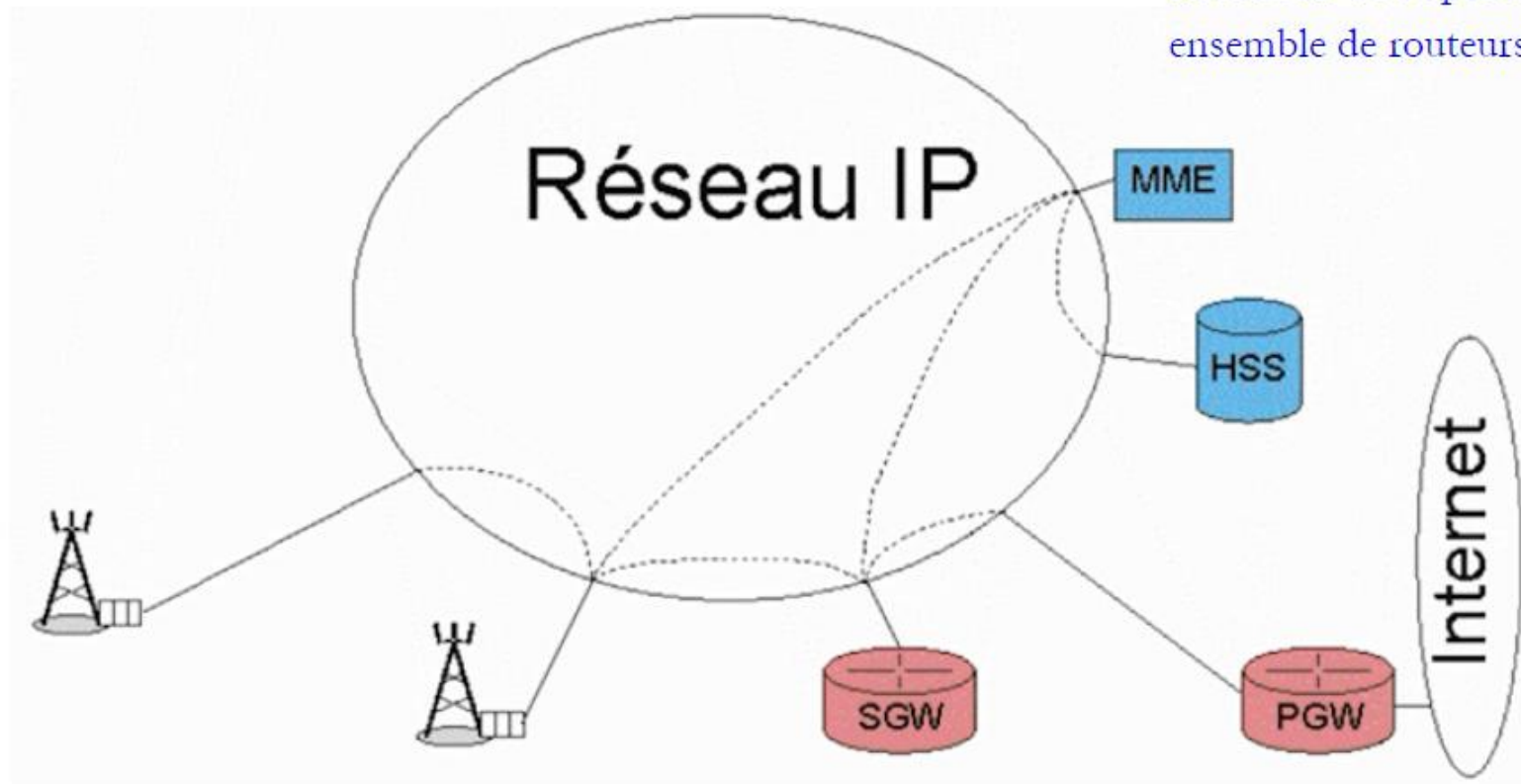
Réseau IP de l'opérateur constitué d'un ensemble de routeurs



Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :

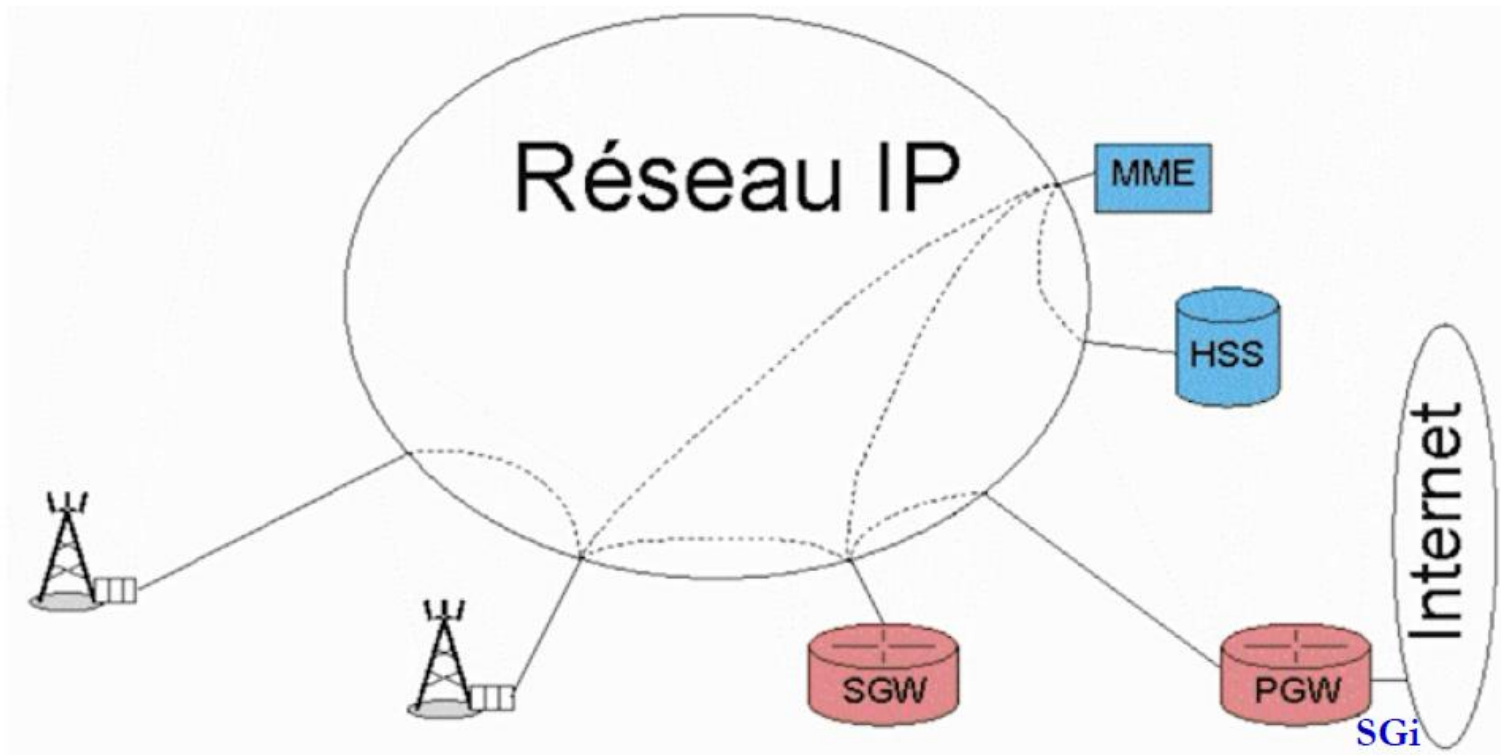


Réseau IP de l'opérateur constitué d'un ensemble de routeurs

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :

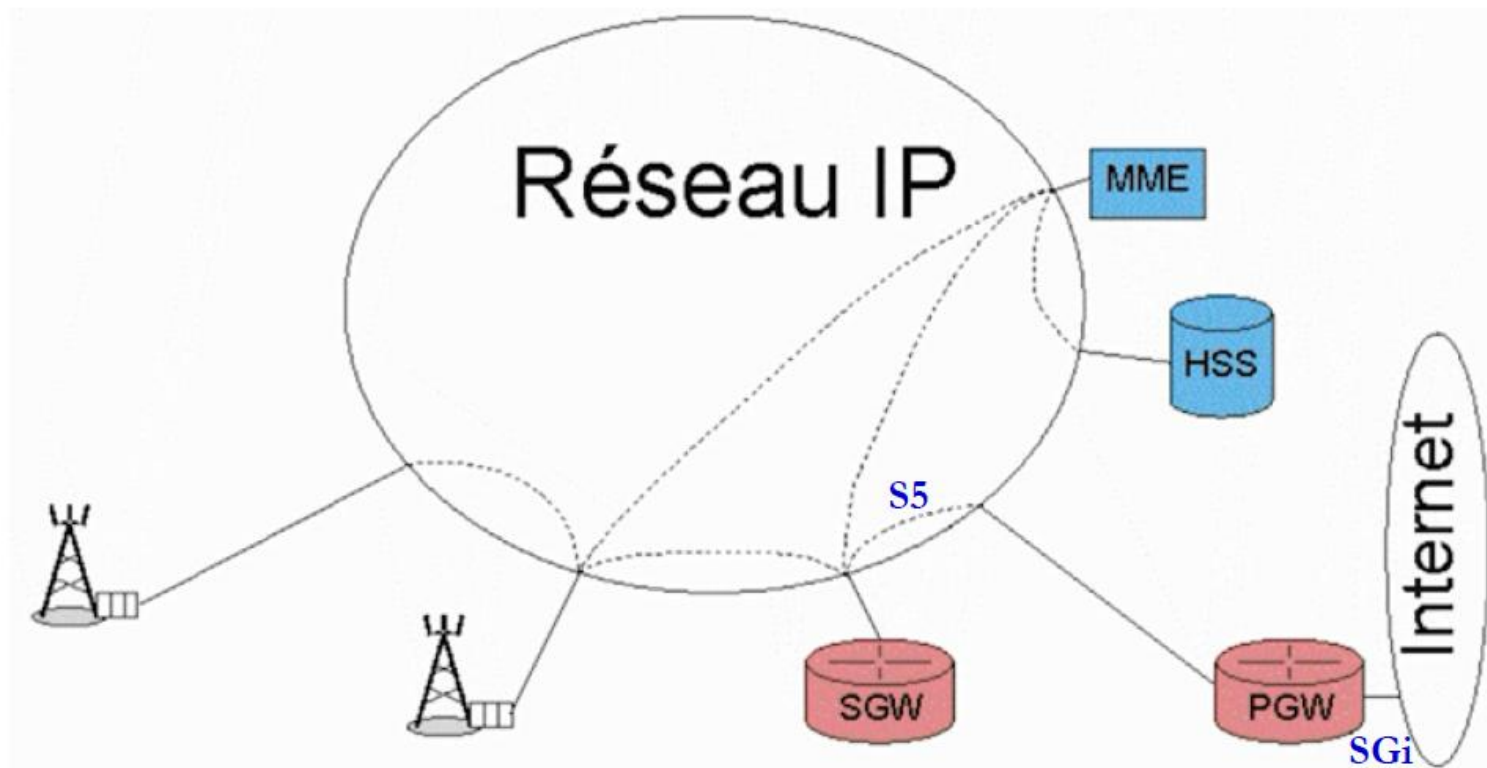


Interface **SGi** : entre le PGW et le réseau IP externe (Internet)

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



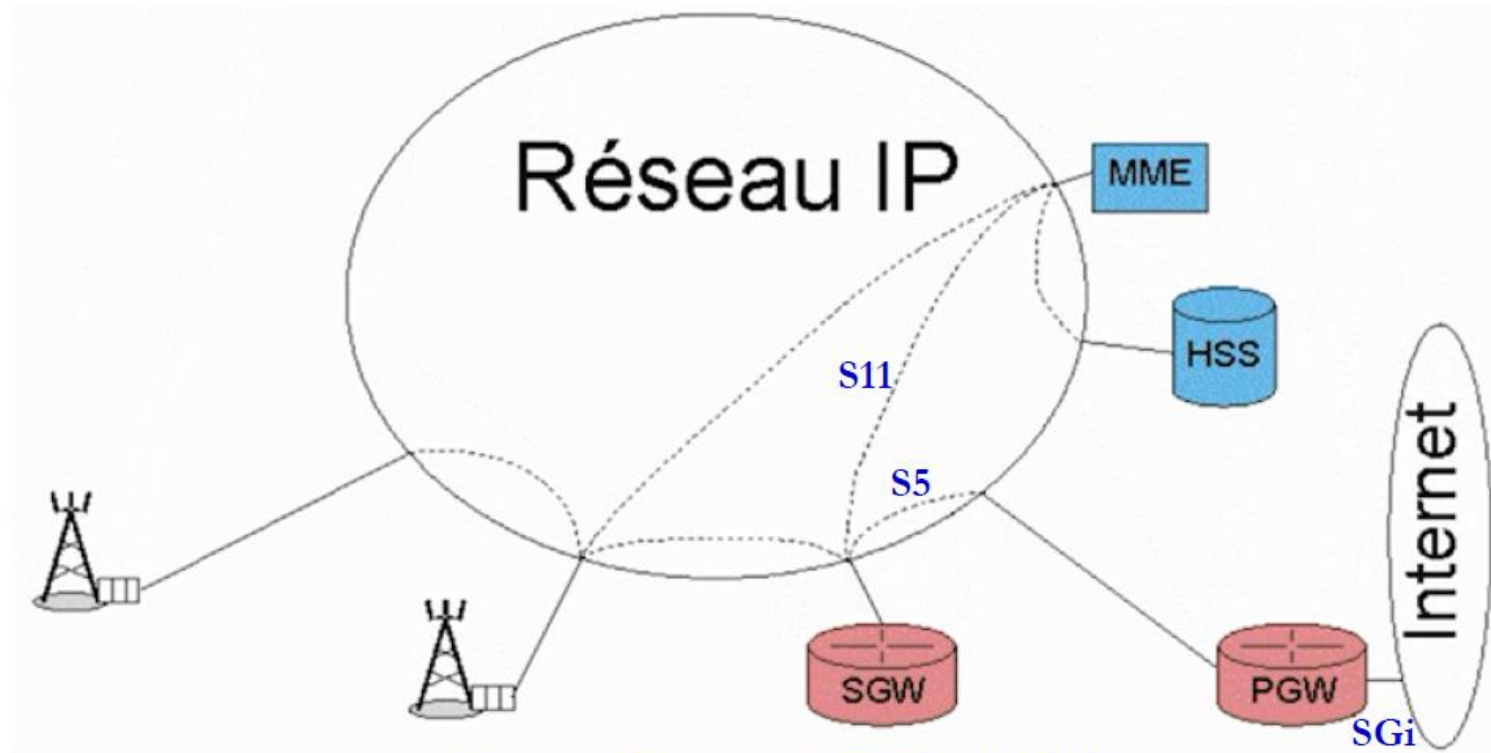
Interface **S5** : entre le SGW et le PGW (d'un même réseau)

Transport des données utilisateurs + quelques messages de signalisation)

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



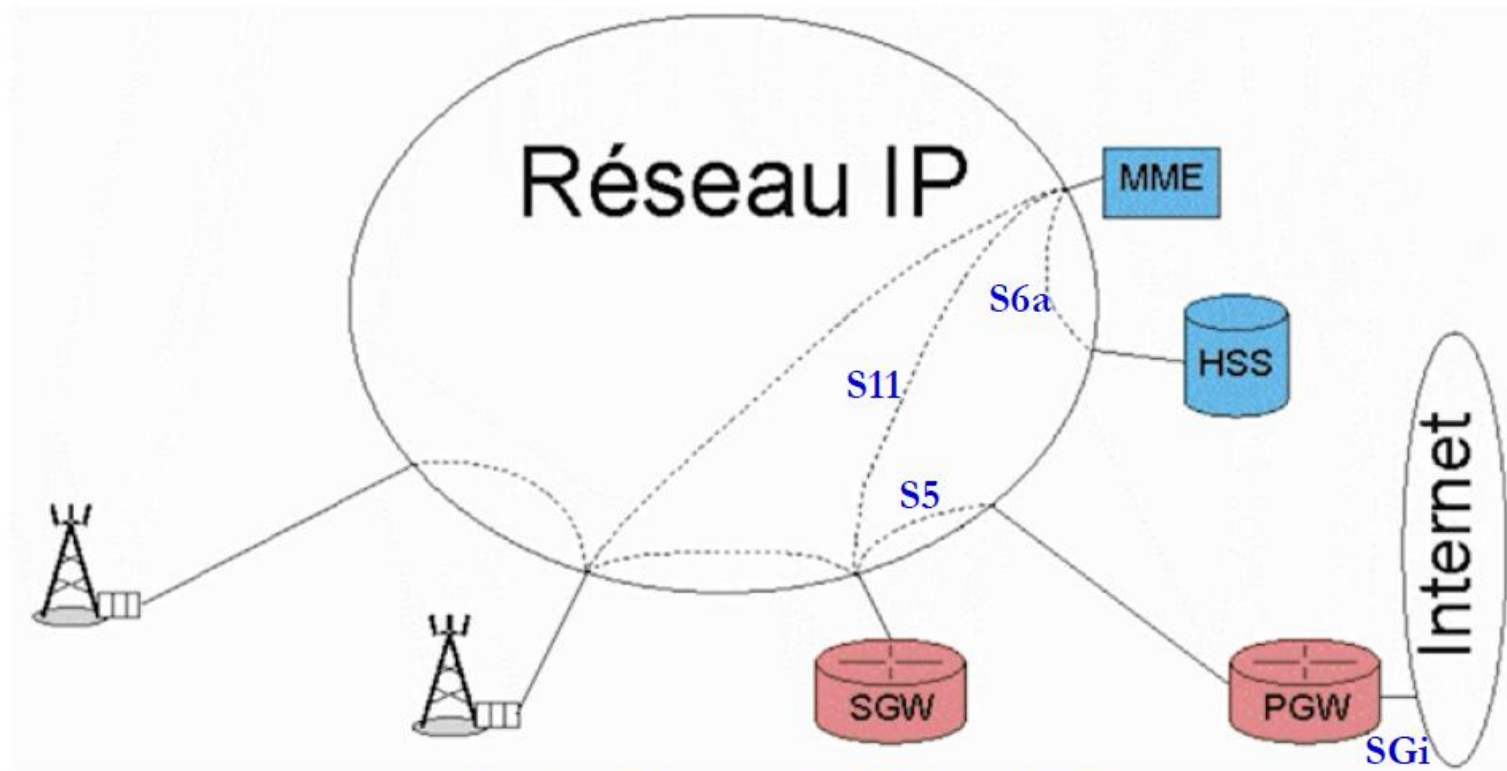
Interface **S11** : entre le SGW et le MME

Transport de messages de signalisation

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



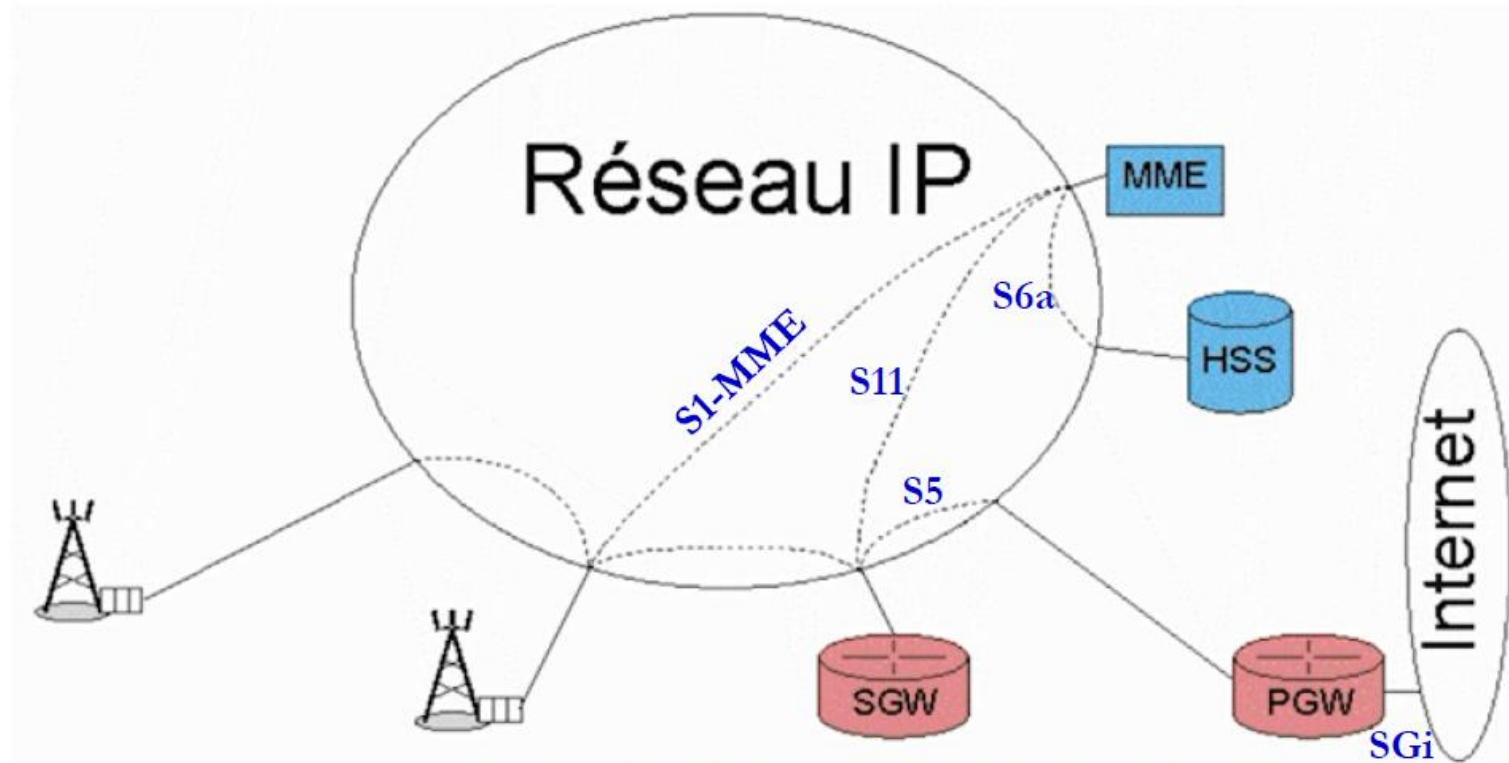
Interface **S6a** : entre le MME et le HSS

Transport de messages de signalisation

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



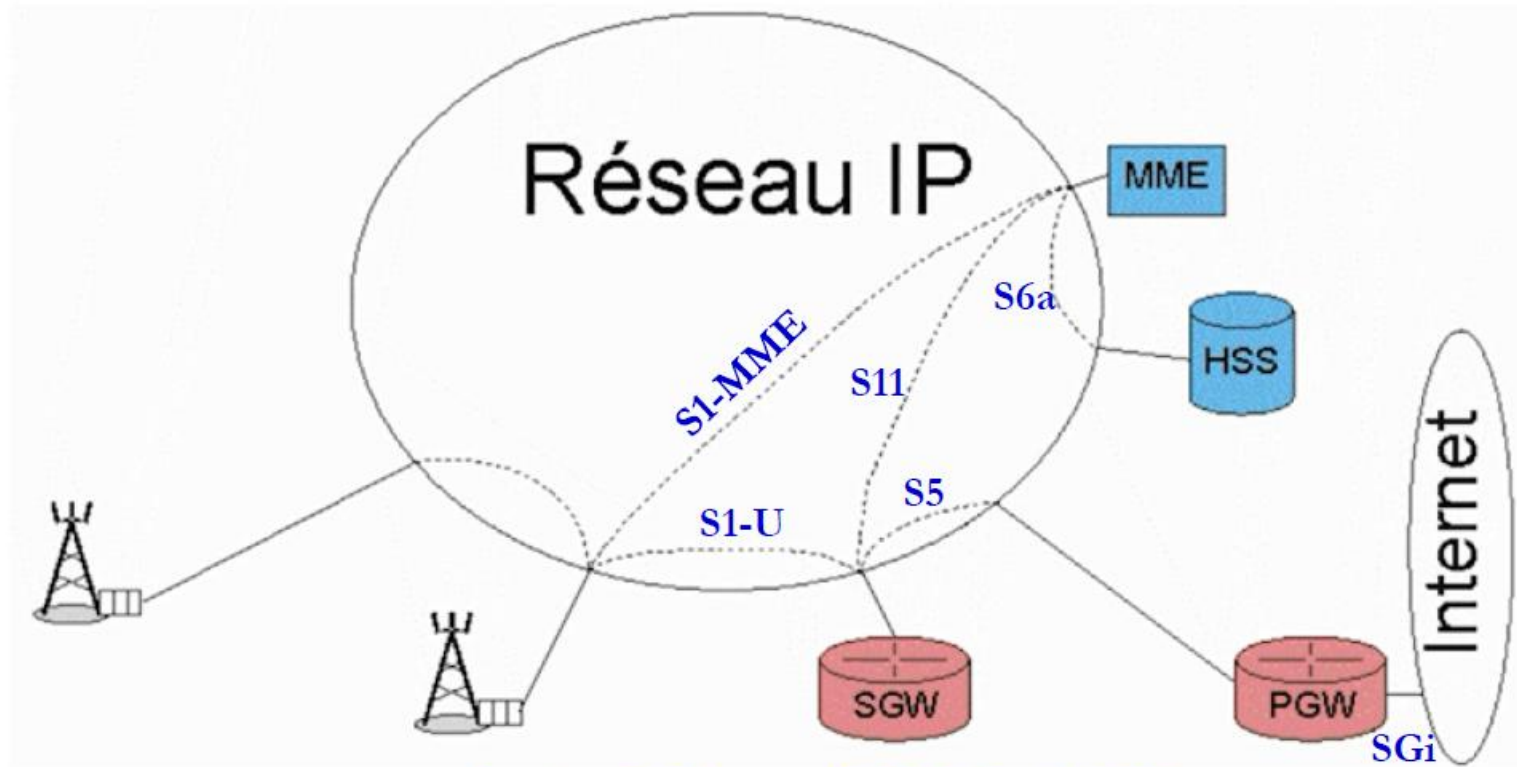
Interface **S1-MME** : entre l'eNodeB et le MME

Transport de messages de signalisation

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



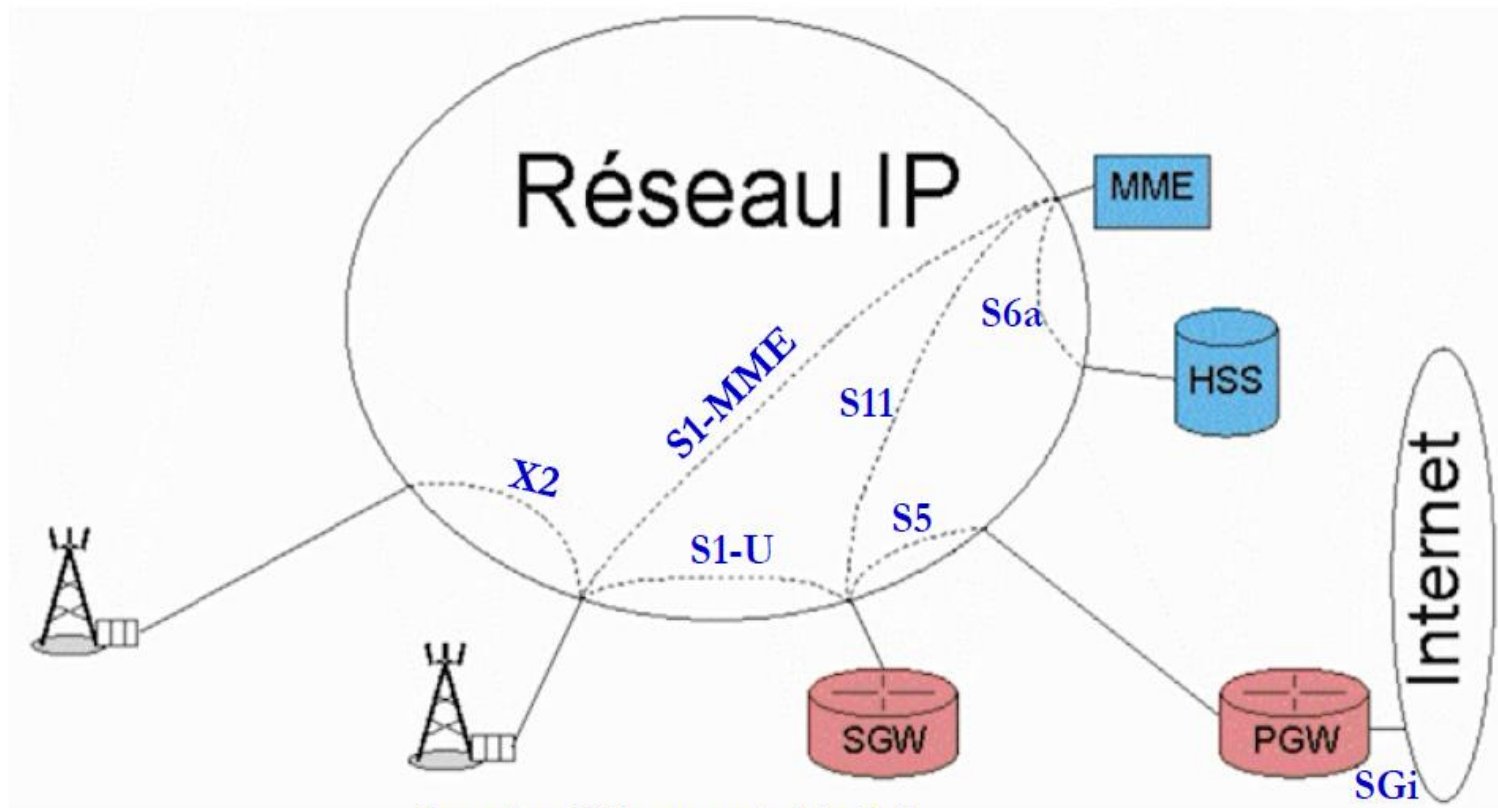
Interface **S1-U** : entre l'eNodeB et le SGW

Transport de données utilisateurs, pas d'échange de signalisation

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



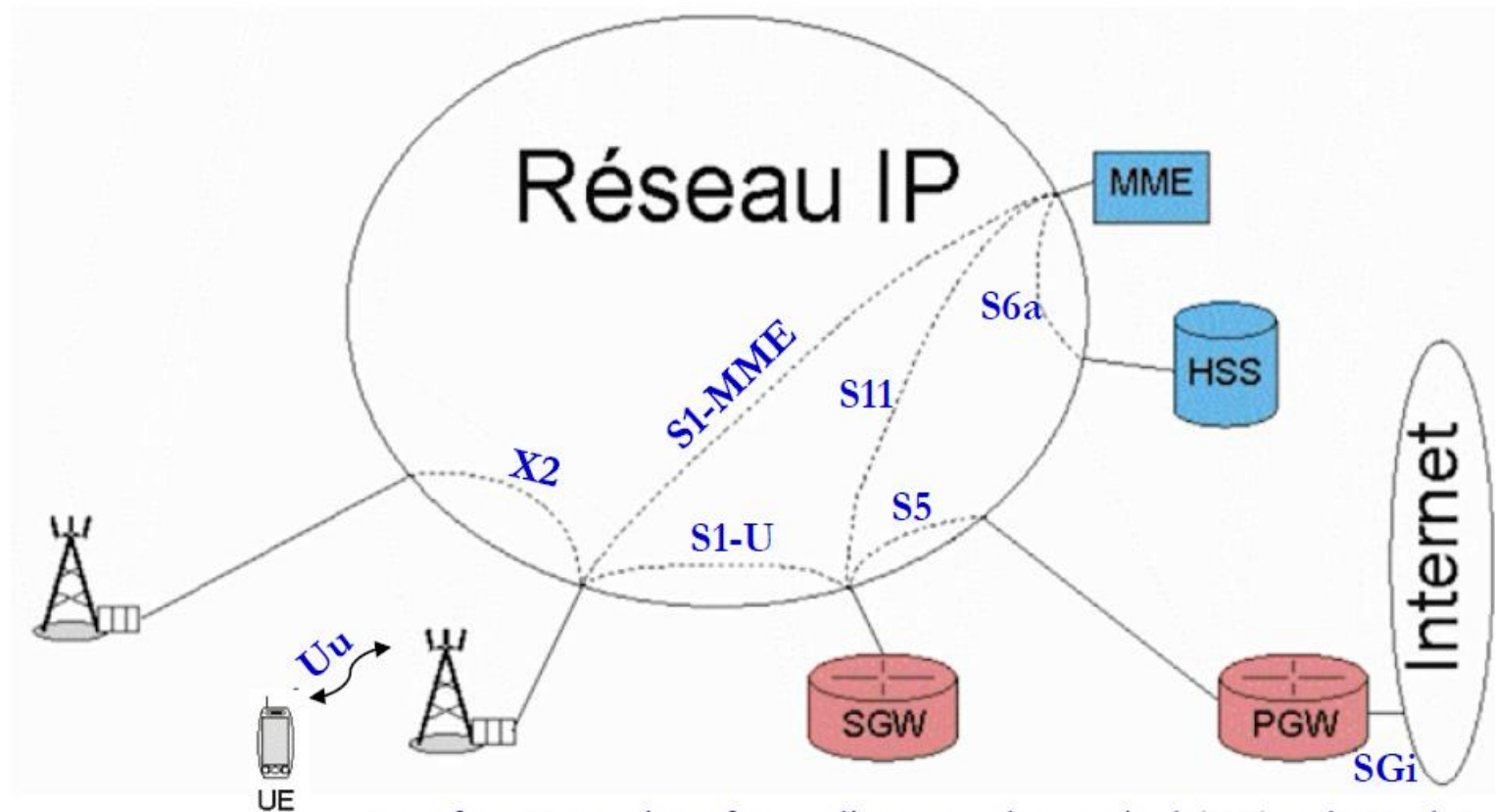
Interface X2 : entre 2 eNodeB

Transport des données utilisateurs et des messages de signalisation

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interfaces physiques et interfaces logiques :



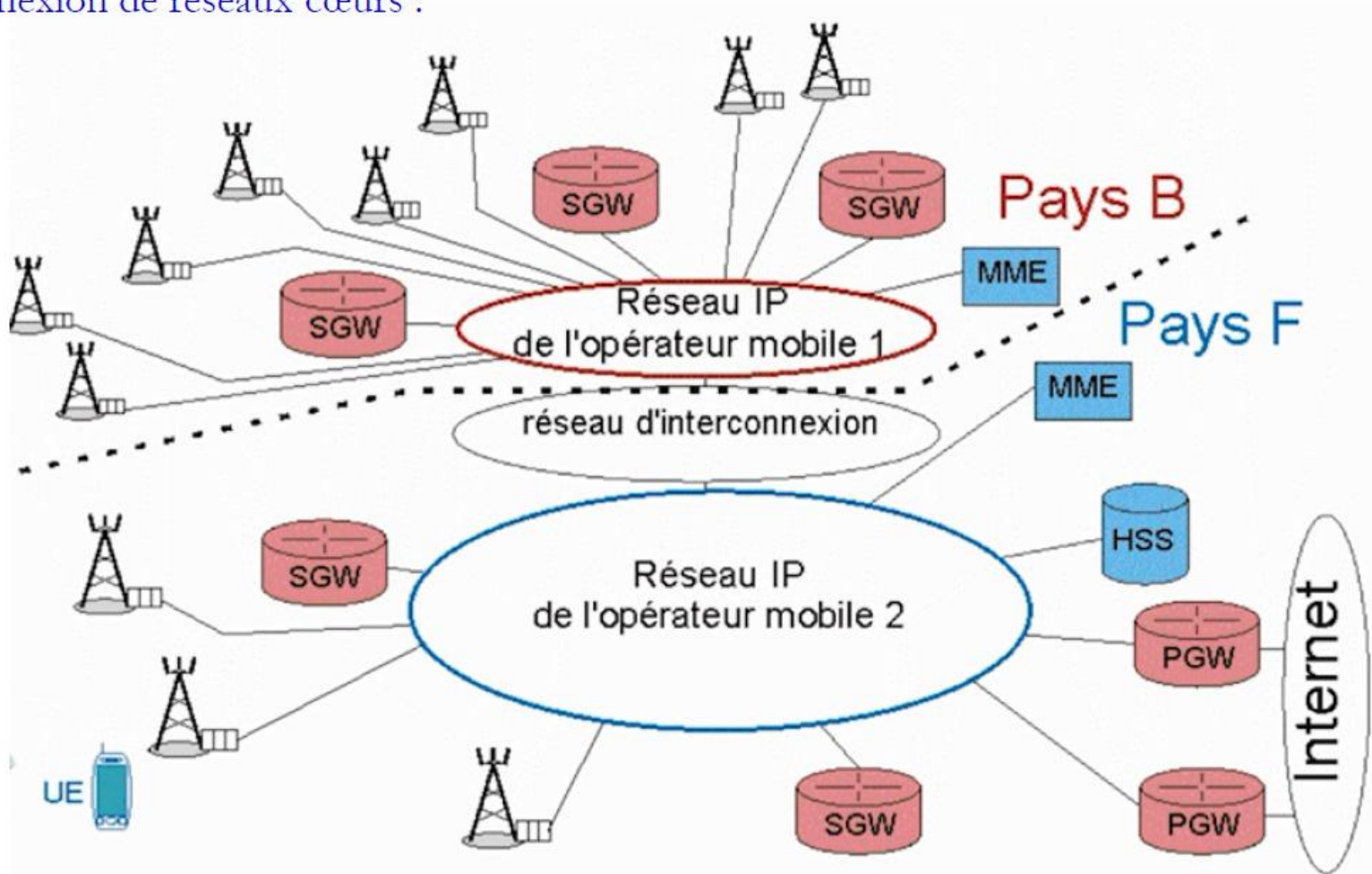
Interface **Uu** ou interface radio : entre le terminal (UE) et l'eNodeB

Transport des données utilisateurs et des messages de signalisation

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

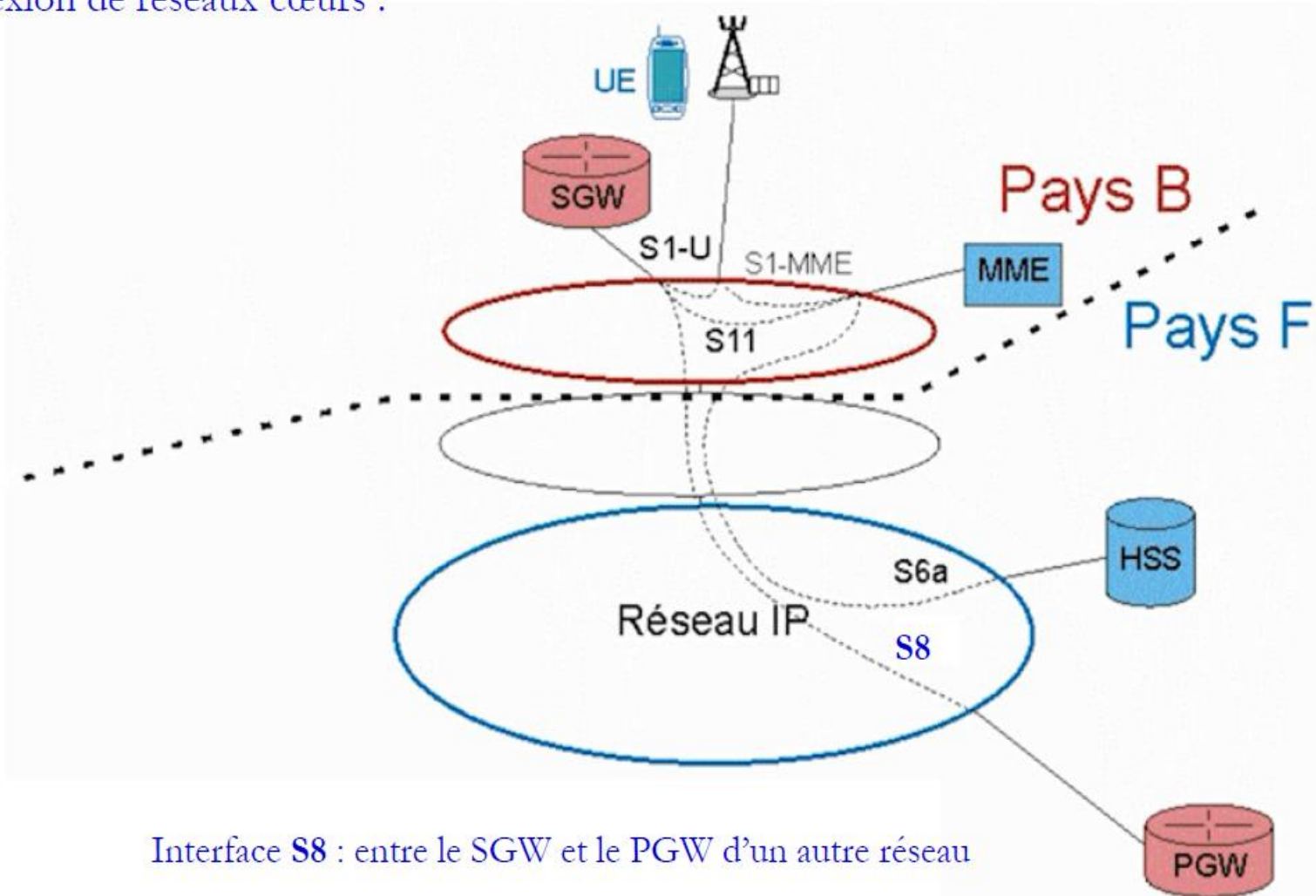
Interconnexion de réseaux cœurs :



Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Interconnexion de réseaux cœurs :



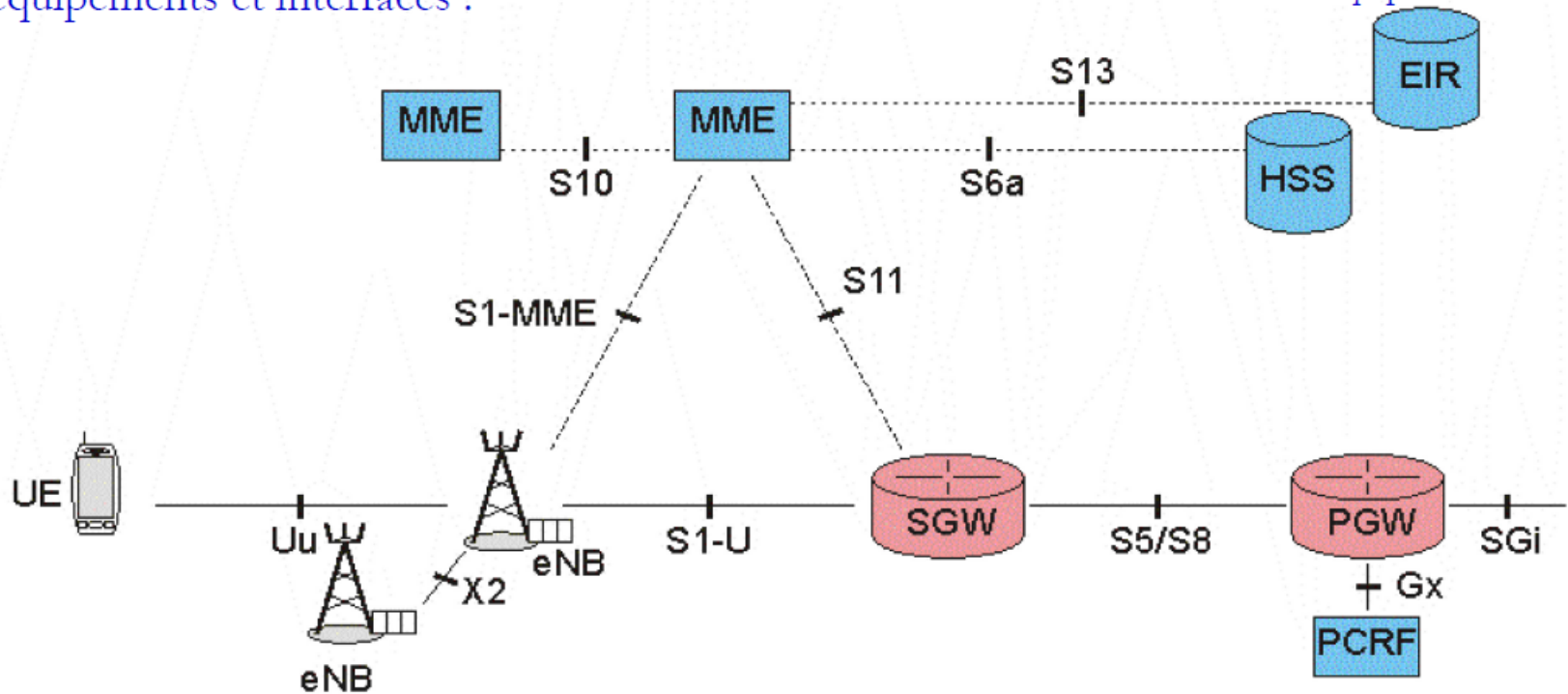
Interface **S8** : entre le SGW et le PGW d'un autre réseau

Architecture LTE :

5- Synthèse sur l'architecture et les interfaces:

Autres équipements et interfaces :

Blacklisted IMEI, International Mobile Equipment Identity



EIR, Equipment Identity Register : base de données des terminaux (volés)

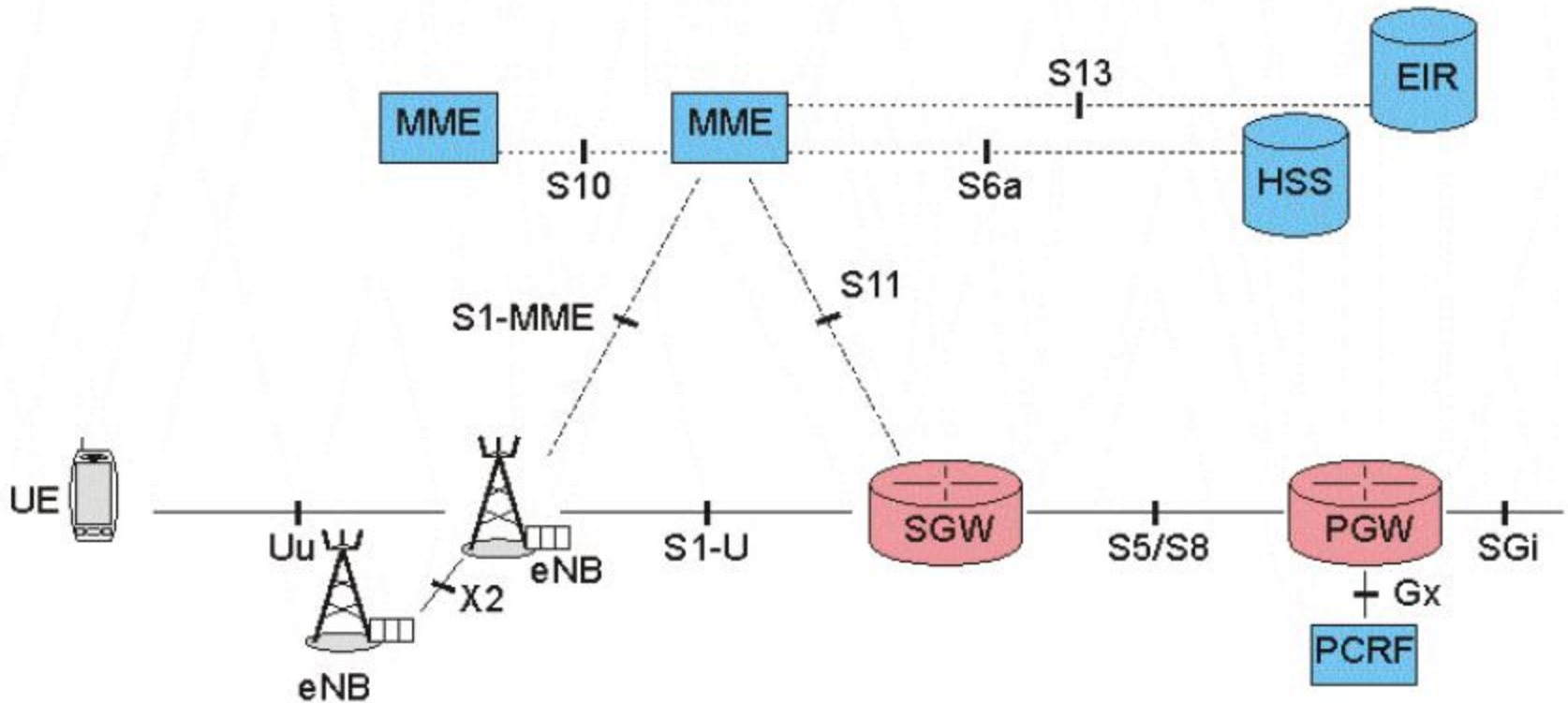
- Interface **S13** avec le MME

PCRF, Policy and Charging Rules Function : gestion de la qualité de service

- Interface **Gx** avec le PGW

Architecture LTE :

Architecture LTE/EPC



LTE: Long Term Evolution.

EPC: Evolved Packet Core.

Ou **EPS** Evolved Packet System ou bien **SAE:** System Architecture Evolution

Architecture LTE :

□ Répartition des fonctionnalités sur les différents nœuds du réseau LTE/EPC

