



SEMINAIRE THEMATIQUE

Réseaux cellulaires



“Ne te lasse jamais d'apprendre quelque chose de nouveau à chaque fois que tu en as l'occasion.”

Shelda Otoniel



Introduction aux réseaux cellulaires

Moubitang à Dang Yannick

C'est quoi un réseau cellulaire ?

- C'est un réseau de communications spécialement destiné aux équipements mobiles.

Quel est son rôle ?

- Il permet la communication entre ces unités mobiles ainsi qu'avec l'ensemble des abonnés au téléphone mobile.

Comment ça ?

- L'onde radio dans le cas d'un réseau cellulaire est le lien entre l'abonné et l'infrastructure de l'opérateur.

CONCEPT CELLULAIRE



Le principe

- Le territoire est divisé en cellules
- Chaque cellule est desservie par une station de base
- L'ensemble des cellules forme un seul réseau
- Les ressources peuvent être réutilisées entre les cellules



Avantages

- Service continu sur un très large territoire
- Puissances d'émission moins importantes
- Meilleure capacité

Ingénierie

- Planification : déploiement des cellules
- Dimensionnement : nombre de ressources par cellule

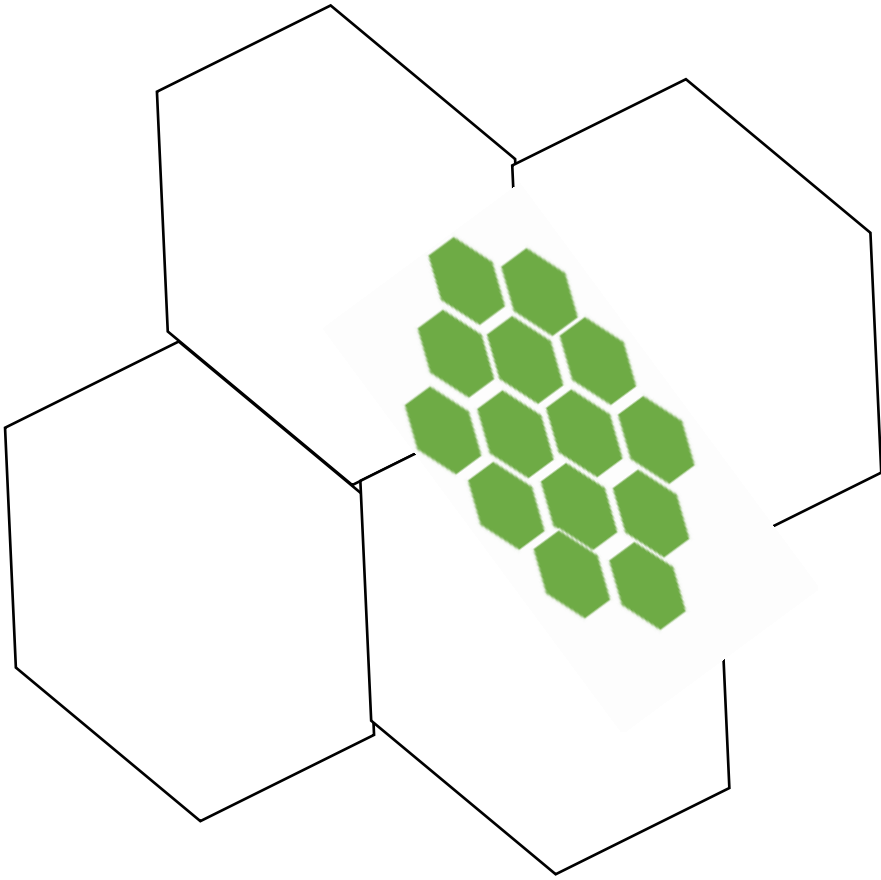
TAILLE DE CELLULES



❖ La taille des cellules dépend de plusieurs paramètres

- La puissance d'émission des émetteurs
- Le seuil de sensibilité des récepteurs
- L'environnement radio (rural ou urbain)
- Le nombre d'utilisateurs dans la cellule
- La fréquence utilisée

TAILLE DE CELLULES (2)



❖ Hiérarchie

- Macro cellule (1-30 km)
Zones rurales
Faible densité d'utilisateurs
- Micro cellule (1 km)
Zones urbaines et péri-urbaines
Densité moyenne d'utilisateurs
- Pico cellule (100m)
Zones urbaines denses
Forte densité d'utilisateurs
- Femto cellule (10m)
Privé, hotspots
A partir de la 3G

SECTORISATION



Cellule simple

- 1 antenne sur 1 pylône dessert une cellule
- Pylône placé au centre de la cellule
- Antenne à 360°



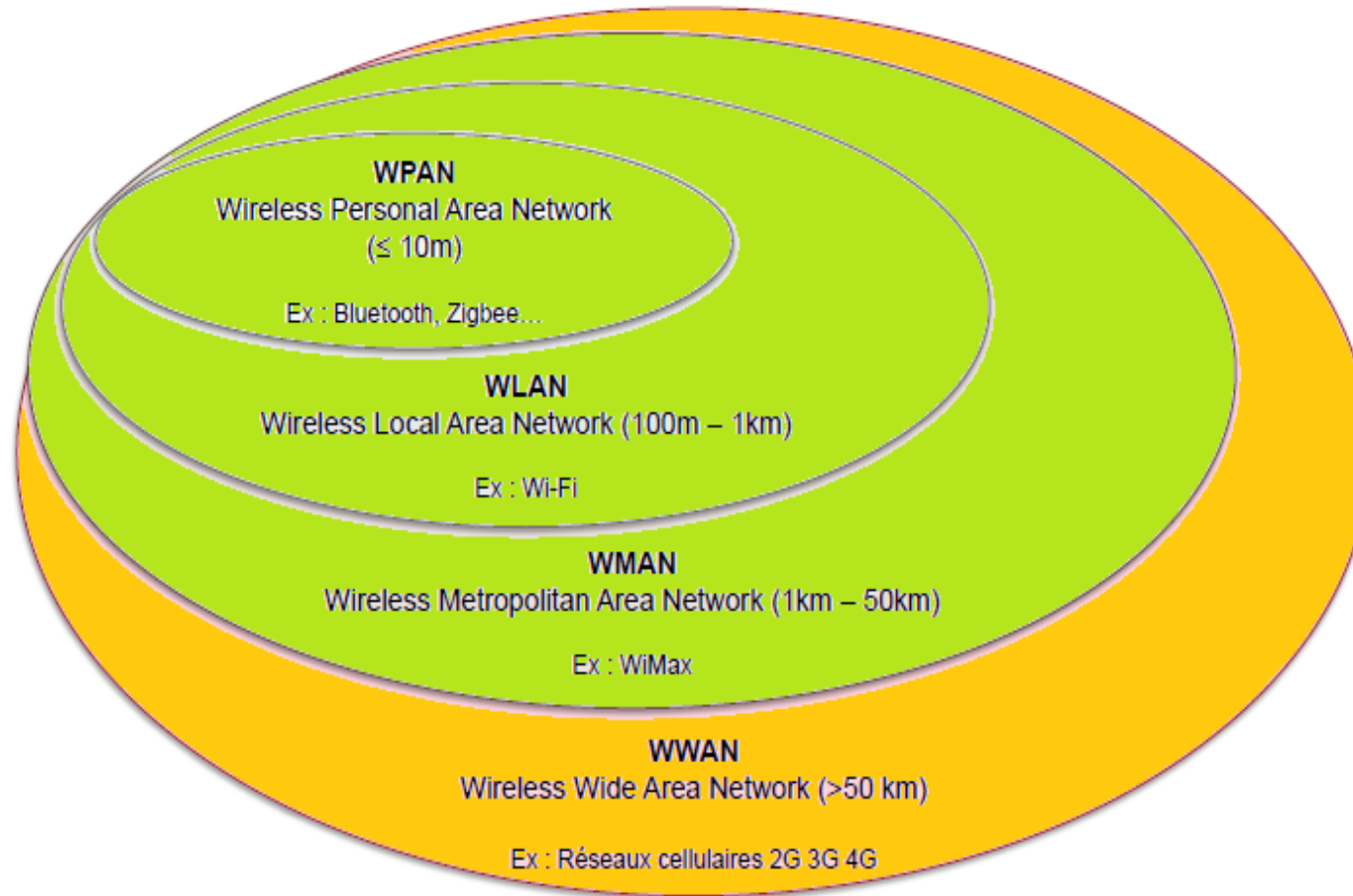
Cellule tri-sectorisée

- 3 antennes sur 1 pylône desservent 3 cellules
- Pylône placé à l'intersection des 3 cellules
- Antennes à 120°

CLASSIFICATION DES RESEAUX SANS FILS

- ❖ WPAN (Wireless Personal Area Network (≤ 10 m)
Exemple : Bluetooth, Zigbee
- ❖ WLAN (Wireless Local Area Network (100m – 1km)
Exemple : Wi-Fi
- ❖ WMAN (Wireless Metropolitan Area Network (1km – 50km)
Exemple : Wimax
- ❖ WWAN (Wireless Wide Area Network (> 50 km)
Exemple : Réseaux cellulaires 2G, 3G et 4G

CLASSIFICATION DES RESEAUX SANS FILS (2)



REGLEMENTATION

Normes et standards

- Pourquoi ?
 - Terminaux et équipements compatibles
- Agence
 - ART (Agence des Régulations des Télécommunications)
- Projets
 - GSM (Global System for Mobile Communications)
 - 3GPP (3rd Generation Partnership Project)

Loi

- Pourquoi ?
 - Collocation de différents systèmes (radio, TV, Wi-Fi, cellulaire...)
 - Santé

LES RESEAUX CELLULAIRES AU CAMEROUN

- ❖ Marché (Cameroun) ?
- ❖ Réseaux opérés
Camtel, MTN, Orange, Nexttel
- ❖ Norme
 - 4 générations de standards (GSM, 3GPP)
 - Couches 1 à 3 pour tout le trafic et la signalisation
 - Couches supérieures pour les applications spécifiques (voix, SMS)
- ❖ Caractéristiques techniques
 - Trafic voix et données
 - Débit de quelques kbit/s en 2G à ? Gbit/s théorique en 4G
 - Grande portée (jusqu'à quelques dizaines de kilomètres)
 - Cellulaire

HISTORIQUE

Première Génération (1G)

Pas de standardisation

Caractéristiques : Analogique

Service : Voix

Réseaux

- AMPS (Advanced Mobile Phone System)
 - Bell Labs
 - 1978
- NMT (Nordic Mobile Telephone)
 - Finlande, Suède, Norvège, Danemark
 - Commercialisé en France par SFR
 - 1981
- Radiocom 2000
France Télécom
1986

Deuxième Génération (2G)

Standard

- GSM (Global System for Mobile Communications)
 - ETSI
 - 1991

Caractéristiques

- Numérique
- Interface radio FDMA / TDMA
- Bandes 900 et 1800 MHz

Services : Voix, SMS, Téléservices

Évolutions

- Standards
 - GPRS (General Packet Radio Services)
 - EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)
- Caractéristiques
 - Basé sur le réseau d'accès GSM
 - Réseau coeur IP
 - Allocation dynamique de ressources par blocs
 - Schémas de modulation et de codage (meilleur débit selon la qualité radio)
- Services : Données

Troisième Génération (3G)

Standard

- UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
 - ITU
 - 2002

Caractéristiques

- Interface radio W-CDMA
- Réseau de transport ATM
- Bandes 900 (2G) et 2100 MHz

Services : Voix, SMS, Données

Évolutions

Standards

HSPA (High Speed Packet Access), HSPA+, DC-HSPA+ (Dual Carrier)

- Caractéristiques
 - Basé sur le réseau UMTS
 - Allocation de ressources partagées
 - Schémas de modulation et de codage
 - MIMO (Multiple Input Multiple Output) 2x2 (HSPA+)
 - Utilisation de 2 porteuses adjacentes (DC-HSPA+)
 - Passage au réseau de transport IP
- Services : Données

Évolutions

Standards

HSPA (High Speed Packet Access), HSPA+, DC-HSPA+ (Dual Carrier)

- Caractéristiques

- Basé sur le réseau UMTS
- Allocation de ressources partagées
- Schémas de modulation et de codage
- MIMO (Multiple Input Multiple Output) 2x2 (HSPA+)
- Utilisation de 2 porteuses adjacentes (DC-HSPA+)
- Passage au réseau de transport IP

- Services : Données

Standard

- LTE (Long Term Evolution)
 - ITU
 - 2009

Caractéristiques

- Interface radio OFDMA en DL et SC-FDMA en UL
- Réseau accès et coeur tout IP
- Bandes 700, 800, 1800 (2G), 2100 (3G) et 2600 MHz

Services : Données

Évolutions

- Standard
 - LTE-Advanced
- Caractéristiques
 - Basé sur le réseau LTE
 - Agrégation de porteuses
 - MIMO
 - Relais
 - CoMP (Coordinated Multi-Point)
 - SON (Self-Organizing Network)
 - VoLTE (Voice on LTE)
- Services : Voix, Données

	Standard	Services	Nouveautés	Multiplexage	Débits moyens
1G (1980s)	RadioCom, AMPS	Voix	Premier réseau cellulaire	FDMA	-
2G (1980s)	GSM	Voix, SMS	Numérique SMS	FDMA/ TDMA	9 kbit/s
	GPRS	Data	Schéma de modulation et de codage. Allocation dynamique de ressources Service data (réseau cœur IP)	-	50 kbit/s
	EDGE	Data	Schémas de modulation et de codage	-	64 kbit/s
3G(2000s)	UMTS	Voix, SMS, Data	Nouvelle interface radio (W-CDMA) Nouveau réseau d'accès	W-CDMA	384 kbit/s
3G+	HSPA	Data	Allocation de ressources partagées Schémas de modulation et de codage	-	3,6 Mbit/s
3G++ H+	HSPA+	Data	Allocation de modulation et de codage MIMO 2x2	-	5 Mbit/s
	DC-HSPA+	Data	Utilisation de 2 porteuses adjacentes	-	10 Mbit/s
4G(2010s)	LTE	Data	Nouvelle interface radio (OFDMA) Nouveau réseau d'accès et réseau cœur (tout sur IP)	OFDMA (DL) SC-FDMA (UL)	40 Mbit/s
4G+	LTE-Advanced	Voix, Data	Agrégation de porteuses, MIMO, Relais, CoMP, SON VoLTE	-	300 Mbit/s

Quatrième Génération (5G)

Standard

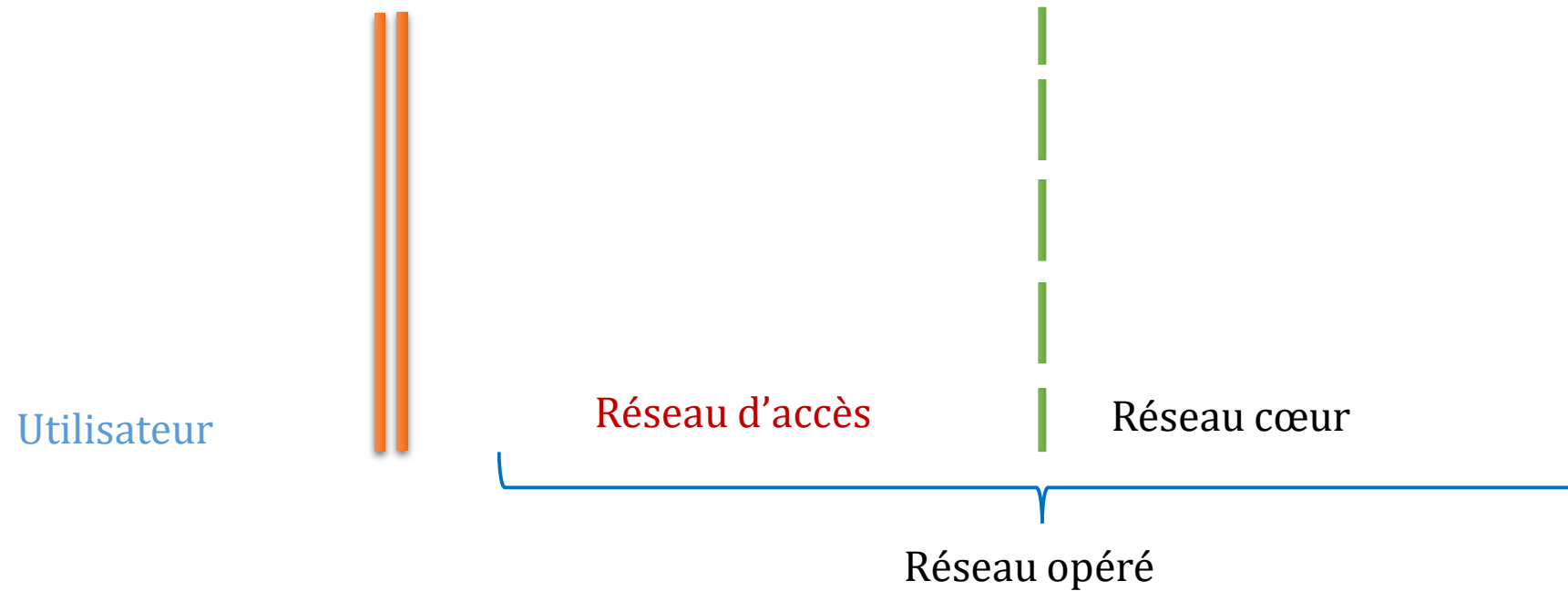
- NR (New Radio)
 - ITU
 - 2018 (Release 15)

Caractéristiques

- Versions Non-StandAlone (NSA) et StandAlone (SA)
- 3 aspects :
 - eMBB (enhanced Mobile BroadBand)
 - URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communications)
 - MMTC (Massive Machine Type Communications)
- Ondes millimétriques (24-86 GHz)

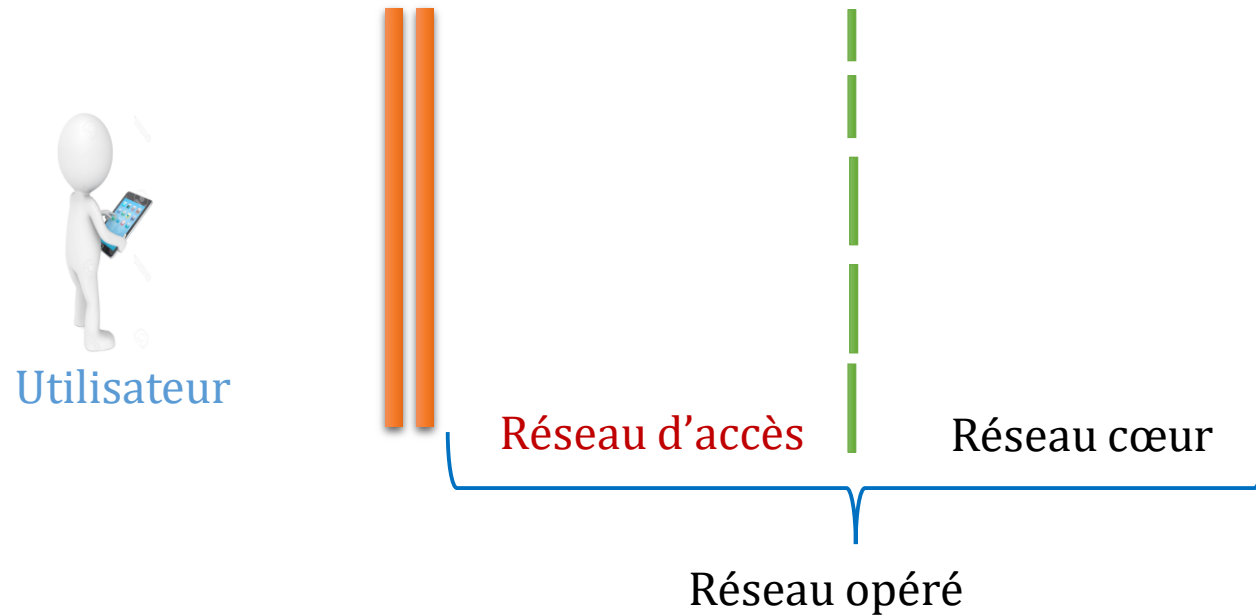
Architecture fonctionnelle

Vision d'ensemble



- Deux parties :
 - ❖ Utilisateur
 - ❖ Réseau opéré
 - Réseau d'accès
 - Réseau cœur

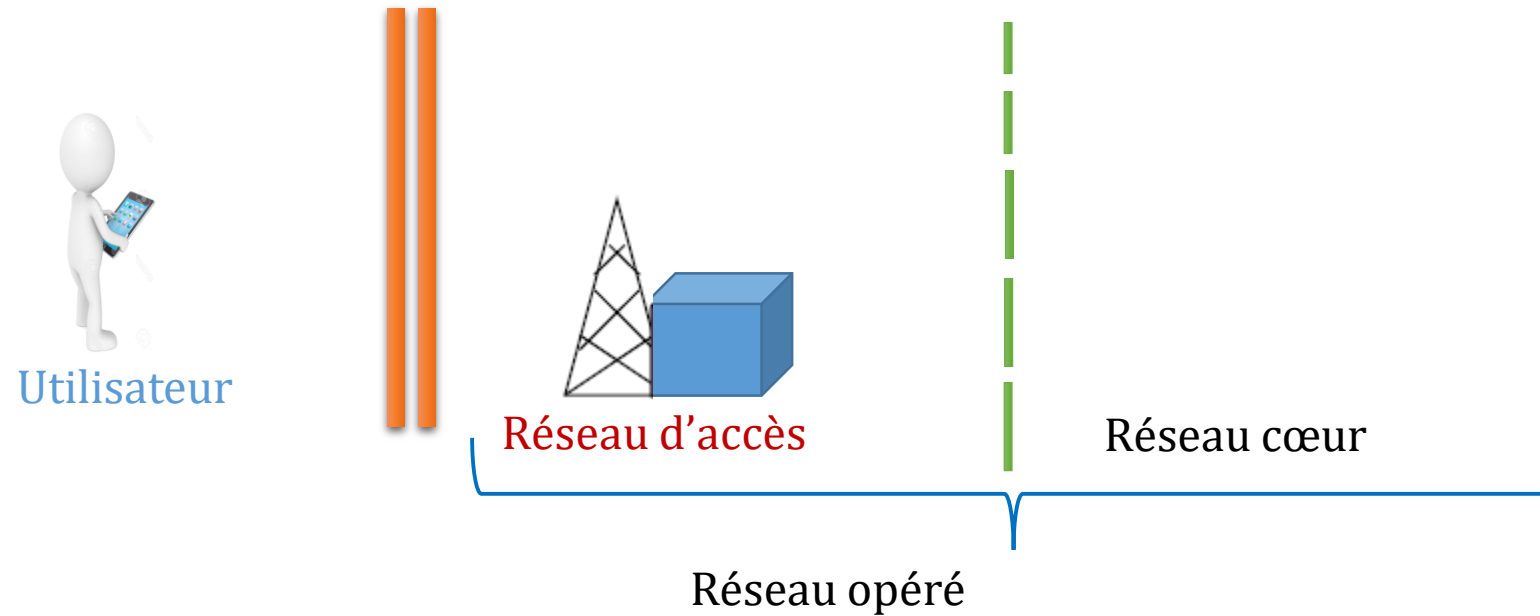
Vision d'ensemble



■ Utilisateur = téléphone mobile

- Équipement de l'utilisateur capable de se connecter à un réseau cellulaire
- Composé de :
 - Un terminal mobile
 - Une carte SIM (Subscriber Identity Mobile) en 2G ou USIM (Universal SIM) en 3G et +
- Noms :
 - MS (Mobile Station) en 2G
 - UE (User Equipment) en 3G et +

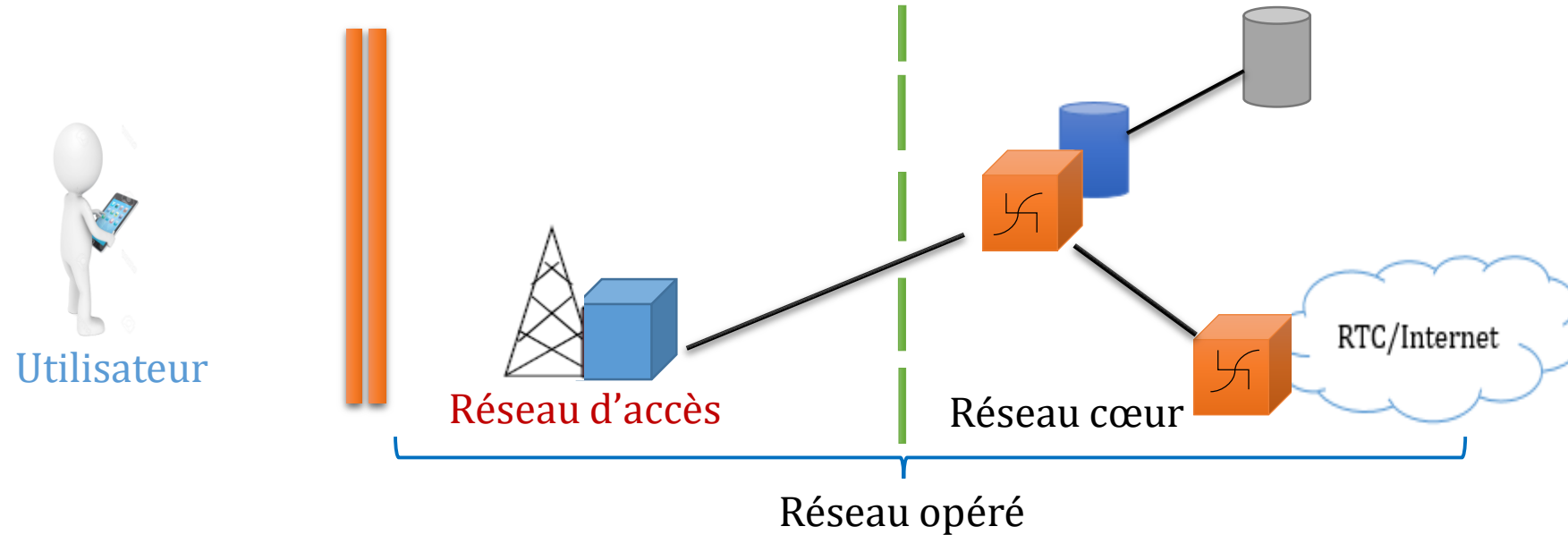
Vision d'ensemble



■ Réseau d'accès (RAN : Radio Access Network)

- Sous-système responsable de la connexion entre les téléphones mobiles et le réseau cœur
- Composé de :
 - Antennes radio
 - Stations de base
 - Contrôleurs de stations de base
 - Réseau de backhaul
 - Interfaces fonctionnelles
- Noms :
 - BSS (Base Station Subsystem) en 2G
 - GERAN (GSM Edge RAN) en GPRS
 - UTRAN (UMTS Terrestrial RAN) en 3G
 - E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial RAN) en 4G

Vision d'ensemble



■ Réseau cœur

- Sous-système responsable de la commutation ou du routage des appels et des messages issus ou à destination du réseau d'accès
- Sous-système responsable de la gestion de la mobilité des utilisateurs
- Composé de :
 - Commutateurs (circuit)
 - Routeurs (paquet)
 - Bases de données
 - Réseau de backhaul
 - Interfaces fonctionnelles
- Noms :
 - NSS (Network Switching Subsystem) en 2G
 - CN (Core Network) en 3G
 - EPC (Evolved Packet Core) en 4G

Station de base

■ Fonctionnalités



- Gestion de la transmission radio (couche physique)
 - Modulation et démodulation, égalisation, codage, étalement de spectre (3G), structure de trame, etc.
- Mesures sur le signal reçu
- Exécution du contrôle de puissance
- Spécificités 2G
 - Gestion de la couche liaison des données pour la signalisation
 - Chiffrement
- Spécificités 3G
 - Gestion de la sectorisation, séparation et recombinaison des signaux à destination ou issus de différents secteurs d'un node-B en cas de softer-handover

■ Équipements

- BTS (Base Transceiver Station) en 2G
- Node-B en 3G
- Compris dans l'eNode-B en 4G

Contrôleur de station de base

Fonctionnalités



- Gestion de la ressource radio
 - Allocation des ressources radio (stations de base, et utilisateurs)
- Utilisation des mesures pour le contrôle de puissance
- Interface avec le réseau cœur
 - Redirection des messages
- Gestion de la voie balise
- Gestion de la mobilité en communication
- Décision et exécution de handover
 - Contrôle du soft-handover et des active sets (3G)
- Spécificités 3G – 4G
 - Gestion de la connexion RRC
 - Chiffrement

Équipements

- BSC (Base Station Controller) en 2G
- RNC (Radio Network Controller) en 3G
- Compris dans l'eNode-B en 4G



Commutateur (jusqu'en 3G)



■ Fonctionnalités

- Commutation des appels voix et des messages SMS
- Interface avec le Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

■ Équipements

- MSC (Mobile Switching Center) et GMSC (Gateway MSC) en 2G et 3G
- MSC Server ou MSS en 3,5G (rétro-compatible à l'aide de Media GateWay)
- Pas de commutateur en 4G



Routeur (à partir de GPRS)

■ Fonctionnalités

- Routage des paquets (sessions de données)
- Allocation des adresses IP aux utilisateurs
- Respect de la QoS
- Interface avec Internet



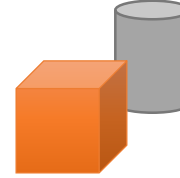
■ Équipements

- SGSN (Serving GPRS Support Node) et GGSN (Gateway GSN) en 2G – 3G
- S-GW (Serving GateWay) et P-GW (Packet Data Network GateWay) en 4G

Entités responsables de la mobilité

■ Fonctionnalités

- ❖ Gestion de la mobilité des utilisateurs
 - Zone de localisation (MSC)
 - Zone de routage (SGSN)
 - Zone de tracking (MME)
- ❖ Sécurité (MSC, MME)
 - Authentification des abonnés
 - Ordre de chiffrement
- ❖ Signalisation utilisateurs
 - Gestion des appels voix et SMS (MSC, domaine circuit 2G – 3G)
 - Gestion des sessions de données (SGSN, MME)
- ❖ Exécution de certains handovers (MSC, SGSN, MME)
- ❖ Base de données locale pour les abonnés en visite (VLR, SGSN, MME)
 - Copie du profil abonné
 - Allocation du numéro d'abonné temporaire
 - Maintien de la localisation à la zone près



■ Équipements

- ❖ MSC pour le domaine circuit en 2G – 3G
- ❖ VLR (Visitor Location Register) pour le domaine circuit en 2G – 3G
- ❖ SGSN pour le domaine paquet en 2G – 3G
- ❖ MME (Mobility Management Entity) en 4G

Bases de données utilisateurs



Données d'abonnement



- Données utilisateur (lien IMSI-MSISDN)
- Profil (restriction, services...)
- Localisation (VLR ou MME)
- Stockés dans
 - HLR (Home Location Register) en 2G-3G
 - HSS (Home Subscriber Server) en 4G



Données de sécurité



- Clés d'authentification
- Génération des informations nécessaires à l'authentification
- Génération des clés de chiffrement
- Stockés dans
 - AuC (Authentication Center)

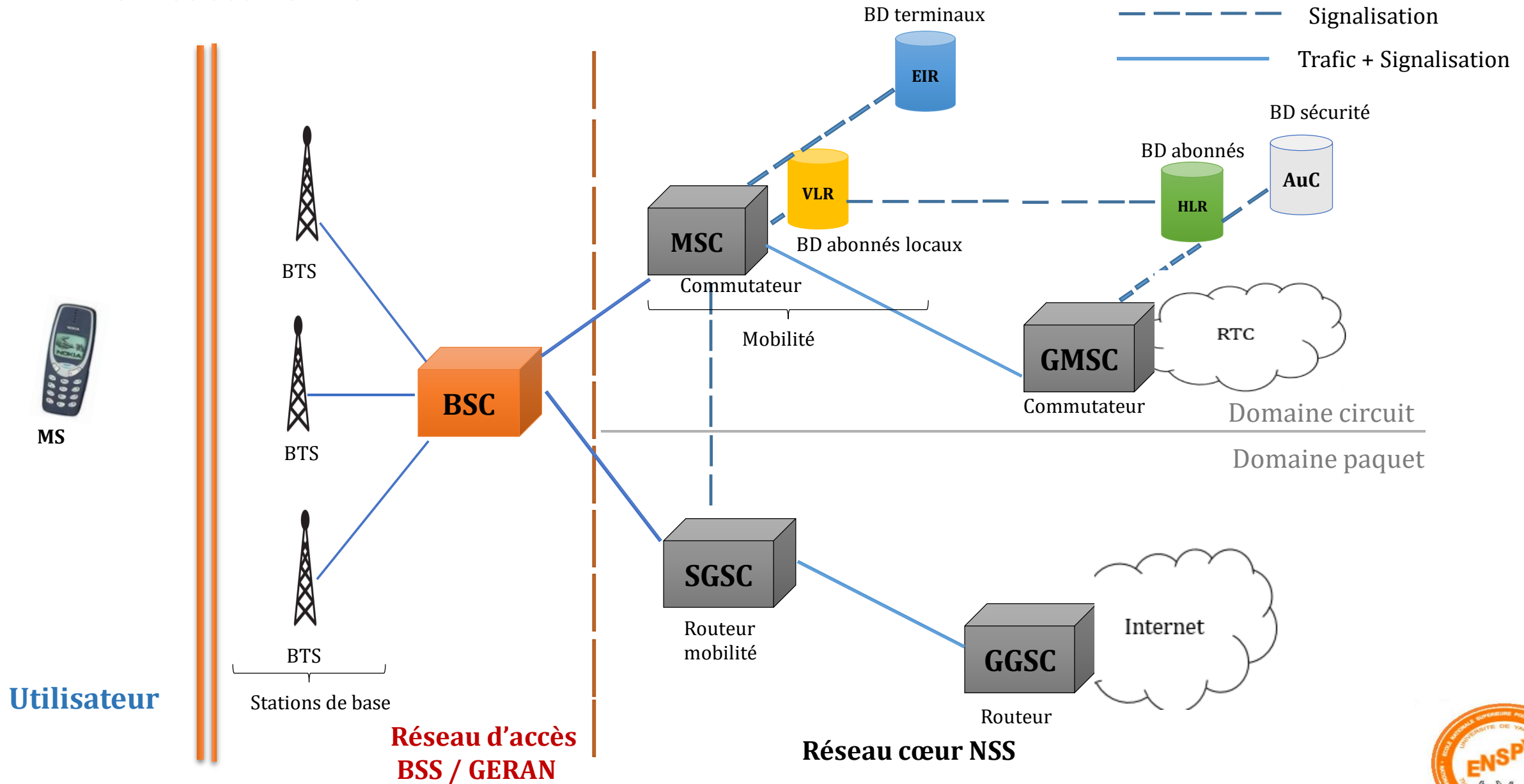


Données des équipements

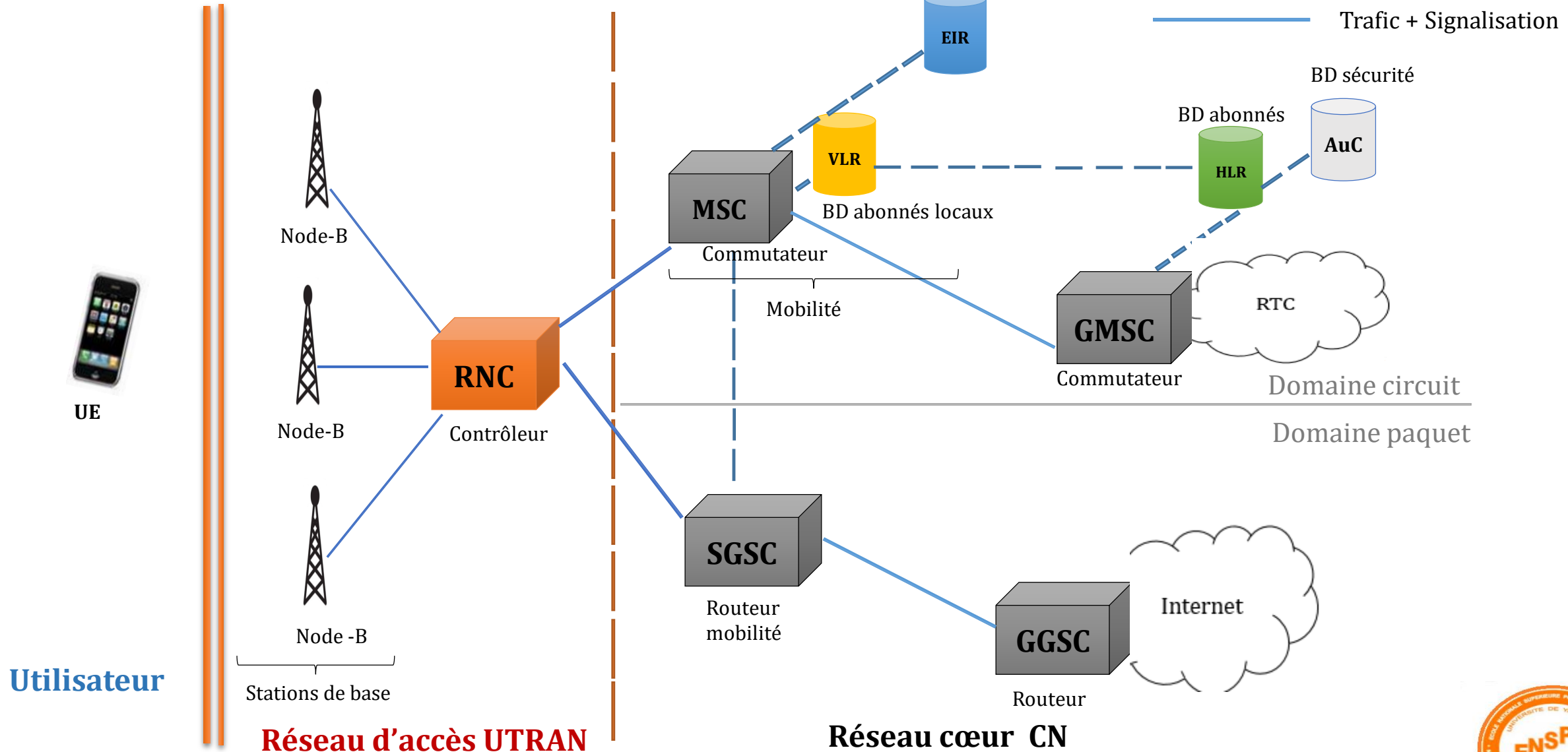


- Liste des terminaux autorisés (IMEI)
- Stockés dans : EIR (Equipment Identity Register)

Architecture 2G



Architecture 3G

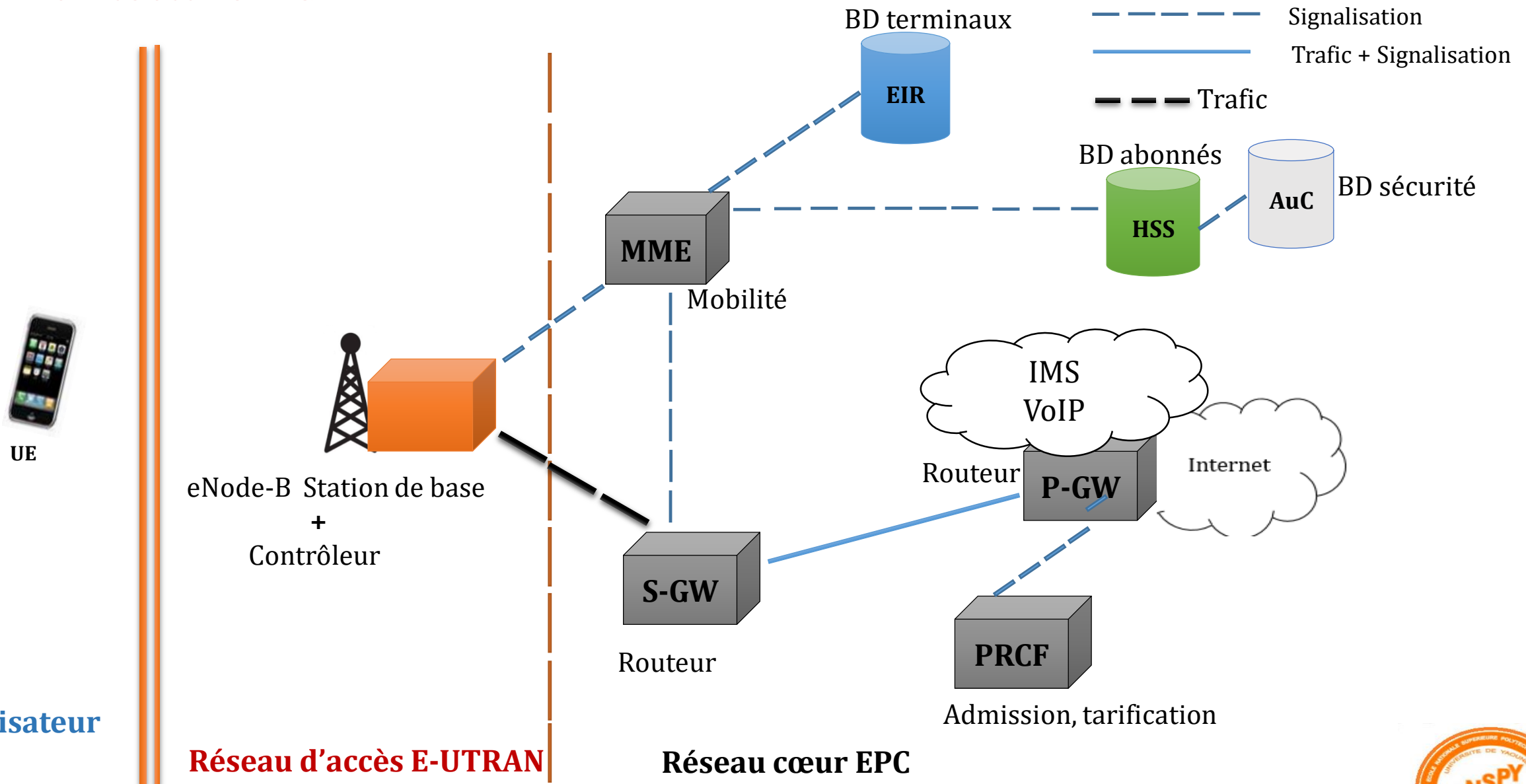


Architecture 4G

13.11.20

NATIONAL ADVANCED SCHOOL OF ENGINEERING OF YAOUNDE

Utilisateur



Architecture protocolaire

■ Architecture protocolaire du téléphone

■ Couche physique

- Communique avec la couche physique de la station de base
- Dépend de la génération 2G, 3G, 4G

■ Couche liaison

- Communique avec la couche liaison de la station de base ou du contrôleur de station de base
- Dépend de la génération 2G, 3G, 4G

■ Couche réseau

- Sous-divisée en trois sous-couches
- Gestion de la ressource radio
 - Entre l'utilisateur et la station de base ou le contrôleur de station de base (réseau d'accès)
- Gestion de la mobilité
 - Entre l'utilisateur et l'entité responsable de la mobilité (réseau cœur)
- Gestion de la connexion / session
 - Entre le téléphone et l'entité responsable de la mobilité (réseau cœur)



3. Réseau

« connexion »

« mobilité »

« radio »

2. Liaison

Liaison

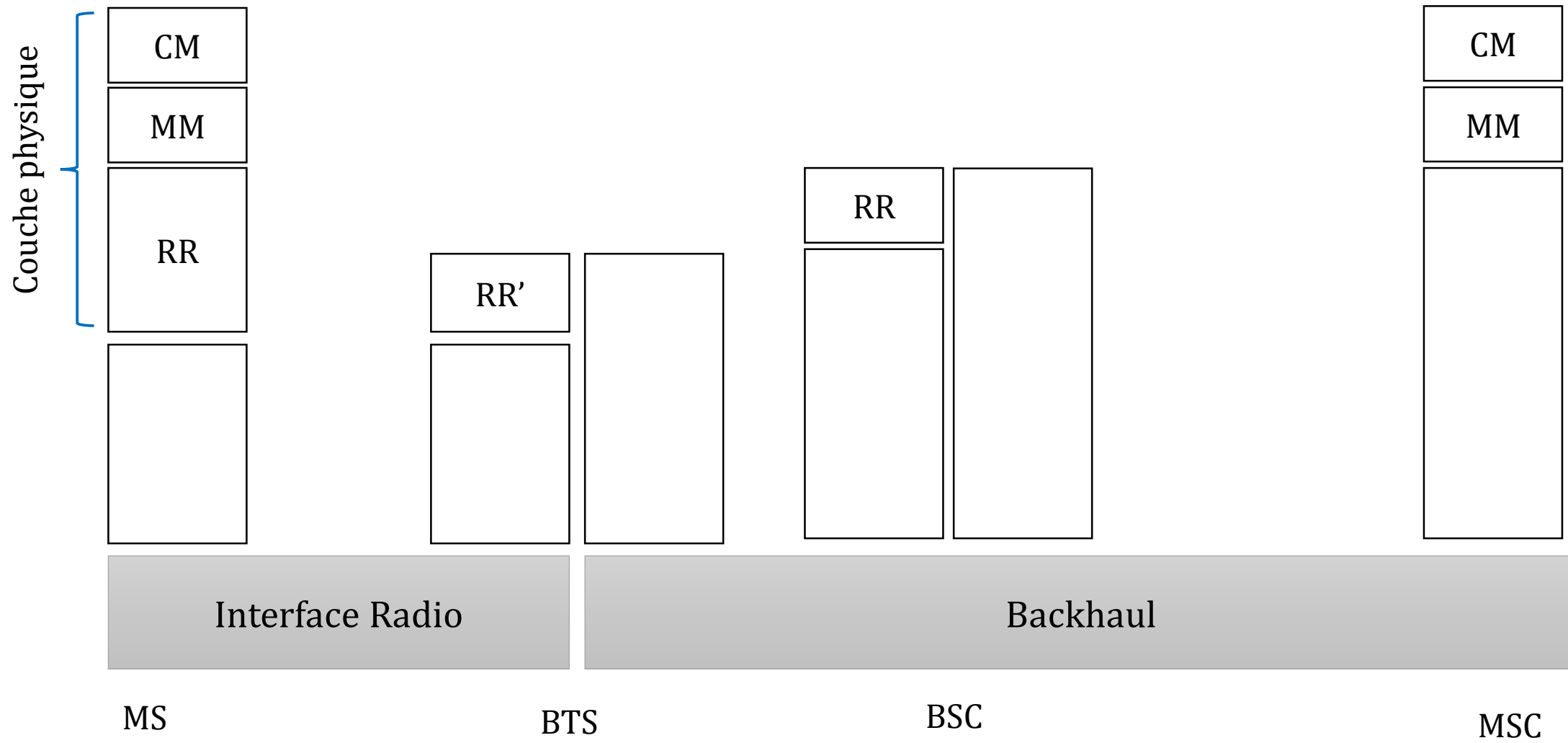
1. Physique

Phy

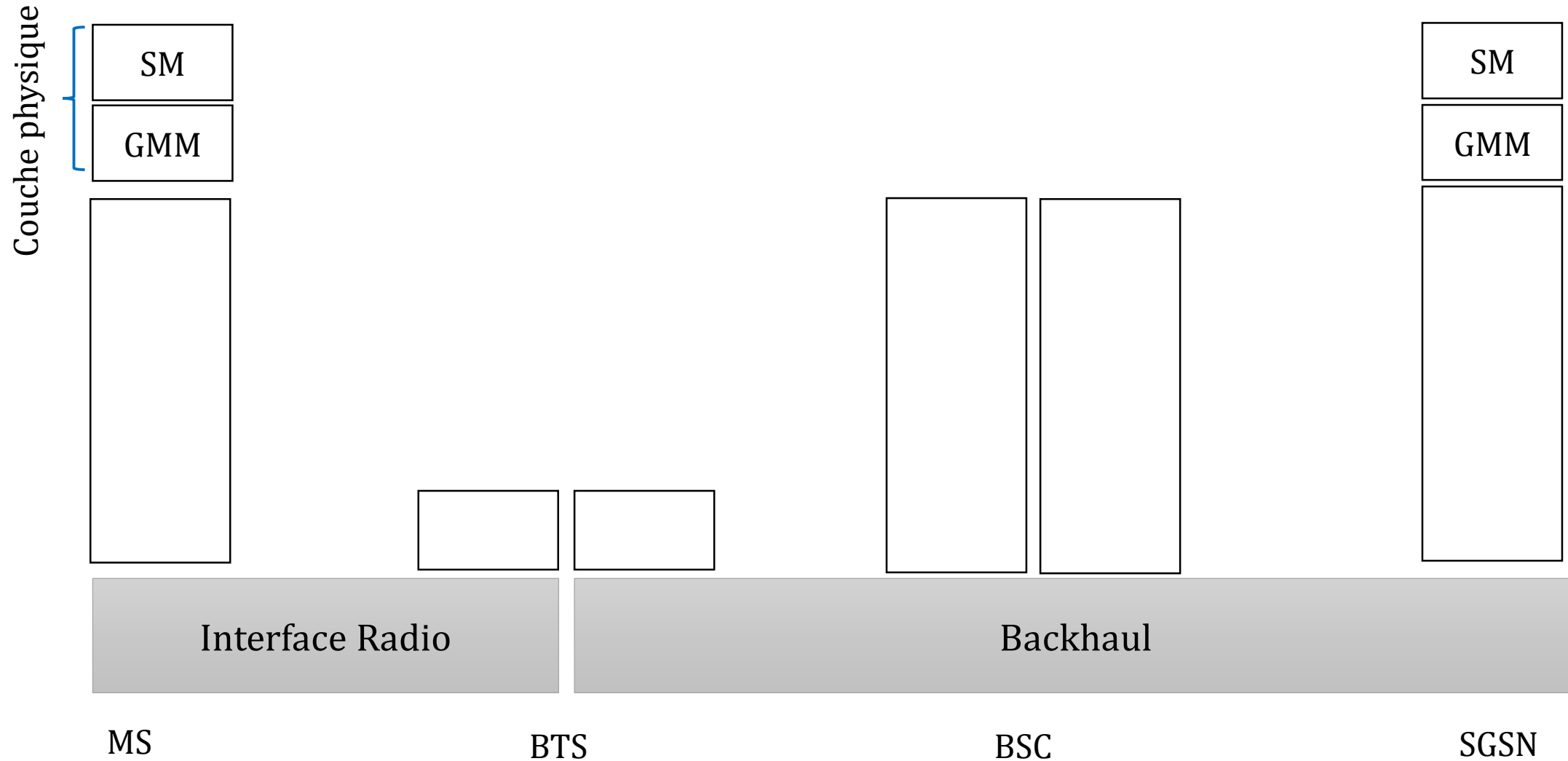
■ Couche réseau

- 1. Radio Ressource Control (**RR en 2G, RRC en 3G – 4G**)
 - Gestion de la ressource radio
 - Chiffrement
 - Maintenance de la liaison (rapports de mesure, contrôle de puissance)
 - Handover
- 2. Mobility Management (**MM pour la mobilité circuit en 2G – 3G, GMM pour la mobilité paquet 2G – 3G, EMM en 4G**)
 - Gestion de la mobilité (inscription, mise à jour de localisation)
 - Gestion de la sécurité (authentification)
- 3. Connection Management (**CM jusqu'en 3G**) pour le domaine circuit
 - Établissement d'appel circuit
 - Call Control (CC) : signalisation d'appel
 - Supplementary Services (SS) : téléservices
 - Short Message Service (SMS)
- 4. Session Management (**SM à partir de GPRS, ESM en 4G**) pour le domaine paquet
 - Établissement de session de données

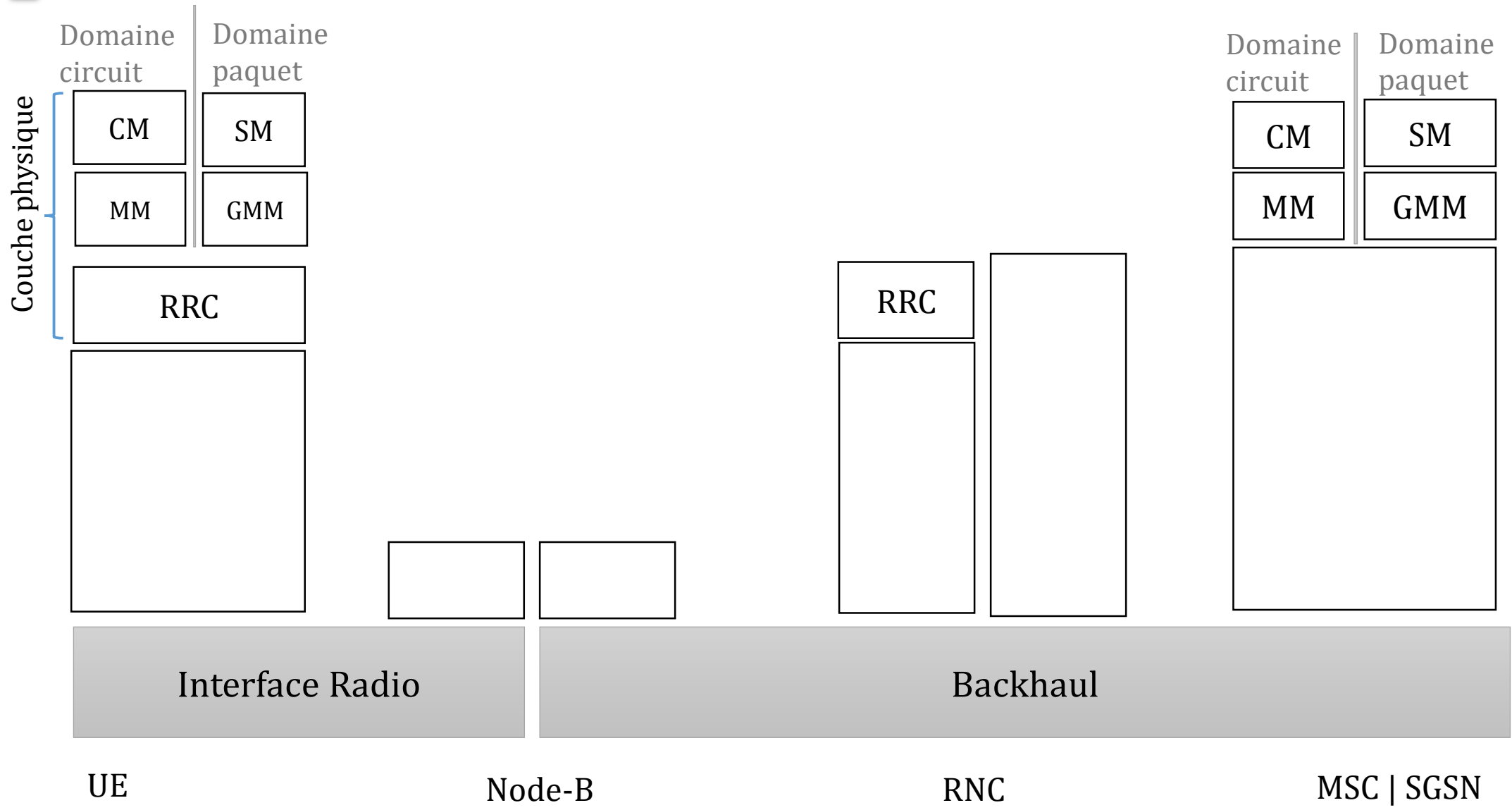
Architecture protocolaire (plan contrôle) 2G GSM (domaine circuit)

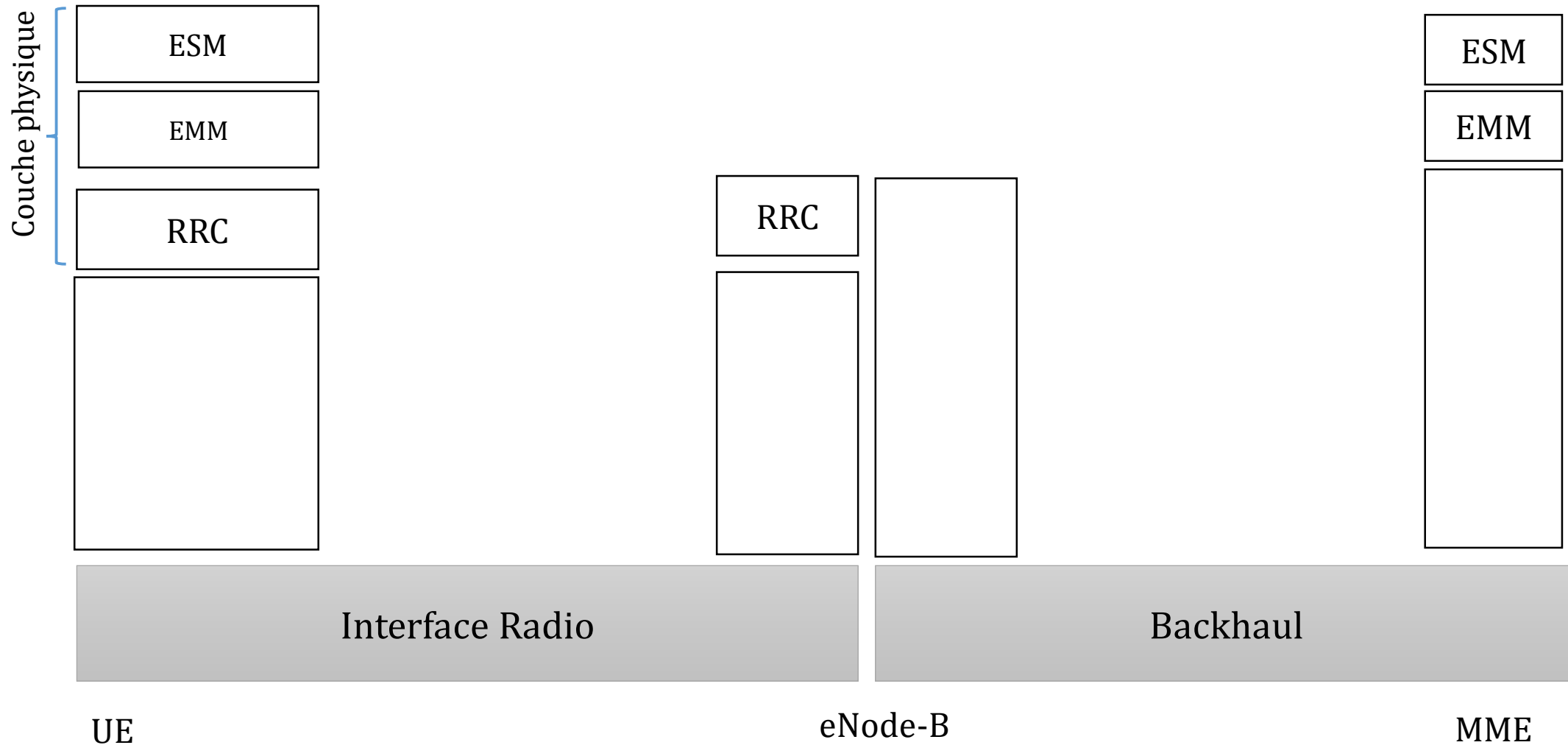


Architecture protocolaire (plan contrôle) 2G GPRS (domaine paquet)



Architecture protocolaire (plan contrôle) 3G





Partage des ressources

■ Partage du canal entre utilisateurs

■ Accès aléatoire

- Les utilisateurs utilisent le même canal à tour de rôle de manière aléatoire quand ils ont un paquet à transmettre
- Tirage au sort d'un instant d'utilisation
 - Aloha, Aloha slotté
 - Utilisé en réseaux cellulaires pour l'accès initial au service
- Écoute avant l'utilisation du canal
 - CSMA/CA
 - Utilisé en WiFi

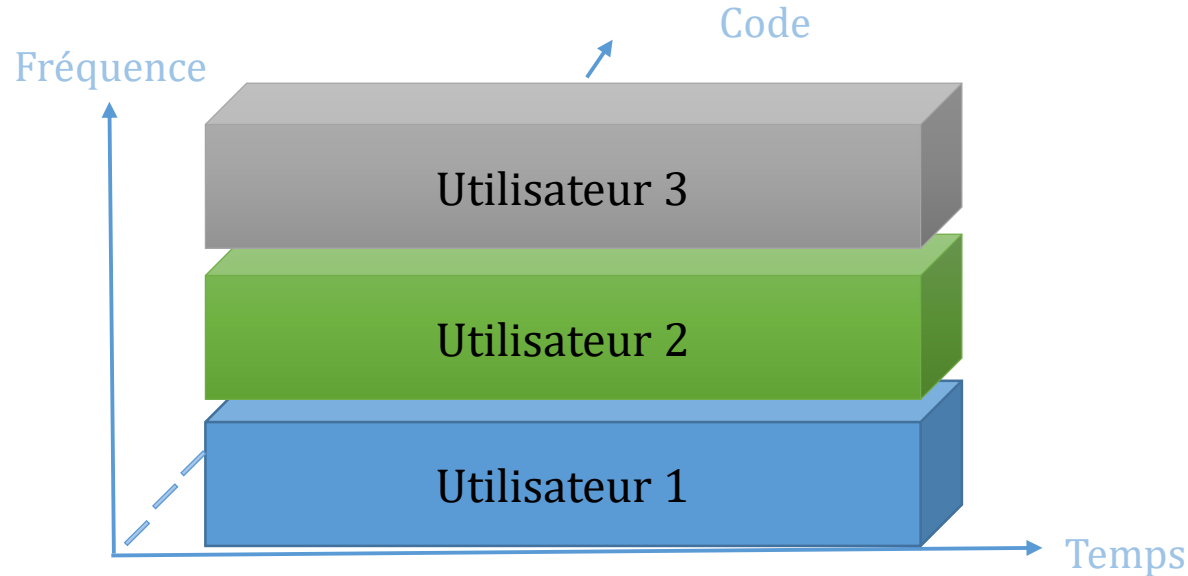
■ Accès multiple

- Chaque utilisateur dispose d'une portion du canal
- Il existe plusieurs façons de diviser le canal radio
 - En fréquence
 - En temps
 - En code
- Utilisé en réseaux cellulaires pour les communications (signalisation, voix, données)

■ Accès multiple - Division en fréquences

■ FDMA (Frequency Division Multiple Access)

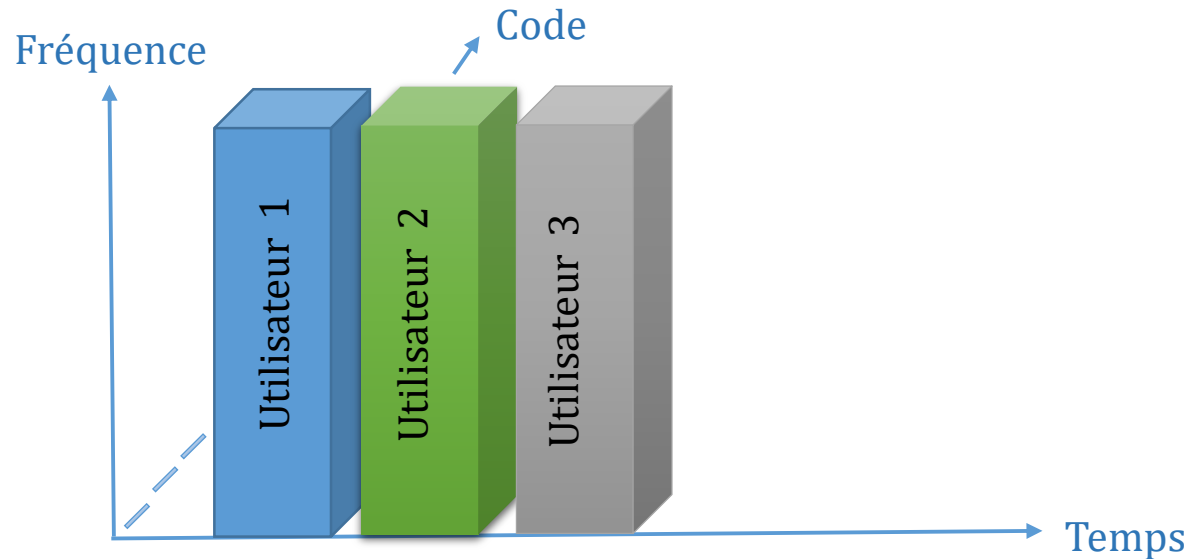
- Chaque utilisateur a une porteuse fréquentielle qui lui est attribuée
- Utilisé en 1G, partiellement en 2G
- Avantages :
 - Simple à implémenter
- Limitations :
 - Nombre de porteuses fréquentielles fini dans la bande de fréquence opérée
 - Débit limité par porteuse



■ Accès multiple - Division en temps

■ TDMA (Time Division Multiple Access)

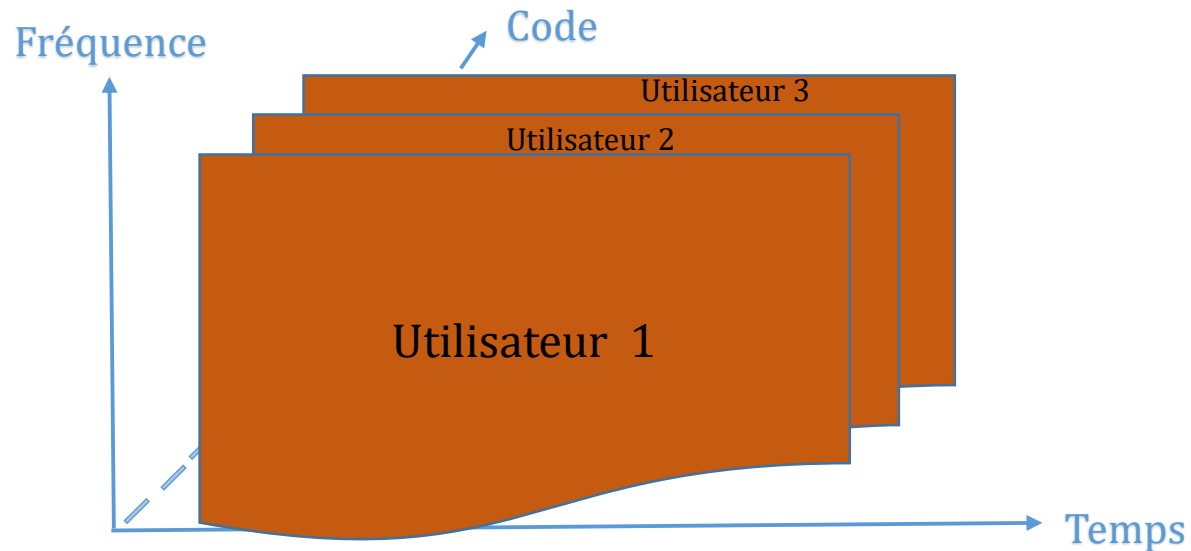
- Chaque utilisateur a un intervalle de temps (slot) attribué
- Utilisé en 2G
- Avantages :
 - Simple à implémenter
 - Permet de multiplexer plusieurs utilisateurs sur une même porteuse
- Limitations :
 - Peu adapté à un trafic non régulier
 - Le débit diminue quand le nombre d'intervalles (utilisateurs) augmente



■ Accès multiple - Division en codes

■ CDMA (Code Division Multiple Access)

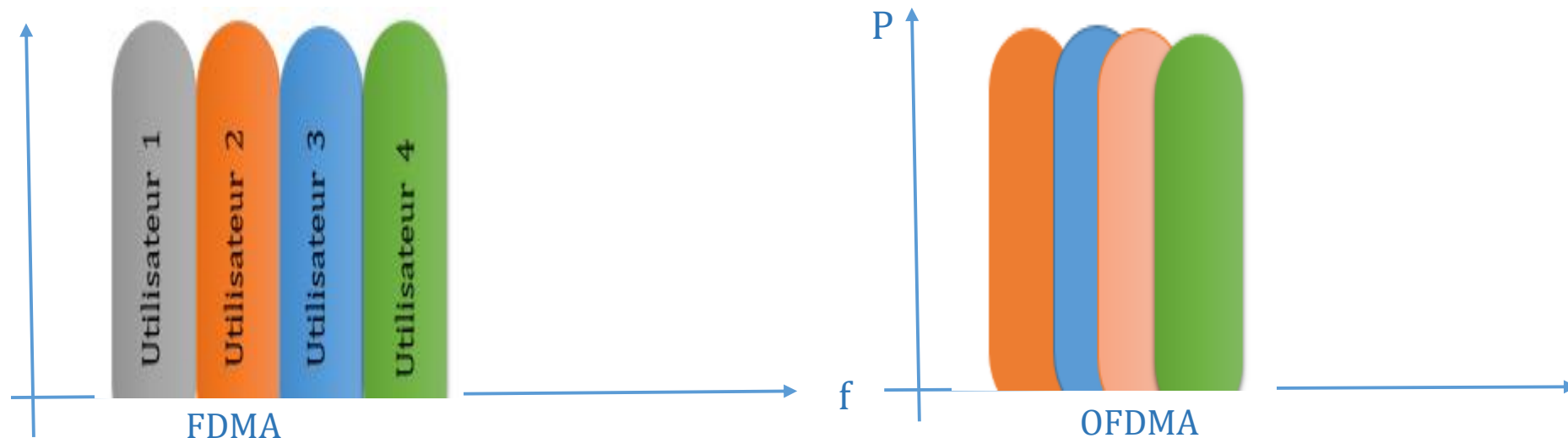
- Chaque utilisateur a un code avec lequel il chiffre ses données
- Utilisé en 3G
- Avantages :
 - Nombre de codes illimité
 - Permet de multiplexer plusieurs utilisateurs sur une même porteuse simultanément
- Limitations :
 - Complexe à implémenter
 - Interférences



■ Accès multiple - Variante de la division en fréquence

■ OFDMA (Orthogonal Frequency Multiple Access)

- Orthogonal Frequency Division Multiple Access
- Chaque utilisateur a une ou plusieurs porteuses qui lui sont attribuées pendant un intervalle de temps donné
 - Multiplexage en temps et en fréquence
- Utilisé en 4G sur la voie descendante
- Avantages :
 - Simple à implémenter
 - Meilleure efficacité spectrale (débit doublé)
- Limitations :
 - Nécessite une forte puissance
 - Interférences



Duplexage

Séparation de la voie montante et de la voie descendante

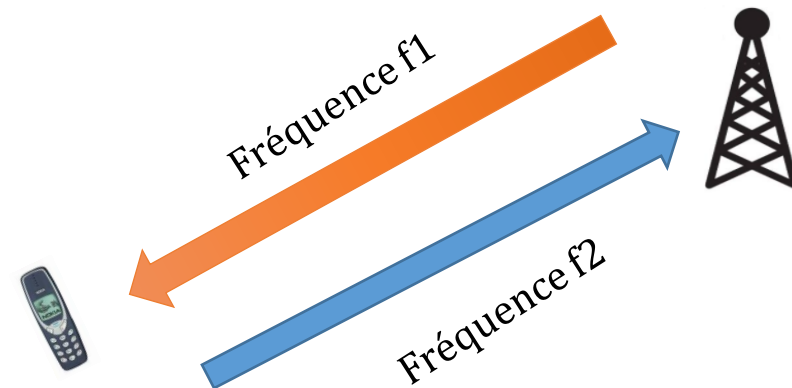
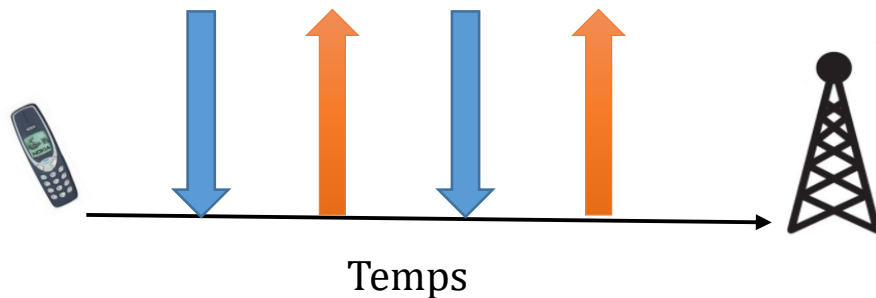
- Voie montante : du mobile vers la station de base
- Voie descendante : de la station de base vers le mobile

Méthode 1 : Séparation en temps

- TDD (Time Division Duplex)
- Une même porteuse transporte la voie montante et la voie descendante dans des intervalles de temps différents
- Intervalle de garde

Méthode 2 : Séparation en fréquence

- FDD (Frequency Division Duplex)
- Une même porteuse transporte la voie montante et la voie descendante dans des intervalles de temps différents
- Intervalle de garde



THANK YOU FOR WATCHING

