



Mooc « Comprendre la 4G »
Supports de cours
Année 2019

Xavier Lagrange, Christophe Couturier, Alexander Pelov



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

Table des matières

Semaine 1 : Architecture et principes généraux	3
Semaine 2 : Procédures de sécurité	35
Semaine 3 : Principes de l'interface radio	57
Semaine 4 : Gestion des flux de données	87
Semaine 5 : Gestion de la sporadicité des flux	107
Semaine 6 : Gestion de la mobilité	131
Glossaire	153



Architecture et principes généraux, Semaine 1

Vidéo 1 : Eléments visibles d'un réseau mobile et sous-réseaux (UE, carte SIM, antennes et eNodeB, EPC, eUTRAN)

Vidéo 2 : Concept cellulaire

Vidéo 3 : Equipements du réseau cœur acheminant les données (SGW, PGW)

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

Vidéo 5 : Synthèse sur l'architecture et les interfaces (S1, S5/S8, S6a, S11, X2)

Vidéo 6 : Plan du cours

Vidéo 7 : Services et différentes générations

1

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Vidéo 1 : Eléments visibles d'un réseau mobile et sous-réseaux (UE, carte SIM, antennes et eNodeB, EPC, eUTRAN)

**Qu'est ce que je vois d'un réseau mobile ?
Y-a-t-il d'autres éléments ?**

2

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le terminal

- le terminal s'appelle UE, User Equipment
- pour fonctionner il doit être muni d'une carte SIM, *Subscriber Identity Module*
 - la carte SIM contient les données d'abonnement (e.g. identité d'abonnement unique au monde)
 - elle est fournie par l'opérateur
 - Pour les mobiles 3G/4G, la carte s'appelle précisément USIM, *Universal Subscriber Identity Module*

Dans le cours : UE = Terminal = Mobile

3

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Un exemple de station de base



Source : Télécom Bretagne



Source : Alcatel-Lucent

4

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Les antennes des stations de base

- **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 nœud car la station de base est insérée dans un réseau
 - B pour Base station

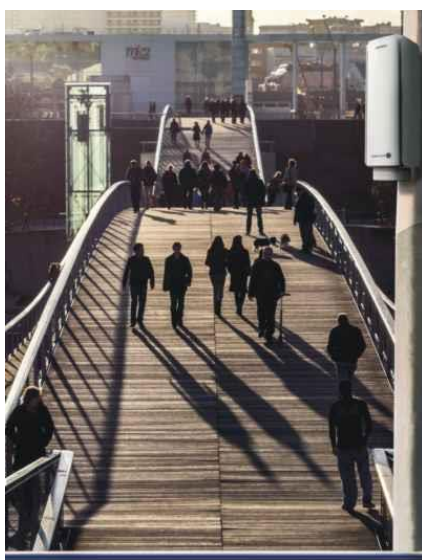
5

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Autres exemples d'eNodeBs



Sources : Alcatel-Lucent

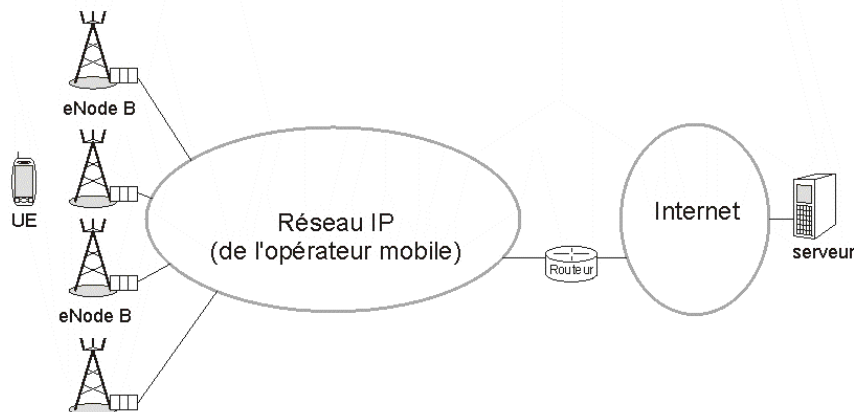
6

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Réseau d'accès



- 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)

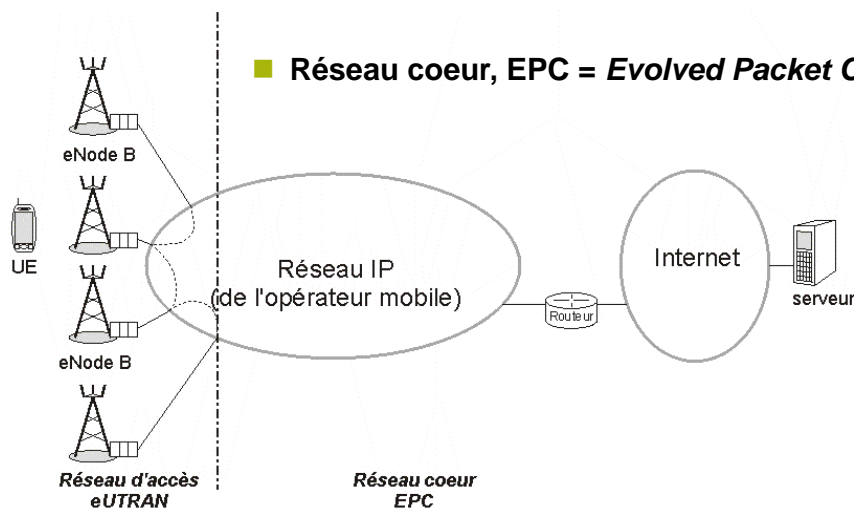
7

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Réseau d'accès et réseau coeur



- Réseau coeur, EPC = *Evolved Packet Core*

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

8

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Vidéo 2 : Le concept cellulaire

Comment-est-il possible que je puisse
communiquer partout avec mon terminal ?

9

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Nécessité de mailler le territoire par des stations de base

- La puissance d'un UE (User Equipement) est typiquement de 0,2 W (200 mW)
- La portée est typiquement de quelques kilomètres pour une telle puissance



10

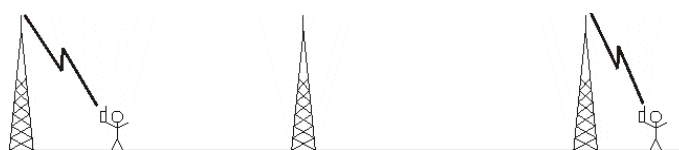
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Nécessité de mailler le territoire par des stations de base

- L'opérateur déploie des stations de base sur le territoire à couvrir de sorte que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres d'une station de base
- Dans la pratique, ce n'est pas toujours vrai !
- Comment savoir qu'on a accès au réseau ?



11

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux

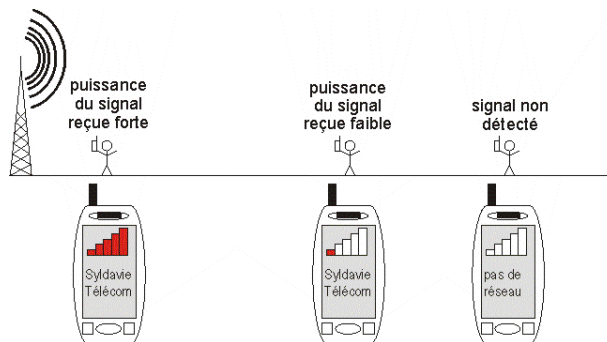


Principe générale de la voie balise

- Chaque station de base diffuse régulièrement un signal
 - Qui indique son existence
 - Qui donne les caractéristiques du réseau (exemple : opérateur)

■ Concept de Voie balise ou beacon channel

- Tout terminal en mesurant la puissance du signal reçu peut indiquer s'il reçoit plus ou moins fortement la station de base



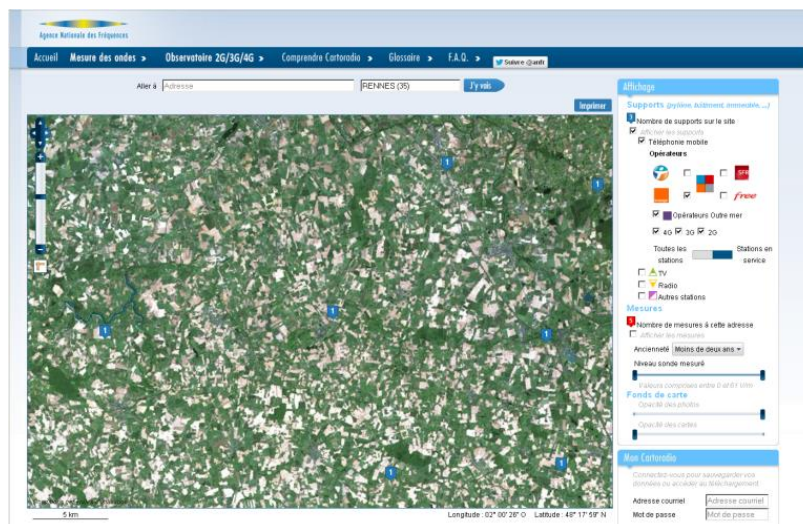
12

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Cas d'une zone rurale



■ Source : ANFR, consulté le 22/07/2015 sur <http://www.cartoradio.fr>

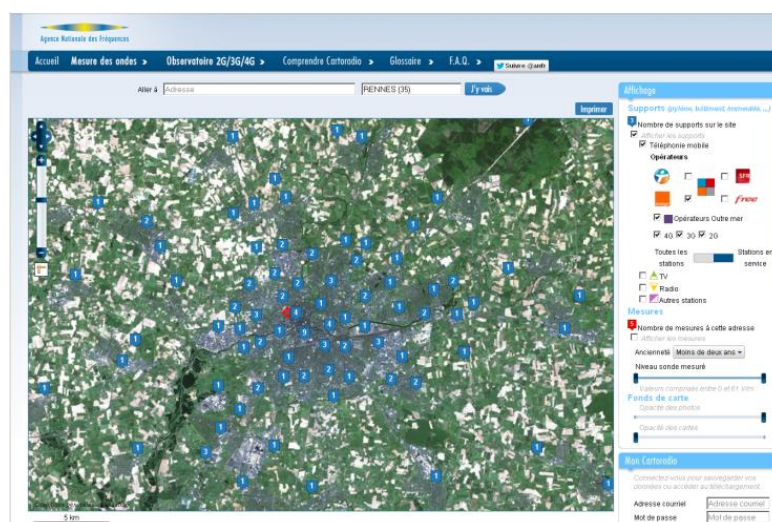
13

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Cas d'une zone péri-urbaine



■ Source : ANFR, consulté le 22/07/2015 sur <http://www.cartoradio.fr>

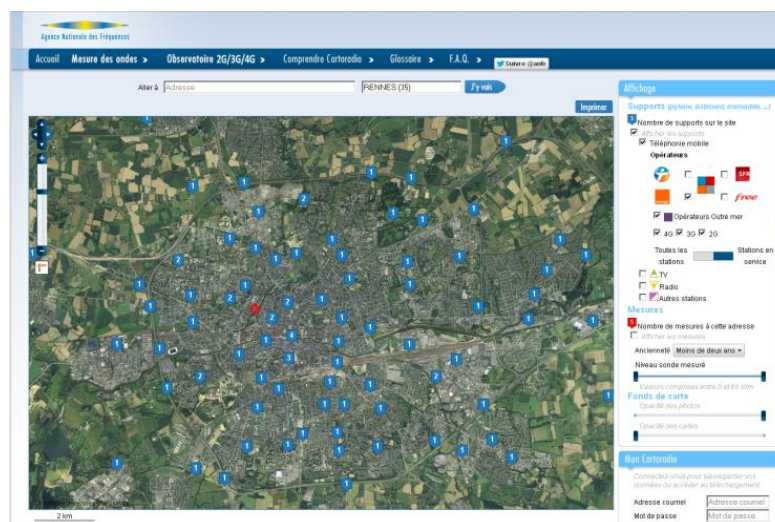
14

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Cas d'une zone urbaine



■ Source : ANFR, consulté le 22/07/2015 sur <http://www.cartoradio.fr>

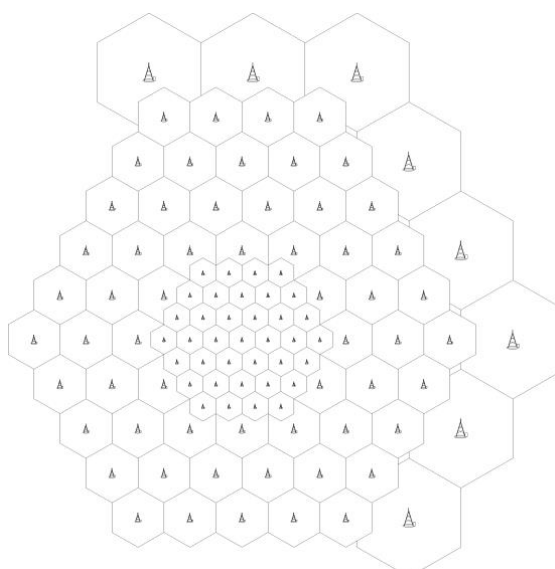
15

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Capacité et couverture



16

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Capacité et couverture

■ Découpage du territoire en cellules

- Chaque cellule est desservie par une station de base
- La division en cellules n'est pas perceptible par l'utilisateur
 - Passage d'une cellule à l'autre idéalement imperceptible
- La capacité d'une cellule en Mbit/s ne dépend pas de la taille de la cellule

■ Zone rurale = faible densité d'utilisateurs

- Les stations de base sont déployées pour assurer une **couverture**
- Déployer suffisamment de stations de base pour qu'en tout point du territoire un terminal soit sous la portée d'une station de base et puisse l'atteindre

■ Zone urbaine = forte densité d'utilisateurs

- Les stations de base sont déployées pour fournir une **capacité** suffisante
- Déployer suffisamment de stations de base pour que la capacité en Mbit/s par km² soit supérieure au trafic engendré par les clients

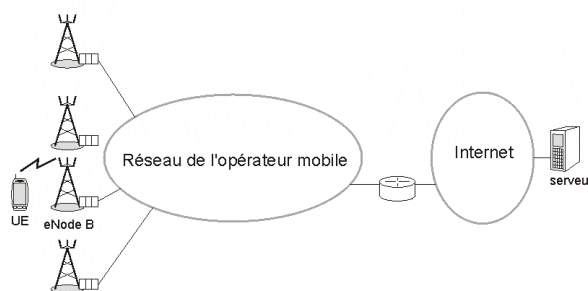
17

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Vidéo 3 : Equipements du réseau cœur EPC qui participent à l'acheminement des données (SGW, PGW)



Par où passent les paquets quand je consulte un serveur ?

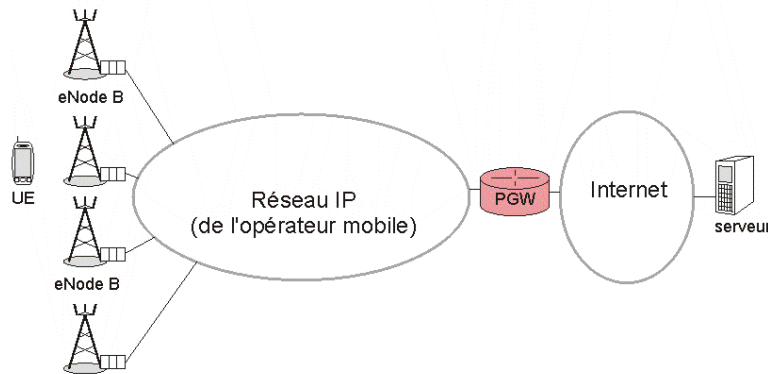
18

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



La passerelle d'accès ou PGW



- Le réseau Internet ne sait pas gérer la mobilité
- Les paquets de données doivent être routés vers une « porte d'entrée » unique : PGW, Packet GateWay

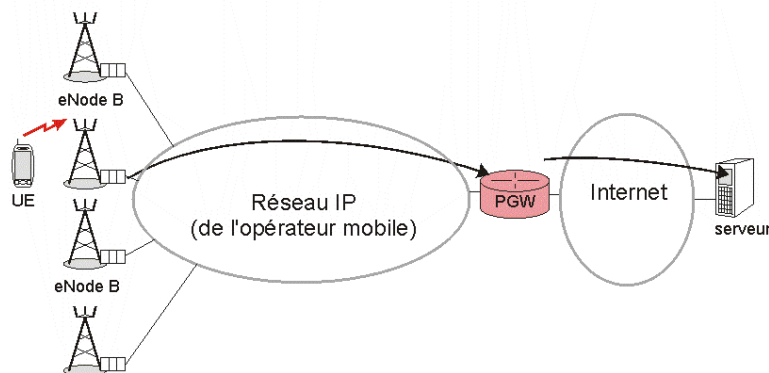
19

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



La passerelle d'accès ou PGW



■ PGW, *Packet GateWay*

- achemine les données vers le terminal + les données du terminal vers l'Internet
- assure certaines fonctions de sécurité

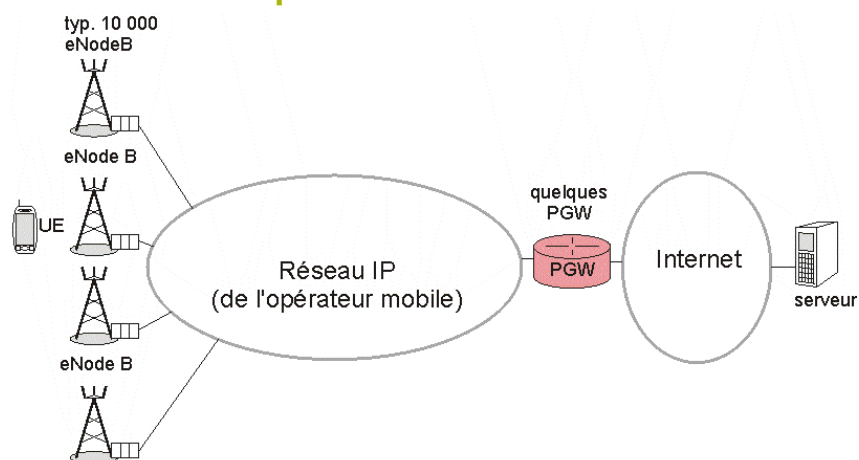
20

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Nécessité d'une passerelle intermédiaire



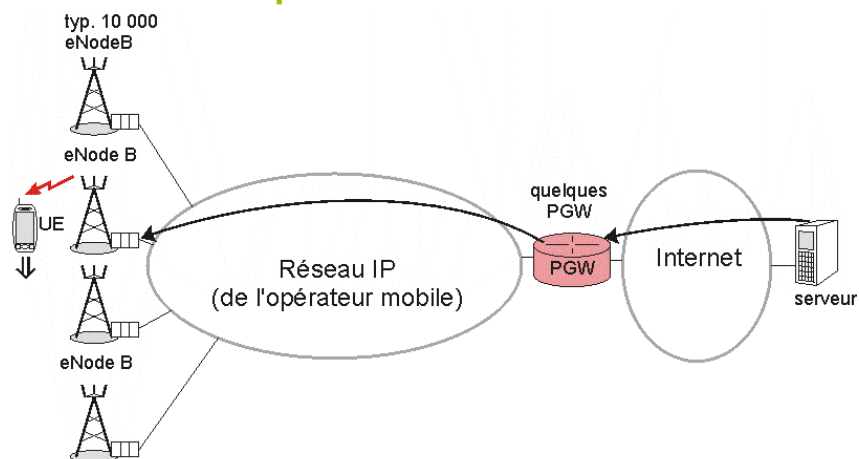
21

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Nécessité d'une passerelle intermédiaire



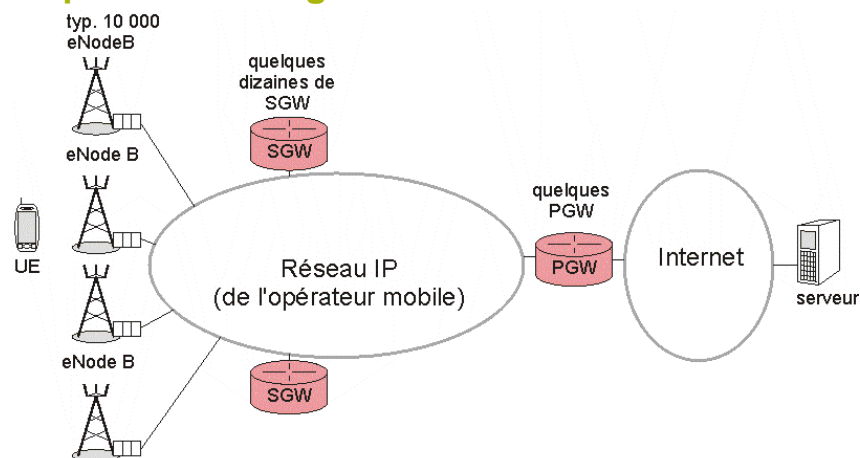
22

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Les passerelles régionales ou SGW



- Passerelles qui servent une zone géographique : SGW, *Serving Gateway*

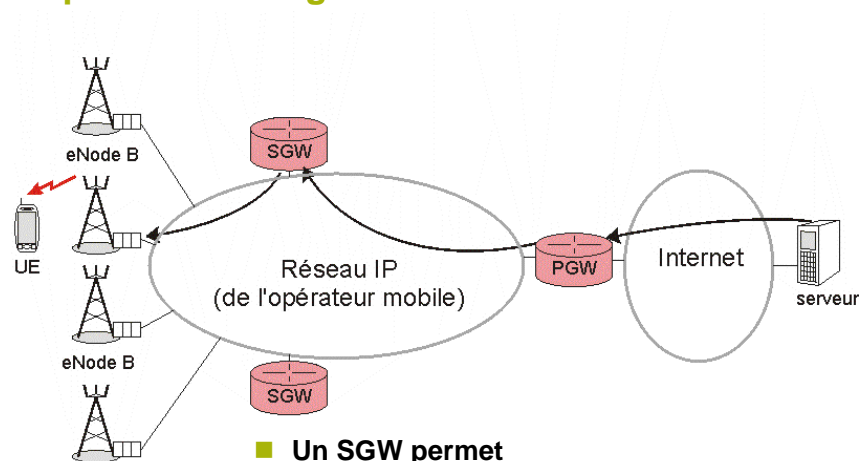
23

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Les passerelles régionales ou SGW



■ Un SGW permet

- la collecte des données envoyées par les terminaux mobiles à travers différents eNodeB
- la distribution des données venant des serveurs vers les eNodeB où se trouvent les terminaux mobiles

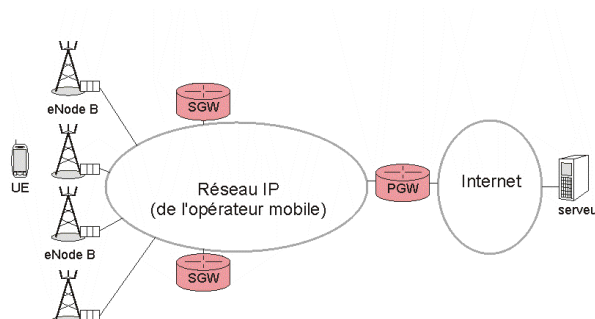
24

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Vidéo 4 : Equipements de contrôle dans le réseau coeur (HSS, MME)



Puis-je utiliser librement mon terminal sur n'importe quel réseau ?
Comment l'accès au réseau est-il contrôlé ?

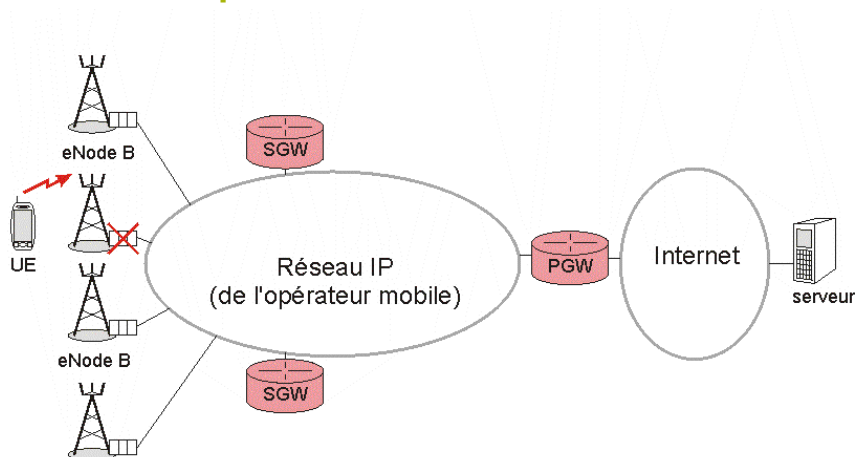
25

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Nécessité de procédures de contrôle



- Avant que des données puissent être transmises par un terminal, il y a plusieurs procédures d'accès et de contrôle

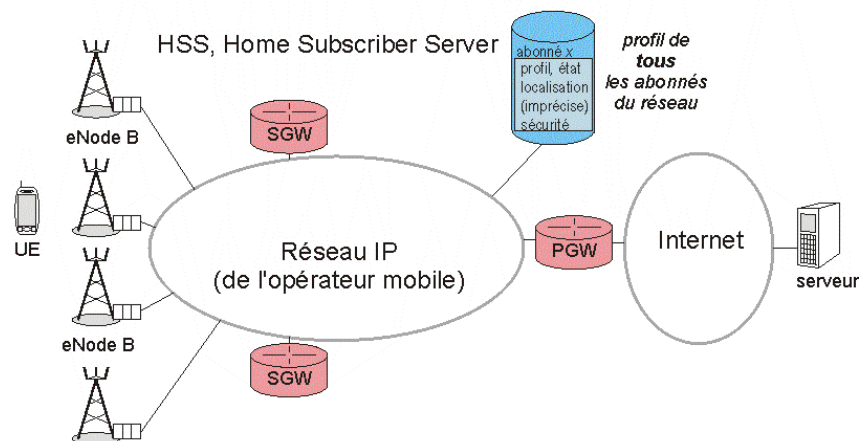
26

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le HSS, base de données des abonnés



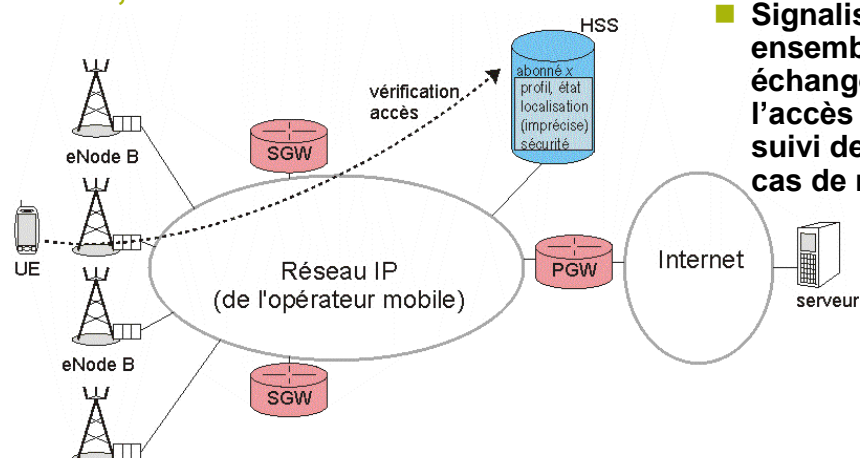
27

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le HSS, base de données des abonnés



■ **Signalisation :**
ensemble de messages
échangés pour gérer
l'accès au réseau, le
suivi des terminaux en
cas de mobilité,...

■ **Le HSS, Home Subscriber Server, n'échange que de la signalisation**

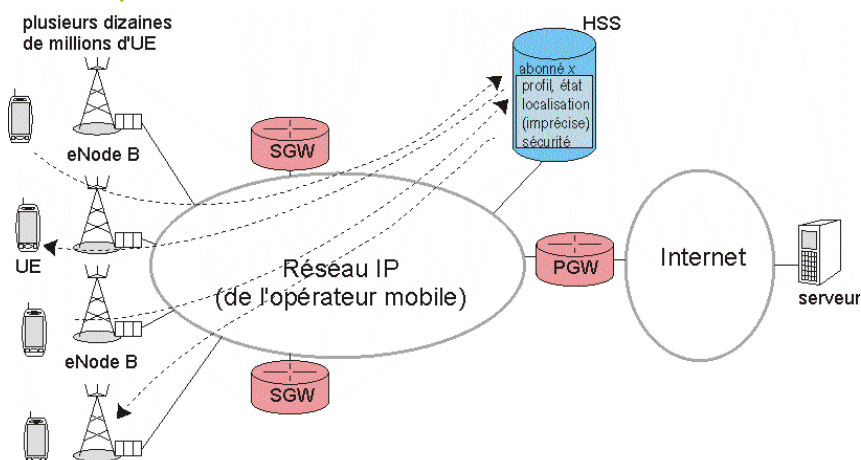
28

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le HSS, base de données des abonnés



- La mobilité, la sporadicité des activités du terminal conduit à l'envoi (ou la réception) fréquent de signalisation par terminal

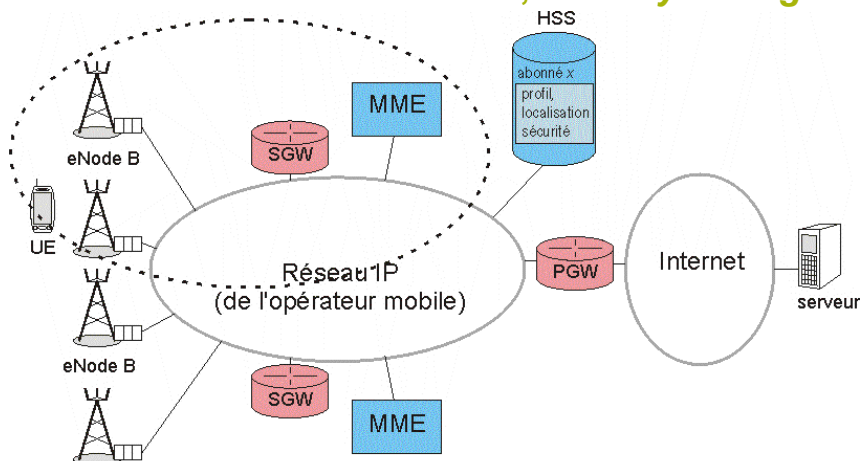
29

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



- MME, Mobility Management Entity

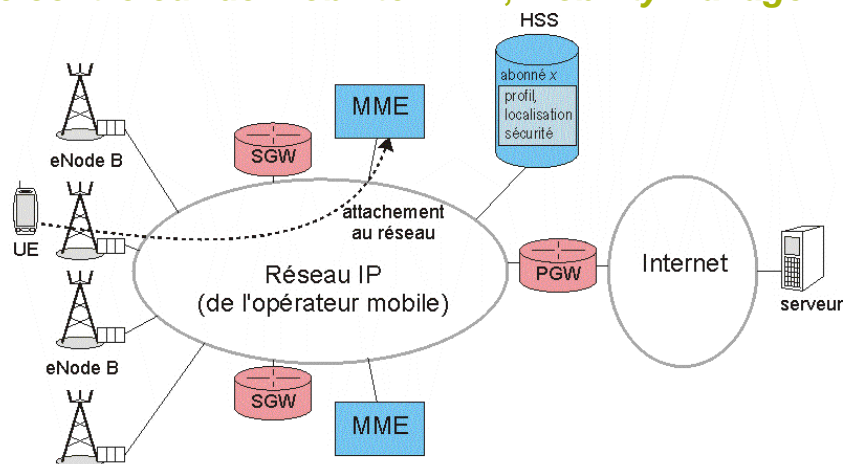
30

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



■ Attachement du terminal au réseau à la mise sous tension

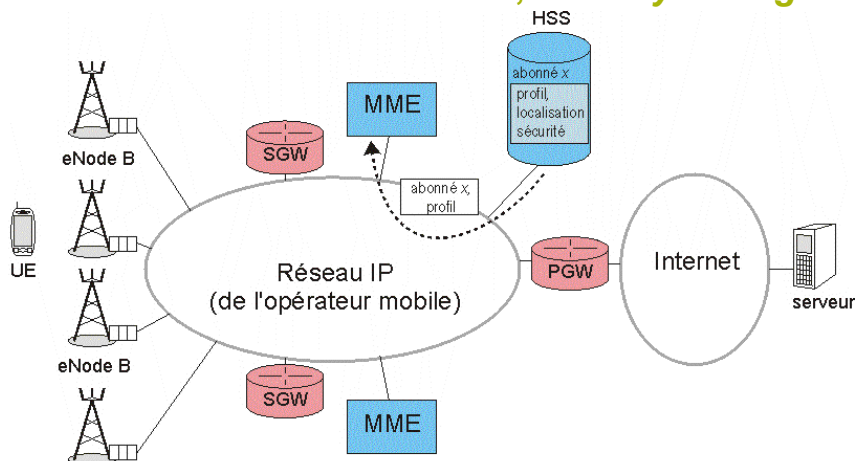
31

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



■ Transfert du profil, des données de sécurité, du HSS vers le MME

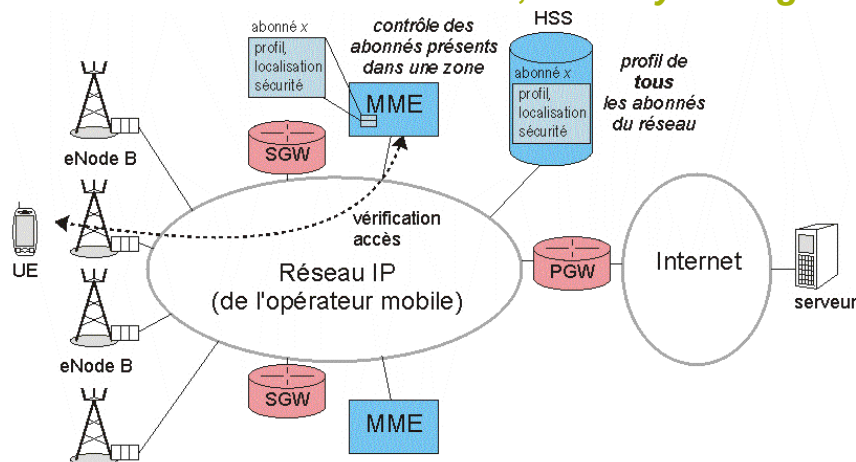
32

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



■ Les échanges de signalisation se font entre le terminal et le MME

33

Institut Mines-Télécom

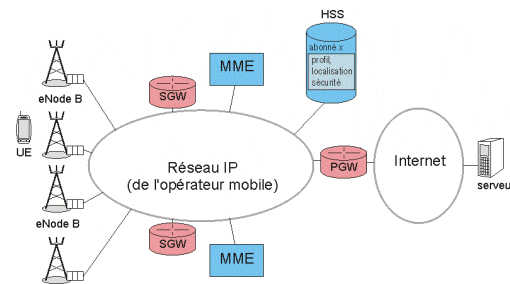
X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Fonctions principales du MME

Le MME, Mobility Management Entity,

- 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 dialogue 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
- S'assure de la joignabilité du terminal
- Est impliqué dans le transfert intercellulaire (handover)



34

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Vidéo 5 : Synthèse sur l'architecture et les interfaces (S1, S5/S8, S6a, S11, X2)

Quelle est l'architecture d'un réseau 4G ?
Tous les équipements sont-ils reliés directement entre eux ?
Tous les équipements dialoguent-ils entre eux ?

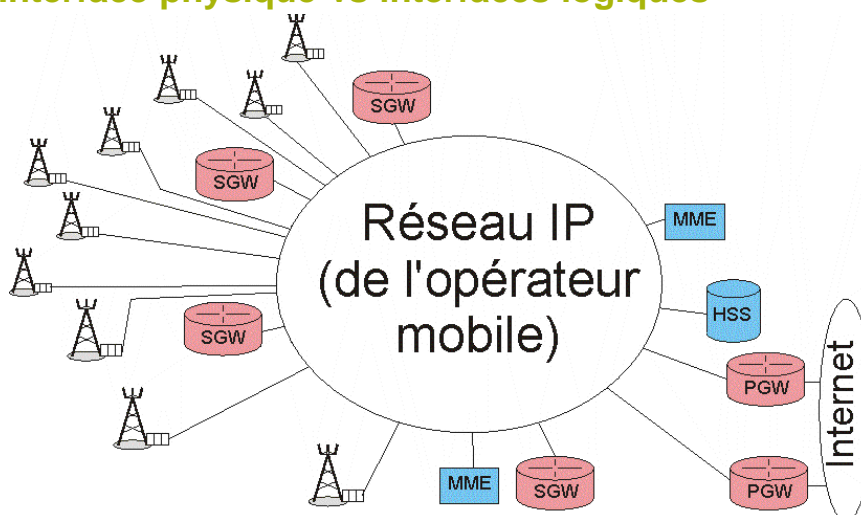
35

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs interfaces logiques



- Tous les équipements du réseau possède la pile des protocoles de la famille IP

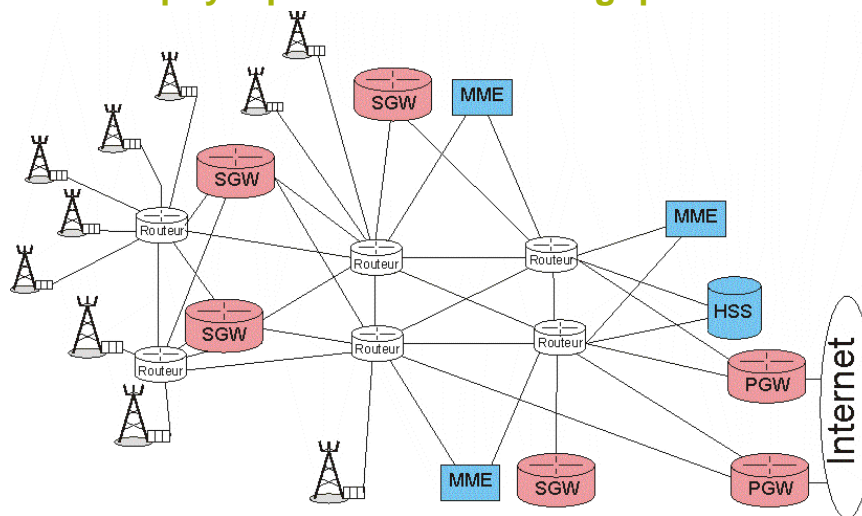
36

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs 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

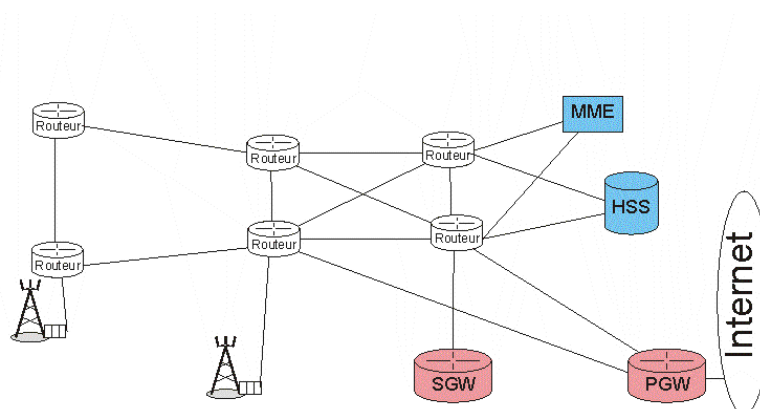
37

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs 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

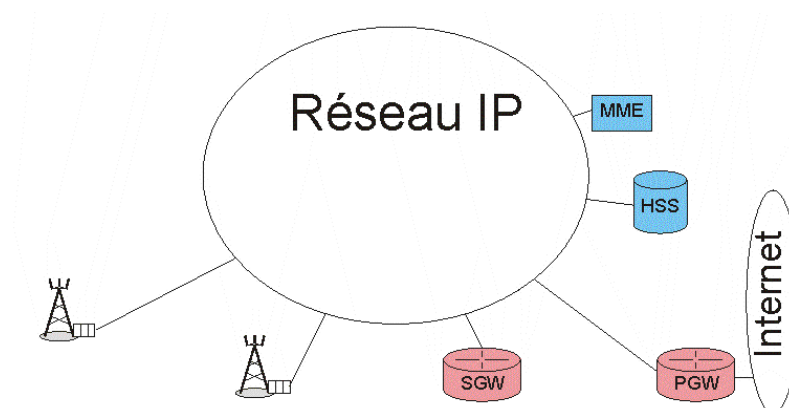
38

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs 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

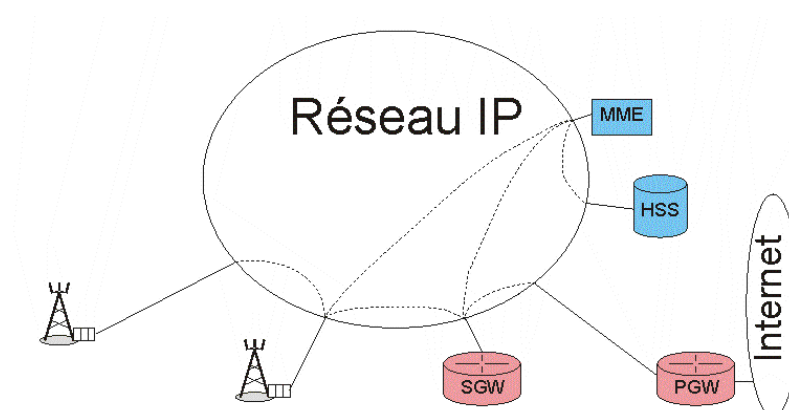
39

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



- Tous les équipements du réseau possèdent la pile des protocoles de la famille IP

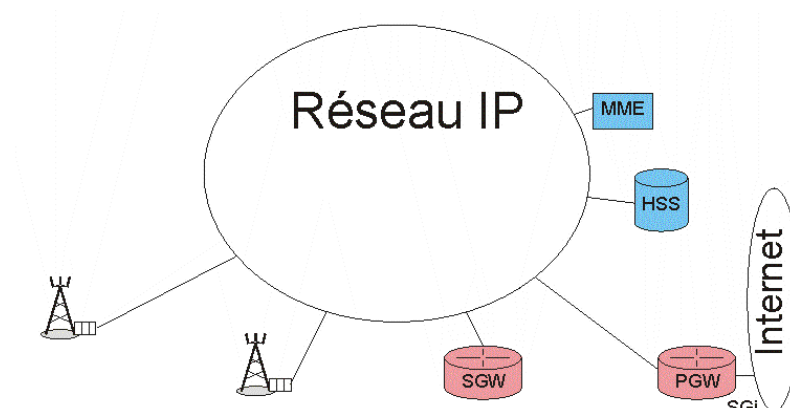
40

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



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

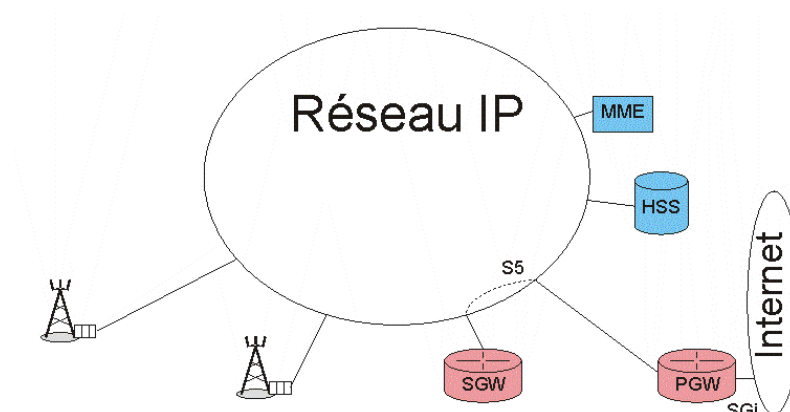
41

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



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

■ Transport des données utilisateurs + quelques messages de signalisation

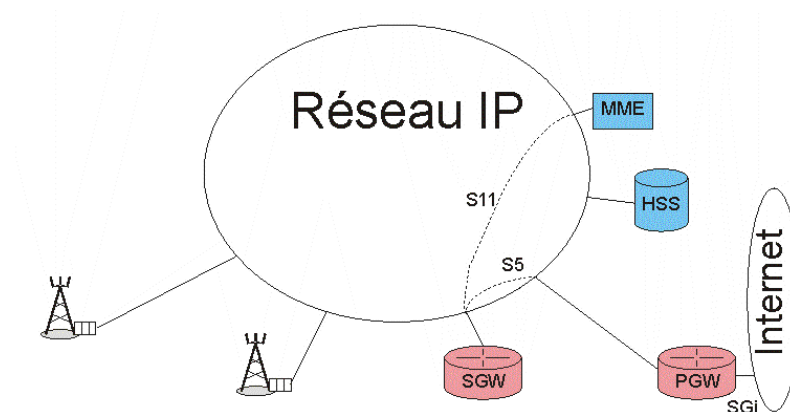
42

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



- Interface S11 : entre le SGW et le MME
- Transport de messages de signalisation

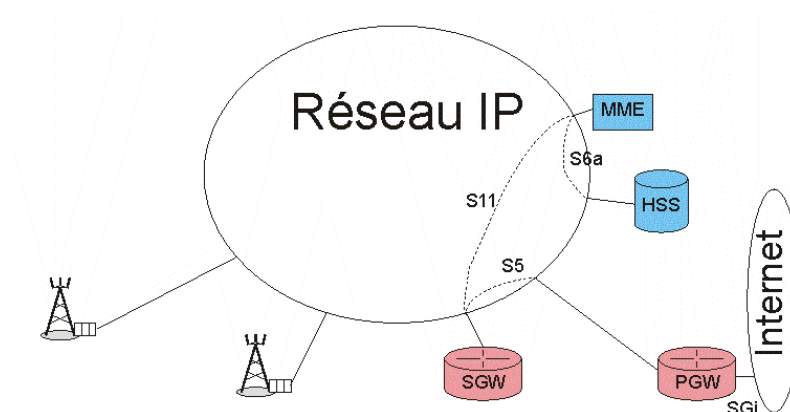
43

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



- Interface S6a : entre le MME et le HSS
- Transport de messages de signalisation

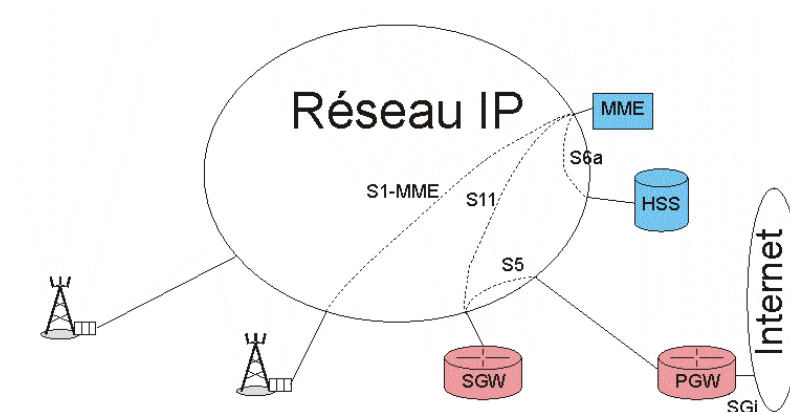
44

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



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

■ Transport de messages de signalisation

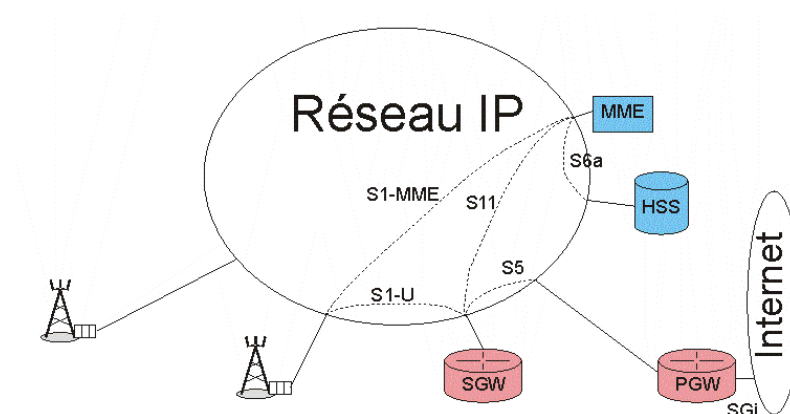
45

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



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

■ Transport de données utilisateurs, pas d'échange de signalisation

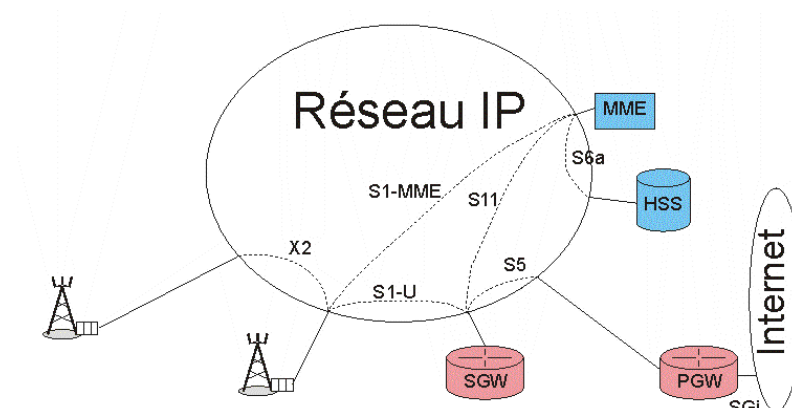
46

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



- Interface X2 : entre 2 eNodeB
- Transport des données utilisateurs et des messages de signalisation

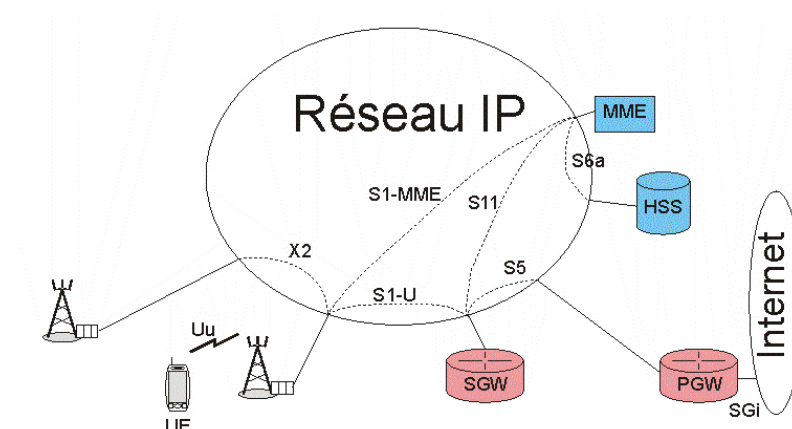
47

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



- Interface Uu ou interface radio : entre le terminal (UE) et l'eNodeB
- Transport des données utilisateurs et des messages de signalisation

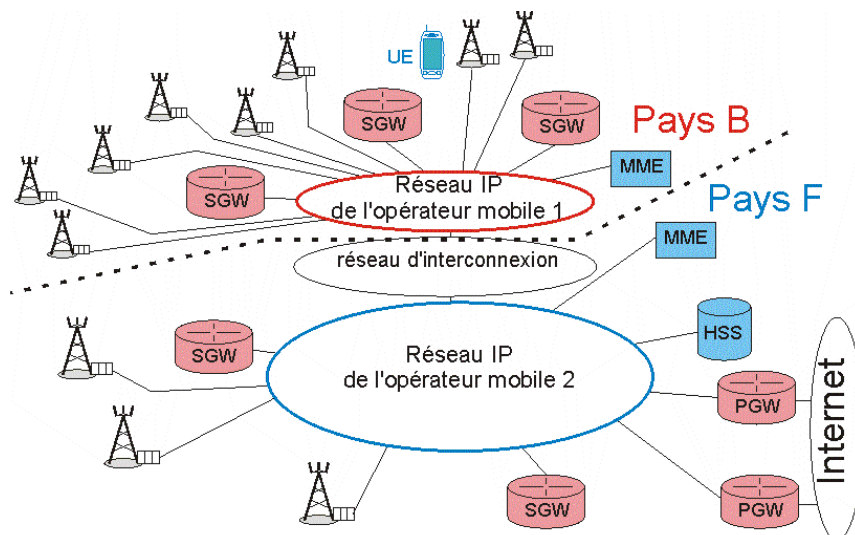
48

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interconnexion de réseaux coeurs



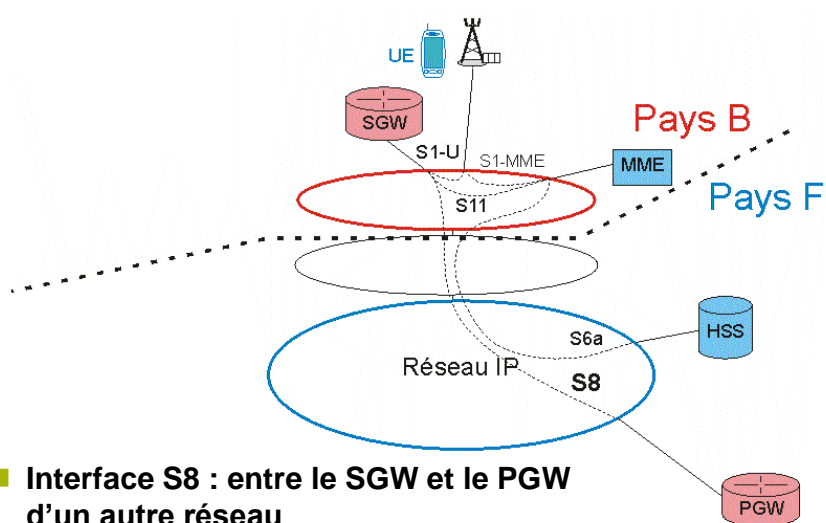
49

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interconnexion de réseaux coeurs



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

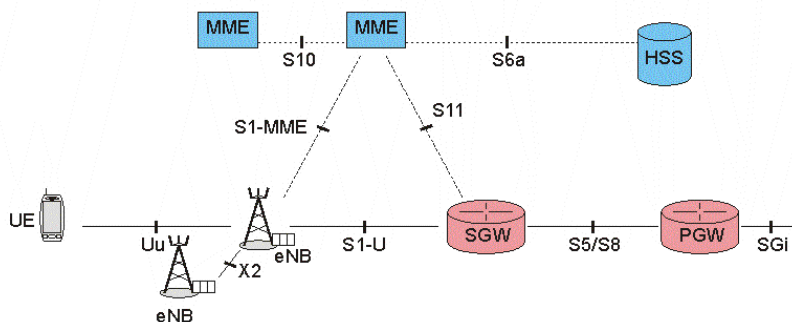
50

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Présentation du réseau cœur et des interfaces dans le cours



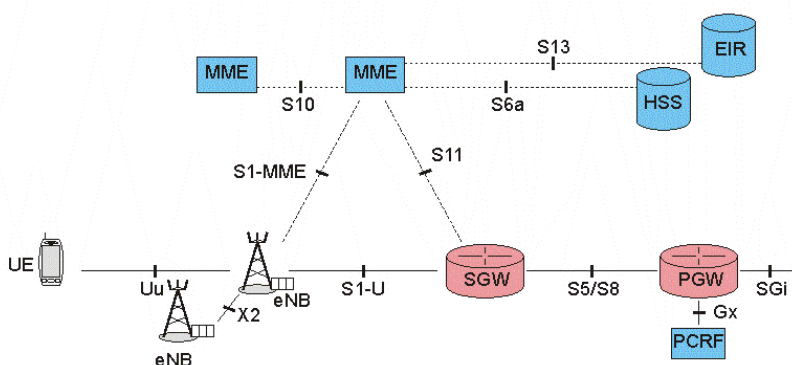
51

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Autres équipements et interfaces non vu dans le cours



- **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

52

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Vidéo 6 : Organisation du cours

Comment est structuré le cours ?

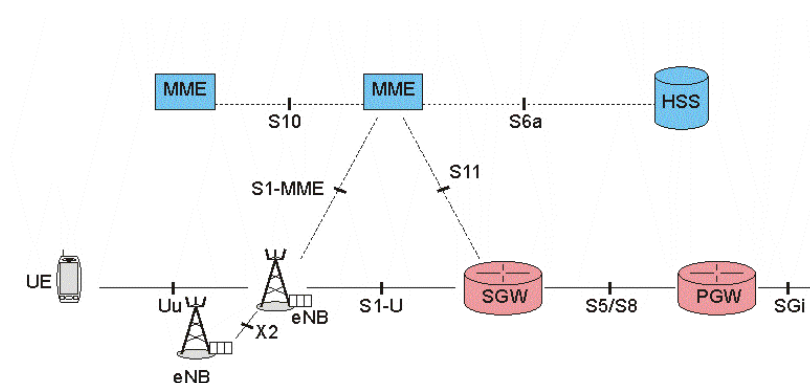
53

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Organisation du cours



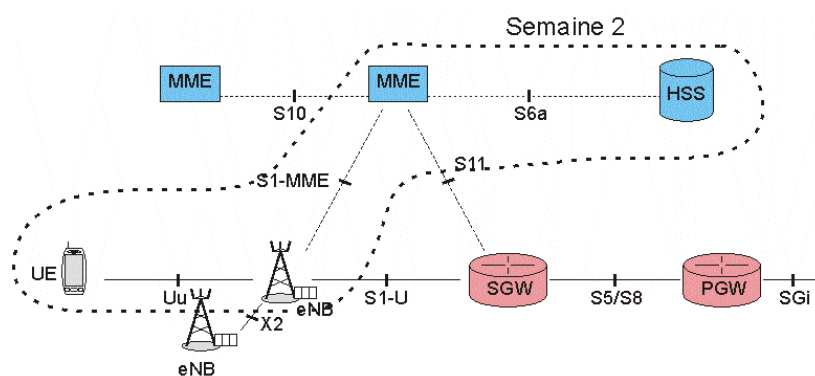
54

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Organisation du cours



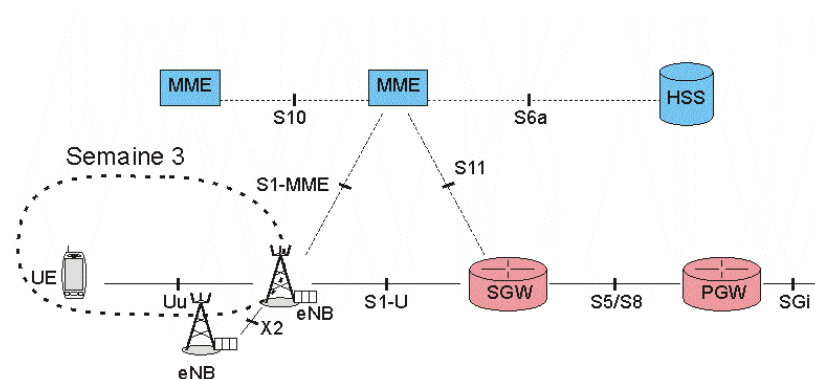
55

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Organisation du cours



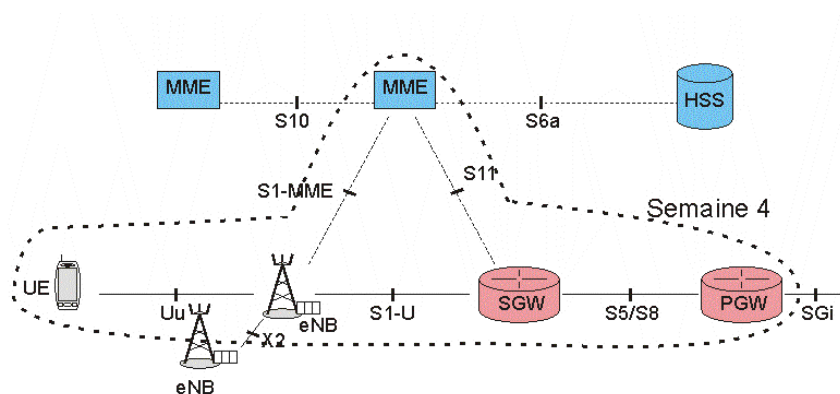
56

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



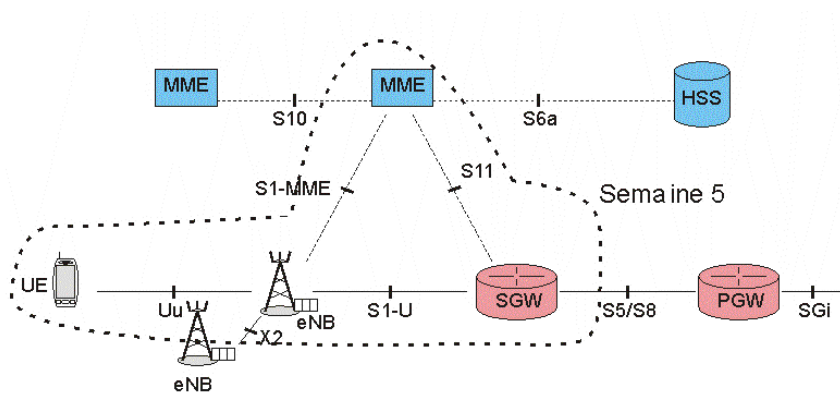
Organisation du cours



Institut Mines-Télécom



Organisation du cours



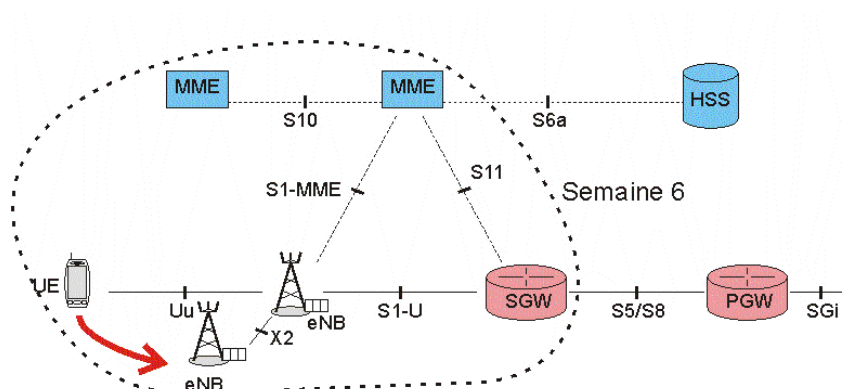
58

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Organisation du cours



59

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Vidéo 7 : Services et différentes générations de réseaux mobiles

Qu'est-ce que cela veut dire 2G, 3G, 4G ?

60

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Différentes générations de réseaux mobiles

Génération	Services principaux	Nom de la technologie en Europe	Type d'accès sur la voie radio	Période de vie
1	Téléphonie	R2000, NMT,..	Analogique FDMA	1980-1995
2	Téléphonie, SMS	GSM	TDMA	1995-
2.5	Téléphonie, SMS Accès IP à 100 kbit/s	extension GPRS-EDGE	+ accès paquet et nouvelle modulation	2000-
3	Téléphonie, SMS Accès IP 1 Mbit/s	UMTS	CDMA	2002-
3.9	Téléphonie, SMS Accès IP à 10 Mbit/s	extension HSDPA	CDMA + accès paquet et nouvelle modulation	2008-
4	Accès IP à 100 Mbit/s avec faible latence	LTE, LTE-advanced	OFDMA	2010-

Procédures de sécurité, Semaine 2

Vidéo 1 : Mise sous tension du terminal,
fonctions de sécurité

Vidéo 2 : Authentification et autorisation

Vidéo 3 : Chiffrement

Vidéo 4 : Intégrité

Vidéo 5 : Hiérarchie des clés

Vidéo 6 : Identité temporaire

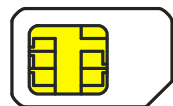
Vidéo 7 : Allocation de l'adresse IP par défaut

Introduction

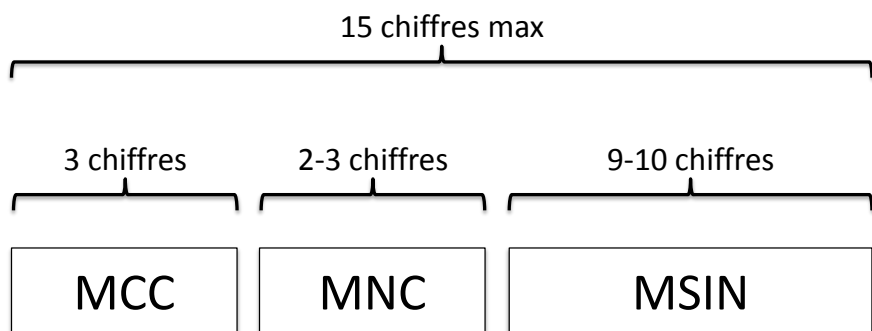
Que se passe-t-il quand j'allume mon terminal ?

Comment sont organisés les mécanismes de sécurité ?

IMSI (International Mobile Subscriber Identity)



Carte USIM



Mobile
Country Code

Mobile
Network Code

Mobile Subscriber
Identification Number

208 = FRANCE

01 = ORANGE

10 = SFR

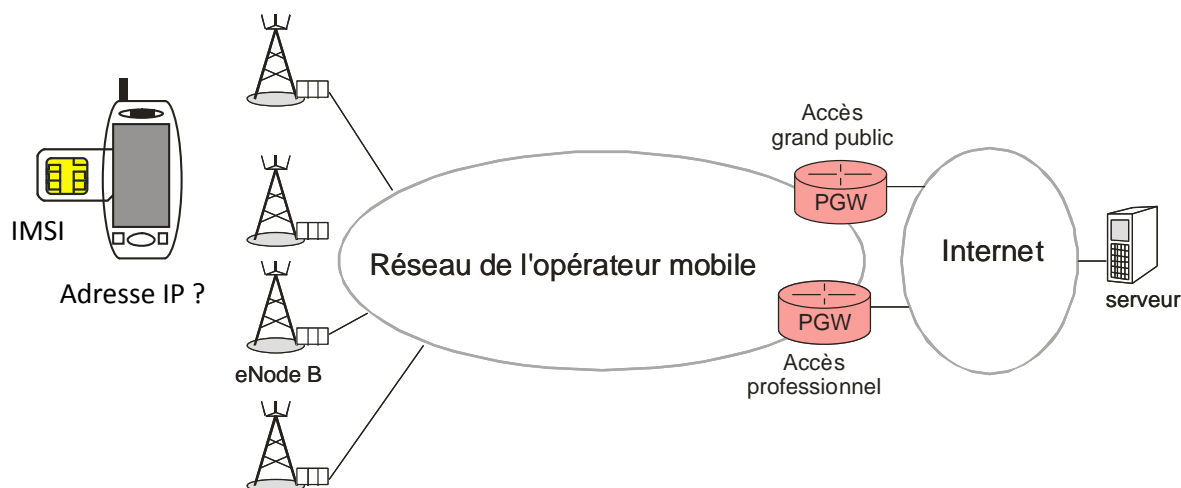
15 = FREE

20 = BOUYGUES TELECOM

...

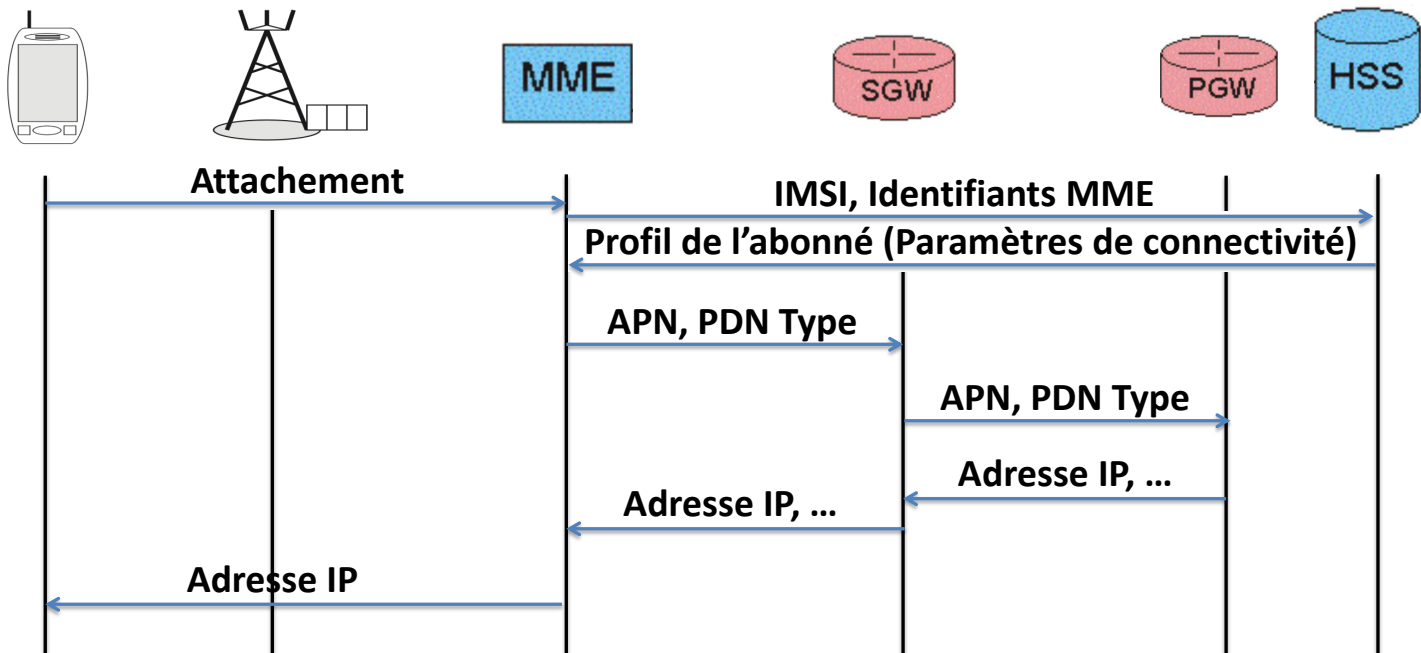
208 10 1234567890

208 15 5123462346



APN = Access Point Name

Exemple : internet ou prooperator.mnc10.mcc208.gprs ou weboperator.fr



APN = Access Point Name
quel PGW utiliser

PDN Type = Packet Data Network Type
quel type d'IP utiliser (IPv6, IPv4, les deux)



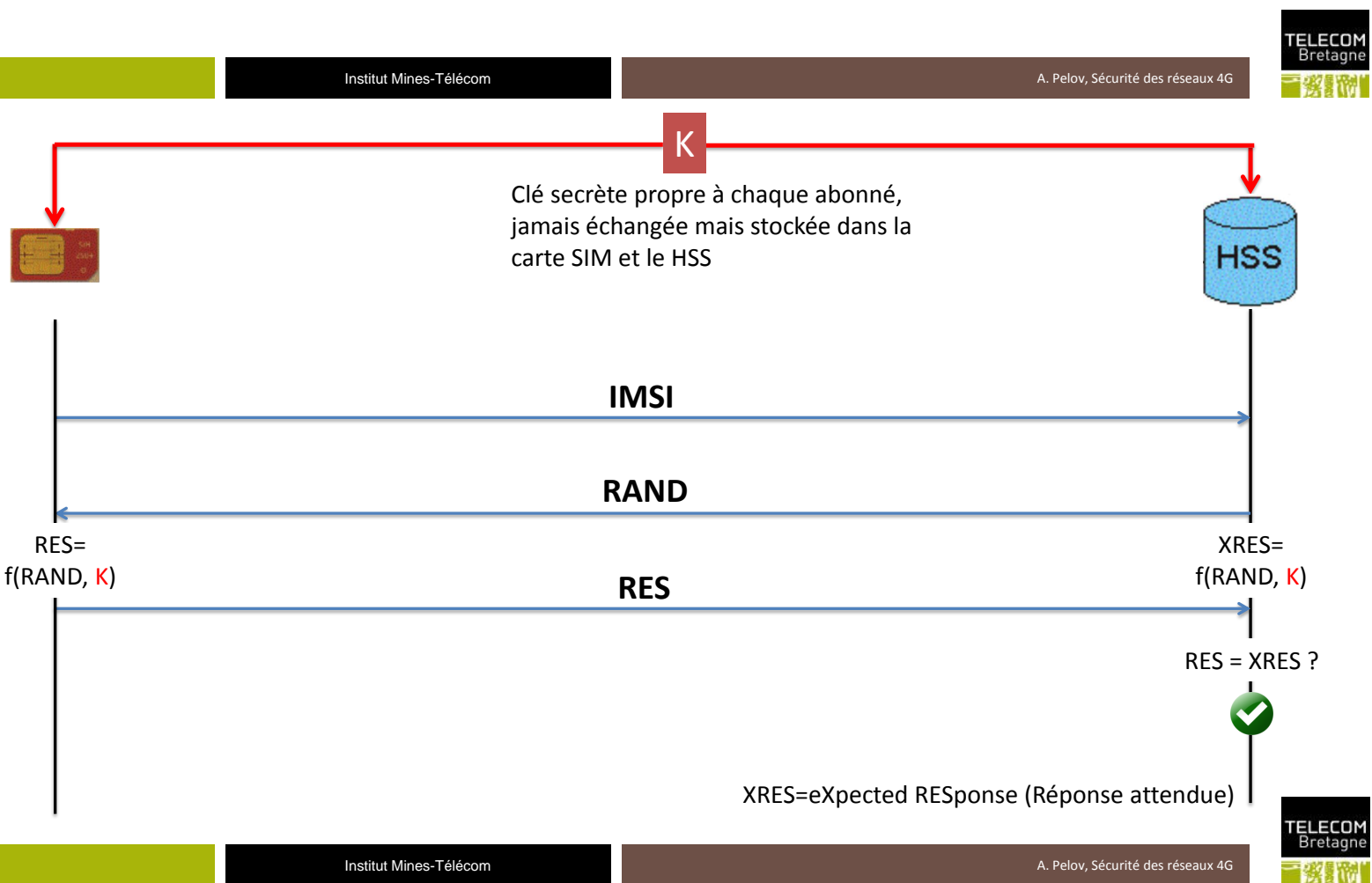
Les principaux mécanismes de sécurité

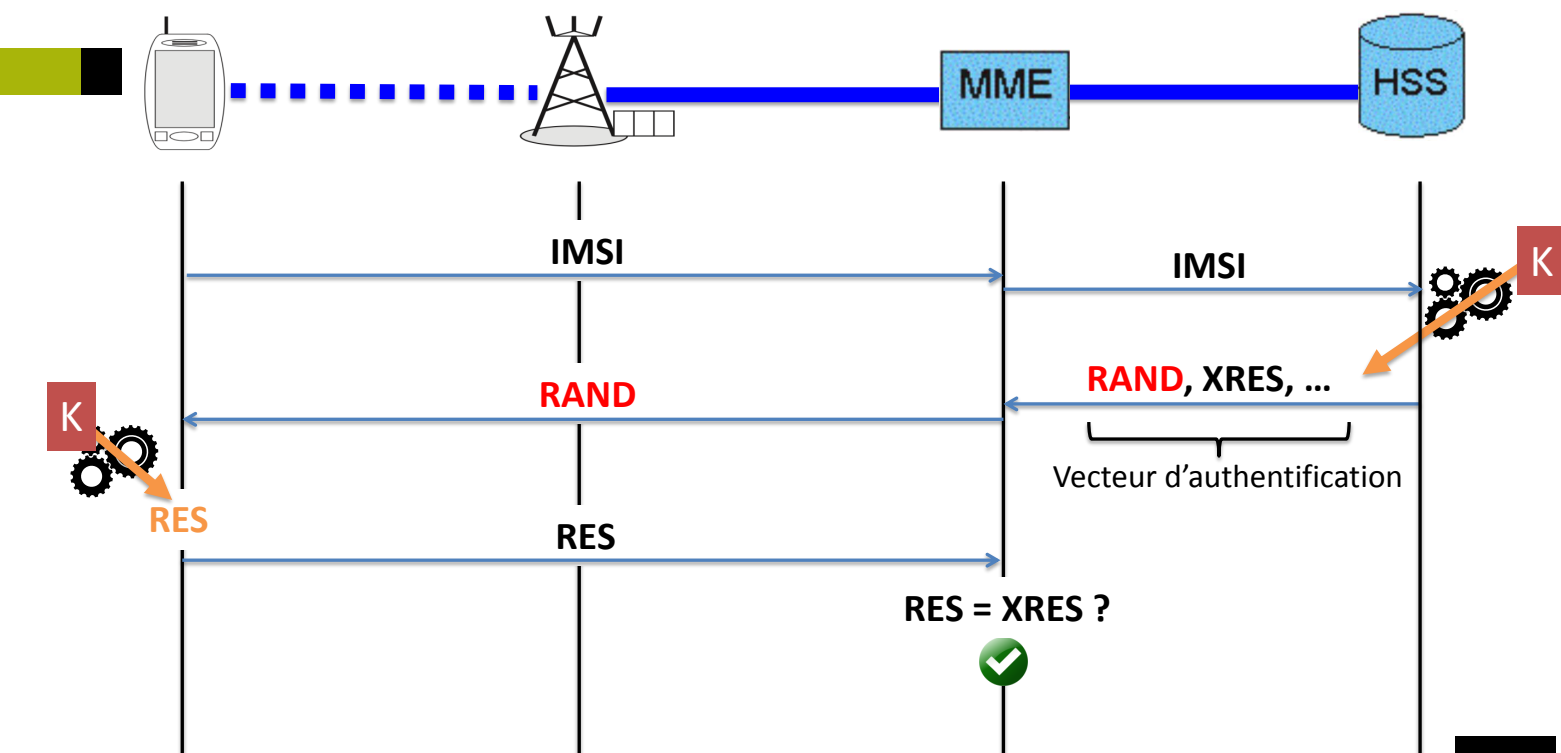
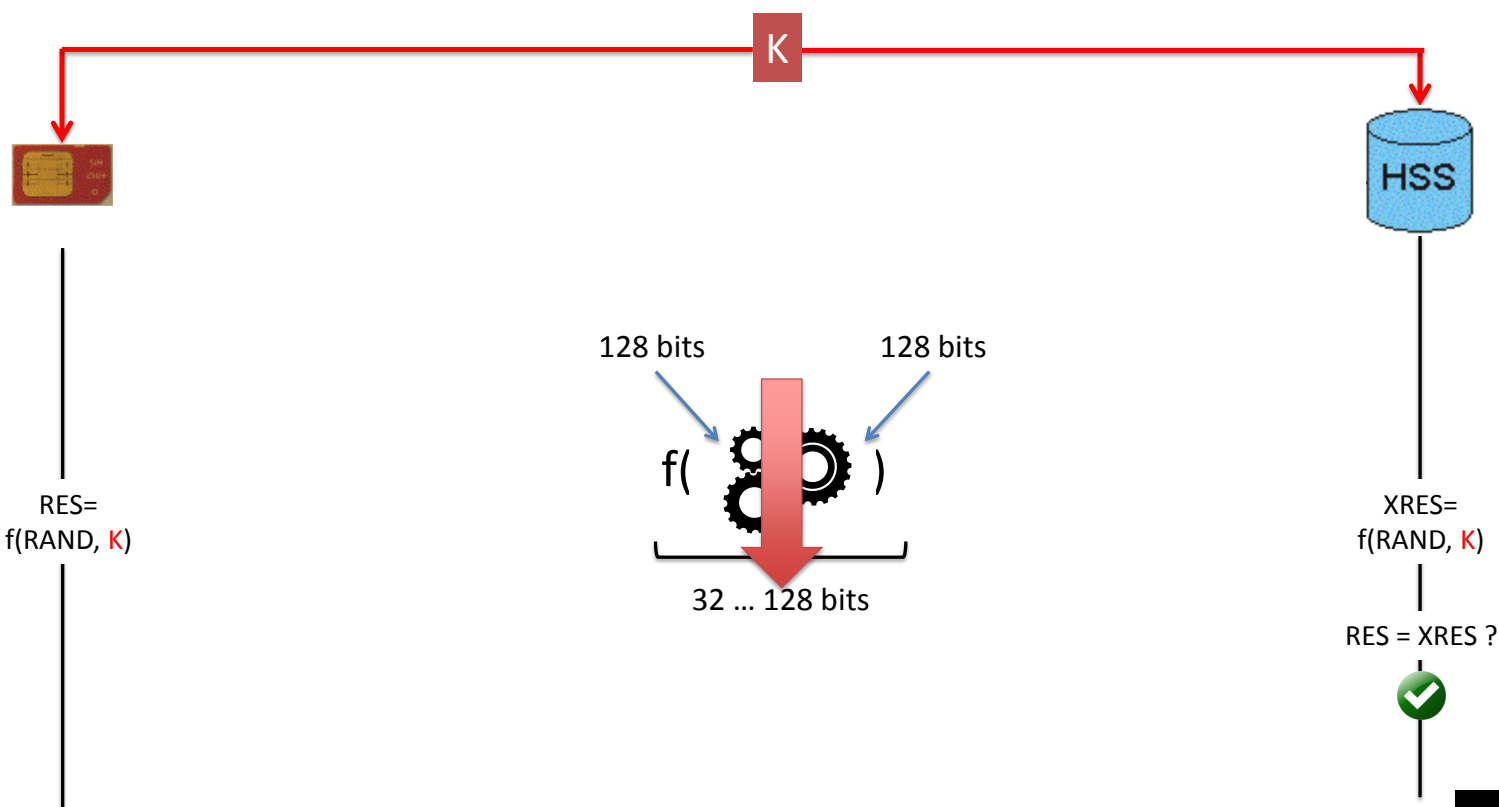
- Utilisation frauduleuse du réseau → Authentification
- Ecoute des échanges → Chiffrement
- Modification des messages → Intégrité
- Suivi/localisation d'un terminal → Identité temporaire

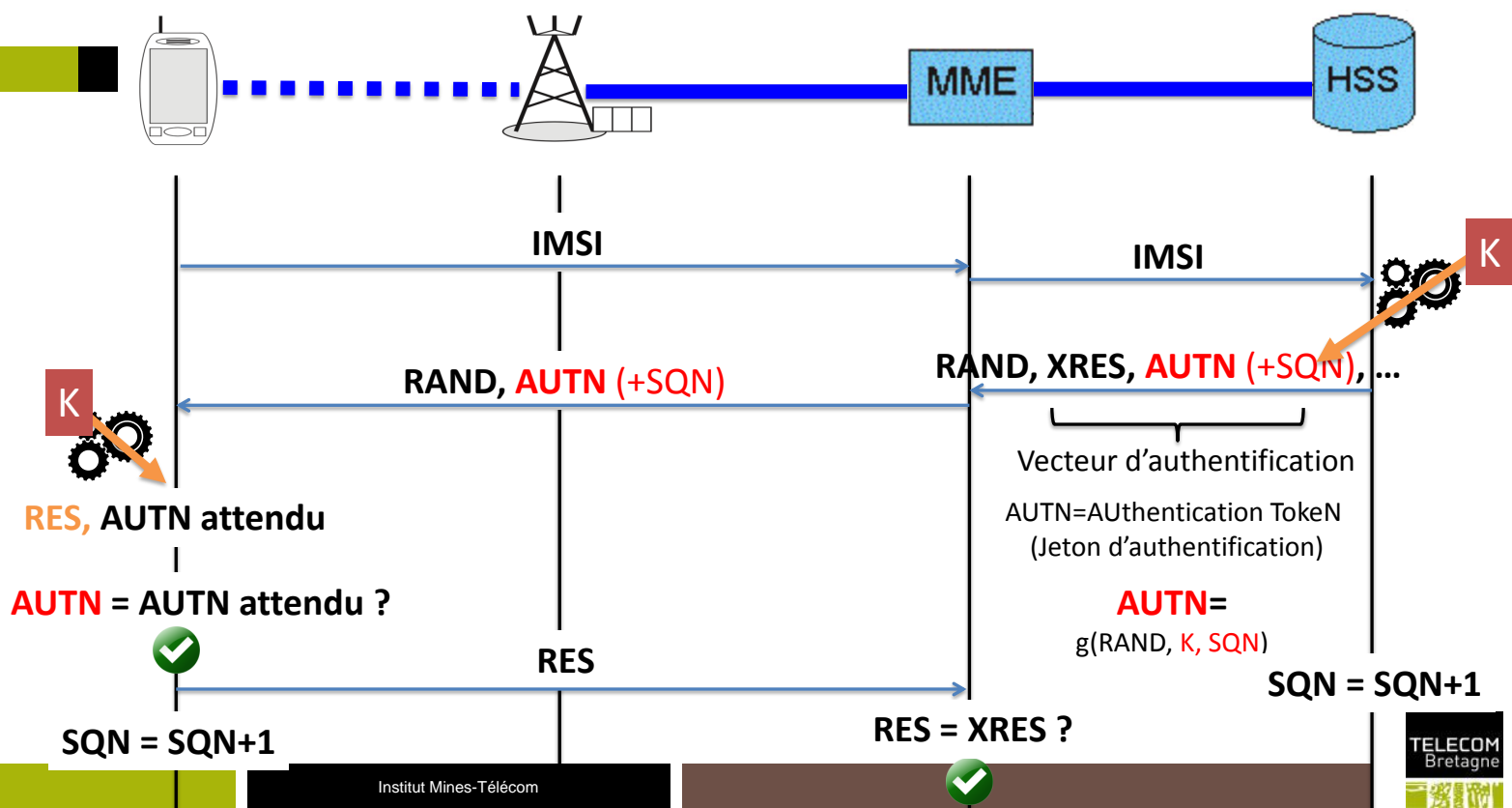
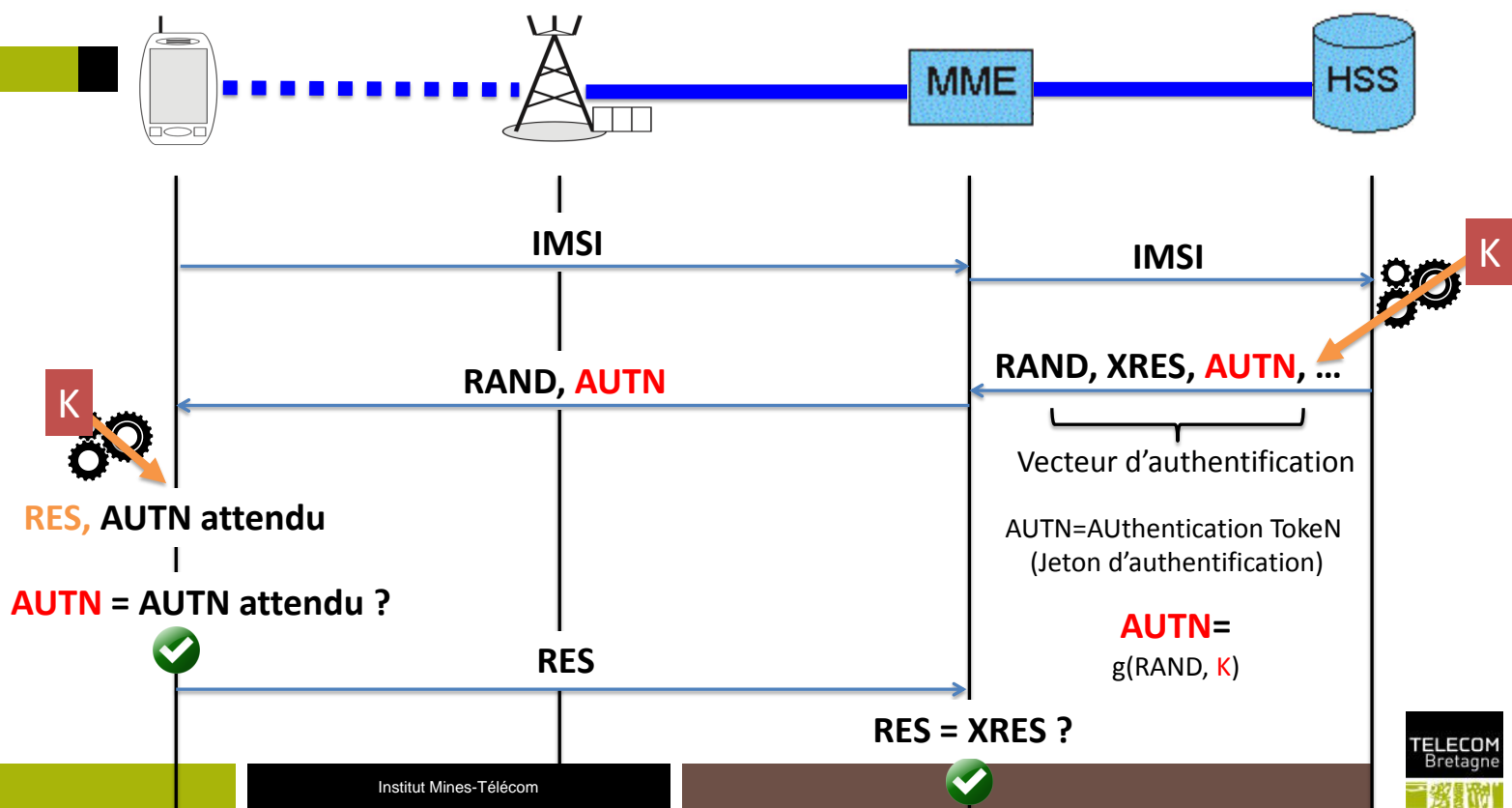


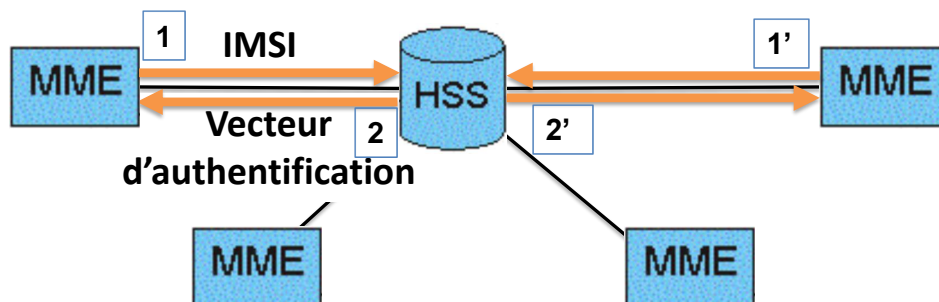
Authentication et autorisation

Comment un utilisateur est identifié par le réseau?





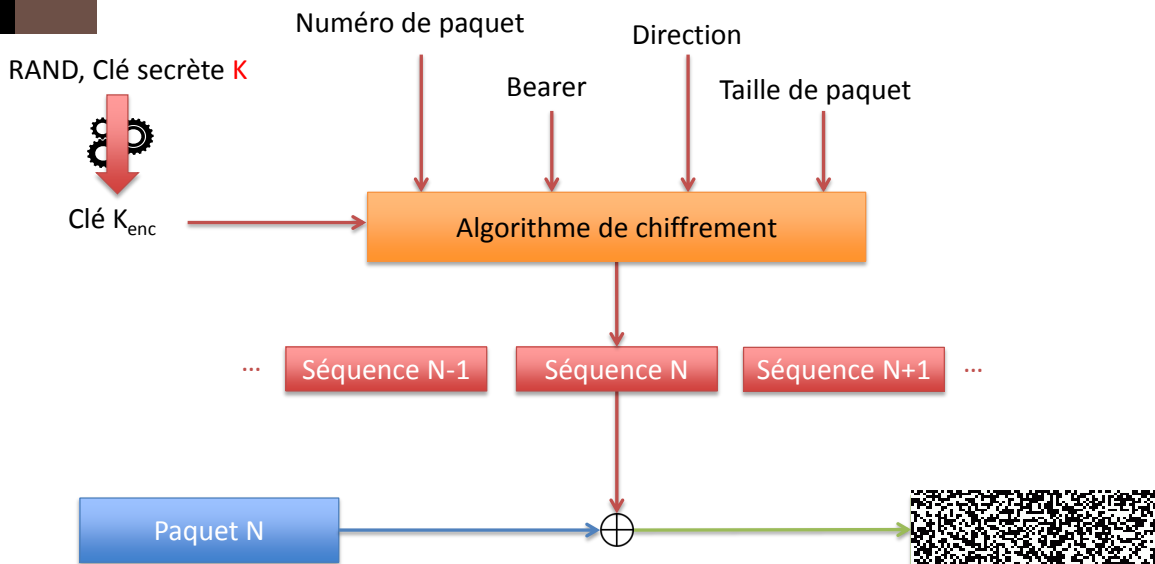
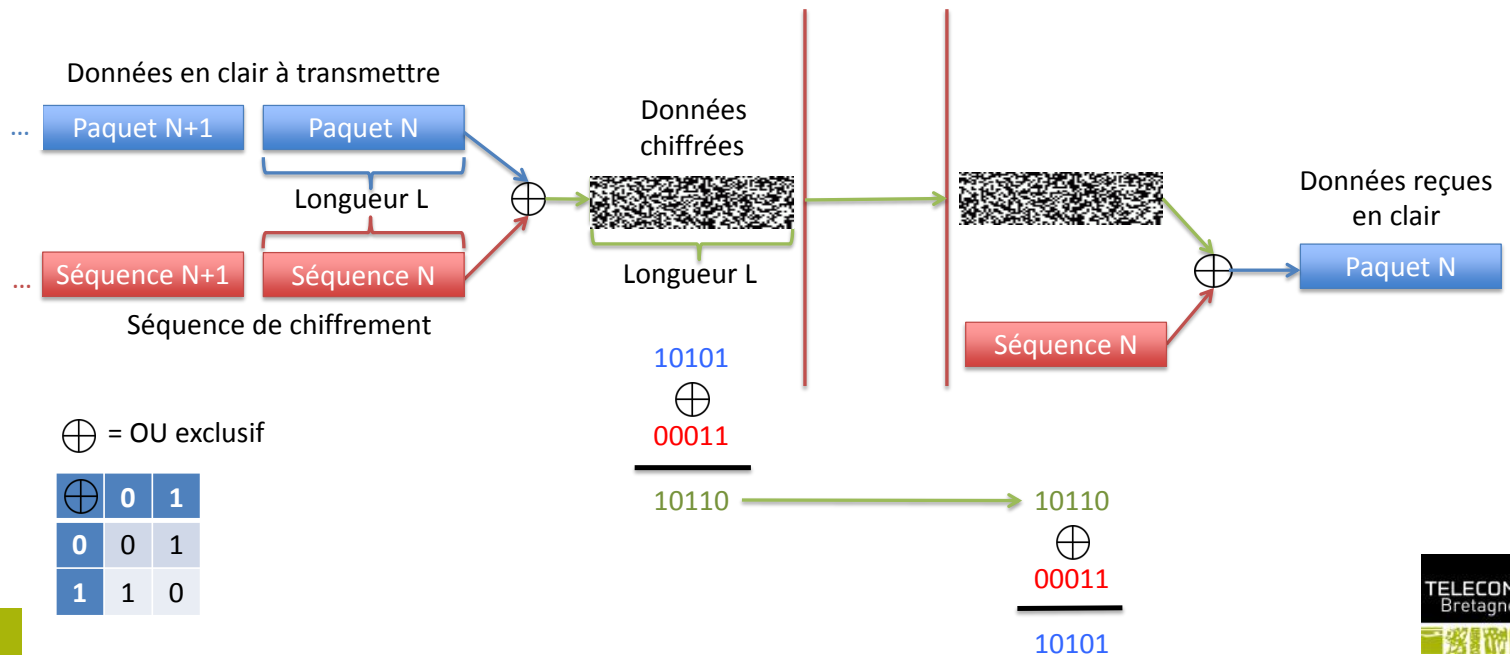
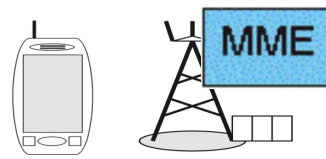




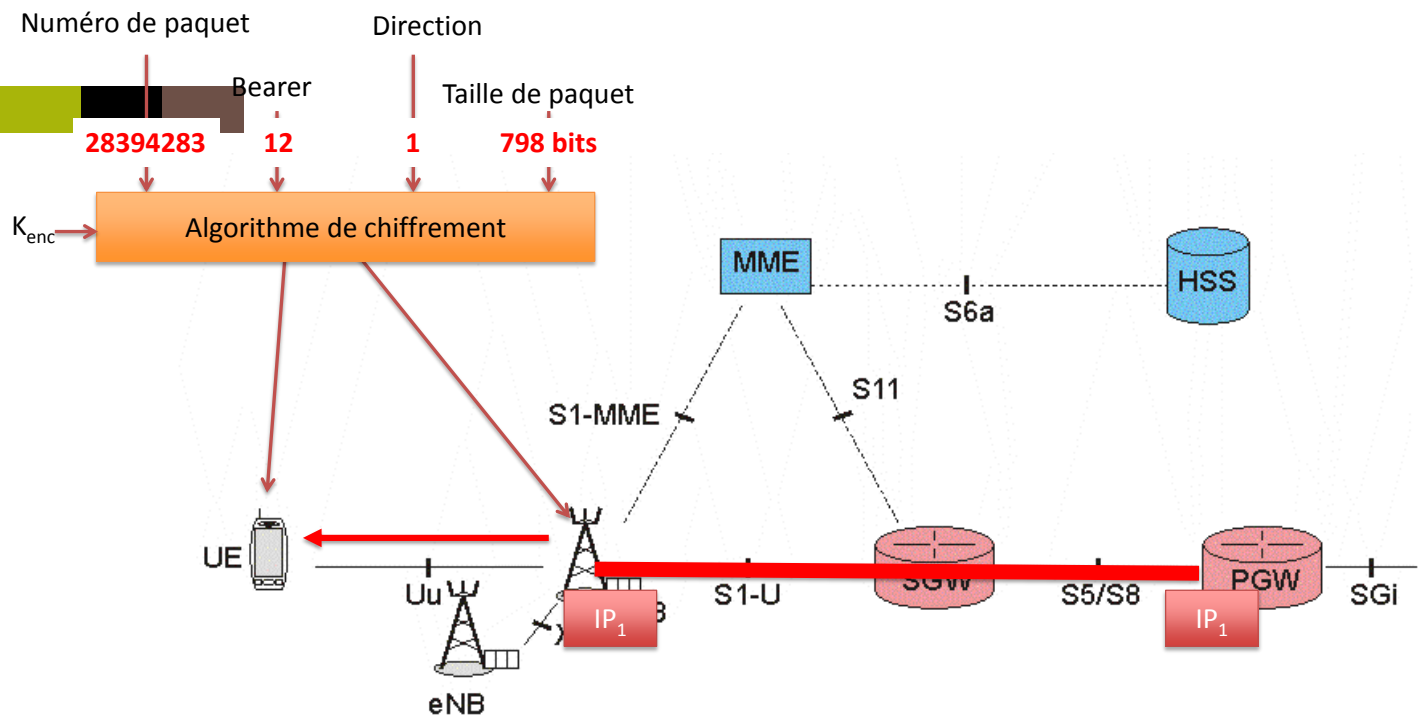
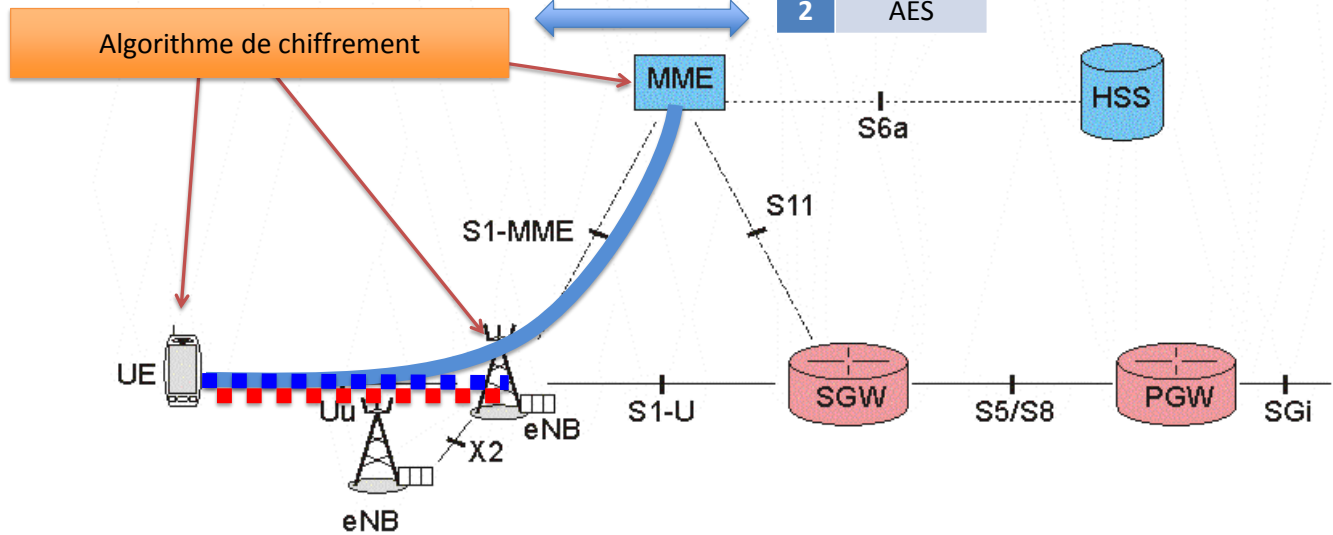
Chiffrement de données

Est-ce que quelqu'un peut écouter mes communications ?

Chiffrement des échanges



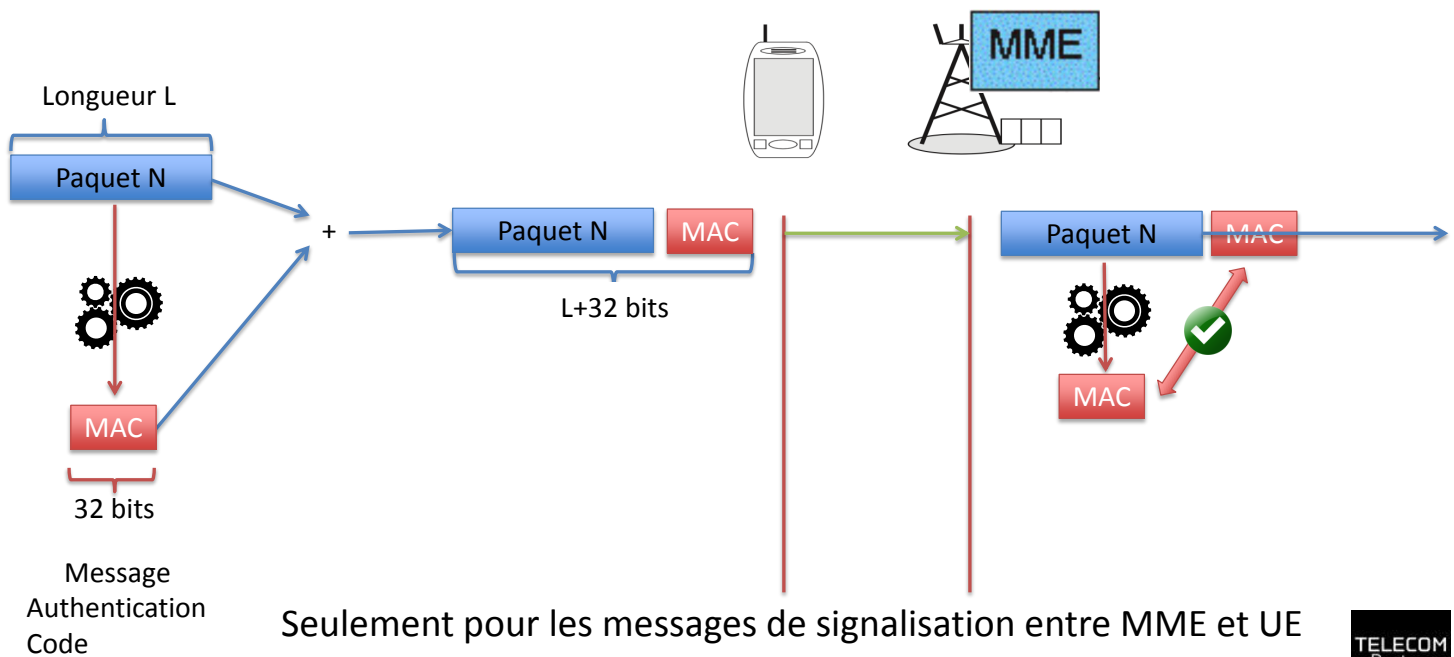
0	NULL
1	SNOW 3G
2	AES



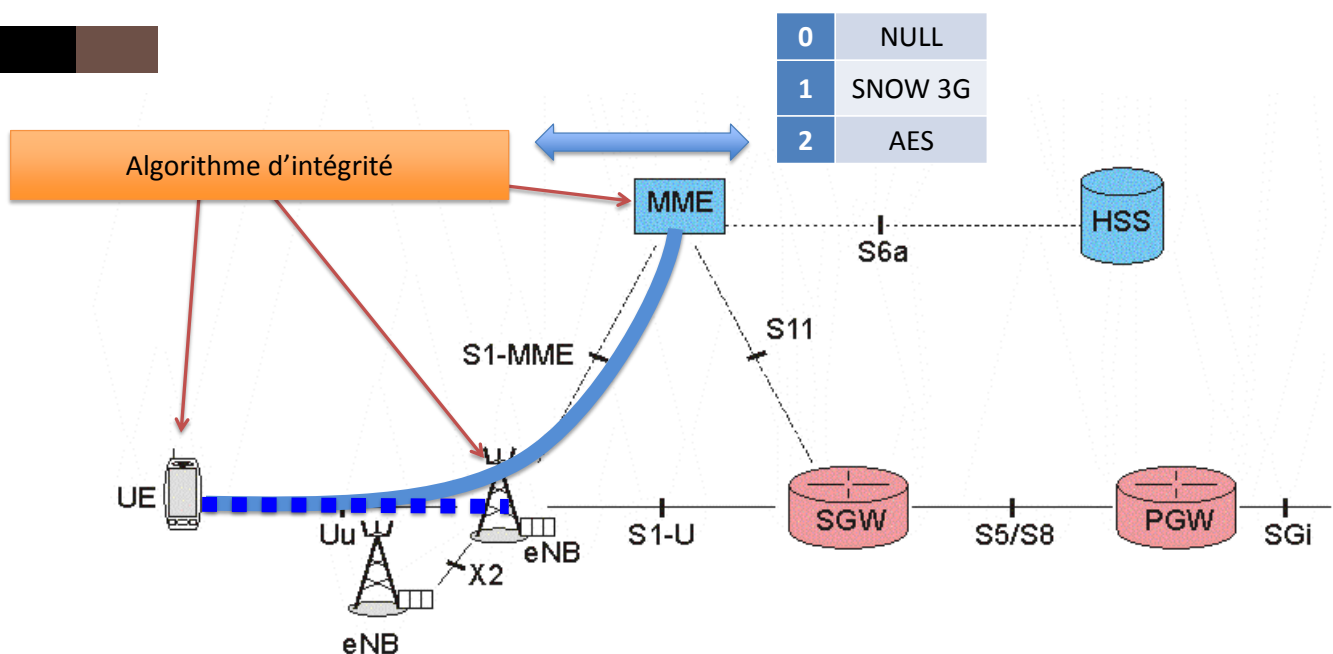
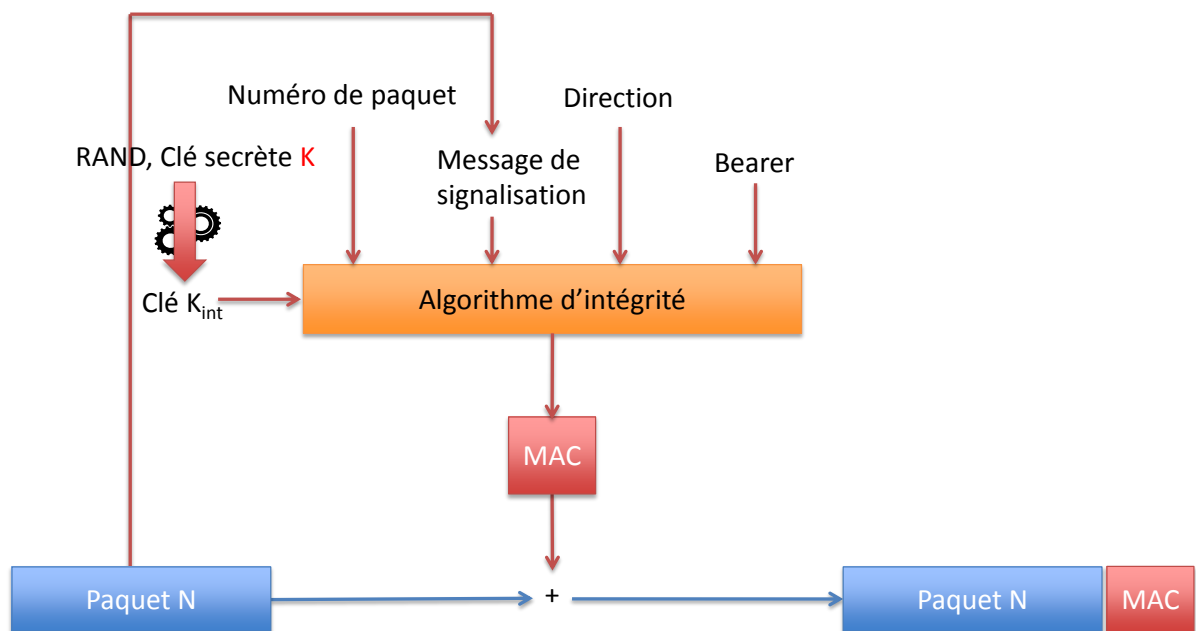
Intégrité

Est-ce que je peux être sûr que le message que je viens de recevoir n'a pas été modifié par un équipement intermédiaire ?

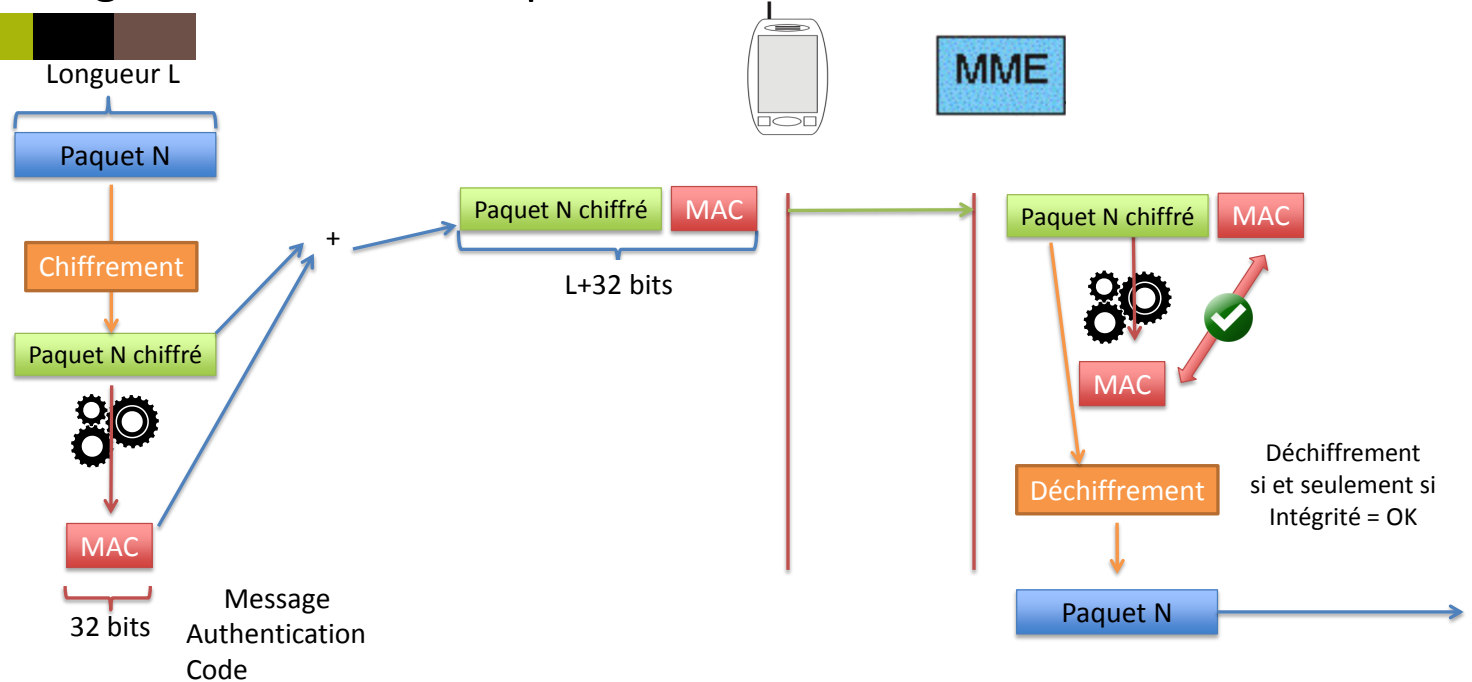
Protection contre les modifications



Seulement pour les messages de signalisation entre MME et UE



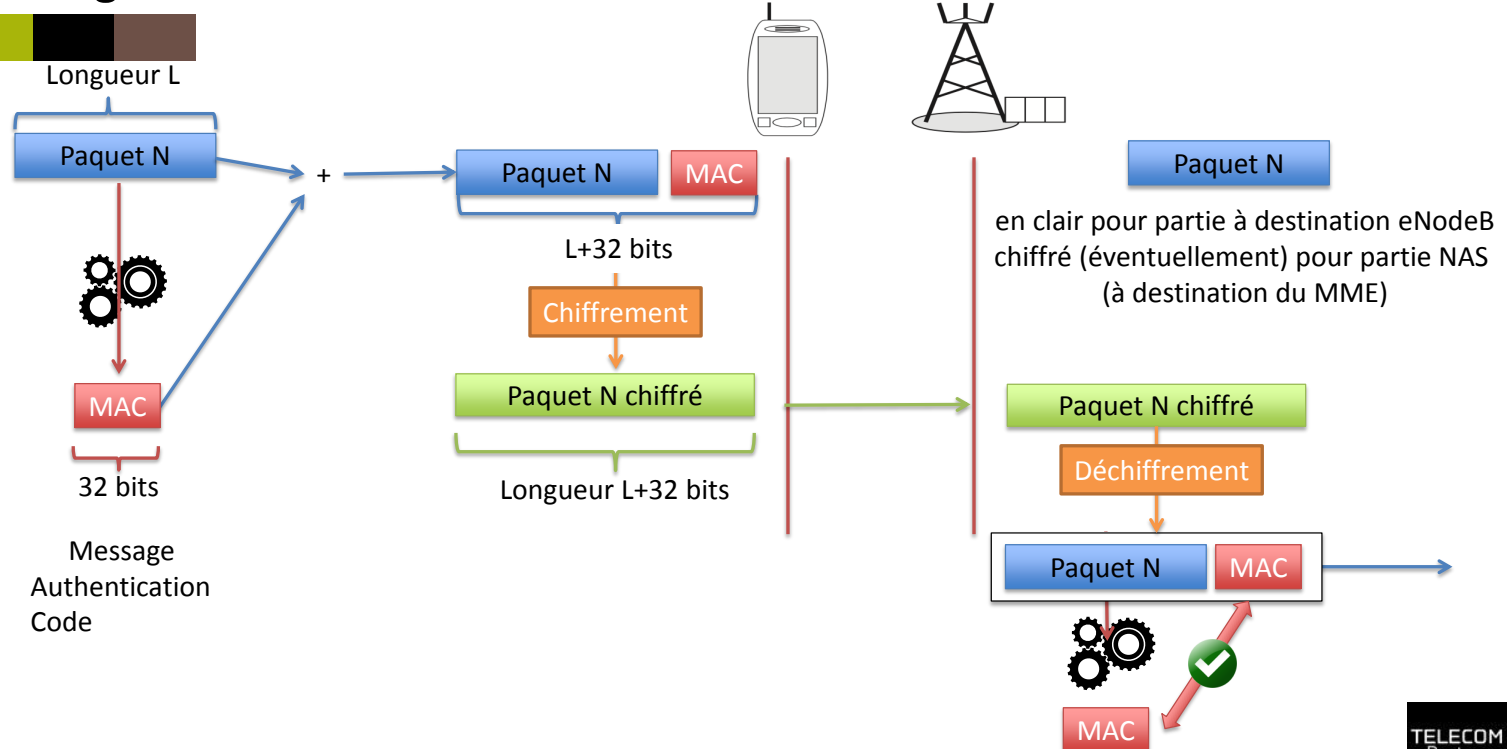
Intégrité et chiffrement pour messages NAS



Institut Mines-Télécom

TELECOM
Bretagne

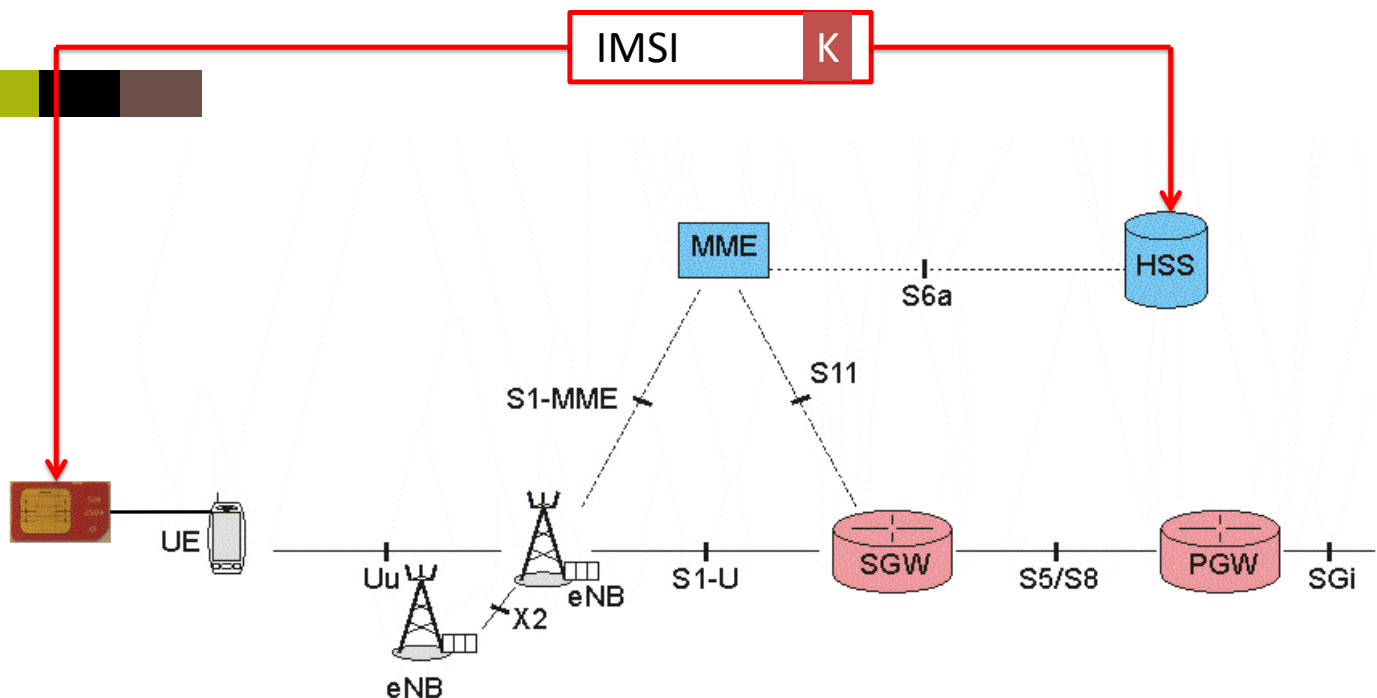
Intégrité et chiffrement sur voie radio

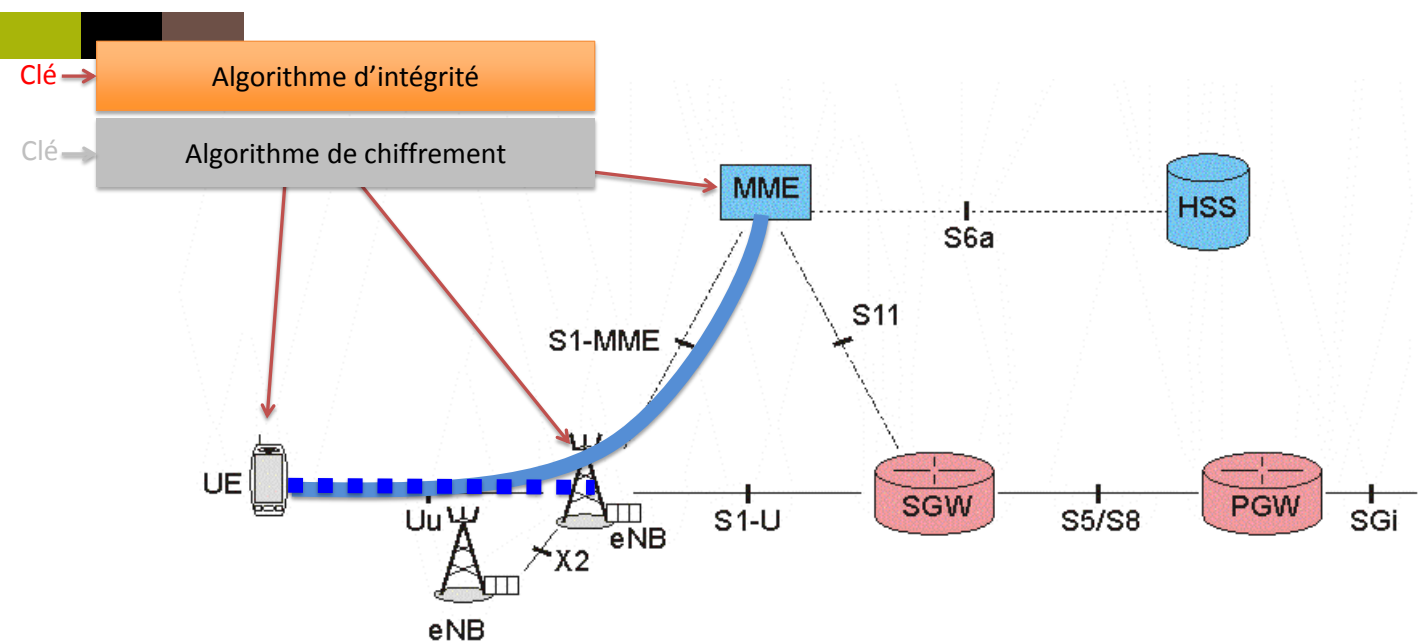
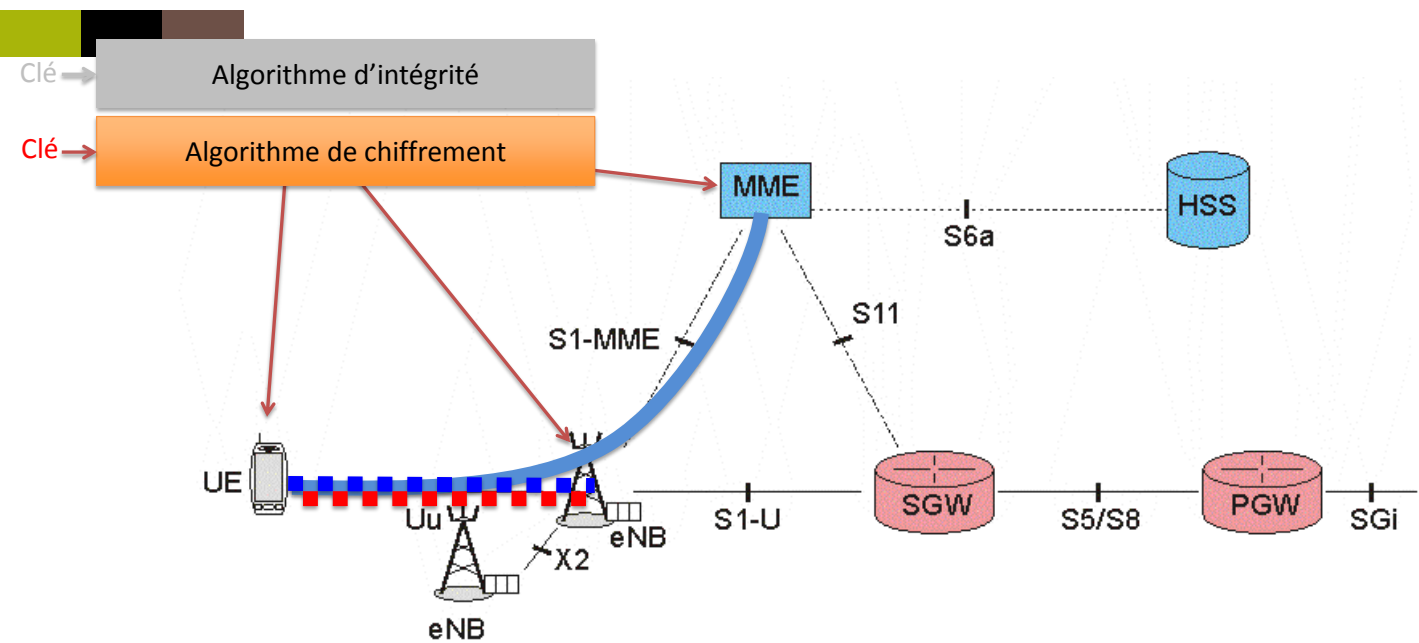


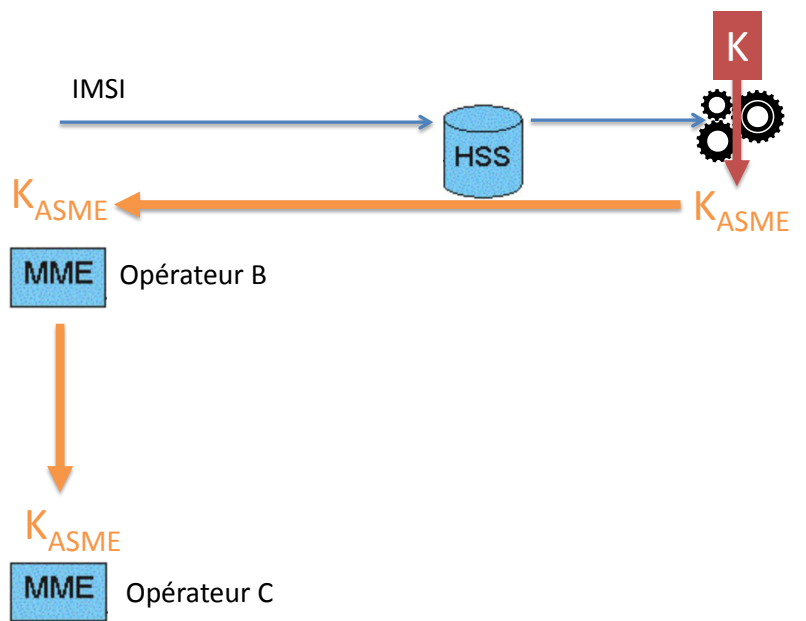
Institut Mines-Télécom

TELECOM
Bretagne

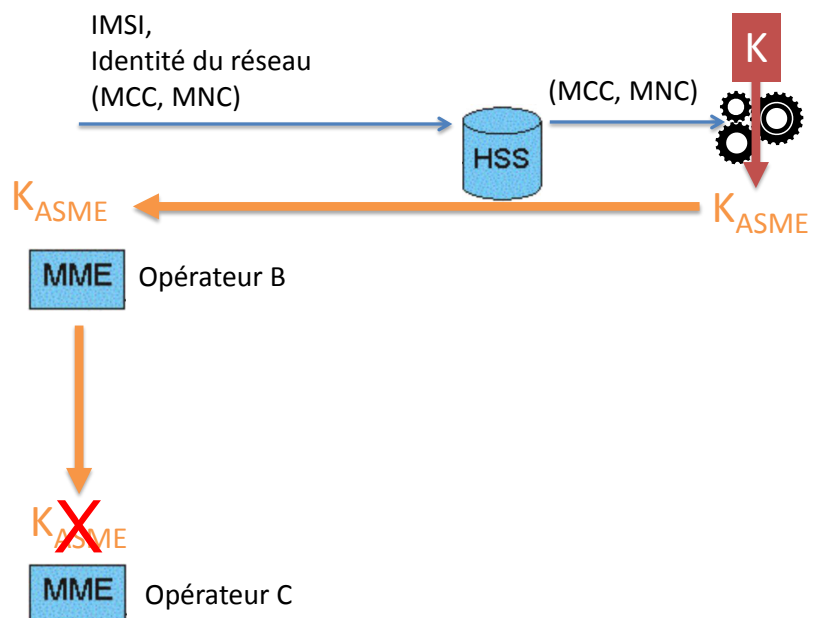
Hiérarchie de clés



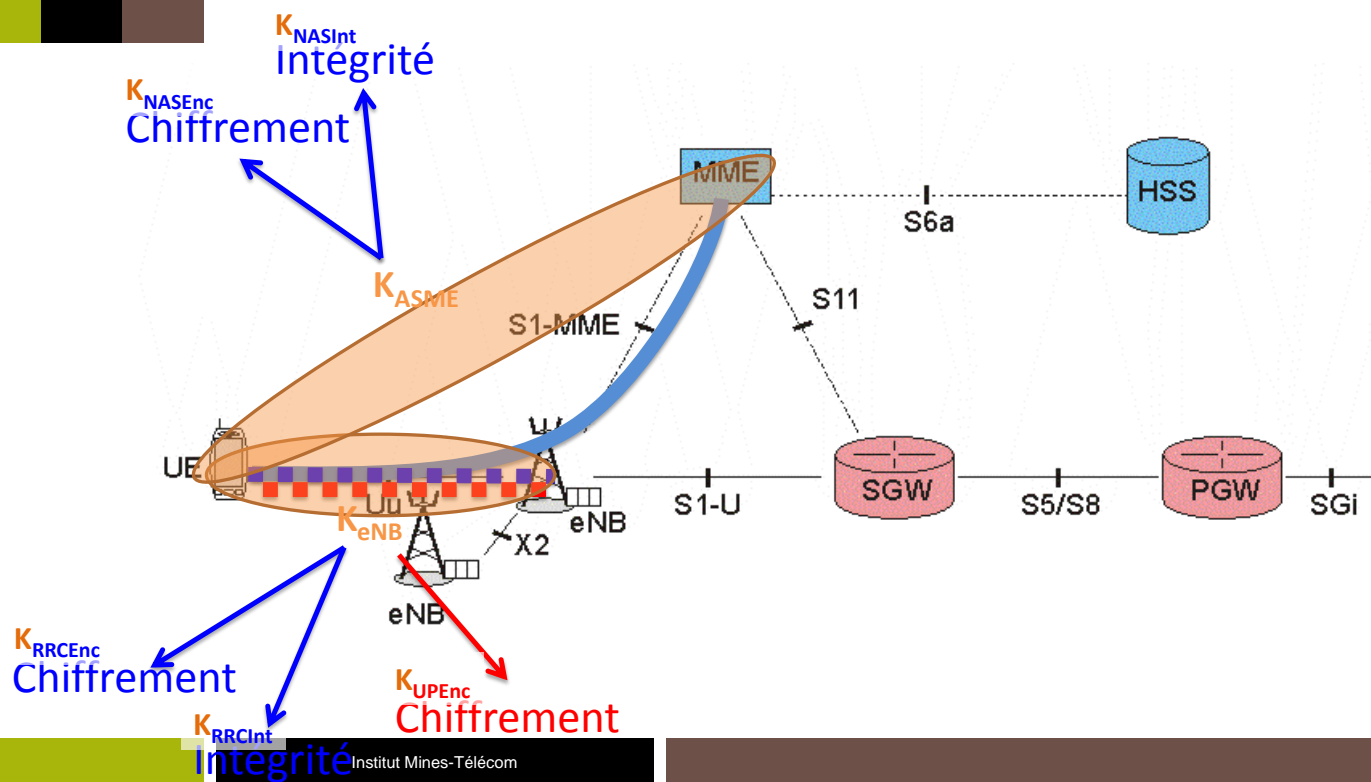
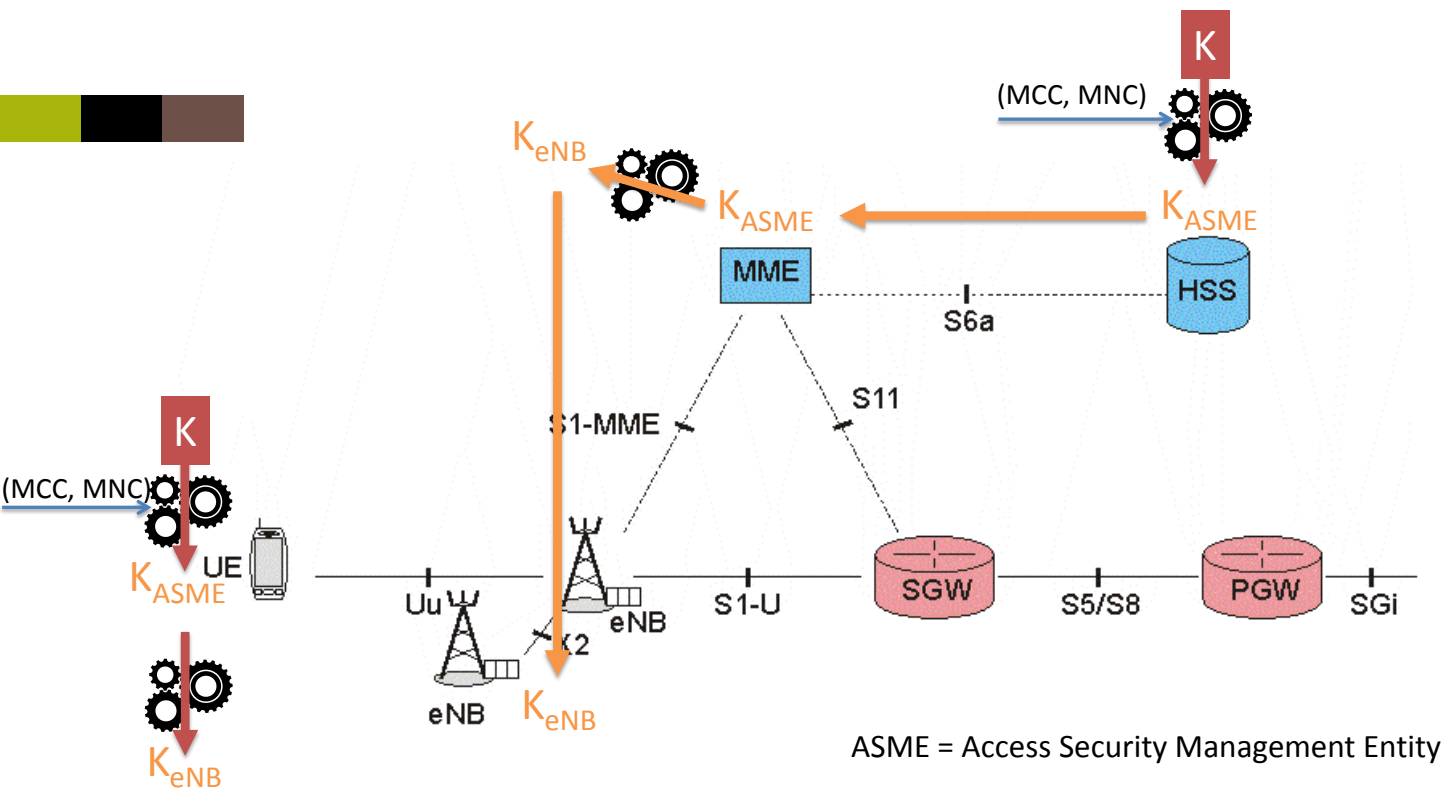


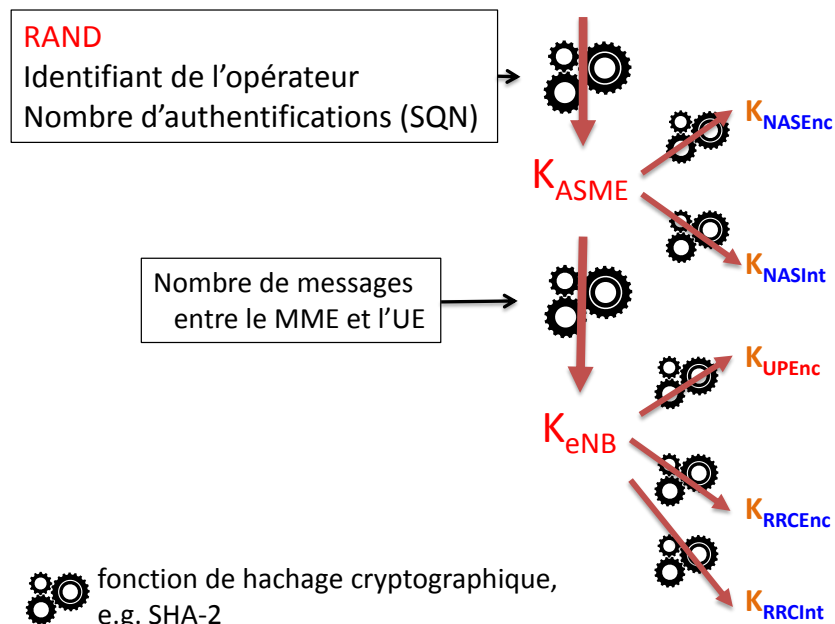


ASME = Access Security Management Entity



ASME = Access Security Management Entity





Institut Mines-Télécom



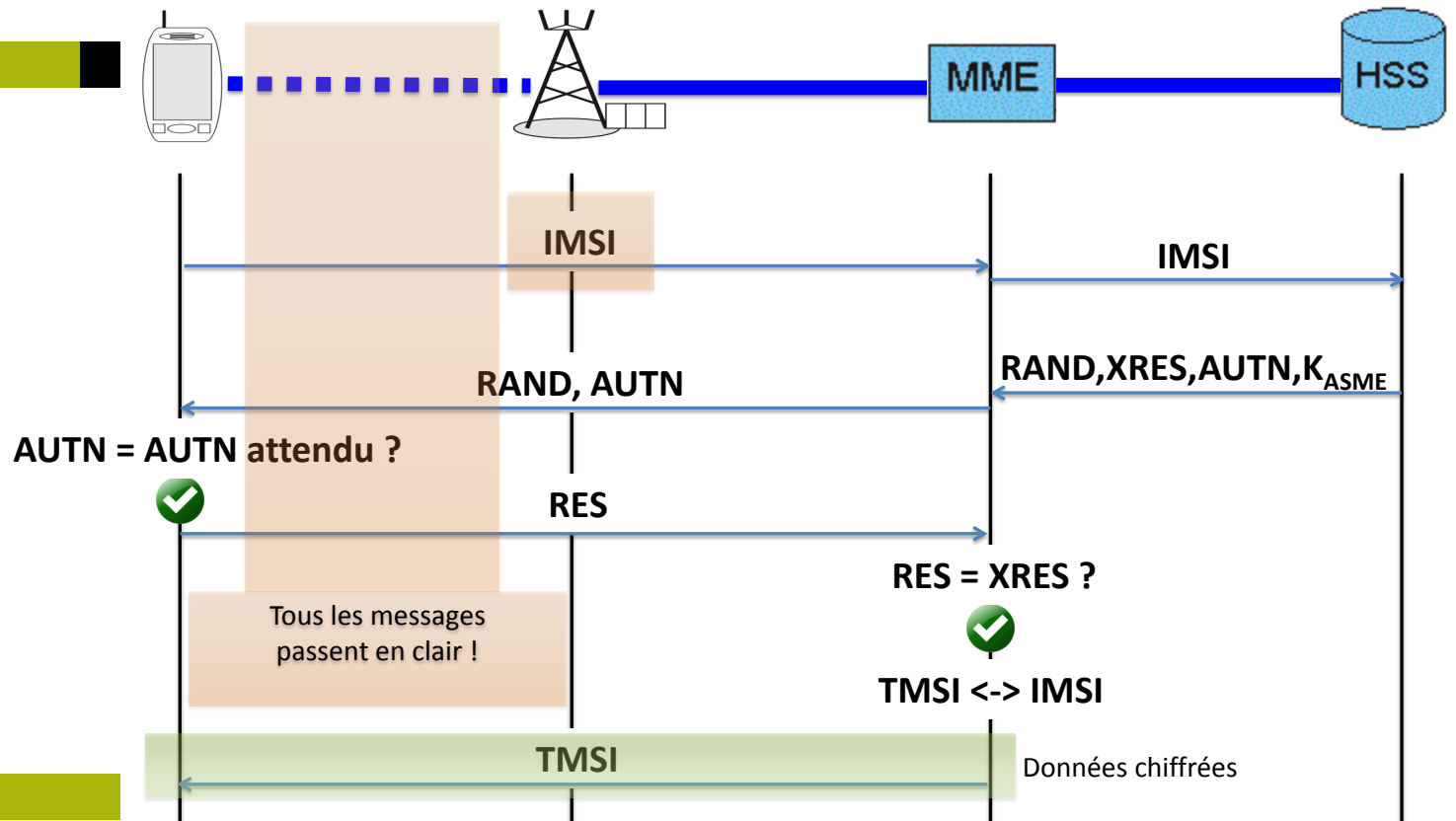
Identité temporaire

Et si quelqu'un pouvait suivre mes déplacements?
L'IMSI m'identifie d'une manière unique dans le monde..

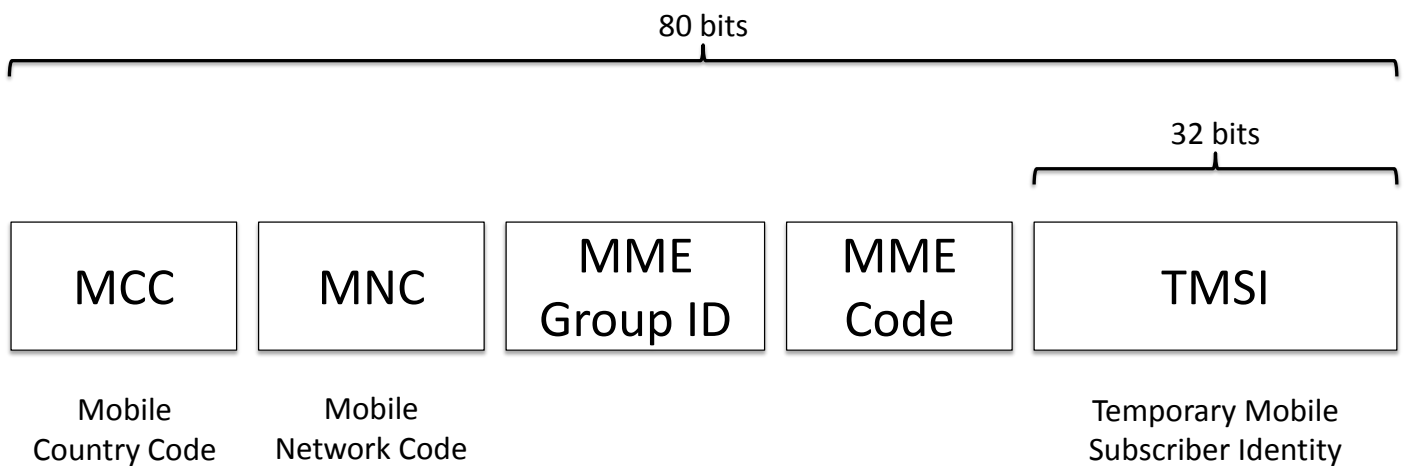
Institut Mines-Télécom

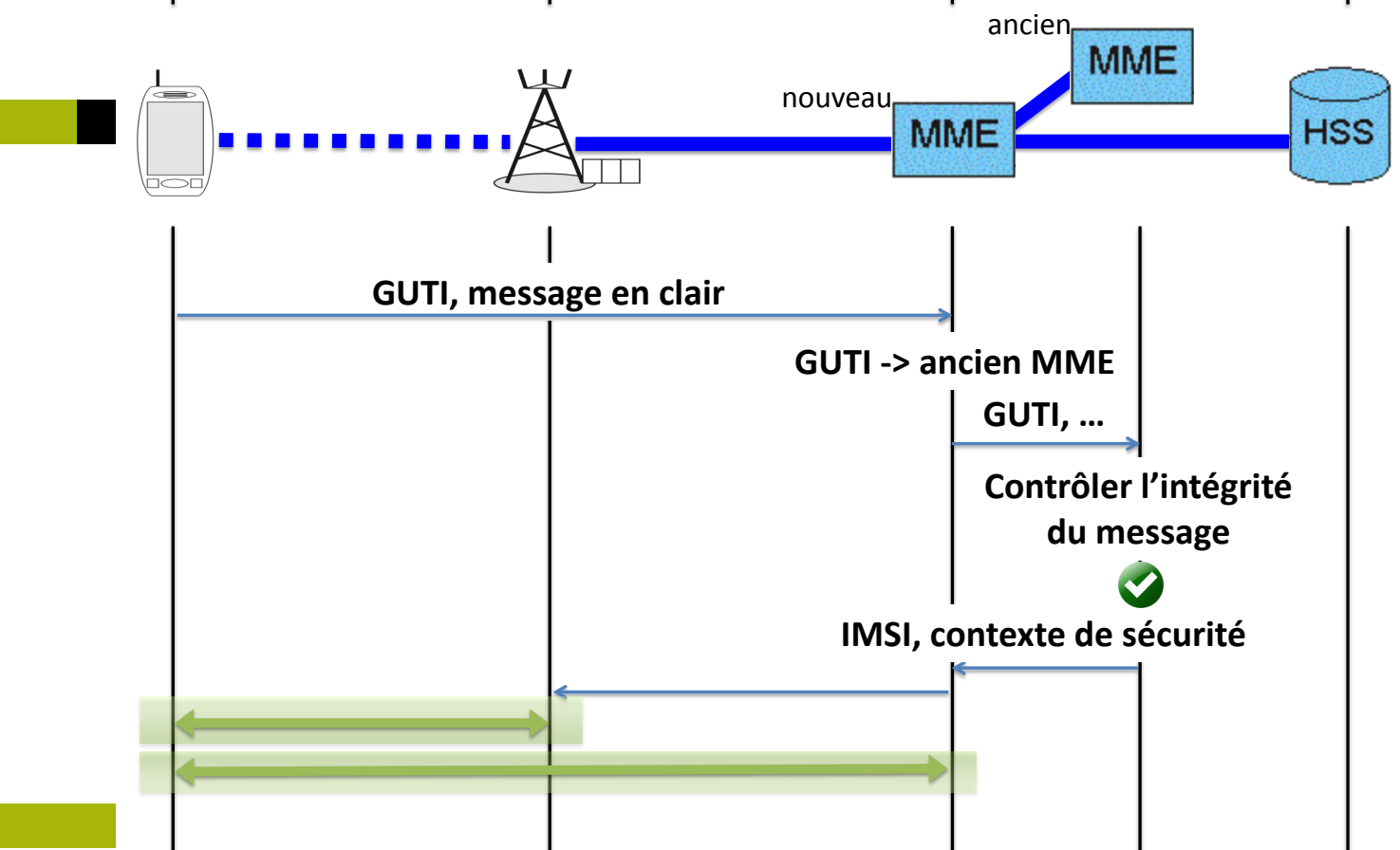
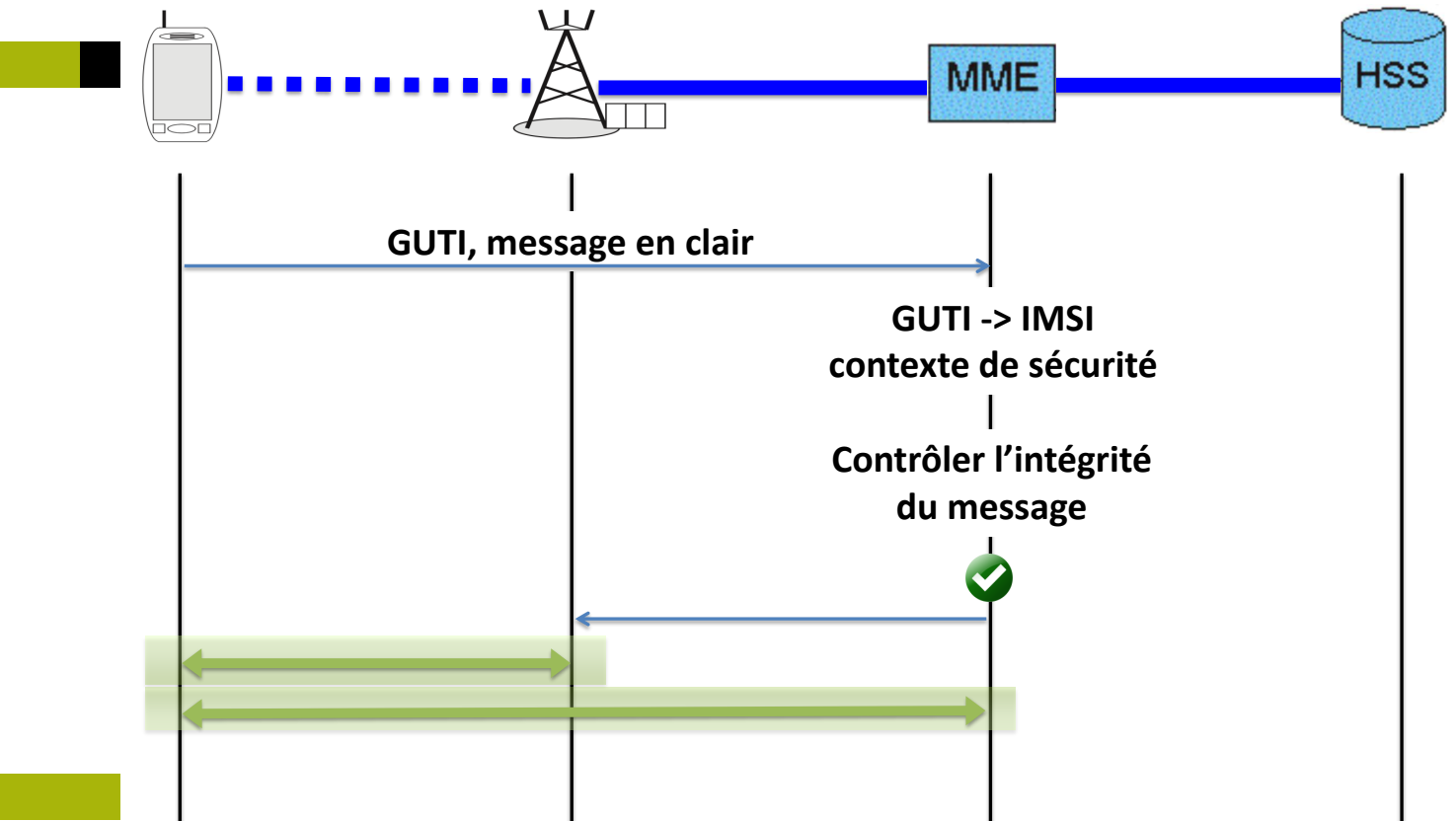
A. Pelov, Sécurité des réseaux 4G

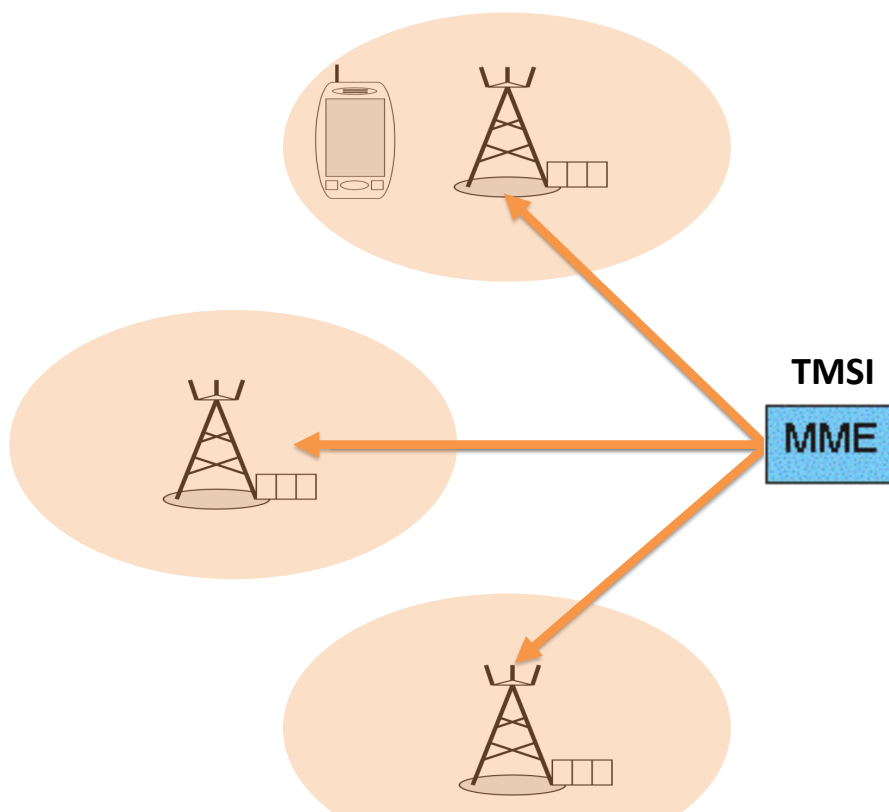




GUTI (Globally Unique Temporary UE Identity)

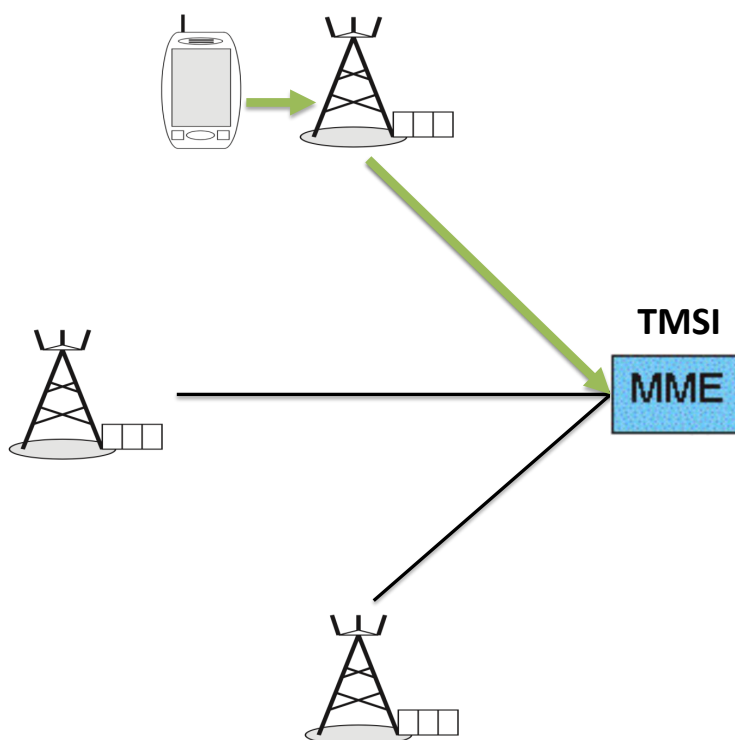






Institut Mines-Télécom

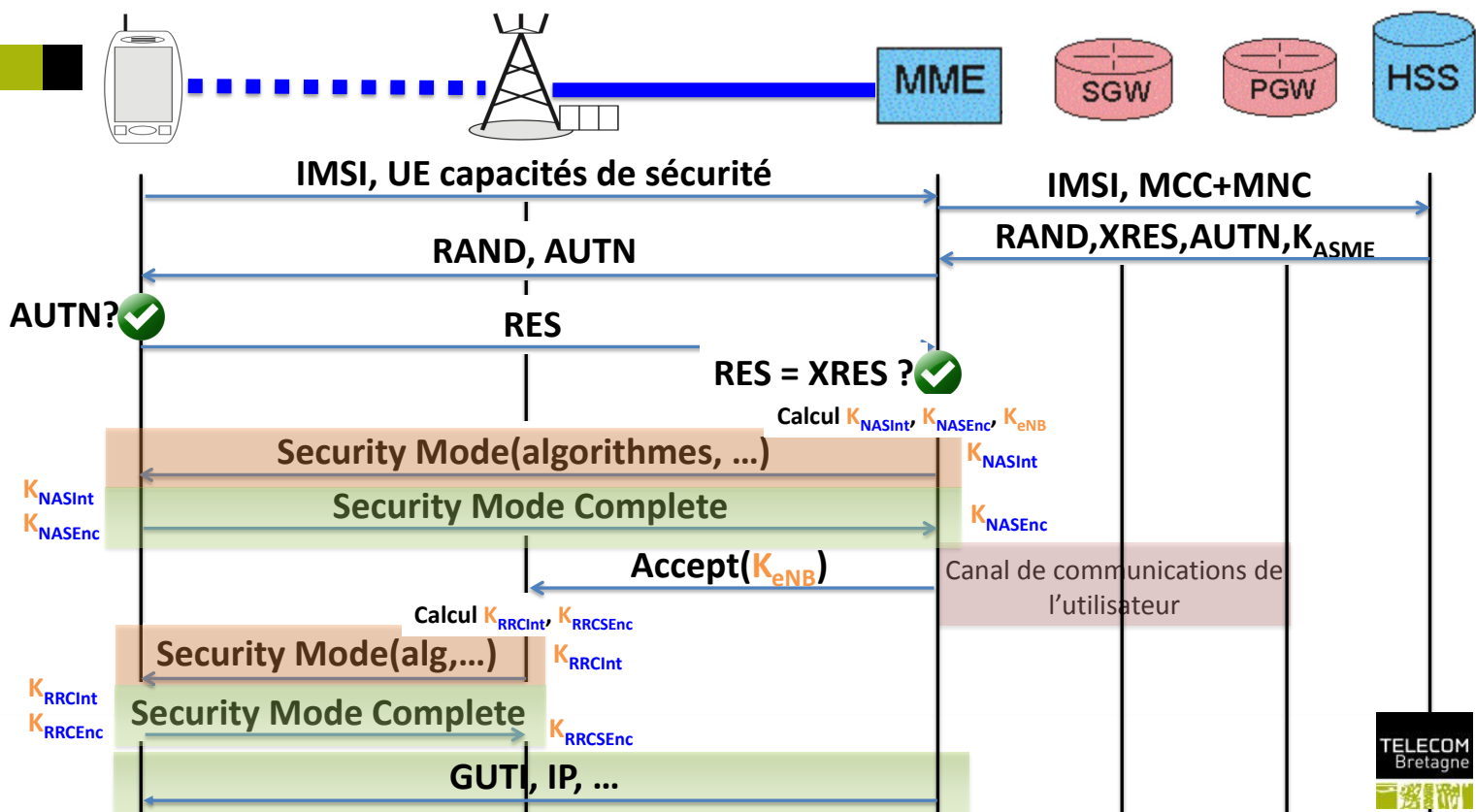
TELECOM
Bretagne

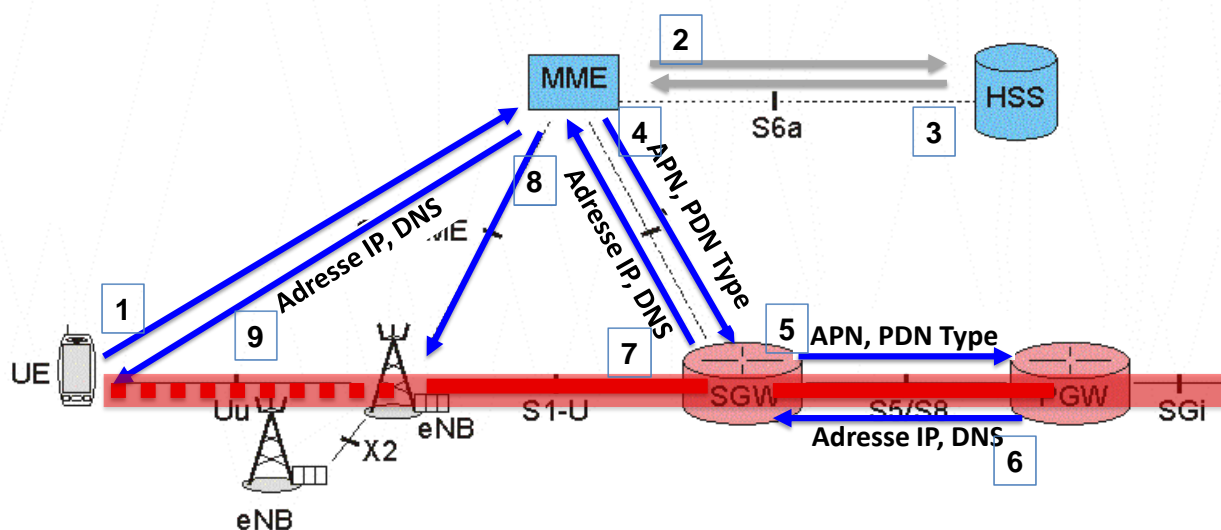
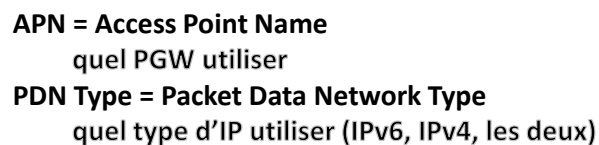


Institut Mines-Télécom

TELECOM
Bretagne

Attribution de l'adresse IP par défaut

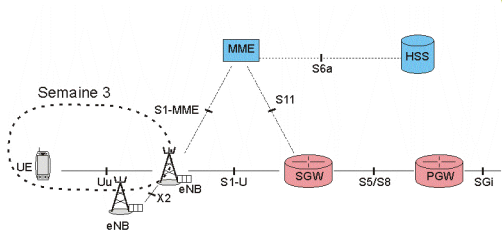






Interface radio, Semaine 3

- Vidéo 1 : Transmission radio
- Vidéo 2 : Notion de bloc de ressources et sous-frame
- Vidéo 3 : Principe de l'allocation paquet
- Vidéo 4 : Fiabilisation des transmissions sur la voie radio
- Vidéo 5 : Protocole RLC
- Vidéo 6 : Accès aléatoire
- Vidéo 7 : PDCP et vision globale



Comment est réalisée la communication en un eNB et les UE qui en dépendent ?



Vidéo 1 : Transmission radio

Comment les informations sont elles physiquement transmises sur l'air?



Notion de modulation



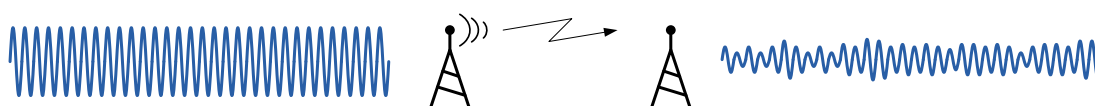
3

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Notion de modulation



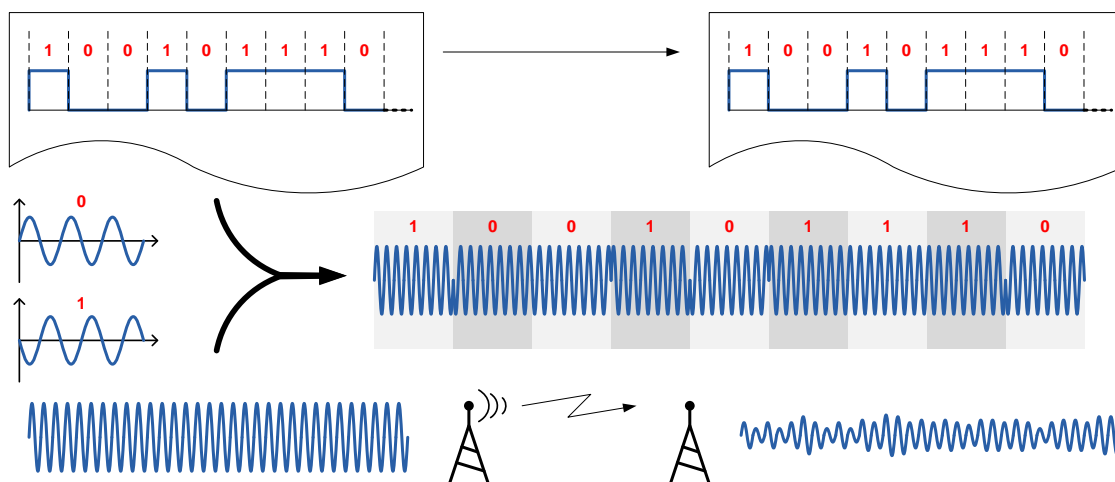
4

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Notion de modulation



5

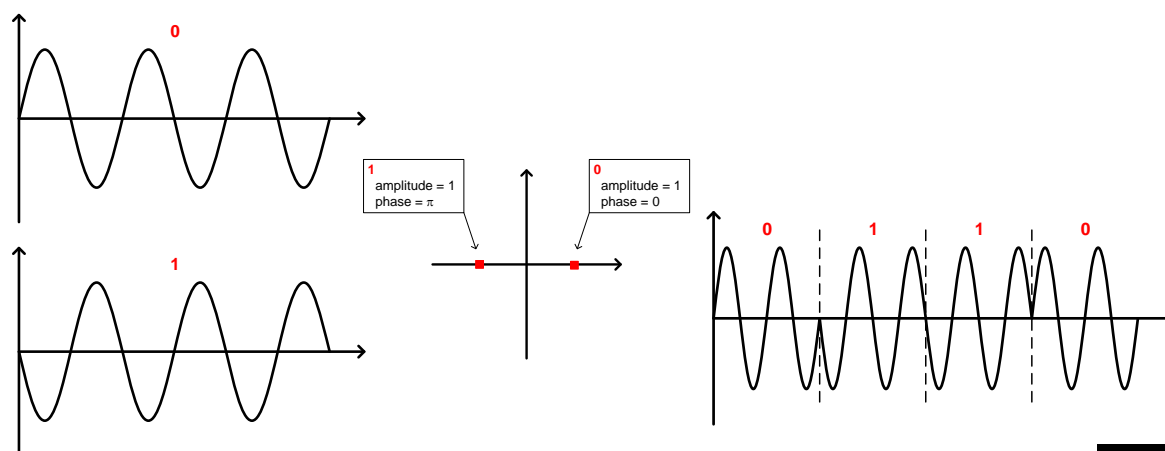
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Quelques techniques de modulation

■ Modulation de phase 2 états (BPSK: Binary Phase Shift Keying)



6

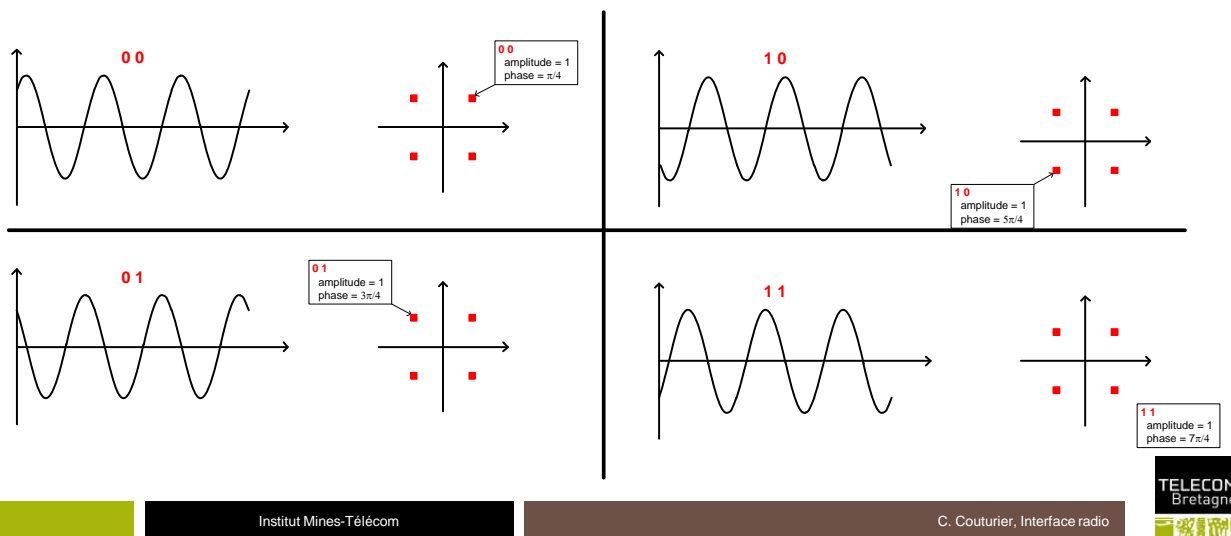
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



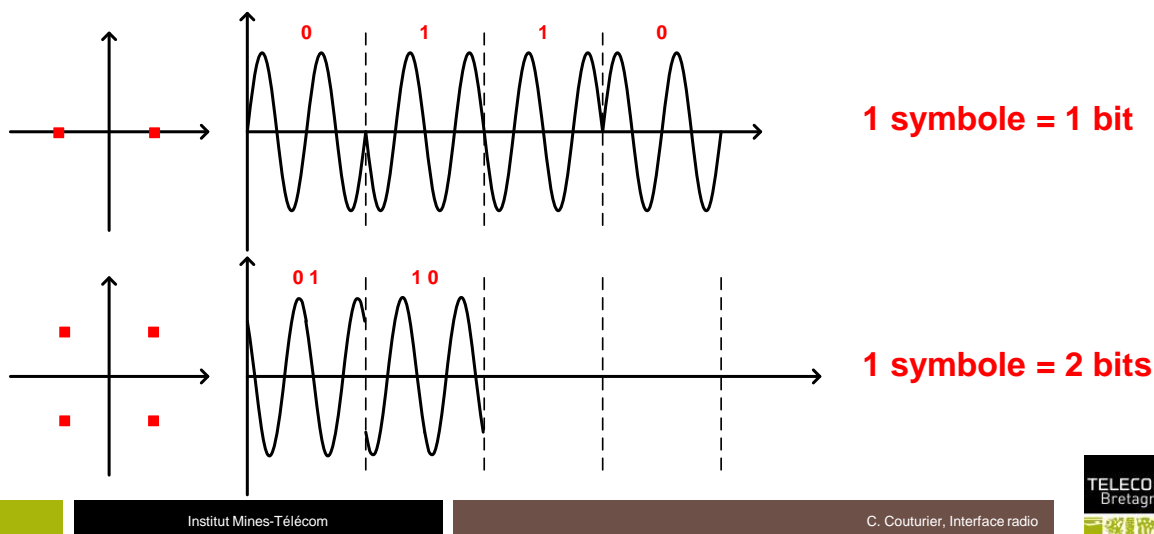
Quelques techniques de modulation

■ Modulation de phase à 4 états (QPSK : Quaternary Phase Shift Keying) :



Quelques techniques de modulation

■ Comparaison BPSK / QPSK :



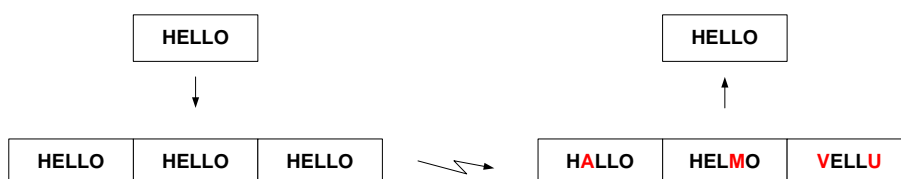
Comment fiabiliser la transmission

■ Des « perturbations » peuvent se produire et engendrer des erreurs

- On mesure la qualité en taux d'erreur bit (BER : Bit Error Rate)

■ Correction d'erreur

- Par codes correcteurs dits **FEC** (Forward Error Correction)
- Ajoutent de la redondance (ie. Répétition) et permettent de **détecter** et de **corriger** certaines de ces erreurs.
- Le **taux de codage** indique le rapport (information utile) / (information transmise)



9

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Compromis Débit / Immunité

■ Un débit élevé nécessite de bonnes conditions de propagation

■ LTE adapte son débit en fonction des conditions de propagation

- En temps réel
- Indépendamment pour **chaque utilisateur**

■ L'association d'une modulation et d'un taux de codage définit le MCS

- MCS: Modulation Coding Scheme
- La norme prévoit 29 MCS utilisables

10

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Transmission multi porteuses

■ Transmission de type OFDM

- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- Assimilable à **plusieurs transmissions en parallèle** sur des porteuses différentes
=> « sous-porteuses » espacées de 15kHz
- Format large bande (1,4 à 20MHz)

■ Avantages

- Simplicité d'implémentation (transformée de Fourier rapide: FFT)
- Indépendance de chaque sous porteuse
- Meilleure résistance aux trajets multiples (symboles plus longs)

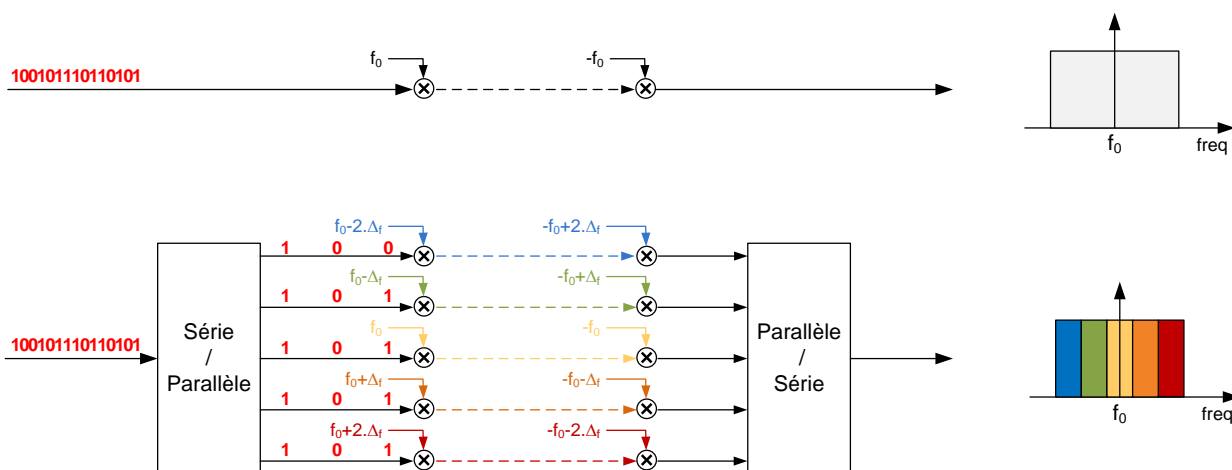
11

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Transmission multi porteuses



12

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Résumé

■ Compromis débit / conditions de propagation

- Mauvaises conditions => modulation robuste mais bas débit
- Bonnes conditions => modulation rapide

■ Modulation adaptative

- Plusieurs modulations
- Taux de codage variable
- Compromis débit / qualité de transmission

■ Modulation à large bande (OFDM)

- Multi-porteuses
- Adapté aux multi-trajets

13

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Vidéo 2 : Notion de bloc de ressources et de sous-trame

Comment LTE organise-t-il la ressource spectrale pour la distribuer efficacement entre les utilisateurs?

14

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

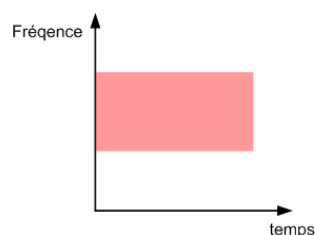


Principe

■ La ressource radio peut être partagée entre

- Plusieurs utilisateurs
- Plusieurs usages (signalisation / données)
- Uplink / Downlink (FDD uniquement dans le MOOC)

■ L'allocation de ces ressources doit être dynamique



15

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Principe

■ La ressource radio peut être partagée entre

- Plusieurs utilisateurs
- Plusieurs usages (signalisation / données)
- Uplink / Downlink (FDD uniquement dans le MOOC)

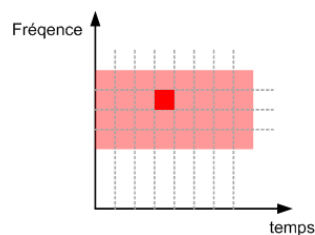
■ L'allocation de ces ressources doit être dynamique

■ Bandes de fréquences LTE

- Différentes fréquences centrales (ex.: 700MHz, 1.8GHz, 2.6GHz...)
- Différentes largeurs (de 1.4 à 20 MHz)

■ LTE découpe la ressource

- En fréquence
- Et dans le temps



16

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Élément de ressource / Bloc de ressource

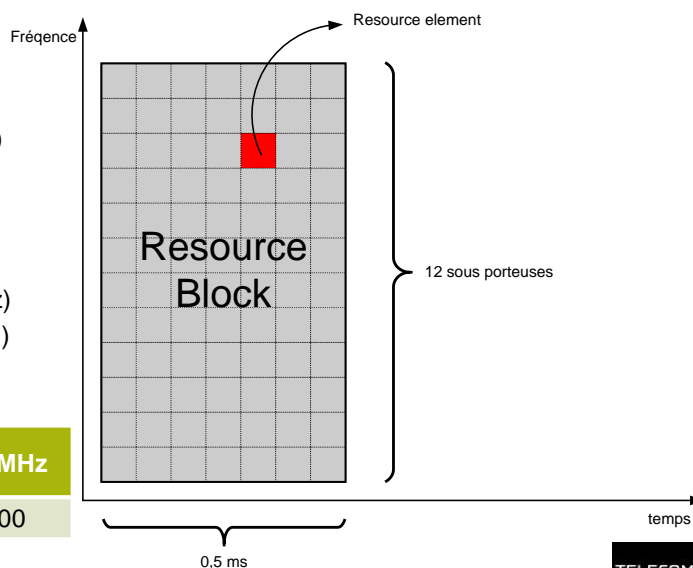
■ Resource Element (RE)

- Ressource élémentaire
- Une sous porteuse (15 kHz)
- **Un symbole**

■ Resource Block (RB)

- 12 sous porteuses (180 kHz)
- 0,5ms, soit 7 symboles (typ.)

Bande disponible	1.4 MHz	5 MHz	10 MHz	20 MHz
Nb RB	6	25	50	100



17

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Élément de ressource / Bloc de ressource / Sous trame

■ Resource Element (RE)

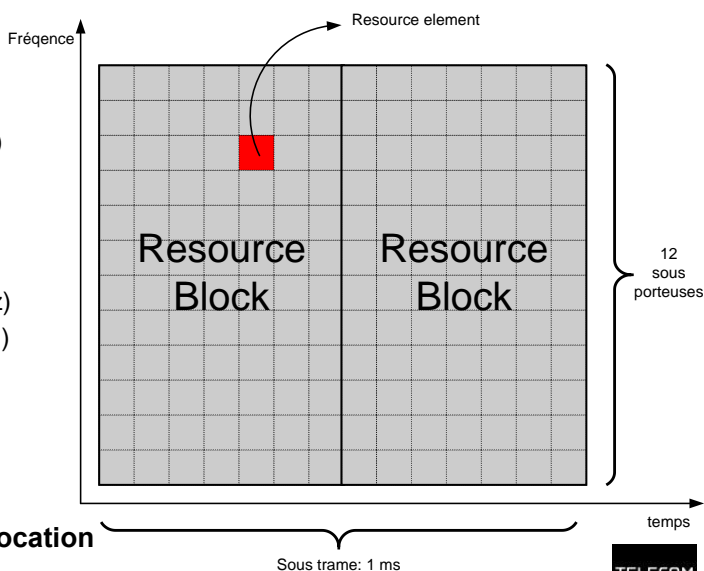
- Ressource élémentaire
- Une sous porteuse (15 kHz)
- **Un symbole**

■ Resource Block (RB)

- 12 sous porteuses (180 kHz)
- 0,5ms, soit 7 symboles (typ.)

■ Sous trame

- Une paire de RB
- Durée = 1ms
- **Unité de base pour l'allocation**



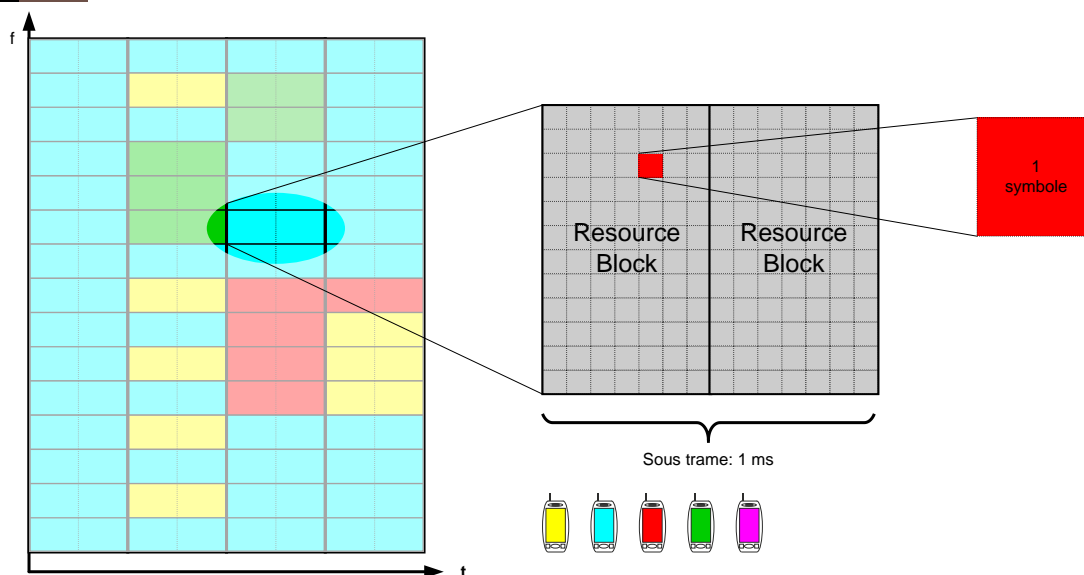
18

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Élément de ressource / Bloc de ressource / Sous trame



19

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

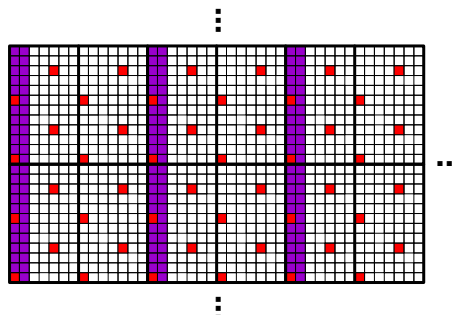


Éléments de ressources réservés

■ Certains RE sont réservés

- synchronisation,
- symboles de références (estimation du canal)
- fonctions de contrôle (allocations, acquittements...)

■ Un ensemble de ressources réservées forme un « canal physique »



20

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Bloc de transport

■ Bloc de transport

- Bloc de données à transmettre en une **sous trame**
- Sur **1 ou plusieurs blocs de ressources**

■ L'eNB évalue l'offre et la demande

- À chaque sous trame (1 ms)
- Alloue un volume de donnée pour chaque terminal

■ La taille des blocs est variable

- Conditions de propagation (modulation, codage)
- Offre et demande des autres utilisateurs (nombre de RB alloués)
- cf. tableau page suivante

21

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Bloc de transport

■ Taille des blocs de transport (en bits)

- Taille <-> débit
- Débit Max: 75 Mb/s
- Débit min: 16 kb/s
- 2 à 9422 octets
- Tailles identiques pour différents MCS

Index de MCS	Nombre de paires de blocs de ressources											
	1	2	3	4	5	6	...	25	...	50	...	100
0	16	32	56	88	120	152	..	680	...	1384	...	2792
1	24	56	88	144	176	208		904		1800		3624
2	32	72	144	176	208	256		1096		2216		4584
3	40	104	176	208	256	328		1416		2856		5736
4	56	120	208	256	328	408		1800		3624		7224
5	72	144	224	328	424	504		2216		4392		8760
6	328	176	256	392	504	600		2600		5160		10296
7	104	224	328	472	584	712		3112		6200		12216
8	120	256	392	536	680	808		3496		6968		14112
9,10	136	296	456	616	776	936		4008		7992		15840
...												
16,17	280	600	904	1224	1544	1800		7736		15264		30576
...												
23	488	1000	1480	1992	2472	2984		12576		25456		51024
24	520	1064	1608	2152	2664	3240		13536		27376		55056
25	552	1128	1736	2280	2856	3496		14112		28336		57336
26	584	1192	1800	2408	2984	3624		15264		30576		61664
27	616	1256	1864	2536	3112	3752		15840		31704		63776
28	712	1480	2216	2984	3752	4392		18336		36696		75376

Source : 3GPP Technical Specification 36.213 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)", www.3gpp.org

22

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Chaîne de transmission (simplifiée)

■ Bloc de transport

- De 16 à 75376 bits / sous trame (2 à 9422 octets)

■ Ajout de CRC

- Détection d'erreur

■ Codage

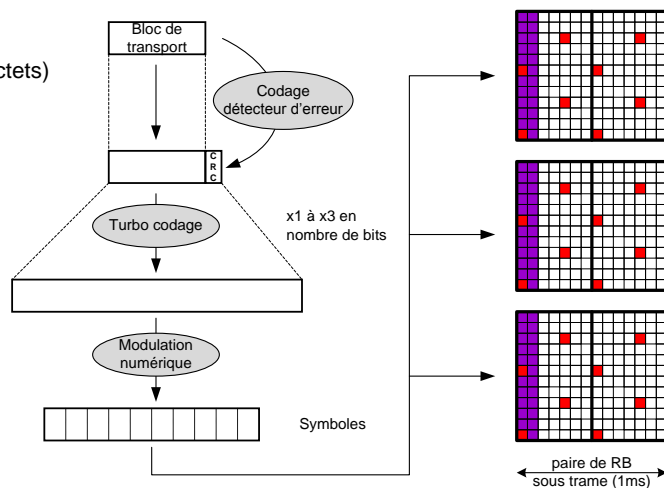
- Correction d'erreur

■ Modulation

- Symboles

■ Transmission sur une sous trame (1ms)

- Sur une ou plusieurs paires de RB



23

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Résumé

■ Partage de la ressource

- Dans le **temps** et en **fréquence**
- RE: 1 symbole
- RB: $7 \times 12 = 84$ RE
- Sous trame: paire de RB => dure 1ms

■ Allocation

- À chaque **sous trame (1ms)**
- **Blocs de transport** de taille variable
- Principes similaires en uplink et downlink
- Détaillé dans une autre leçon

24

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Vidéo 3 : Principe de l'allocation paquet

Comment attribue-t-on dynamiquement les ressources en fonction des besoins des UE?

25

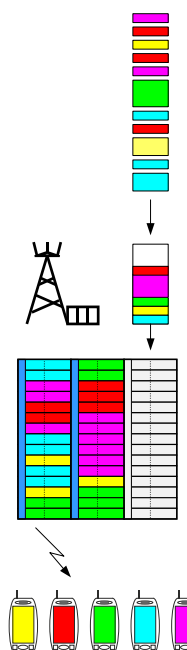
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Principes généraux de l'allocation

- **Ressources allouées s'il y a un besoin**
 - Assuré **sur l'eNB** par l'**ordonnanceur** (scheduler)
 - Arbitrage si demande > capacité
 - Algorithmes non spécifiés par la norme
- **Voie descendante (DL: downlink)**
 - Allocation dès que besoin de transmission
- **Voie montante (UL: uplink)**
 - Demande du mobile sur un canal dédié
 - Allocation d'une ressource
 - Transmission
- **L'eNB publie des tables d'allocation pour le DL et le UL**



26

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Adressage des mobiles sur la voie radio / RNTI

Besoin d'adressage

- Identification des terminaux destinataires
- Adresse courte car fréquemment utilisée

RNTI: Radio Network Temporary Identifier

- Permet d'identifier chaque mobile au sein d'une cellule donnée
- Alloué par l'eNB dès qu'un nouveau terminal arrive
- Unicité limitée à la cellule

Taille de 16 bits

- Codage entre 0x3D et 0xFFF3 (61 à 65523)
- Valeurs réservées pour broadcast, paging, accès aléatoire...

27

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Allocation sur voie DL

Allocation des ressources par l'eNB

- Pas forcément adjacentes

Identification courte des UE

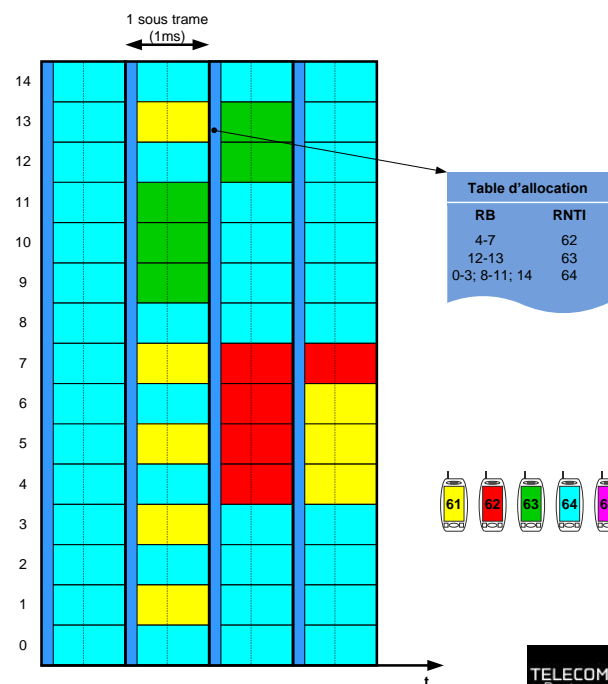
- RNTI: Radio Network Temporary Identifier
- Le RNTI ne fait pas partie du bloc de transport

Transmission de la table d'allocation

- Indique le destinataire de chaque RB de la sous trame
- Transmis au début de la sous trame (1 à 3 RE)
- DCI : Downlink Control Information
- Compromis: volume de signalisation / flexibilité

Décodage par les UE

- L'UE ne décode que ce qui le concerne
- => économie d'énergie (veille)



28

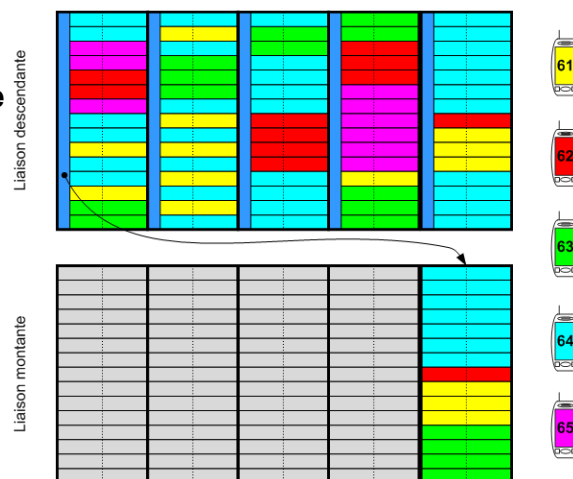
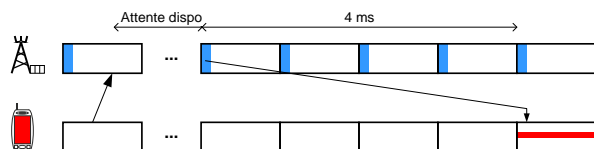
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Allocation en voie montante

- Principe identique mais...
- L'UE doit d'abord faire une demande
 - Problème de l'œuf et de la poule
- L'eNB alloue une ressource
 - Publication via la table d'allocation
- Temps de réaction du terminal
 - Allocation 4 sous-trames à l'avance (4ms)
- Allocation de RB contigus
 - Car FC-TDMA en UL (simplicité du terminal)



29

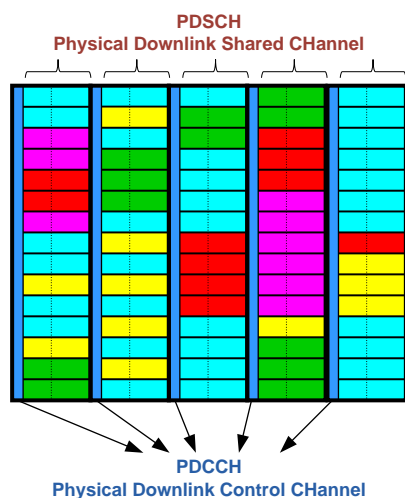
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

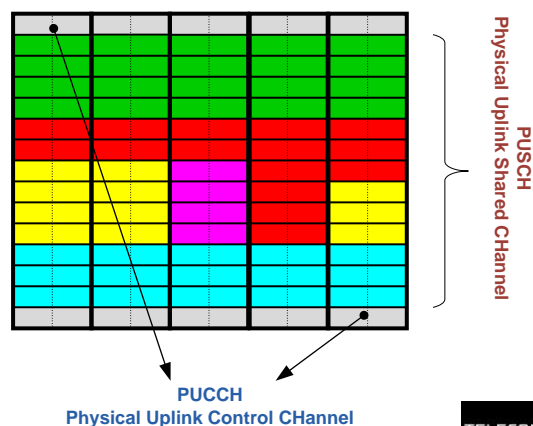


Canal de données / canal de contrôle

Liaison descendante



Liaison montante



30

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Résumé

■ L'allocation

- Est **réalisée par l'eNB** (en **UL comme en DL**)
- Quand un besoin de transmission se présente
- Des « canaux contrôle » sont réservés pour les échanges liés à l'allocation: par ex.: tables d'allocation (DL et UL), demandes d'émission...

■ En voie montante

- Le terminal doit d'abord faire une demande sur le canal de contrôle
- Et se voir allouer une ressource qui sera active 4 sous trames plus tard

31

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Vidéo 4 : Fiabilisation des transmissions sur la voie radio

Comment augmenter le niveau de fiabilité de la transmission ?

32

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Principes de base: Automatic Repeat reQuest (ARQ)

■ Détection des erreurs à la réception

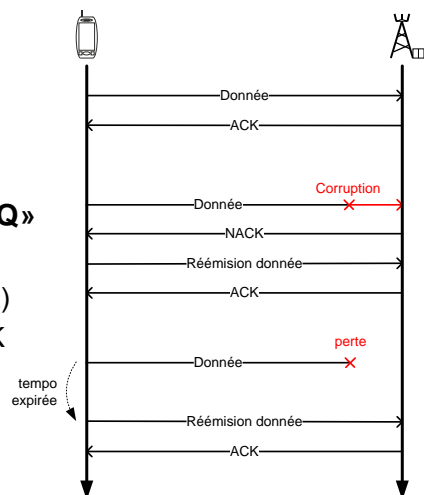
- Couche MAC (Media Access Control)
- Codes détecteurs d'erreur (CRC: Cyclic Redundancy Check)

■ Acquittement de type « Send and Wait ARQ »

- ARQ: Automatic Repeat reQuest
- Si donnée OK: retour d'un acquittement (ACK)
- Si donnée corrompue: émission d'un NonACK
- Si donnée perdue: pas d'ACK (info implicite)

■ Si problème de transmission

- Réémission
- Si trop de réémissions
=> abandon (aux couches supérieures)



33

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



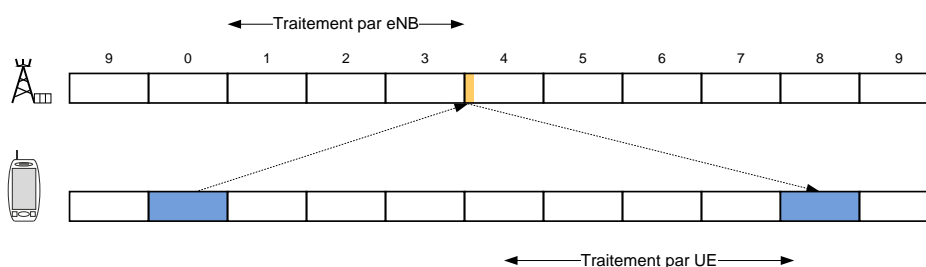
Acquittements parallèles

■ Temps de traitement: 8 sous trames pour un cycle

- Donnée – ACK – Nouvelle donnée
- Donnée – NACK – Répétition

■ Délai fixe de 8ms (en FDD)

- 4 ms pour récepteur + 4 ms pour émetteur



34

Institut Mines-Télécom

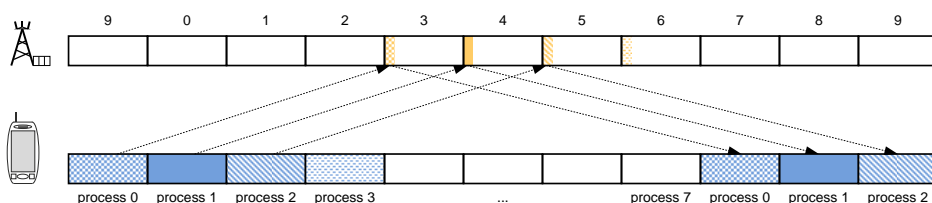
C. Couturier, Interface radio



Acquittements parallèles

■ Optimisation: « Send And Wait » parallélisé

- 8 cycles en parallèle
- Pour chaque couple eNB-UE



35

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



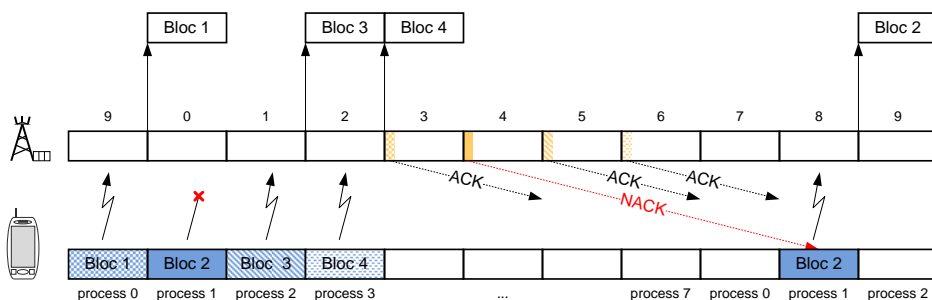
Acquittements parallèles

■ Dé-séquencement

- Les pertes sont indépendantes sur chaque processus //

■ Numérotation des blocs de transport

- Assuré par le protocole de niveau supérieur: RLC



36

Institut Mines-Télécom

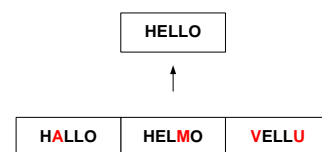
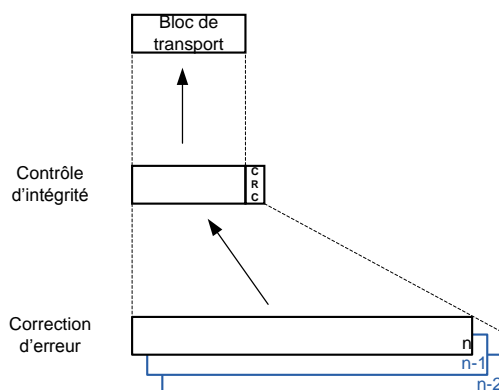
C. Couturier, Interface radio



HARQ: Hybrid ARQ

■ Retransmission = Redondance

- Redondance augmente les performances de la correction d'erreur



37

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



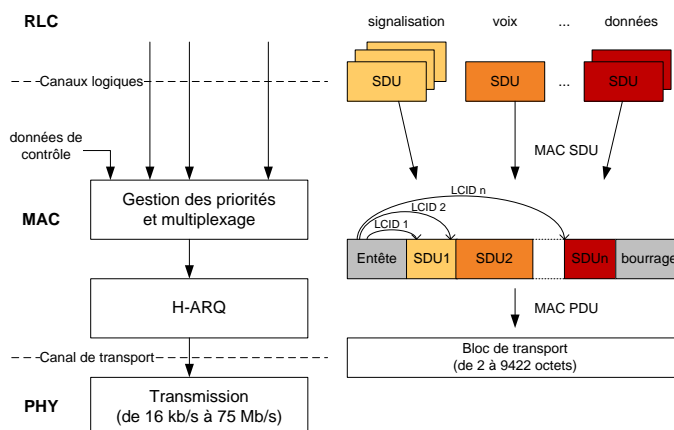
Multiplexage

■ MAC-SDU (Service Data Unit)

- Données à transmettre
- Provenant de la couche supérieure
- Plusieurs sources = « canaux logiques » (niveaux de QoS différents)

■ MAC-PDU (Protocol Data Unit)

- Sortie de la couche MAC
- => Transport Bloc



38

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Résumé

Fonctions de la couche MAC:

■ Allocation des ressources

- cf. vidéo précédente

■ Fiabilisation des transmissions par HARQ

- Retransmission des blocs de transport erronés
- Plusieurs processus en //

■ Multiplexage

- Gestion des priorités entre les canaux logiques
- Regroupement des données pour former les blocs de transport

39

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Vidéo 5 : Protocole RLC

Comment proposer aux couches supérieures différents compromis de QoS en fonction de leurs besoins ?

40

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Notion de Qualité de Service (QoS)

■ Limites de la couche MAC

- Arrêt des retransmissions au bout d'un certain temps
- Dé-séquencement des messages
- Pas de segmentation

■ Qualité de service

- Les applications ont des besoins variables
- La QoS propose différents compromis en termes de latence, fiabilité et remise en séquence

■ Couche RLC (Radio Link Control) propose des services optionnels

- Fiabilisation par un nouvel étage de re-transmission
- Remise en séquence
- Segmentation

41

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



RLC (Radio Link Control) – Modes de fonctionnement

■ Mode Transparent (TM: Transparent Mode)

- Aucune intervention (à part bufferisation)
- Pas de segmentation => messages courts
- Transport de messages courts de signalisation (RRC)

■ Mode non acquitté (UM: Unacknowledged Mode)

- Re-séquencement des blocs reçus
- Segmentation et concaténation suivant besoins de la couche MAC
- Latence faible mais peu fiable -> VoIP, vidéo temps réel...

■ Mode acquitté (AM: Acknowledged Mode)

- Comme UM plus:
- Ré-émission des paquets perdus avec redécoupage si nécessaire
- Fiabilité -> Web, emails, transfert de fichiers...

■ Plusieurs instances peuvent fonctionner en //

42

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



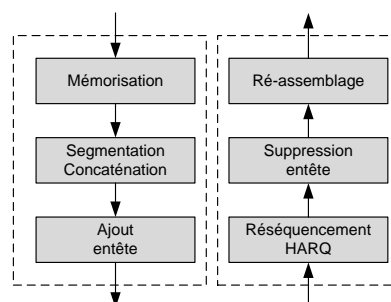
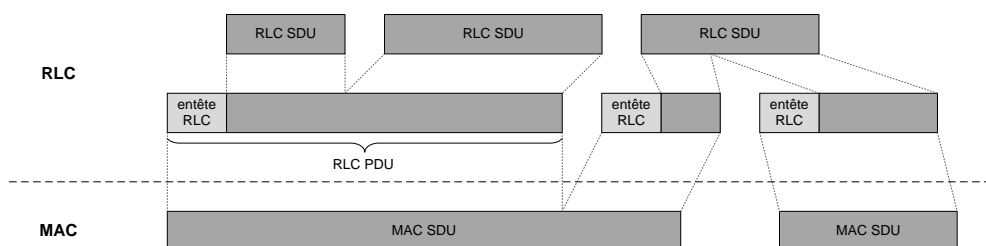
Mode non acquitté (UM)

■ Segmentation / concaténation

- Ajustement à la taille du MAC-SDU

■ Entête

- Identification de la frontière des messages
- N° de séquence (pour re-séquencement)



43

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Mode acquitté (AM)

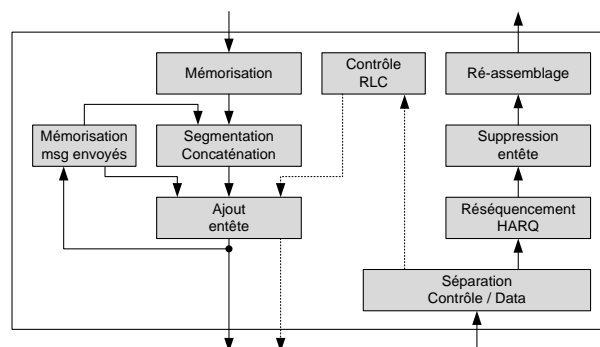
Même fonctions que UM plus:

■ Réémission des données perdues

- Mémorisation des messages émis

■ Protocole

- L'émetteur demande le statut au destinataire (bit « pooling »)
- Réponse par message RLC (liste des PDU reçus/attendus)
- Libération de la mémoire (message reçus) ou réémission des messages perdus



44

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Résumé

■ La couche RLC se situe au dessus de la couche MAC

■ Elle assure

- La remise en séquence des blocs retardés par HARQ
- La concaténation et la segmentation des paquets pour les adapter à la taille demandée par la couche MAC
- La répétition des blocs perdus

■ La QoS est un compromis

- Reséquencement et répétition engendrent des retards
- 3 niveaux sont paramétrables:
Transparent, sans acquittement, avec acquittement

45

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Vidéo 6 : Accès aléatoire

Comment les UE s'enregistrent-ils auprès des eNB ?

46

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Méthodes d'accès

■ Contention

- Pas d'allocation à priori
- Mais capacité de détecter les erreurs
- Réémission en cas d'erreur

■ Réserveation

- Découpage en ressources élémentaires
- Allocation statique ou dynamique

■ Problèmes en LTE

- Nouveaux arrivants
- Solution => introduire une dose de contention

47

Institut Mines-Télécom

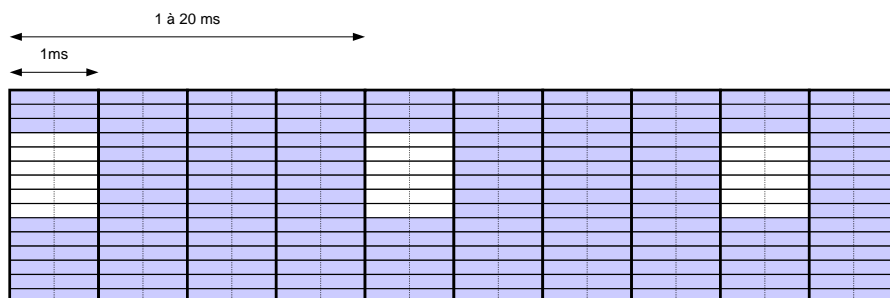
C. Couturier, Interface radio



Canal d'accès en contention

■ PRACH (Physical Random Access Channel)

- Canal d'accès en contention
- 6 RB en fréquence, 1 ms (typ.) de large
- Période configurable: toutes les 1 à 20 ms
- Accès en CDMA, 64 séquences différentes



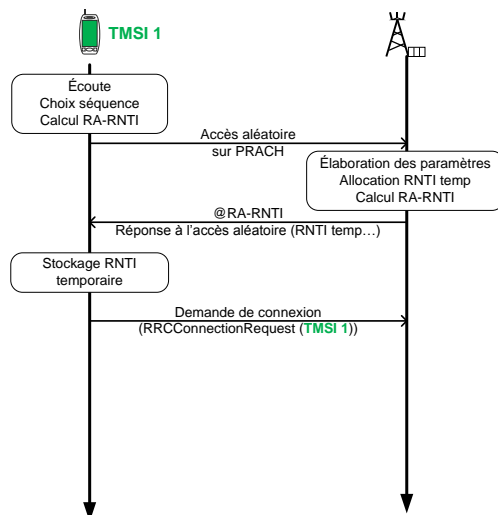
48

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Arrivée d'un nouvel UE / RNTI (1ère partie)



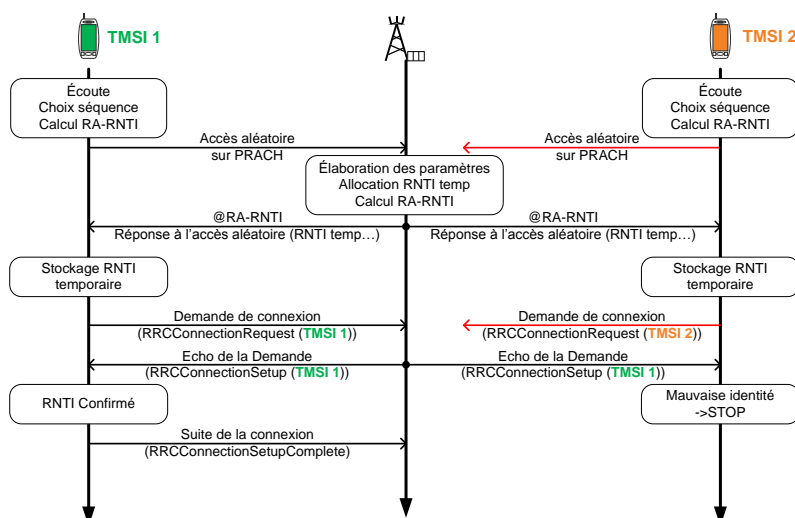
49

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Arrivée d'un nouvel UE - Compétition sur l'accès aléatoire



50

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Résumé

■ LTE est un protocole à réservation

- L'allocation est gérée dynamiquement par l'eNB
- Sur la voie montante, les terminaux doivent d'abord formuler une demande

■ Canal à accès aléatoire en UL (PRACH)

- Pour l'annonce des nouveaux terminaux
- Accès en contention géré en CDMA
- Gestion des collisions par échange protocolaire

51

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Vidéo 7 : PDCP et vision globale

Comment s'interface-t-on avec le reste du système LTE ?

Comment résumer cette semaine ?

52

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Fonctionnalités PDCP

■ PDCP: Packet Data Convergence Protocol

- Une instance de PDCP pour chaque instance de RLC (sauf TM)

■ Compression d'entêtes

- ROHC: RObust Header Compression (protocole de l'IETF)
- Point à point => entêtes varient peu => compression possible
- résistance aux pertes de paquets (donc adapté à radio, surtout en RLC UM)

■ Prévention des pertes dues aux Handovers

- Communication entre l'ancien et le nouvel eNB
- Synchronisation des paquets reçus, en attente d'ack, dé-séquencés...
- Perte / duplication de paquets (plan de données uniquement)
- Remise en séquence

■ Sécurisation

- Chiffrement
- Détection d'erreur

53

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Fonctionnalités PDCP

	Plan de contrôle (RRC)		Plan de données (IP)	
	UM	AM	UM	AM
Compression entête (ROHC)	NON (pas IP)	NON (pas IP)	OUI	OUI
Prévention pertes (Handover)	NON	OUI	NON	OUI
Chiffrement	OUI (optionnel)	OUI (optionnel)	OUI (optionnel)	OUI (optionnel)
Détection d'erreur	OUI	OUI	NON	NON

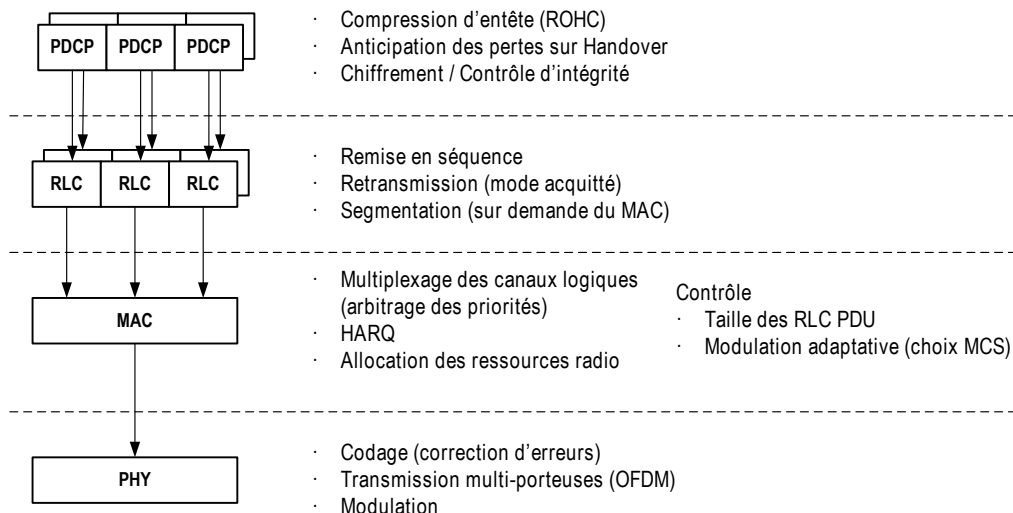
54

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Récapitulatif



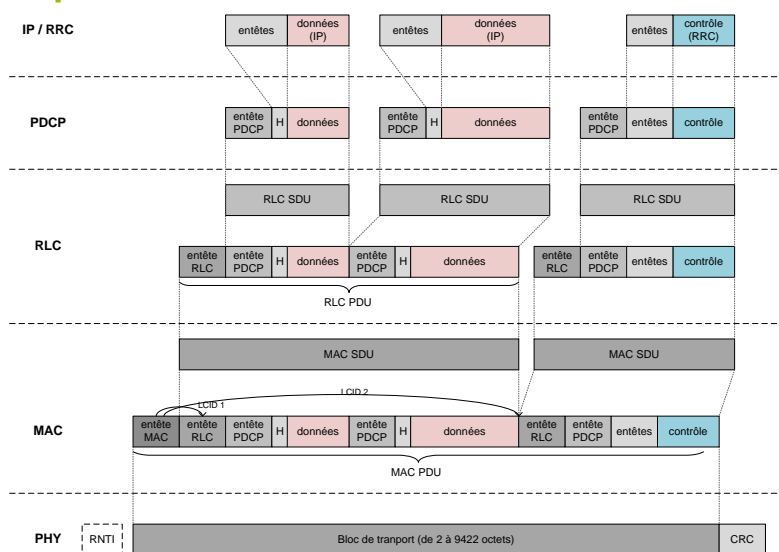
55

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Récapitulatif



56

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio





Index des sigles

ARQ	: Automatic Repeat reQuest	PDU	: Protocol Data Unit
BPSK	: Binary Phase Shift Keying	QoS	: Quality of Service
CRC	: Cyclic Redundancy Check	QPSK	: Quaternary Phase Shift Keying
HARQ	: Hybrid ARQ	RB	: Resource Block
IETF	: Internet Engineering Task Force	RE	: Resource Element
MAC	: Media Access Control	RLC	: Radio Link Control
MCS	: Modulation Coding Scheme	RNTI	: Radio Network Temporary Identifier
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing	ROHC	: RObust Header Compression
PDCP	: Packet Data Convergence Protocol	SDU	: Service Data Unit



Semaine 4, gestion des flux de données

Vidéo 1 : Principe de l'encapsulation et de l'établissement de tunnel

Vidéo 2 : Présentation du protocole GTP

Vidéo 3 : Identification et gestion des tunnels (TEID)

Vidéo 4 : Transmission des paquets dans un tunnel

Vidéo 5 : Connexion S1-AP et dialogue entre UE et MME

Vidéo 6 : Etablissement d'une connexion S1-AP

Vidéo 7 : Concept de strate de non accès (NAS) et vue globale des empilements protocolaires

1

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 1 : Acheminement des données, principe de l'encapsulation IP dans IP (GTP)

Comment les paquets de données peuvent être transmis vers mon terminal alors que je peux être en n'importe quel endroit du réseau ?

2

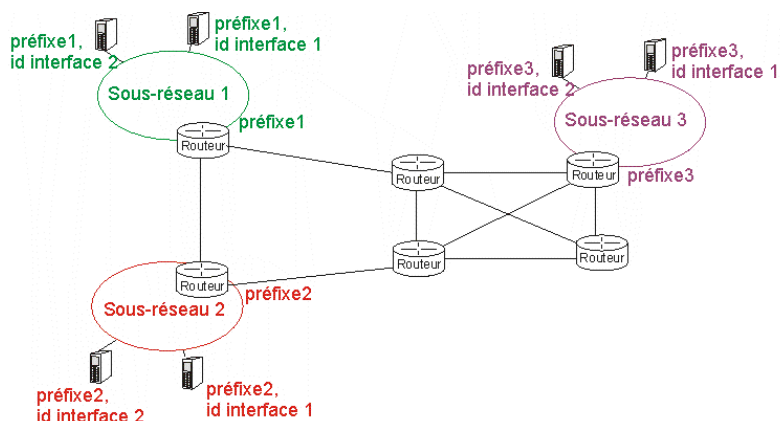
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Cas du réseau fixe

- L'adresse IP (partie préfixe) sert au routage
- Une « machine » qui change de localisation change de préfixe (et donc d'adresse IP)



3

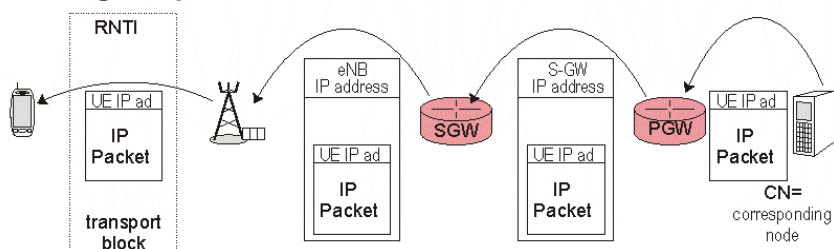
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Principe de l'encapsulation

- Même préfixe pour tous les abonnés d'un réseau mobile
- Routage depuis le réseau Internet vers le PGW



- Encapsulation = mettre le paquet IP « utilisateur » dans un autre paquet IP

4

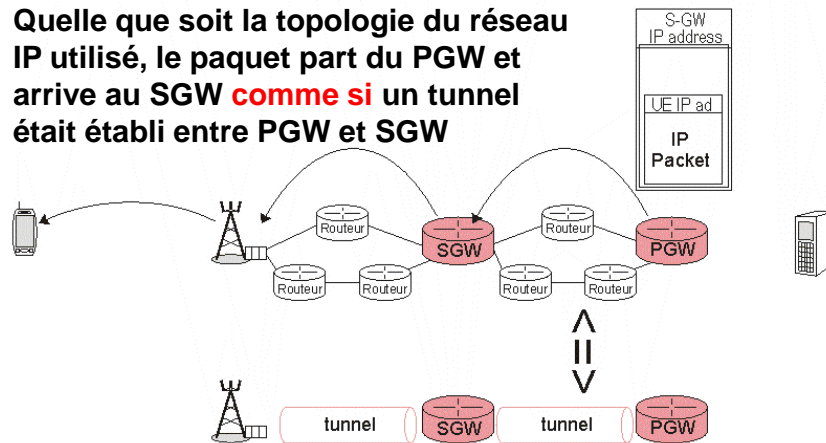
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Encapsulation et utilisation de tunnel (*tunneling*)

- Quelle que soit la topologie du réseau IP utilisé, le paquet part du PGW et arrive au SGW **comme si** un tunnel était établi entre PGW et SGW



5

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 2 : Place du protocole GTP dans la pile de protocoles

Quels protocoles utilise-t-on pour les échanges de données entre les équipements du réseau 4G ?

6

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



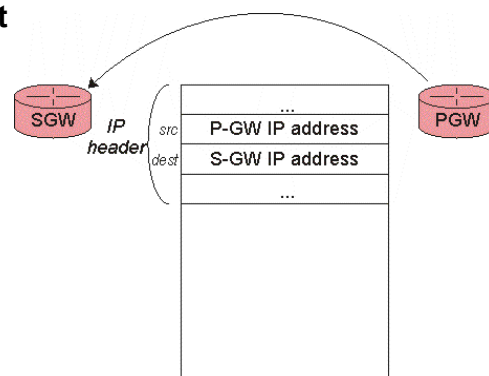
Besoin d'un protocole de niveau 4 entre nœuds intermédiaires

- La fonction du PGW est d'envoyer le paquet vers le SGW
- Le PGW ne s'occupe pas de ce qui se passe au delà du SGW
- Nécessité d'un protocole de transport (cohérence avec la pile IP de tout équipement)

- TCP ? Trop complexe
- UDP ? Simple. La fiabilité (au cas où elle est nécessaire) est gérée de bout en bout

■ Utilisation d'UDP

- Entre SGW et PGW
- Entre SGW et eNodeB



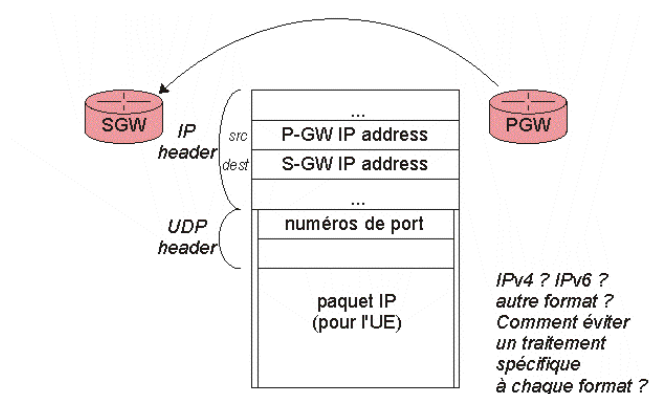
7

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Comment uniformiser les traitements pour tout type de paquet transporté ?



- Ajout d'une couche additionnelle (nouveau protocole, nouveau format)
 - GTP, GPRS Tunnelling protocol

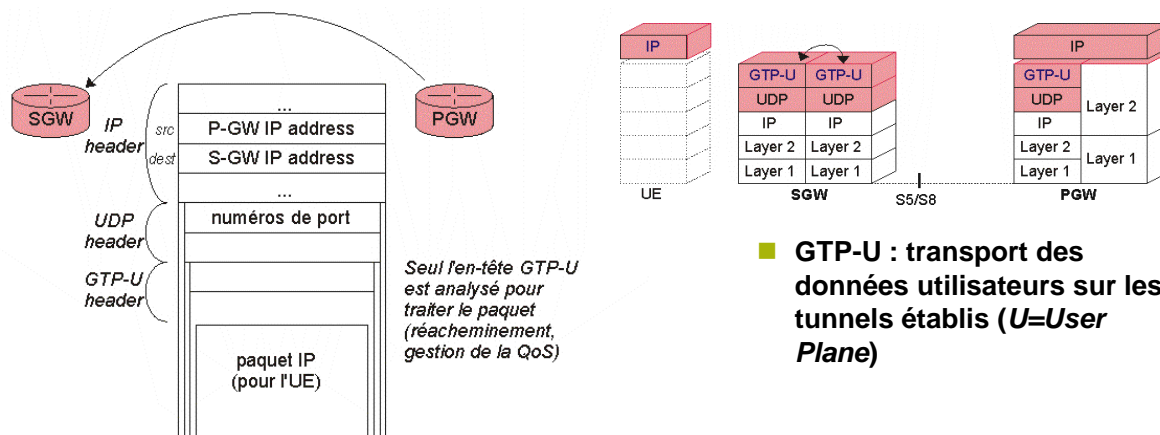
8

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Place de GTP-U dans la pile de protocoles et fonction principale



- **GTP-U : transport des données utilisateurs sur les tunnels établis (U=User Plane)**

- **Ajout d'une couche additionnelle (nouveau protocole, nouveau format)**

- GTP, GPRS Tunnelling protocol

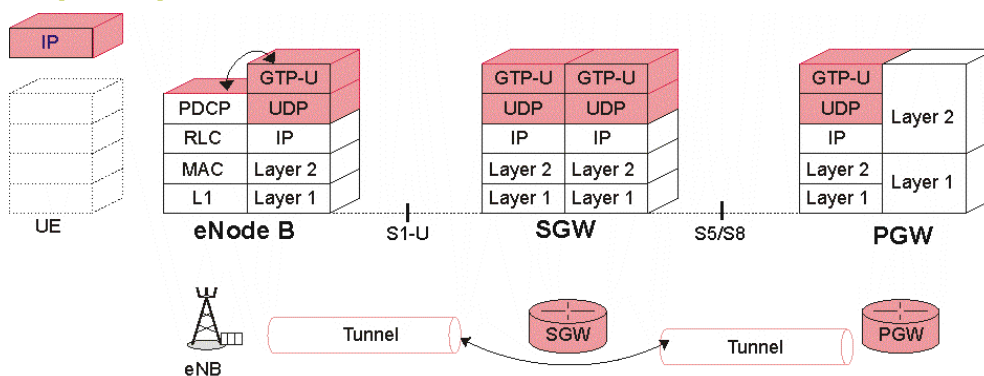
9

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Place de GTP-U dans la pile de protocoles et fonction principale



- **GTP-U**

- sur l'interface S1-U entre eNodeB et SGW
- sur l'interface S5/S8 entre SGW et PGW

10

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 3 : Identification des tunnels (TEID)

Comment faire pour retransmettre très rapidement et efficacement les paquets venant de différents PGW à destination de différents eNodeBs ?

11

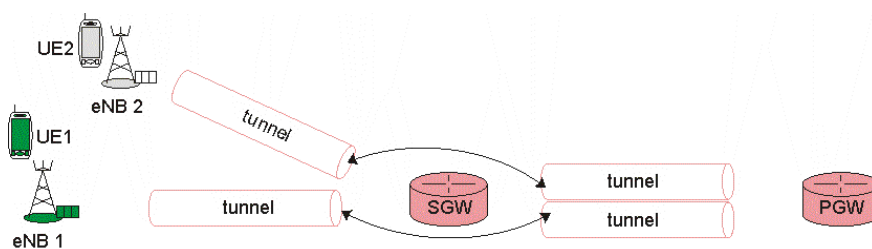
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Gestion de multiples tunnels

- **Des dizaines de millions d'utilisateurs par réseau**
 - Tous ne sont pas sous le même eNB
 - Tous ne sont pas servis par le même SGW
- **Plusieurs tunnels possibles par utilisateurs**
- **Nécessité d'un traitement très rapide**



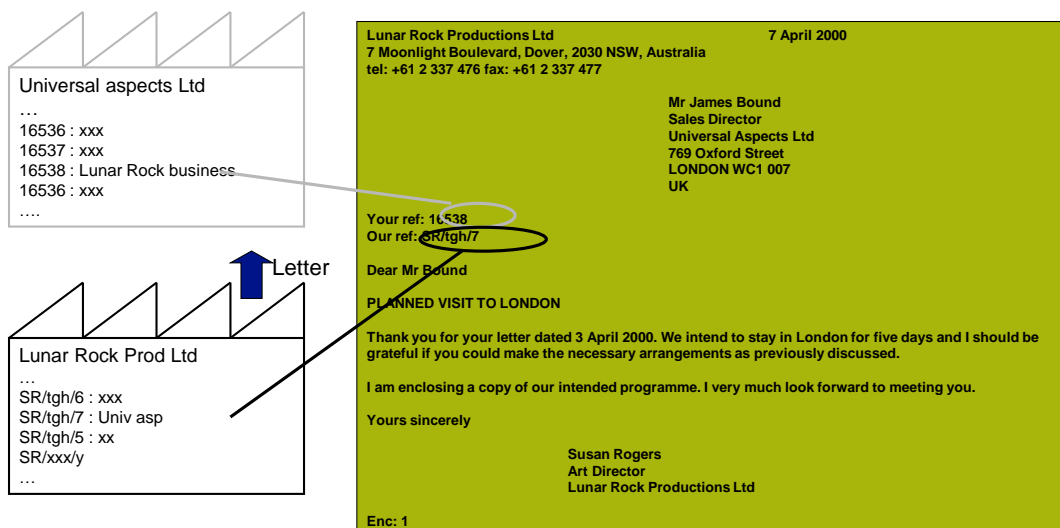
12

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Quittons le monde des télécommunications



Source of the letter
<http://www.englishclub.com/esi-articles/200004.htm>

13

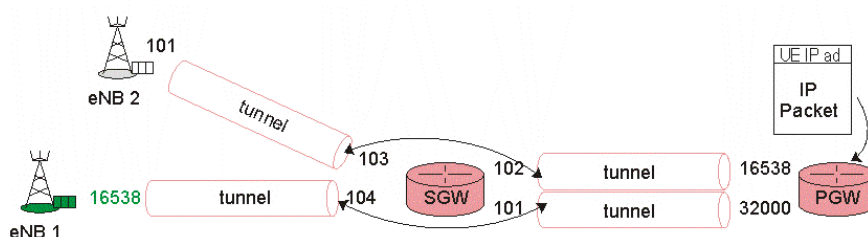
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Numérotation des extrémités de tunnels

- TEID = Tunnel **Endpoint** Identifier
- Chaque nœud concerné par un tunnel attribue une identificateur unique à l'extrémité locale du tunnel
- Chaque tunnel possède donc 2 identificateurs
- Le TEID est codé sur 32 bits en GTP (4 octets)



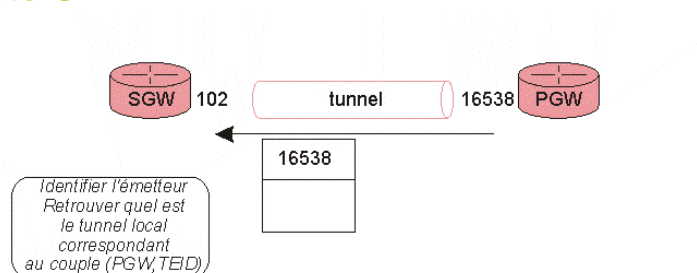
14

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Possibilité 1 : mettre le TEID alloué par l'expéditeur dans l'en-tête GTP



Traitement complexe

- Le récepteur doit connaître le TEID utilisé par l'entité en vis-à-vis pour le tunnel
- Pour cela, il lui faut analyser le TEID et l'adresse
- => Il faut utiliser une autre méthode

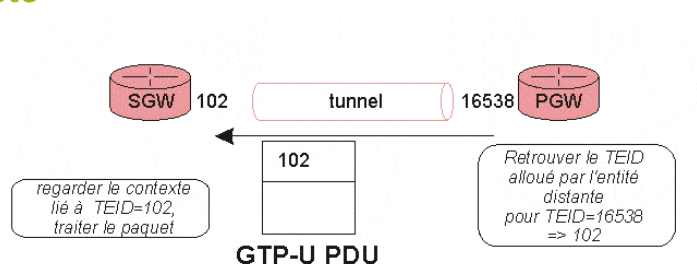
15

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Possibilité 2 : mettre le TEID alloué par le destinataire dans l'en-tête



- L'émetteur doit connaître le TEID utilisé par l'entité en vis-à-vis
- Léger surcroît de complexité à l'émetteur
- Traitement nettement simplifié dans le récepteur

Utilisé pour GTP

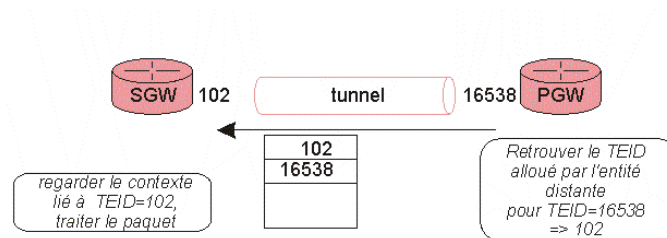
16

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Possibilité 3 : mettre les deux TEIDs !



- Même traitement que lorsque seul le TEID du destinataire est placé
- En-tête un peu plus long
- Avantage : si un équipement veut changer la valeur du TEID, il peut le faire sans signalisation supplémentaire
- Solution non retenue pour GTP mais utilisée entre eNodeB et MME

17

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 4 : Etablissement des tunnels et traitement des paquets placés dans un tunnel

Comment les équipements dialoguent pour établir un tunnel ?

Comme le traitement des paquets est-il effectué une fois le tunnel établi ?

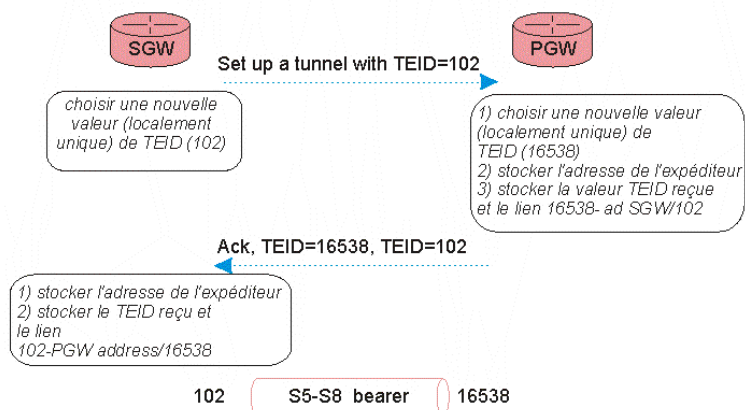
18

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Initialisation d'un tunnel



- Echange de messages de contrôles pour établir le tunnel : protocole GTP-C
- A la fin de l'échange, chaque extrémité connaît le TEID alloué par l'entité en vis-à-vis

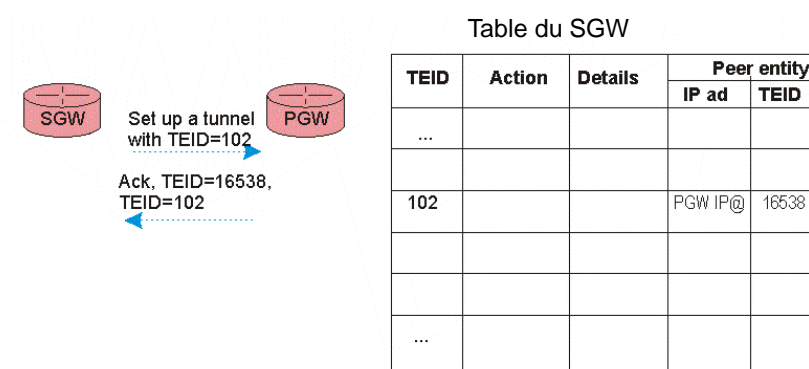
19

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Exemple de table de gestion de TEID



20

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Exemple de table de gestion de TEID

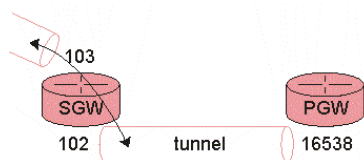


Table du SGW

TEID	Action	Details	Peer entity	
			IP ad	TEID
...				
102	Forward	TEID=103	PGW IP@	16538
103	Forward	TEID=102	eNB 2 IP@	101
...				

21

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Exemple de table de gestion de TEID

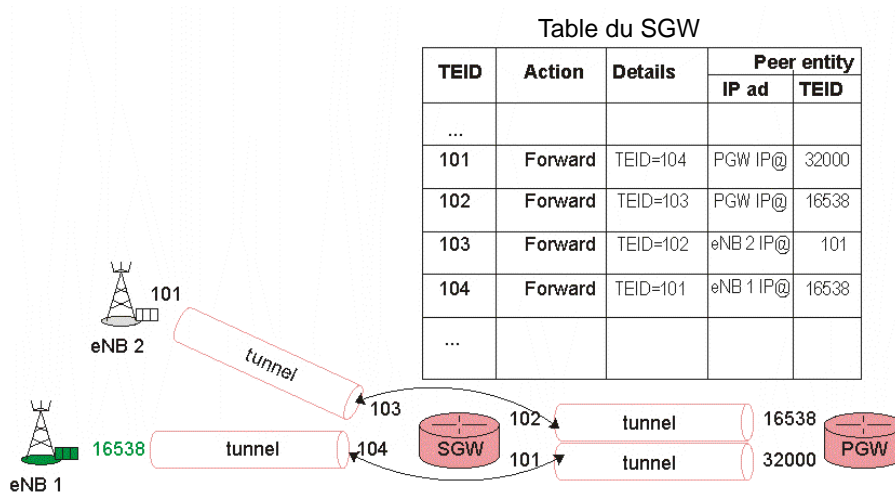


Table du SGW

TEID	Action	Details	Peer entity	
			IP ad	TEID
...				
101	Forward	TEID=104	PGW IP@	32000
102	Forward	TEID=103	PGW IP@	16538
103	Forward	TEID=102	eNB 2 IP@	101
104	Forward	TEID=101	eNB 1 IP@	16538
...				

22

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Utilisation des tunnels de données dans le réseau cœur EPC

■ Plan utilisateur ou *User Plane*

- Tous les mécanismes et protocoles qui sont directement liés à la transmission des données utilisateurs et les messages/paquets/trames contenant des données utilisateurs (vue du réseau EPC)
- Attention ! la connexion à un site web, l'établissement d'un appel téléphonique sont vus par le réseau EPC comme faisant partie du plan utilisateur

■ Plusieurs tunnels de données possibles

- Différents tunnels pour gérer différents niveaux de qualité de service
- L'association d'un tunnel de données et d'un niveau de qualité de service (éventuellement best effort) s'appelle un **bearer**

■ A chaque tunnel, une paire de TEID !

23

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 5 : Connexion S1-AP et dialogue entre UE et MME

Plusieurs millions de terminaux sont pris en charge par un même MME.

Comment structurer et faciliter les échanges entre un UE et un MME ?

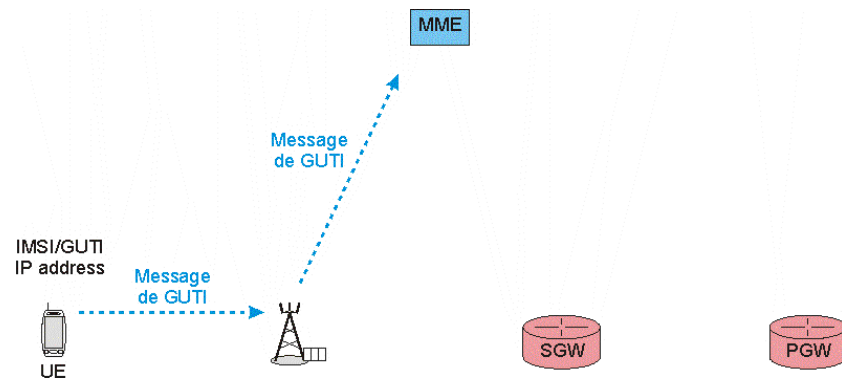
24

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Gestion des dialogues entre l'UE et le MME



- **Idee naïve : placer l'identifiant du mobile dans tout message reçu ou envoyé par le MME**

- IMSI = problème de confidentialité, GUTI => si le GUTI change ?

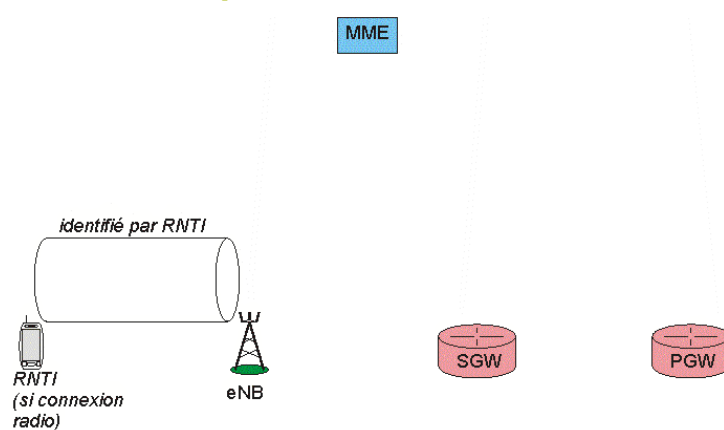
25

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Présentation du protocole S1-AP



- **Tout terminal ayant une connexion radio dispose d'un RNTI qui lui est propre (dans une eNodeB)**

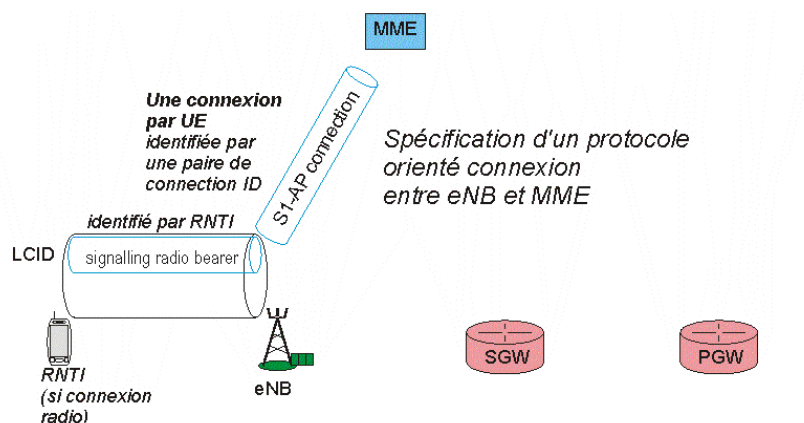
26

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Présentation du protocole S1-AP



- Signalling radio bearer identifié par RNTI+LCID
- Association dans eNB : RNTI+LCID <-> Identité de connexion

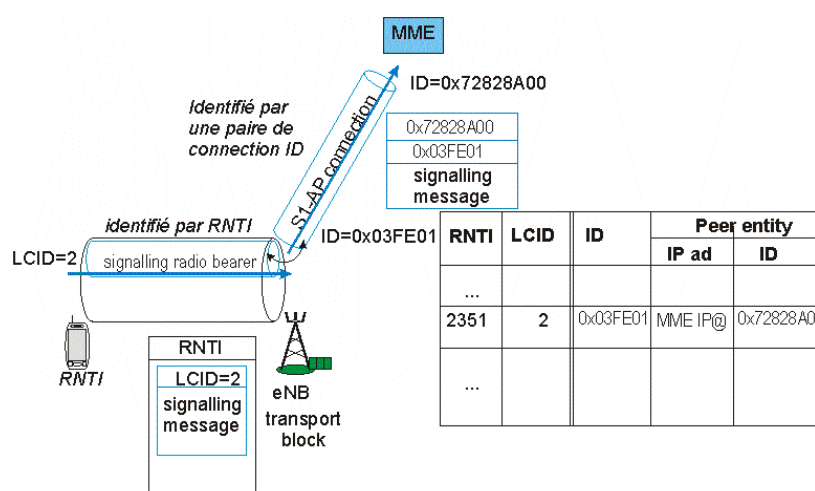
27

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Exemple de transmission d'un message de signalisation d'un terminal vers le MME



28

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 6 : Etablissement d'une connexion S1-AP

Comment une connexion S1-AP est-elle établie ?

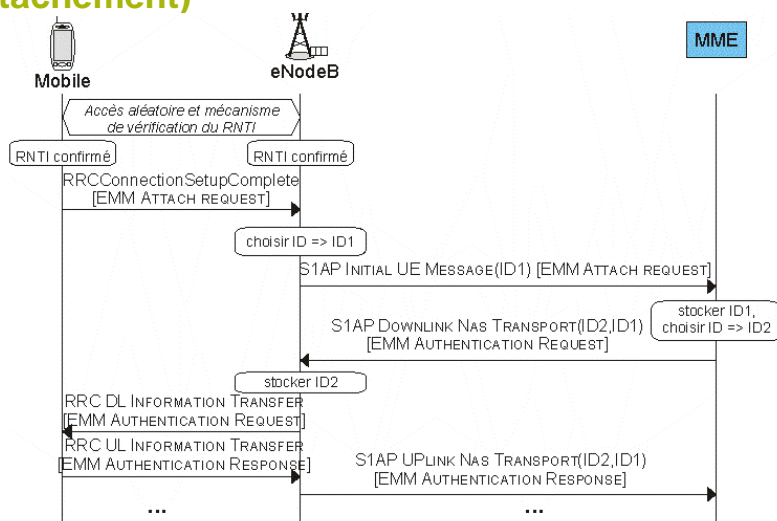
29

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Exemple d'établissement de connexion S1-AP (attachement)



30

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Fonctions du protocole S1-AP

■ Le protocole S1-AP permet à la fois

- Au MME et à l'eNB d'échanger des messages de configuration générale
- Au MME d'envoyer à un eNB des messages pour activer certaines fonctions en lien avec la connexion d'un terminal
- A l'eNB de signaler au MME des changements d'état d'un terminal
- De transporter des messages échangés entre un terminal et le MME

■ A chaque fois qu'un message est lié à un terminal particulier

- Présence dans l'en-tête d'une paire d'identités de connexion (sauf pour le tout premier message qui n'a qu'une identité de connexion)

31

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 7 : Concept de strate de non accès (NAS) et vue globale des empilements protocolaires

Comment permettre à un MME de ne traiter que la sécurité, la mobilité ?

Comment permettre à l'eNB de ne traiter que les aspects radios ?

32

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Le plan de commande ou *Control Plane*

■ Plan contrôle (ou plan de commande) ou *Control Plane*

- Tous les protocoles, mécanismes et messages permettant de configurer les éléments de réseaux (informatique ou de télécom) afin de permettre la fourniture effective d'un service de communication
 - Transport de la signalisation
- Exemple : attachement au réseau, échanges de sécurité, gestion de mobilité, routage, etc.

■ Dialogue entre UE et MME

- Exclusivement dans le plan contrôle

■ Contrôle

- Gestion de mobilité, de la sécurité => entre UE et MME
- Allocation de ressource radio, établissement de connexion => entre UE et eNB
 - Messages, protocoles, liés à la technologie radio

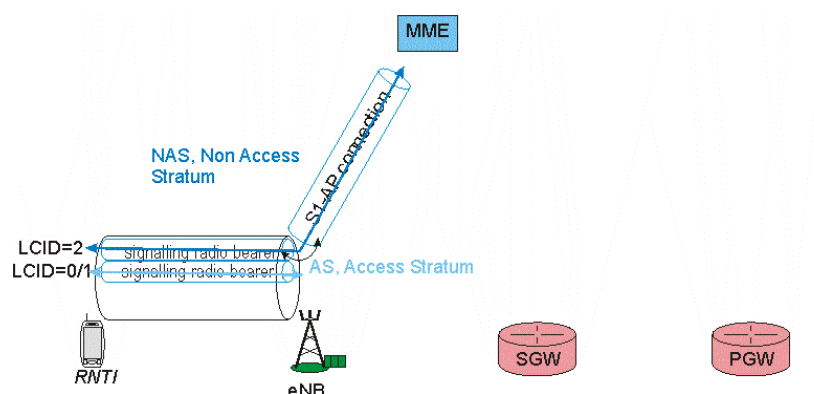
33

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Non Access Stratum (NAS) vs Access Stratum (AS)



■ Les messages NAS sont échangés entre le terminal et le MME

- Ils sont relayés par l'eNB sans aucune analyse de leur contenu

■ Les messages AS sont échangés entre le terminal et l'eNB

- Exemple : modification du bearer radio

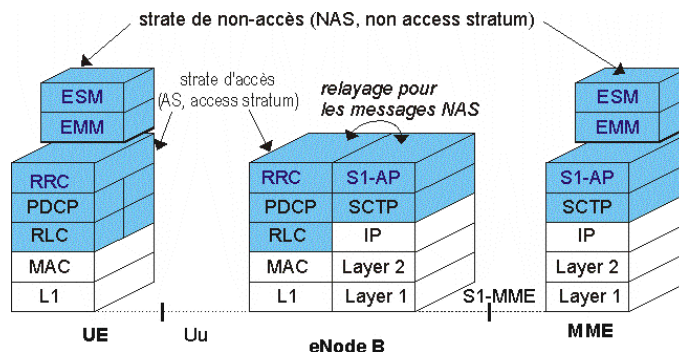
34

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



AS, NAS et S1-AP dans l'empilement protocolaire



■ Protocole de transport SCTP, *Stream Control Transmission Protocol*

- Protocole de transport fiable mais évitant les retransmissions inutiles
- Plus adapté au transport de messages que TCP (orienté flux)

■ Protocole S1-AP, *Application Protocol*

- Messages de gestion entre eNodeB et MME
- Messages liés au dialogue d'un UE particulier avec le réseau

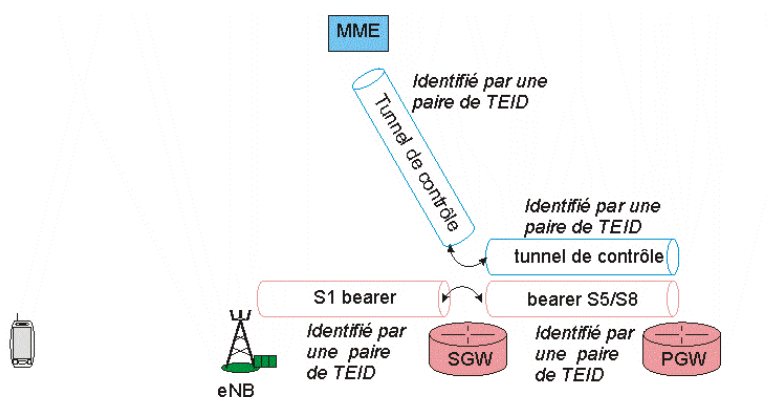
35

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Tunnel de contrôle et bearers (tunnels de données)



■ GTP Control = GTP-C

- Messages nécessaires pour l'établissement, le maintien et la libération des tunnels de données
- Repose aussi sur des TEID (valeurs différentes des TEID du plan usager)

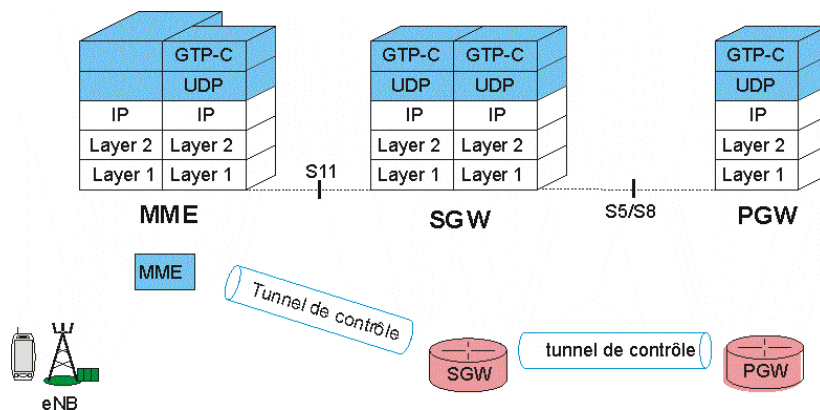
36

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Place de GTP-C dans la pile de protocoles et fonction principale



■ GTP Control = GTP-C

- Messages nécessaires pour l'établissement, le maintien et la libération des tunnels de données

37

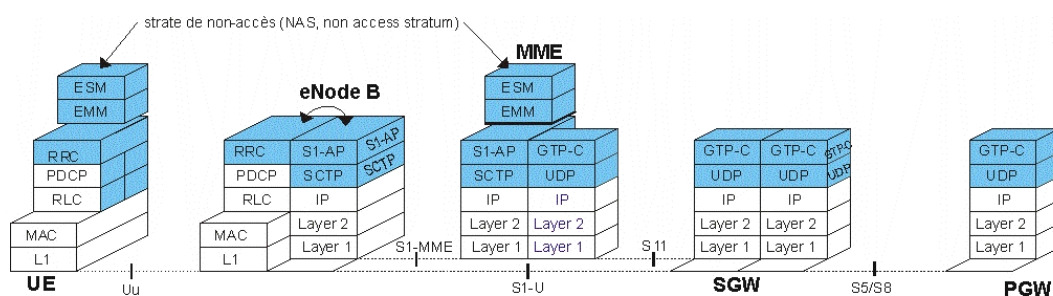
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vision d'ensemble des piles protocolaires de contrôle

GTP-C GPRS Tunnel Protocol for the Control plane



ESM
EMM
RRC
PDCP

Evolved Session Management
Evolved Mobility Management
Radio Resource Control
Packet Data Convergence Protocol

RLC
MAC
S1-AP
SCTP

Radio Link Control
Medium Access Control
S1 Application Protocol
Stream Control Transport Protocol

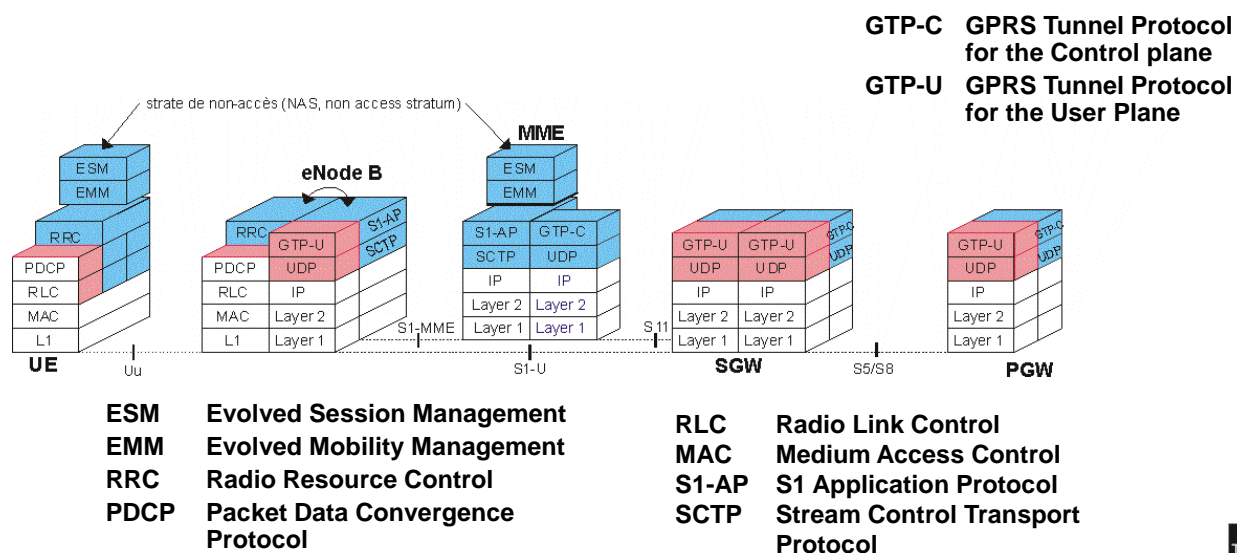
38

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vision d'ensemble des piles protocolaires



39

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données





Semaine 5, Gestion de la sporadicité des flux

Vidéo 1 : Les procédures d'attachement et de détachement revisitées (EMM attach/EMM detach)

Vidéo 2 : Notion d'état ECM

Vidéo 3 : Passage en veille suite à période d'inactivité

Vidéo 4 : Réactivation du service par le terminal

Vidéo 5 : Réactivation du service par le réseau

Vidéo 6 : Principe des bearers dédiés (dedicated bearers)

1

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Vidéo 1 : Les procédures d'attachement et de détachement revisitées (EMM attach/EMM detach)

Que se passe-t-il quand j'éteins et j'allume mon portable ?

2

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etablissement du bearer par défaut

- **Connectivité IP permanente**
 - Dès la mise sous tension, le terminal demande l'établissement des tunnels pour disposer de la connectivité IP
- **Quelle que soit l'activité du terminal, il y a un bearer établi**
 - Bearer par défaut
- **Procédure EPS Connectivity Request**
 - Message inclus dans le message d'attachement
 - Attachement et établissement de la connectivité réalisés simultanément

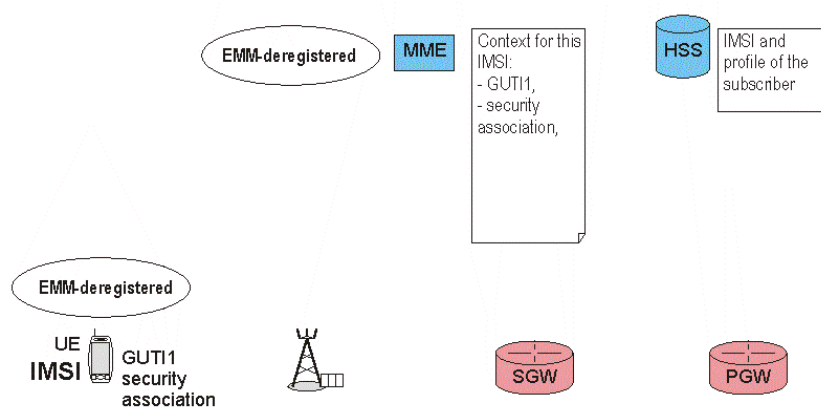
3

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etat initial (UE mis sous tension, GUTI stocké dans la carte SIM)

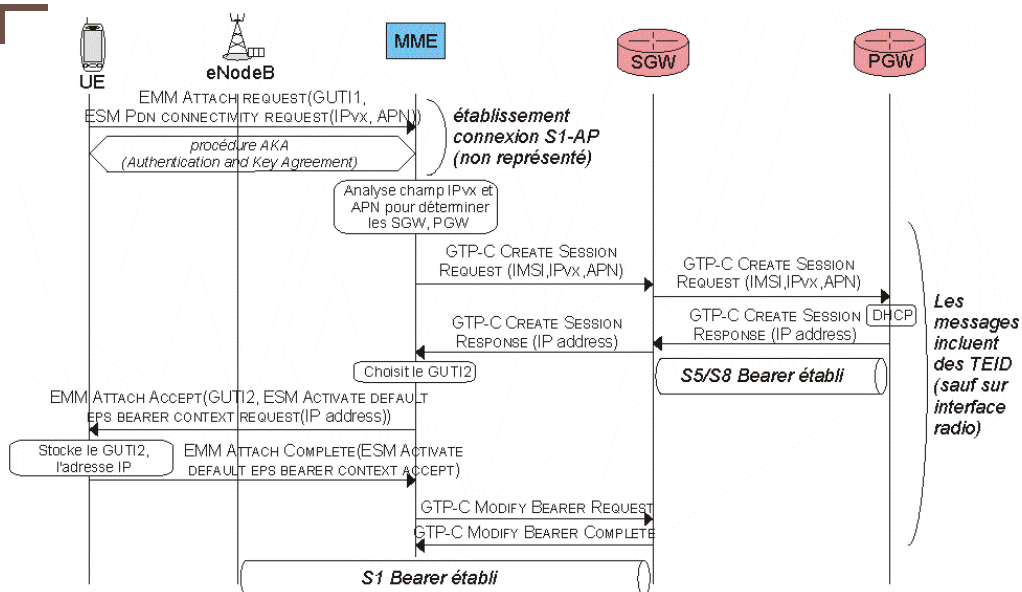


4

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données





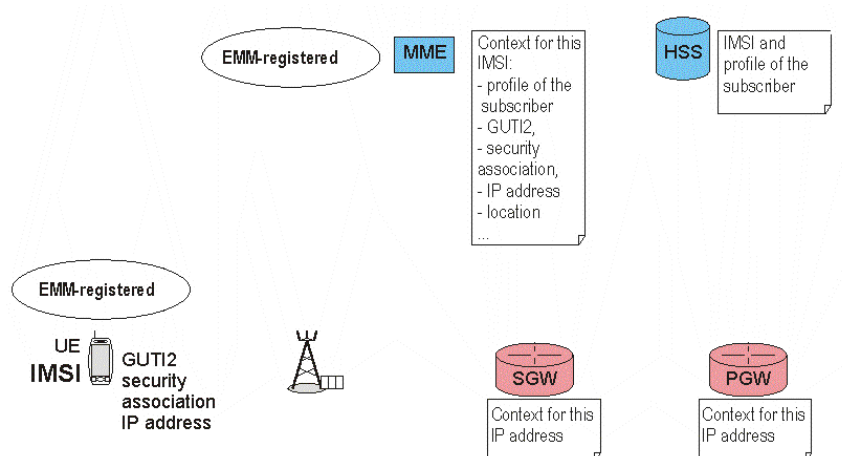
5

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Contextes stockés dans les différents équipements (vue simplifiée)



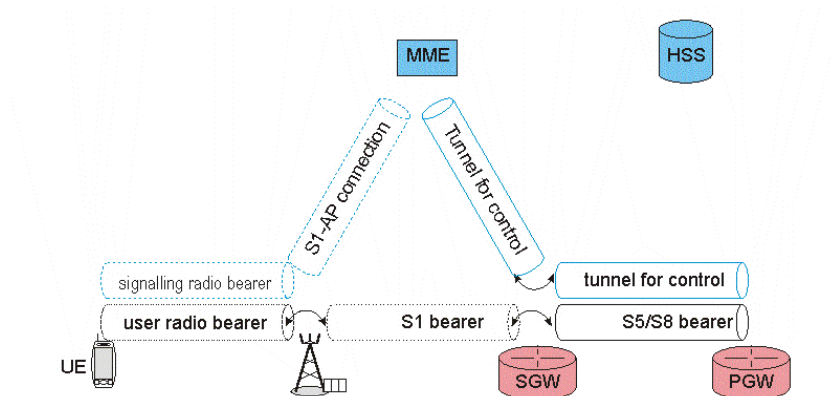
6

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Tunnels et connexions établis



7

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Procédure de détachement

Mise hors tension du terminal

- Le terminal fait une demande de détachement
- Il est autorisé à s'éteindre si la demande de détachement est bien reçue par la station de base (acquiescement de niveau MAC)

Libération de toutes les connexions et les tunnels

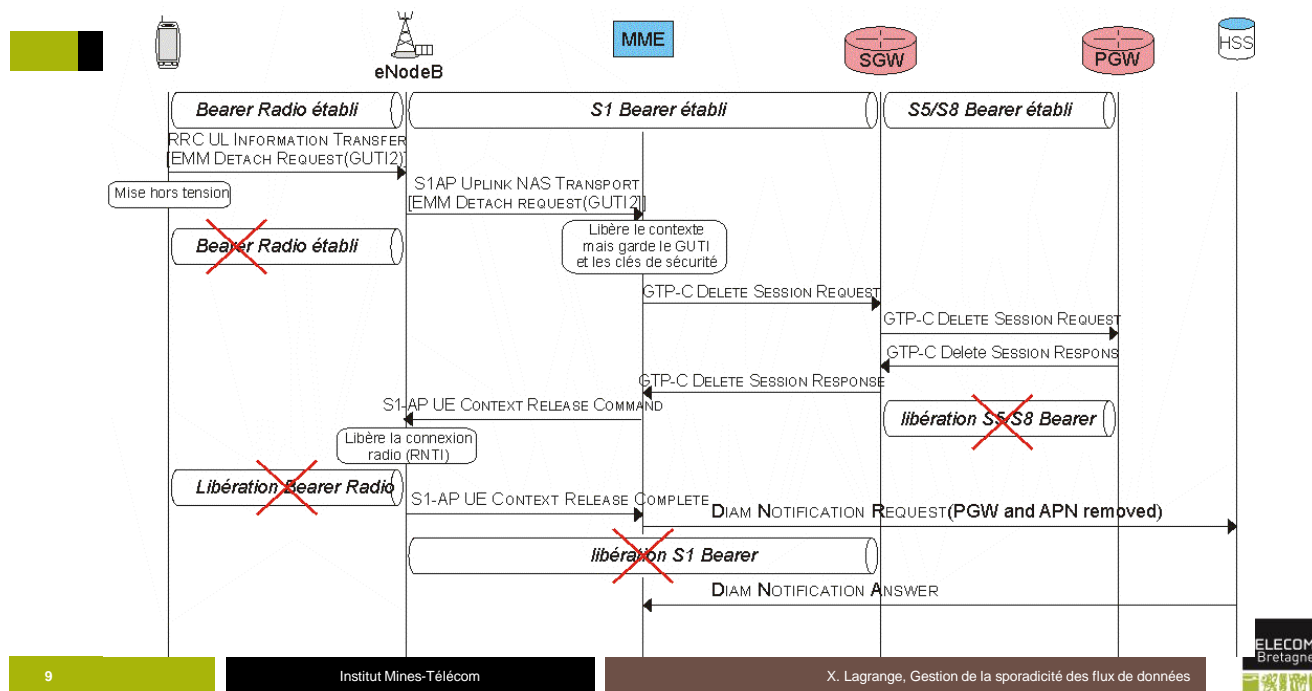
Le MME garde le GUTI et les clés de sécurité

8

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données





9

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Vidéo 2 : Notion d'état ECM connected et ECM idle

Mon terminal est-il vraiment toujours connecté au réseau ?

Est-ce qu'il ne consomme pas trop d'énergie ?

10

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



La connexion permanente dans EPC

■ A la mise sous tension d'un terminal, établissement d'un bearer par défaut

- Un paquet IP arrivant du réseau doit être routé le plus rapidement possible
- Un paquet IP créé par le terminal doit être émis le plus rapidement possible (ex : l'utilisateur demande l'affichage d'une page web)

■ En cas d'utilisation du terminal (transmission ou réception de données par l'UE)

- Utilisation du RNTI pour les transmissions radios
- Mesures des niveaux de puissances pour vérifier que l'UE est bien dans la cellule

■ En cas de non utilisation du terminal (utilisateur lit l'écran, ni transmission, ni réception sur la voie radio), si on gardait la connexion radio

- RNTI réservé mais pas utilisé
- Nécessité que l'UE transmette de temps en temps pour vérifier qu'il se trouve toujours dans la cellule

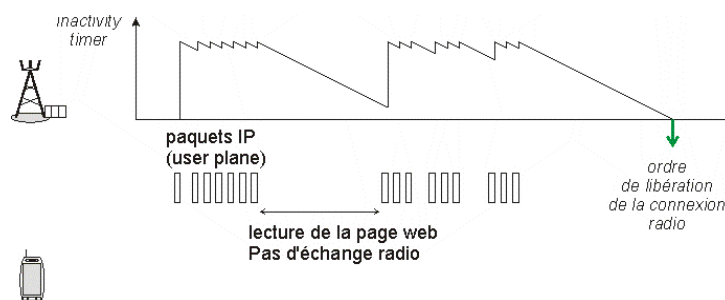
11

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



La temporisation d'inactivité radio



■ Temporisation (dans l'eNodeB) lancée à la fin d'un échange

- RRC inactivity timer

■ A échéance de la temporisation

- Libération de la connexion RRC
- L'UE perd son RNTI

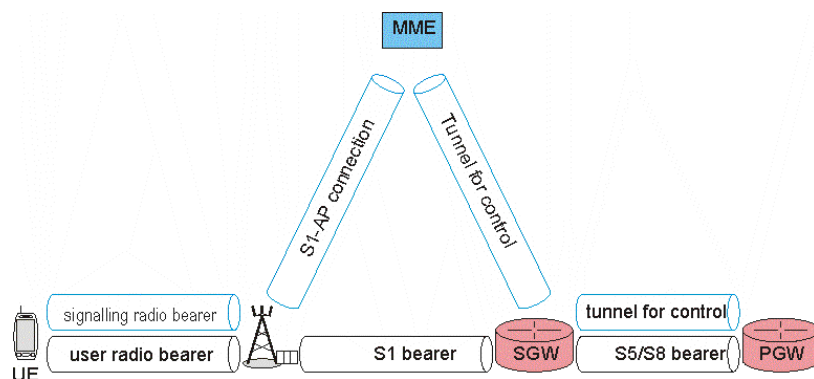
12

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etat des tunnels et connexions en cas d'activité



- En cas d'activité radio, la connexion radio est maintenue

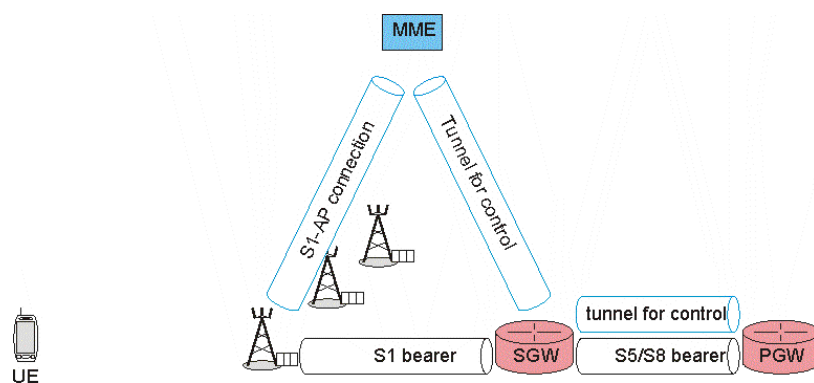
13

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Libération de la connexion radio



- S'il n'y a aucune transmission radio pendant une durée paramétrable, la connexion radio est libérée
- La libération de la connexion radio empêche le MME de savoir précisément sous quelle station de base, l'UE se trouve (voir semaine 6)

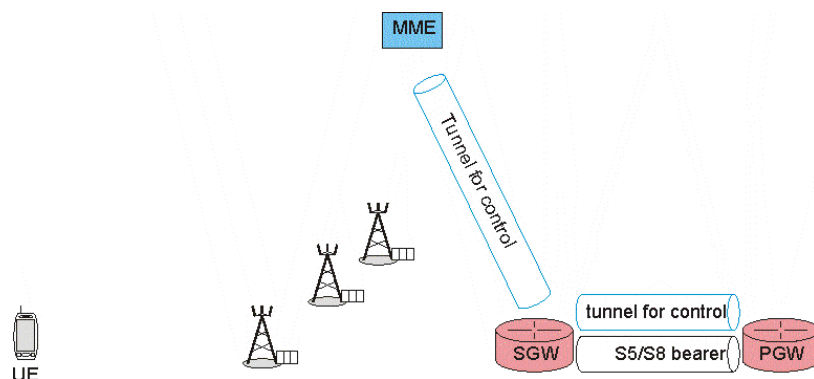
14

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Libération de la connexion radio et des connexions S1



■ En même temps que la connexion radio est libérée

- Le tunnel pour les données entre l'eNodeB et le SGW est détruit (S1-U tunnel)
- La connexion S1-AP est détruite

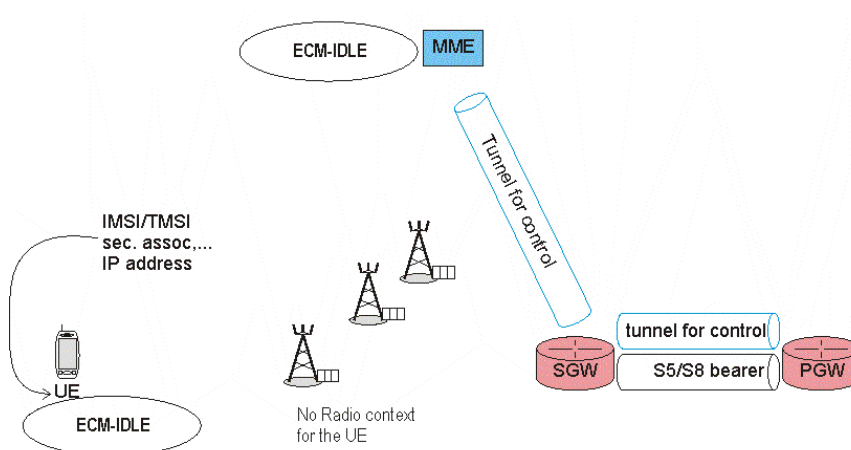
15

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Définition de l'état ECM-idle



■ Dans l'état ECM_IDLE, le terminal reste attaché au réseau (il garde l'adresse IP) mais n'est plus réellement connecté au réseau d'accès radio

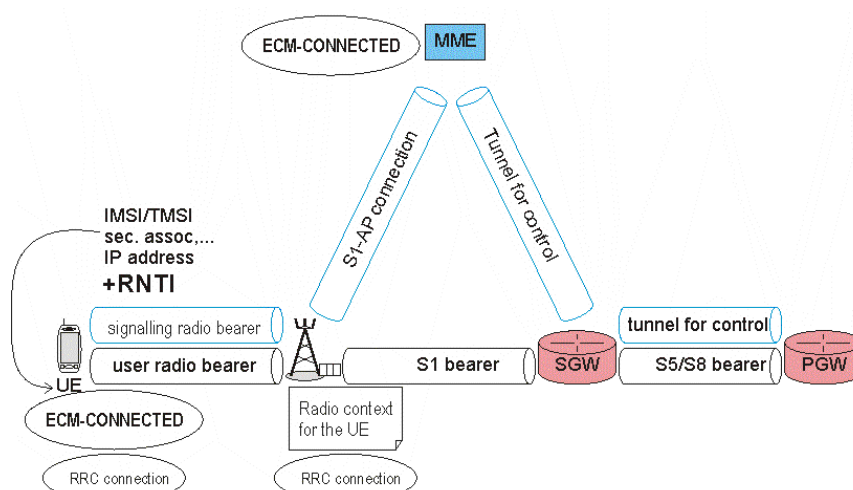
16

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Définition de l'état ECM-Connected

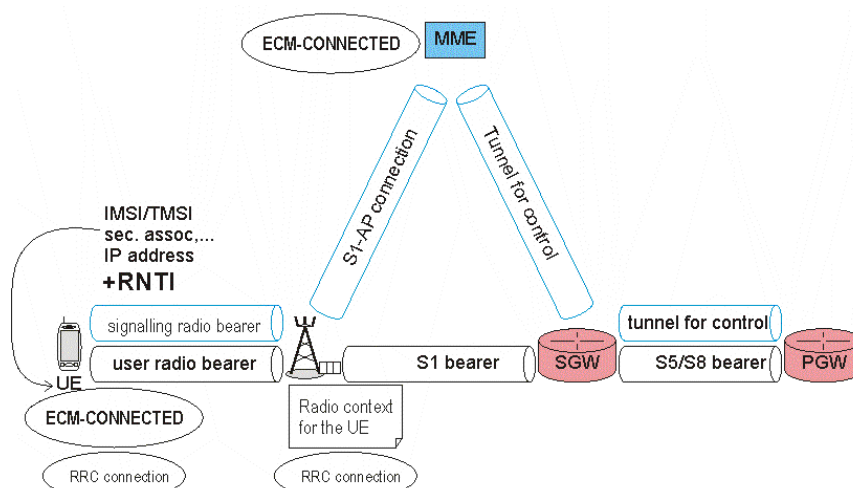


- Dans l'état ECM_Connected, la connexion radio et tous les tunnels et connexions sont établis

Vidéo 3 : Passage en mode veille suite à longue période d'inactivité

Que se passe-t-il si je n'utilise pas les fonctions radios de mon terminal pendant un long moment ?

Etat initial



Longue période d'inactivité

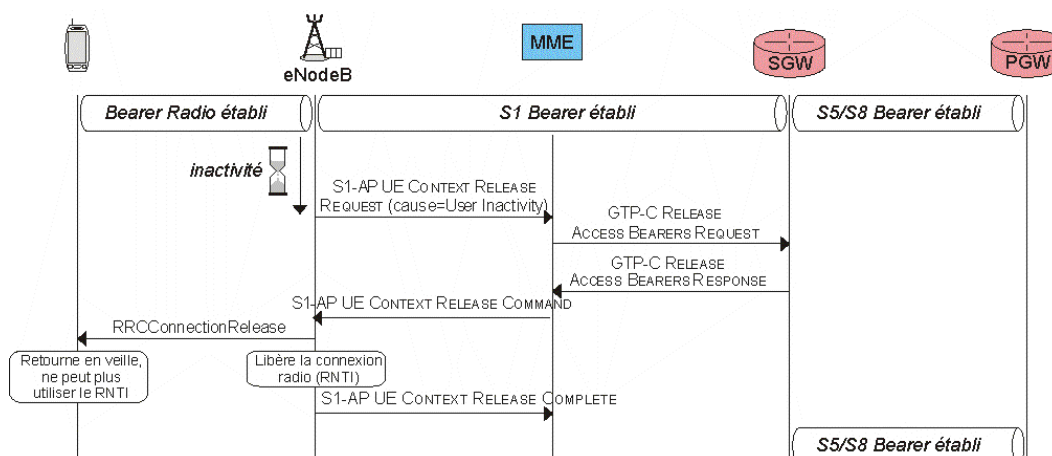
19

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Procédure de libération d'une connexion radio sur inactivité



- A la fin de la procédure, le terminal et le MME (pour ce terminal) sont dans l'état ECM Idle (et EMM Registered)

20

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Conclusion sur les états ECM et EMM

■ EMM-deregistered (nécessairement ECM_idle)

- Terminal non connecté réseau, pas d'adresse IP,

■ EMM-registered et ECM-connected

- Terminal connecté au réseau, avec une adresse IP
- Localisation de l'UE connue à la cellule près par le MME
- RNTI alloué au terminal
- Tous les tunnels et les connexions sont établies

■ EMM-registered et ECM-idle

- Terminal (apparemment) connecté au réseau, avec une adresse IP
- Pas de RNTI alloué au terminal
- Pas de tunnels, ni de connexion partant d'un eNodeB
- Maintien des tunnels entre SGW et PGW et entre SGW et MME
- Localisation vague de l'UE (groupe de cellules)

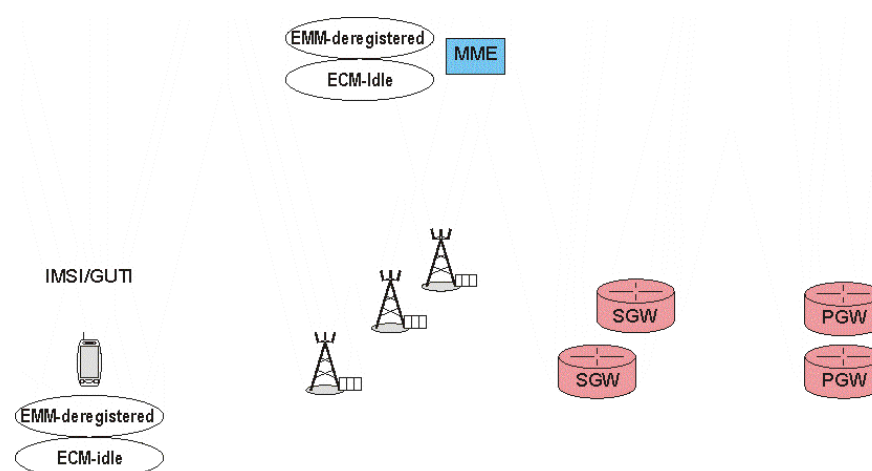
21

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Evolution des états ECM-Idle et ECM-Connected



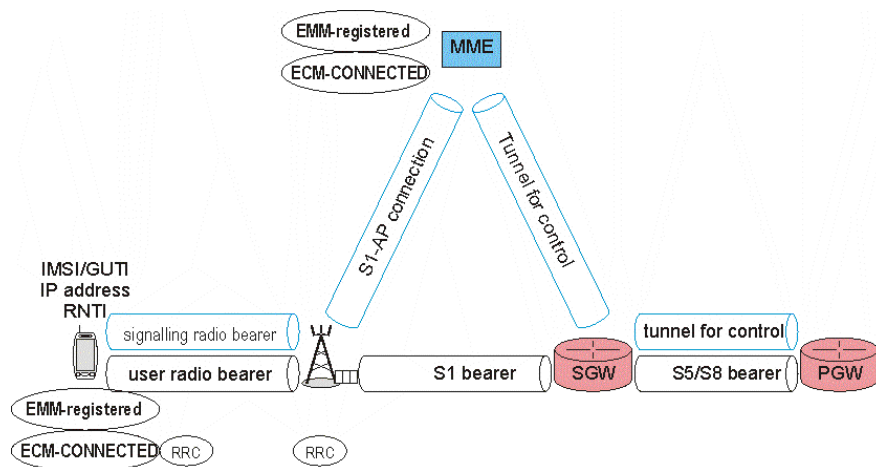
22

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Evolution des états ECM-Idle et ECM-Connected



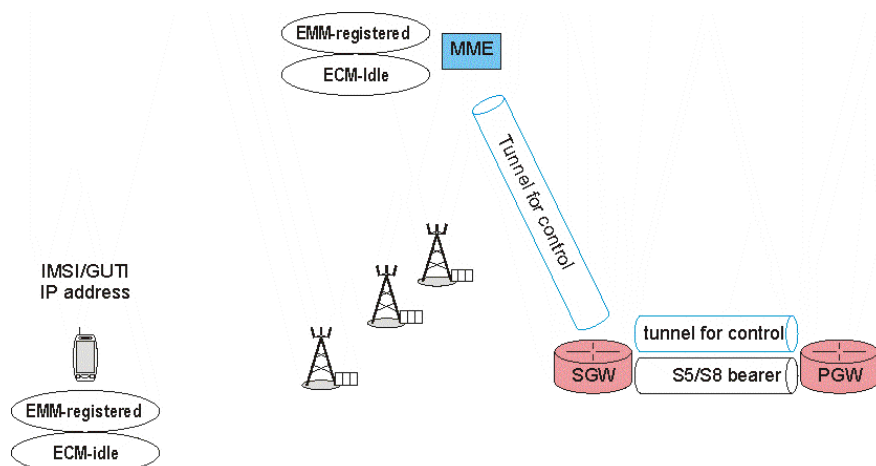
23

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Evolution des états ECM-Idle et ECM-Connected



24

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Vidéo 4 : Réactivation de service par le terminal (UE Triggered Service Request)

Puis-je utiliser mon terminal alors qu'il n'y a pas de connexion radio ?

Mon terminal peut-il transmettre rapidement après une longue période d'inactivité

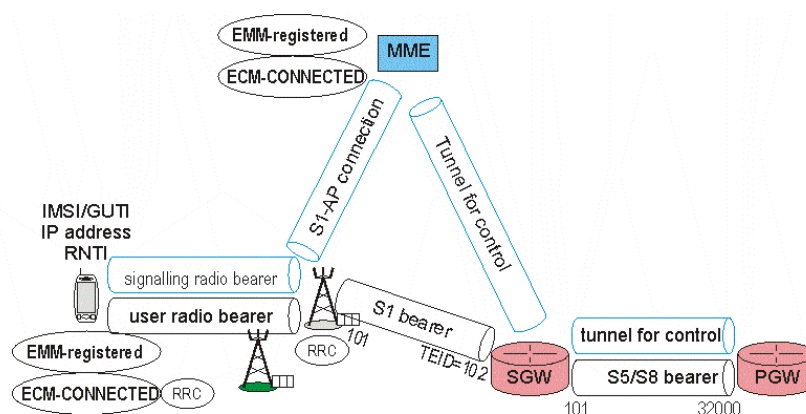
25

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Hypothèses du scénario considéré



■ 1) UE attaché et actif sur une cellule

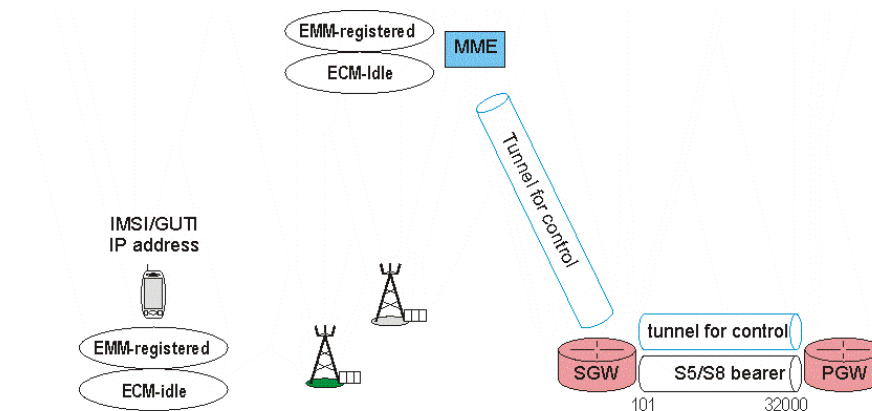
26

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Hypothèses du scénario considéré



■ 2) Inactivité pendant quelques minutes

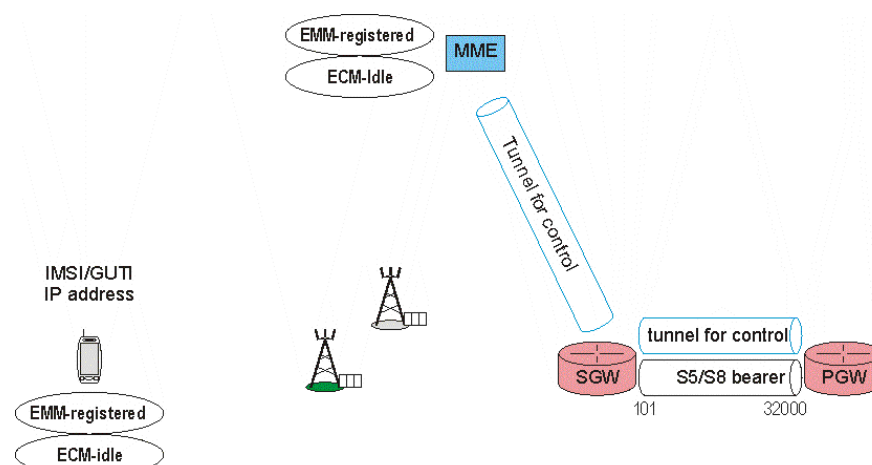
27

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Hypothèses du scénario considéré



■ 3) Mobilité de l'utilisateur : UE va dans cellule voisine

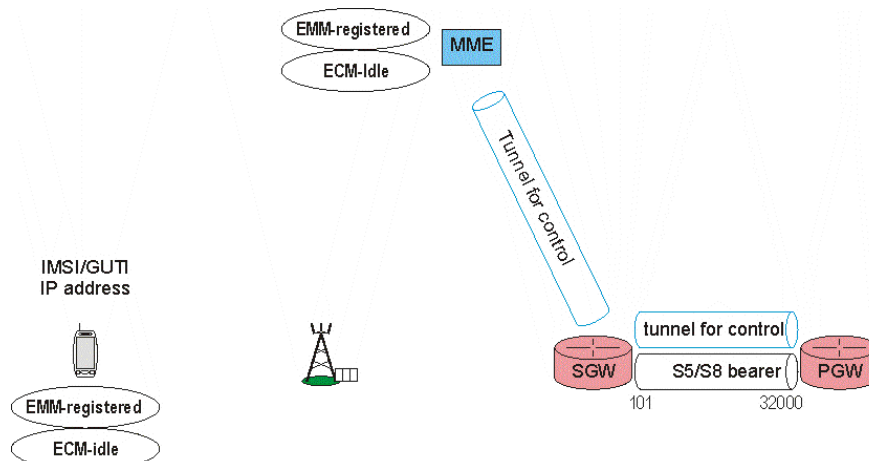
28

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Hypothèses du scénario considéré



- 4) Action de l'utilisateur : UE transmet des données
=> Besoin d'une procédure de ré-établissement des connexions et tunnels

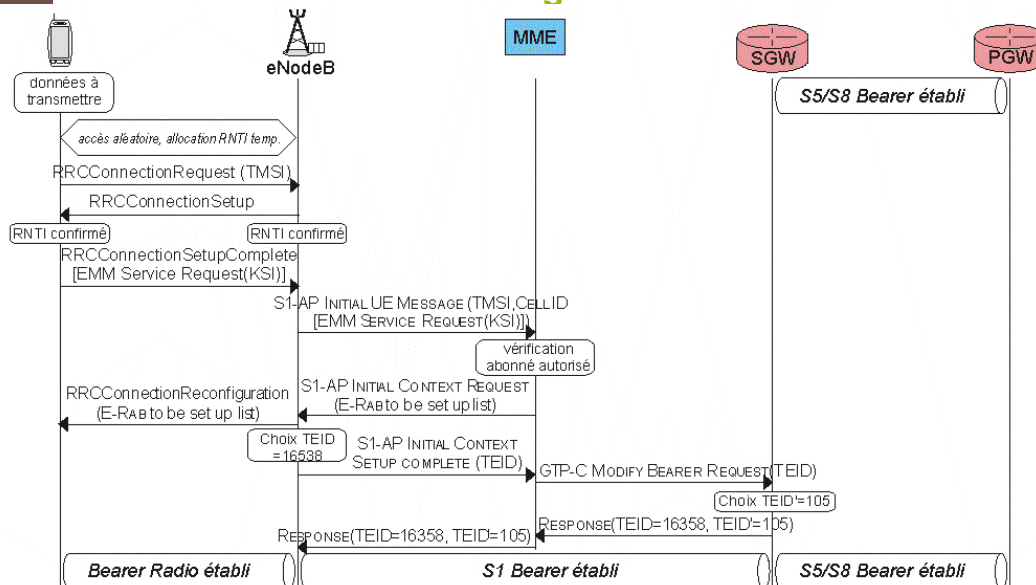
29

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etablissement du service : gestion naïve du tunnel S1



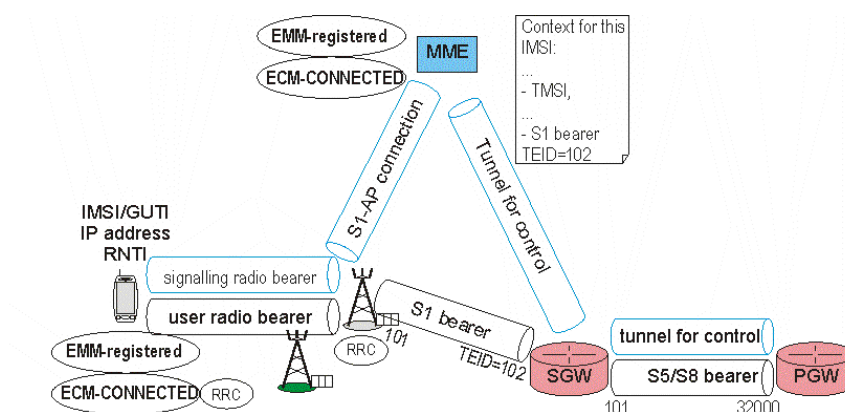
30

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Utilité d'une libération partielle du tunnel S1



- 1) UE attaché et actif sur une cellule => les TEIDs du tunnel S1 sont mémorisés par le MME

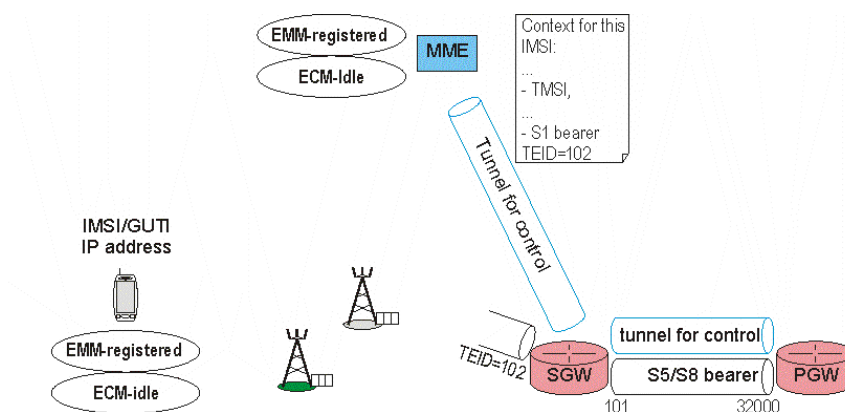
31

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



- 2) Inactivité pendant quelques minutes => le tunnel S1 n'est pas totalement libéré par le SGW

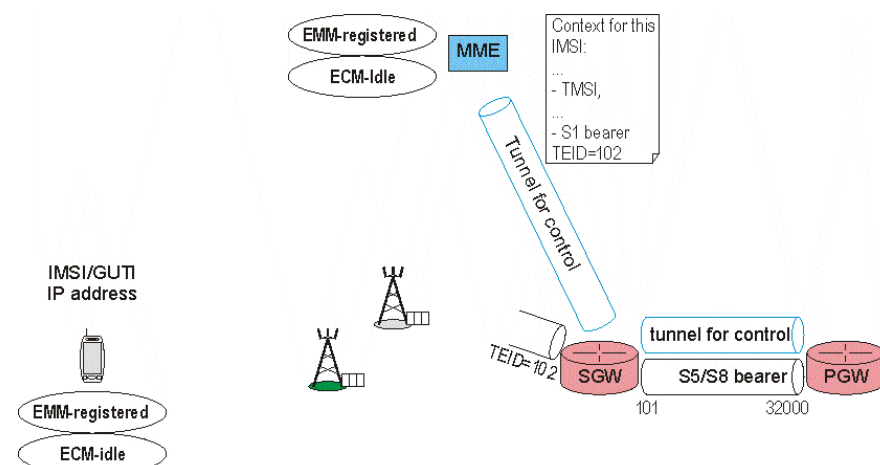
32

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



3) Mobilité de l'utilisateur : UE va dans cellule voisine

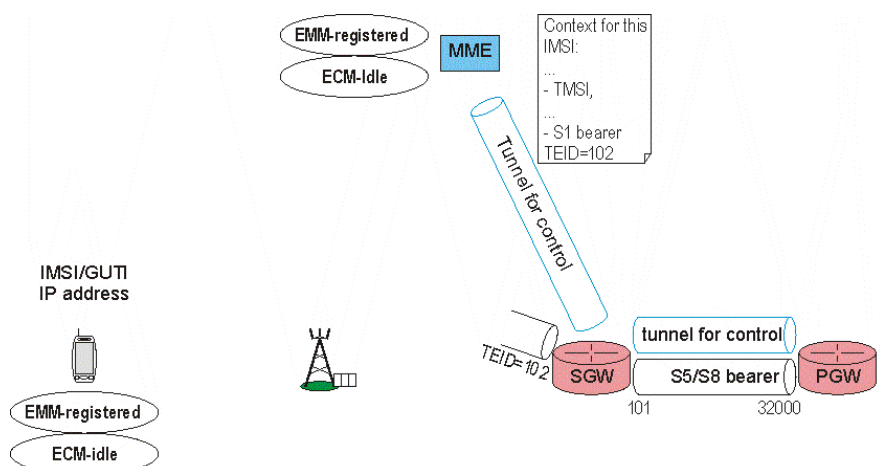
33

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



4) Action de l'utilisateur : UE transmet des données

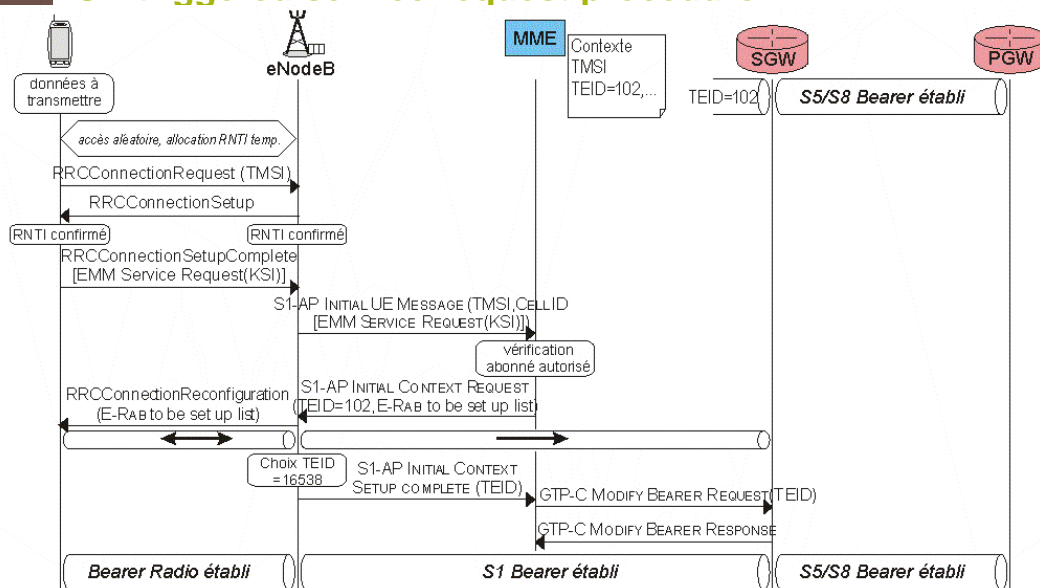
34

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etablissement du service par l'UE UE-triggered service request procedure



35

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Vidéo 5 : Réactivation de service par le réseau (Network-Triggered Service Request)

Un serveur peut-il transmettre des données à un terminal après une longue période d'inactivité de ce terminal ?

36

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Les procédures de demande de service

■ Etat initial du mobile

- EMM registered et ECM-IDLE

■ UE Triggered Service Request

- Demande faite par l'UE
- Exemple : action de l'utilisateur (consultation page web)

■ Network Triggered service Request

- Demande faite par le réseau
- Exemple : application avec messages envoyés par un serveur, appel téléphonique SIP

■ A la fin de la procédure (si elle réussit)

- Etats EMM-registered et ECM-CONNECTED

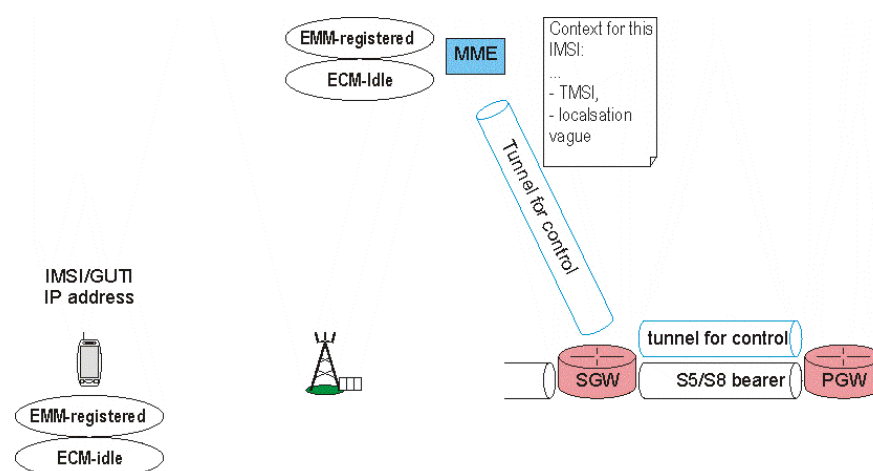
37

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Cas d'un paquet à envoyer vers l'UE après période d'inactivité



■ Paquet IP émis par un serveur vers l'UE : réception par le PGW

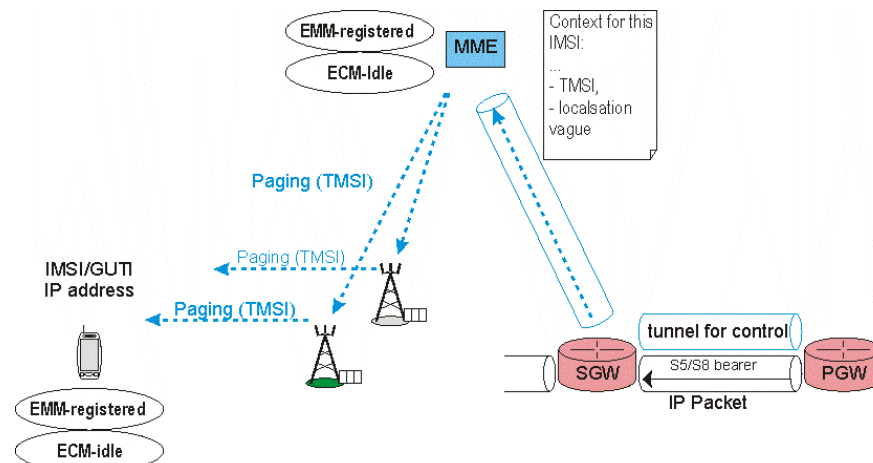
38

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Principe général de traitement lorsqu'un paquet vient du réseau et que le mobile est en état de repos



- Le MME maintient une localisation imprécise de l'UE (cf. cours sur la mobilité)

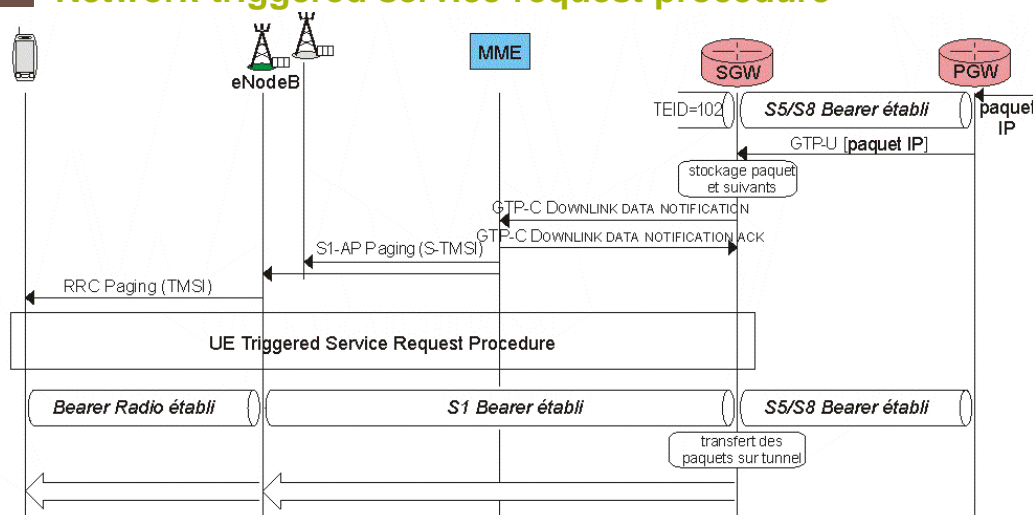
39

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etablissement du service par le réseau Network-triggered service request procedure



40

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Vidéo 5 : Principes des bearers dédiés

Peut-on disposer de qualité de service dans un réseau 4G ?

41

Institut Mines-Télécom

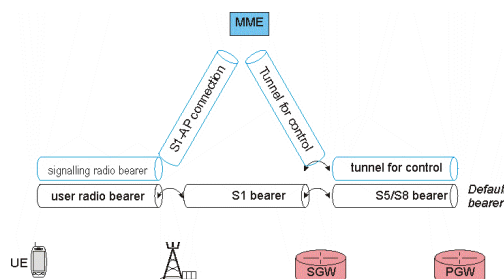
X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Limite du bearer par défaut

■ Dès la mise sous tension, un bearer par défaut est établi

- A priori, pas de garantie de qualité de service (best effort)
 - Les délais de transit des paquets peuvent fluctuer
 - Certains paquets peuvent être perdus
- Le bearer par défaut convient pour une très large gamme de service
 - Fiabilisation de bout en bout par TCP (UE et serveur)
 - Des délais importants sont supportables
 - Exemple : consultation de pages web, messagerie,...



■ Nécessité de garantie de qualité de service

- Téléphonie sur IP (principalement)
- Applications critiques

42

Institut Mines-Télécom

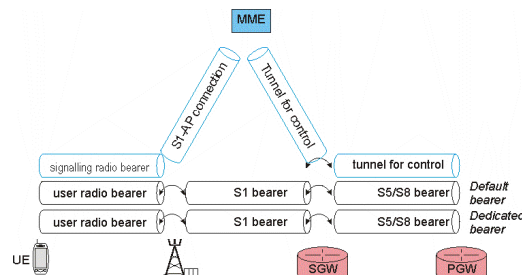
X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Présentation générale des bearers dédiés

■ Possibilité d'établir un ou plusieurs bearers supplémentaires

- Bearer dédié ou *Dedicated bearer*
 - Etablissement de tunnels supplémentaires
- Etablissement déclenchée par le réseau (le PGW)
- Demande faite par l'UE avec signalisation au niveau applicatif
 - Signalisation SIP transmise sur le bearer par défaut



■ Différents cas possibles

- Bearer dédié pour même contexte que le contexte du bearer par défaut (même APN et même adresse IP)
 - Cas traité dans le cours
- Etablissement d'un nouveau contexte (e.g. PGW différent)
 - Non vu dans le cours

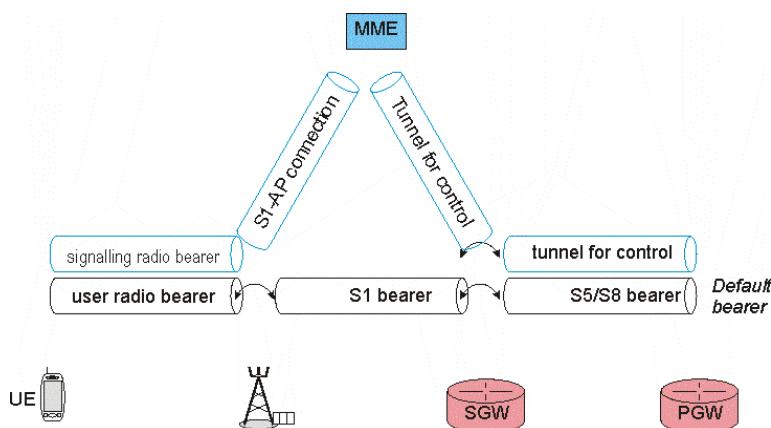
43

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etat initial



■ UE en état EMM-registered et ECM-connected

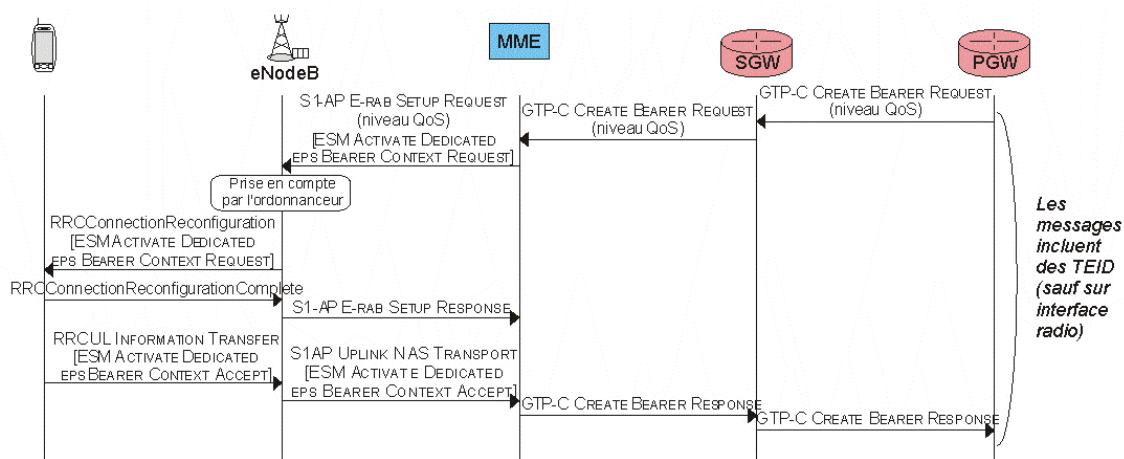
44

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Procédure d'activation de bearer dédié



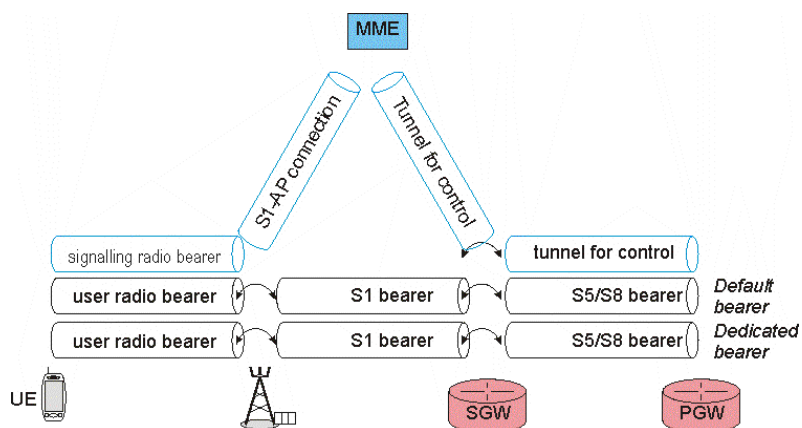
45

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Bearers après l'activation d'un bearer dédié



Différents TEID pour les différents bearers d'un même usager

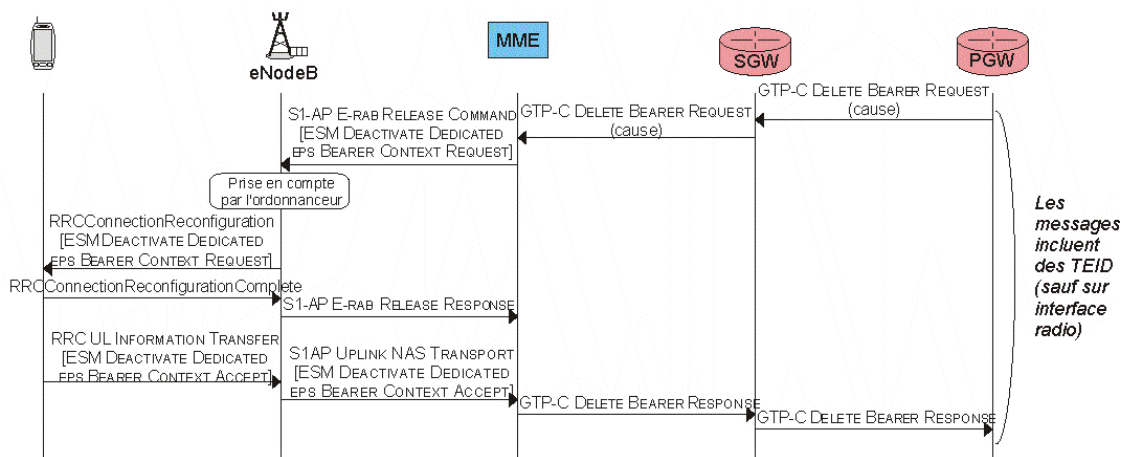
46

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Désactivation d'un bearer dédié



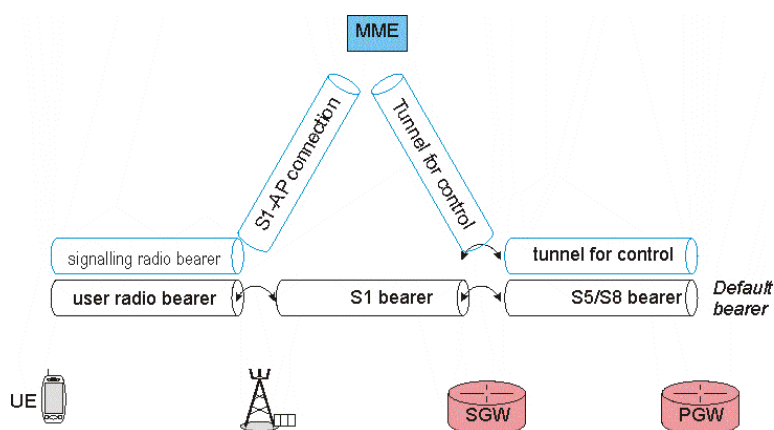
47

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Etat après la désactivation du bearer dédié



- Libération du bearer dédié
- Maintien du bearer par défaut (connectivité maintenue)

48

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données





Gestion de la mobilité

Vidéo 1 : Gestion de la localisation (Tracking Area)

Vidéo 2 : Equilibrage de la charge de mise à jour de localisation (TA list)

Vidéo 3 : Gestion de la mobilité d'un terminal en veille

Vidéo 4 : Autre cas de Gestion de la mobilité d'un terminal en veille

Vidéo 5 : Gestion de la mobilité en cours de transmission, le handover

Vidéo 6 : Déroulement du X2 Handover

Vidéo 7 : Autres cas de handover

Xavier Lagrange

1

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Vidéo 1 : Gestion de la localisation

Comment joindre le terminal à tout moment sans qu'il consomme trop d'énergie ?

2

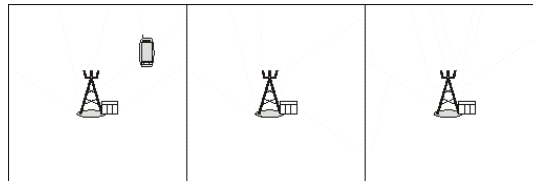
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Rappel sur le concept cellulaire

- Chaque station de base (eNodeB) couvre une cellule
- Pour simplifier les calculs, on considère que la cellule est carrée
 - Raisonnement identique possible sur des cellules hexagonales



- Le terminal peut se trouver dans n'importe quelle cellule
 - Comment le joindre ? Comment établir une liaison là où il se trouve ?

3

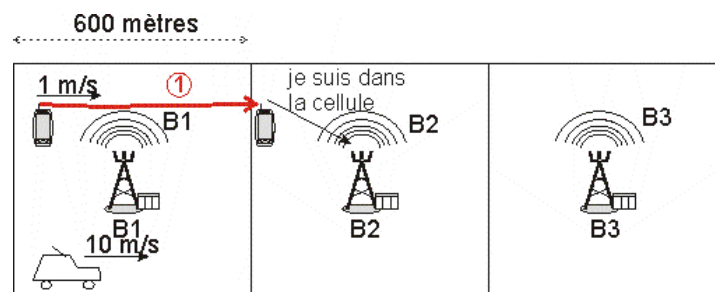
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Nécessité d'une voie balise

- Chaque eNodeB diffuse régulièrement son identité sur la voie balise (typiquement toutes les 1 à 5 secondes)



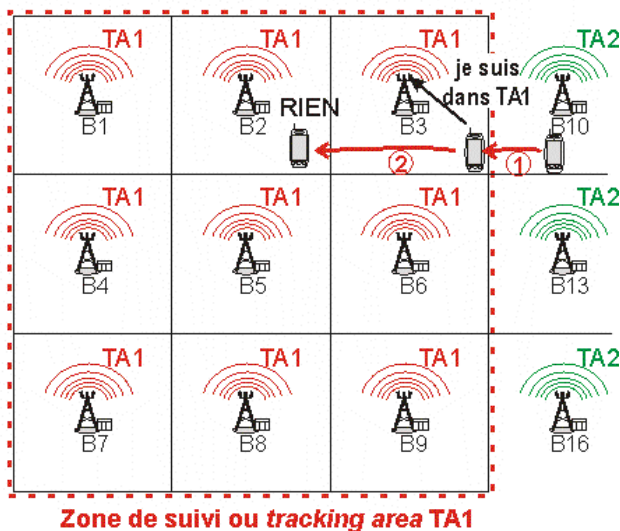
4

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Concept de zone de suivi ou tracking area



- Identité d'une zone de suivi ou TAI, **Tracking Area Identity**
 - MCC, Code Pays
 - MNC, Code Opérateur
 - TAC, Tracking Area Code
- L'identité TAI de la zone de suivi est régulièrement diffusée par chaque eNodeB

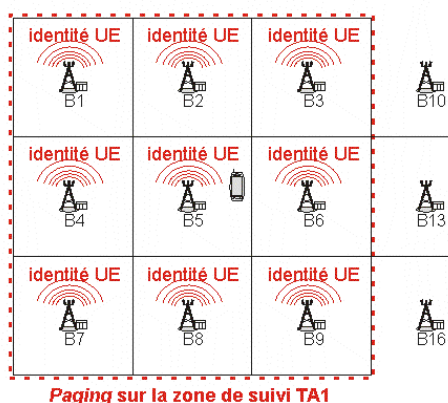
5

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Principe du paging



- Le **paging** consiste à diffuser l'identité (TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity) sur toutes les cellules de la zone de suivi (TA)
- Raison : le réseau ne sait pas dans quelle cellule de la zone de suivi le terminal se trouve

6

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Conclusion

- Une zone de suivi ou tracking area regroupe plusieurs cellules
- Plus la zone est grande
 - Plus la fréquence avec laquelle un terminal fait une mise à jour de localisation est petite
 - Plus la charge de messages de paging est grande
- En première approximation, une zone de suivi à N cellules permet de diviser le nombre de mises à jour faites par unité de temps par \sqrt{N}

7

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Vidéo 2 : Equilibrage de la charge de mise à jour de localisation

Comment éviter qu'une cellule n'ait à écouler un fort taux de signalisation de mobilité ?

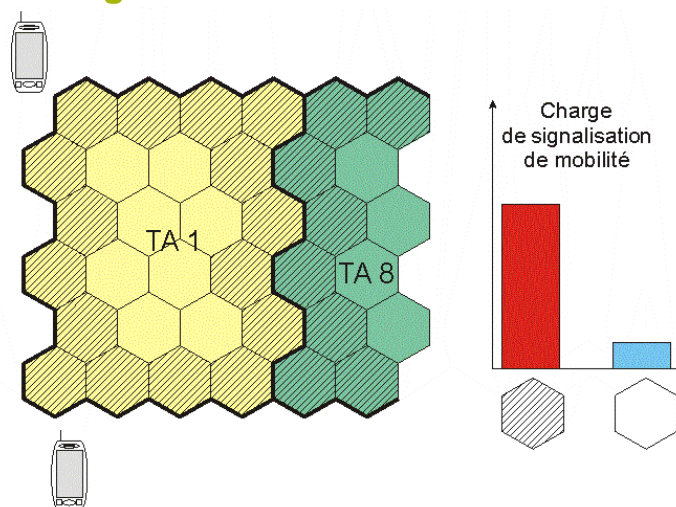
8

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Charge de signalisation sur les cellules de bordures



- Les mises à jour de localisation se font dans les cellules de bordures de la zone de suivi

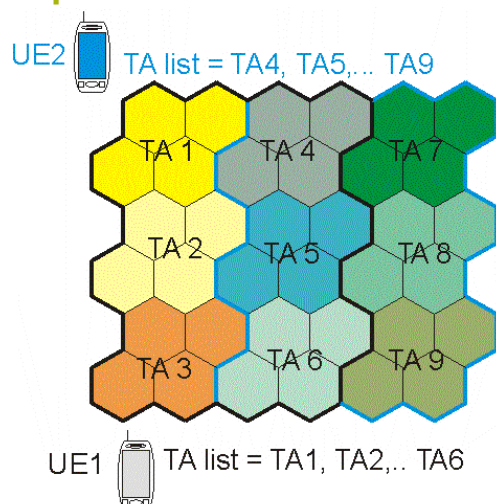
9

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Principe des listes de zones de suivi ou *TA lists*



- A chaque mise à jour, le réseau fournit une liste de zones de suivi
 - *Tracking Area List* ou *TA List*
- Deux terminaux dans la même cellule peuvent avoir des listes différentes
- Le paging doit être fait sur toutes cellules de la liste du mobile
- Optimisations possibles

10

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Vidéo 3 : Gestion de la mobilité d'un terminal en veille

Comment la mise à jour de localisation est-elle traitée dans le réseau ?

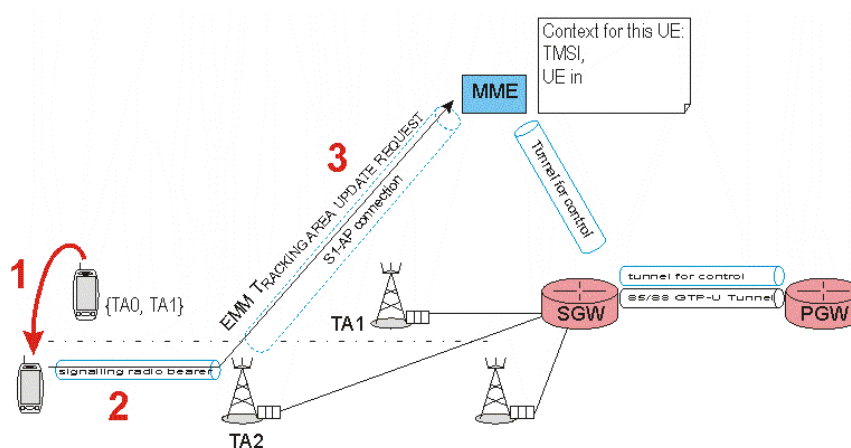
11

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Exemple de mise à jour de localisation



■ La mise à jour de localisation se fait en état ECM-idle

- Gestion de la mobilité en état ECM-connected = Handover

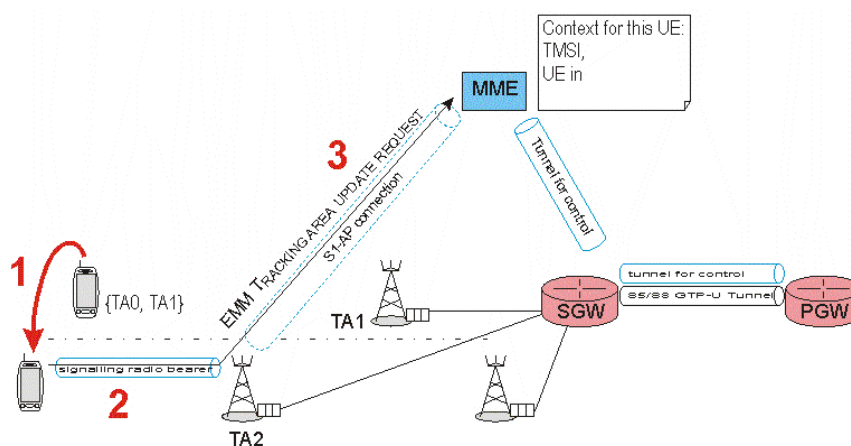
12

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Exemple de mise à jour de localisation



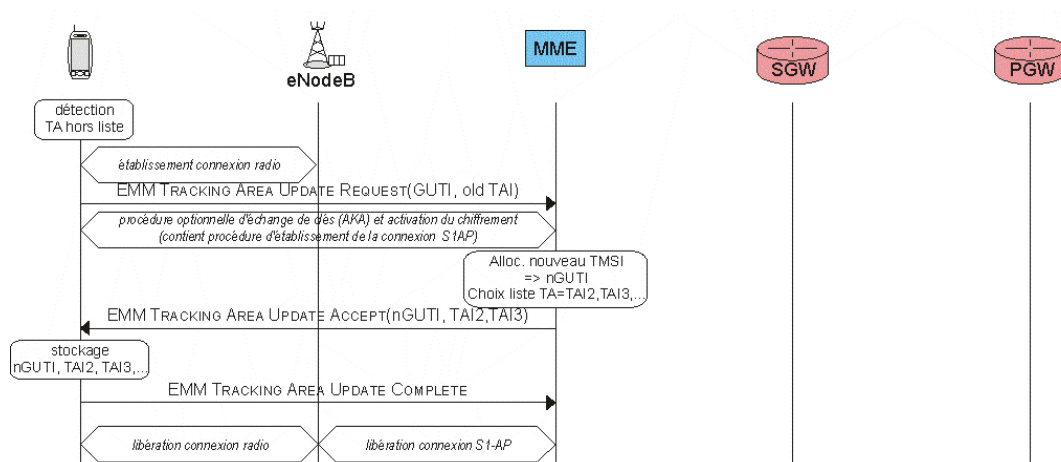
13

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Chronogramme de la mise à jour de localisation



14

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Vidéo 4 : Gestion de la mobilité d'un terminal en veille avec changement de SGW et MME

Comment est gérée la mobilité lorsque le terminal change de SGW, de MME ?

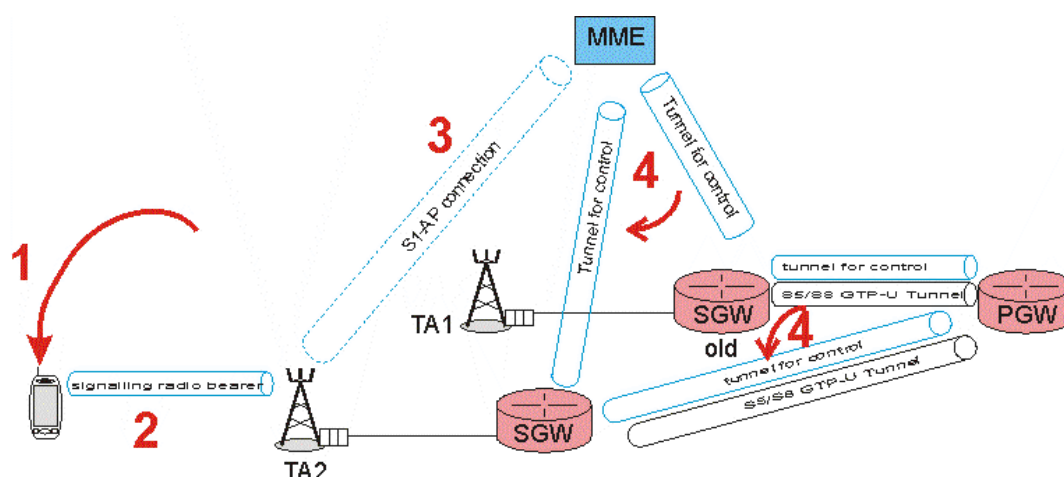
15

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Exemple de mise à jour de localisation avec changement de SGW



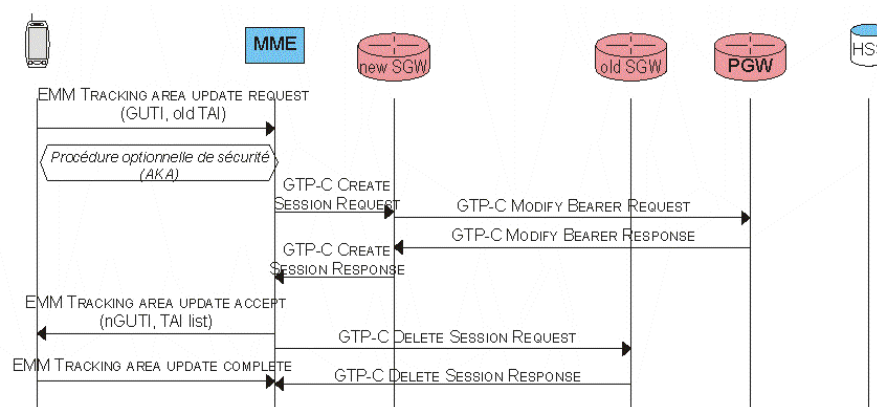
16

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Chronogramme du mise à jour avec changement de SGW



17

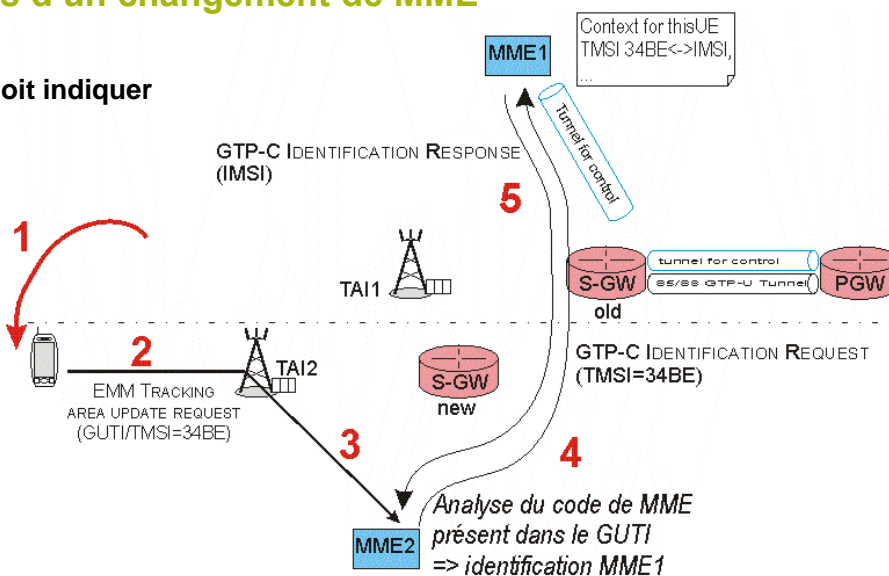
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Cas d'un changement de MME

- Le terminal doit indiquer son GUTI



18

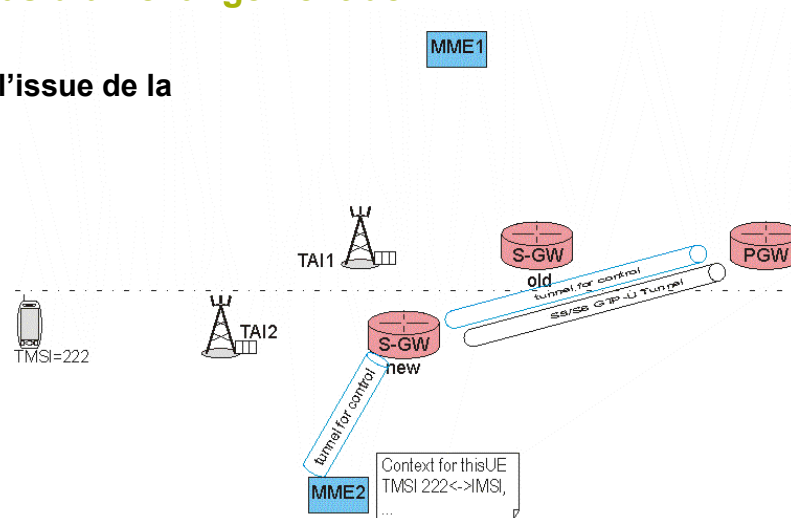
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Cas d'un changement de MME

Tunnels à l'issue de la procédure



19

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Synthèse

- Le réseau cellulaire est découpé en zones de suivi ou TA, *tracking areas*
- Chaque TA est identifiée de manière unique au monde
- A chaque mise à jour de localisation
 - le réseau fournit au terminal une liste de TA
- Le terminal fait une mise à jour de localisation s'il passe dans une cellule dont la TA ne fait pas partie de sa liste
- Plus la liste est grande
 - Moins les mises à jour de localisation sont fréquentes
 - Plus le nombre de message de paging est grand quand il faut joindre le terminal

20

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Vidéo 5 : Présentation générale du handover

Comment puis-je continuer à utiliser un service sur mon terminal alors que je me déplace ?

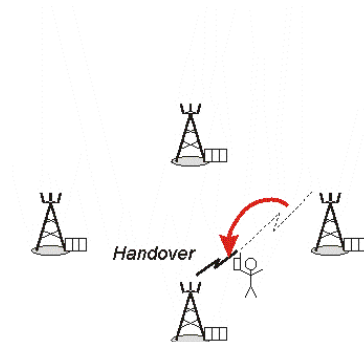
21

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Nécessité et complexité du handover



■ Un utilisateur peut avoir une session active tout en se déplaçant

- Transmission du terminal vers l'eNodeB et de l'eNodeB vers le terminal

■ Plus l'utilisateur s'éloigne de l'eNodeB, plus le signal radio devient faible

- Baisse du débit, risque de perte de la connexion
- Il faut transférer la connexion radio sur un autre eNodeB

■ Handover : transfert d'une connexion (active) d'un eNodeB vers un autre eNodeB

- Vers **quel eNodeB ?**
- Baisse du débit, risque de perte de la connexion

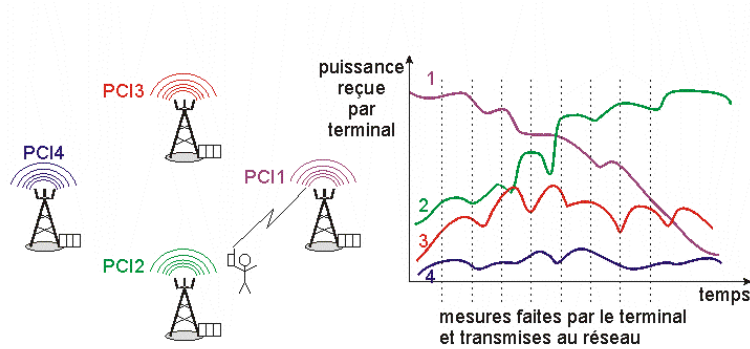
22

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Nécessité et complexité du handover : identification de la ou des cellules cibles



- **Transmission par chaque eNodeB d'un signal de référence spécifique (en lien avec une identité appelé PCI, Physical Cell Identity)**
- **Mesure par le terminal des niveaux de puissance reçue des (typiquement) 6 stations de base les mieux reçues**
- **Remontée régulière vers l'eNodeB des mesures faites**
 - UE-assisted Network-triggered Handover
 - Handover déclenchée par le réseau avec l'aide du terminal
- **Identification par l'eNodeB de la cellule cible**

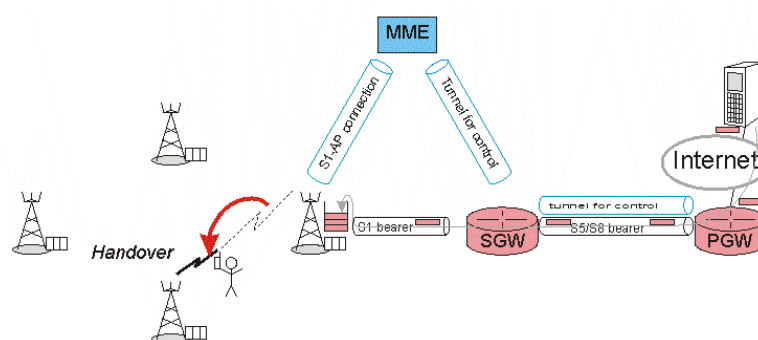
23

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau



- **Bearer entre l'eNodeB et SGW**
- **Connexion S1-AP entre l'eNodeB et le MME**
- **Réseau à commutation de paquets**
 - Buffer contenant des paquets dans les équipement intermédiaires : PGW, SGW et **surtout eNodeB**
 - Plus le terminal est loin de l'eNodeB, plus le débit sur la voie radio est faible => forte probabilité d'avoir des paquets en attente

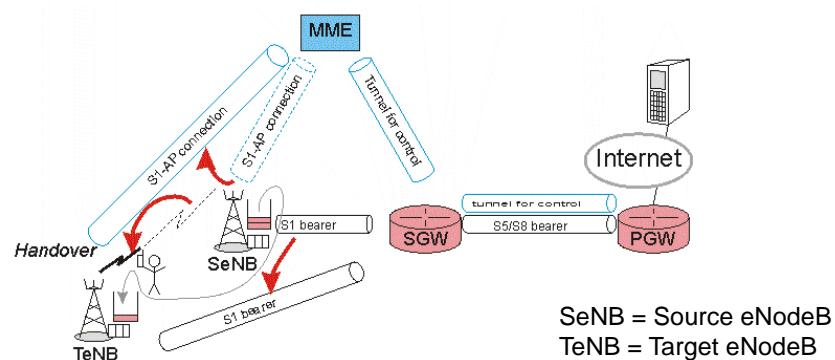
24

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau



■ Handover, une opération complexe

- Pas trop tôt, pas trop tard
- Transfert de la connexion radio, des tunnels ou connexions, des paquets en attente (si possible)
- Nécessité que l'eNodeB cible ait suffisamment de ressource pour accueillir le terminal

25

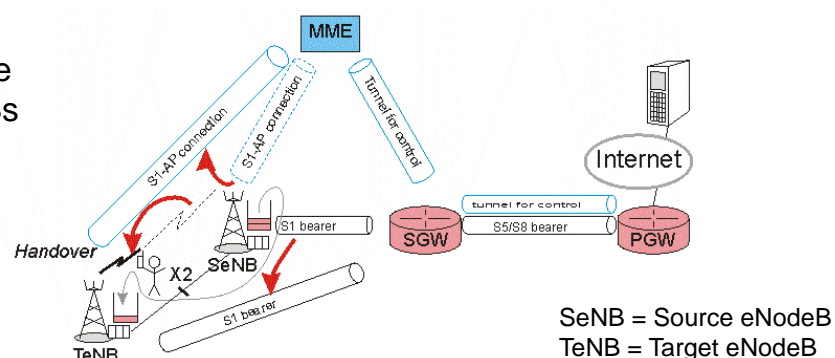
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau

X2 = Interface
entre eNodeBs



■ A l'intérieur du réseau, deux types de handover

- X2 handover,
 - Quasiment pas de coupure de la connectivité dans le réseau cœur
 - transfert des paquets en attente de SeNB vers TeNB
- S1 handover
 - Coupure de connectivité
 - possibilité de re-routage des paquets mais plus complexe

26

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Phases du handover

■ Préalablement au handover

- Activation de la transmission des mesures par le terminal lorsque la puissance reçue de la station de base est inférieure à un seuil
- Analyse par l'eNodeB des niveaux de puissance indiqués par le terminal pour l'eNodeB courant et les eNodeB voisins

■ Handover en 3 phases

- Préparation du handover (*Handover Preparation*)
 - Réserve des ressources dans le réseau (eNodeB cible)
- Exécution du handover (*Handover Execution*)
 - Envoi de l'ordre de handover au terminal, reroutage des paquets, modification des tunnels et des connexions, établissement de la connexion radio avec l'eNodeB cible
- Terminaison du handover (*Handover Completion*)

27

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Vidéo 6 : Déroulement du X2-Handover

Finalement, comment marche vraiment le handover ?

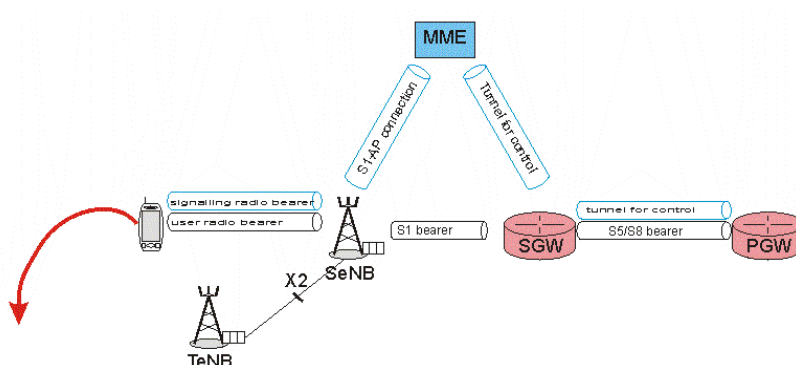
28

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Scénario du handover X2 considéré



- eNodeB cible contrôlé par le même MME et connecté au même SGW que l'eNodeB source

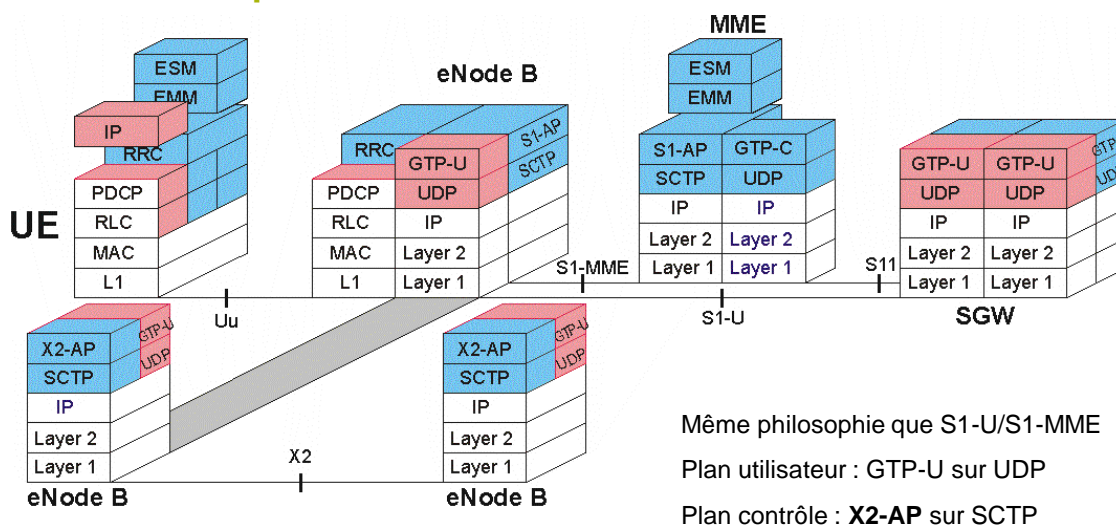
29

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Pile de protocole sur X2



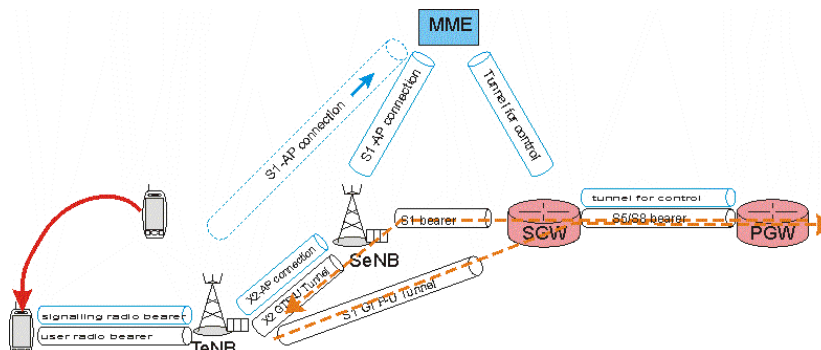
30

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Handover basé sur X2



■ Connexion X2-AP

- Utilisée par le SeNB pour demander le TeNB d'accueillir le terminal

■ Tunnel GTP-U

- Utilisé temporairement pour rerouter les paquets à destination du mobile

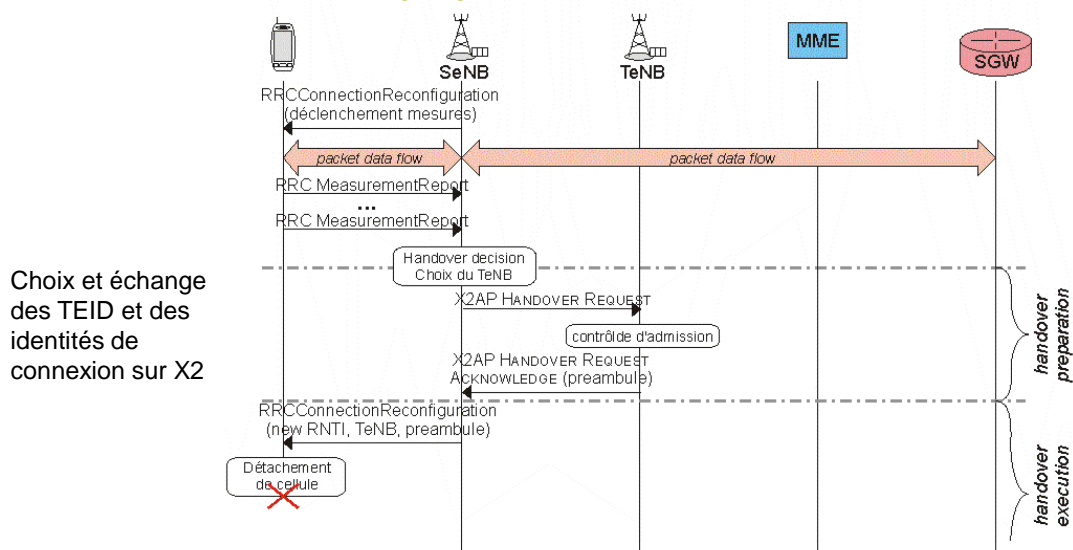
31

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Chronogramme du handover X2 sans changement de SGW ni de MME (1/2)



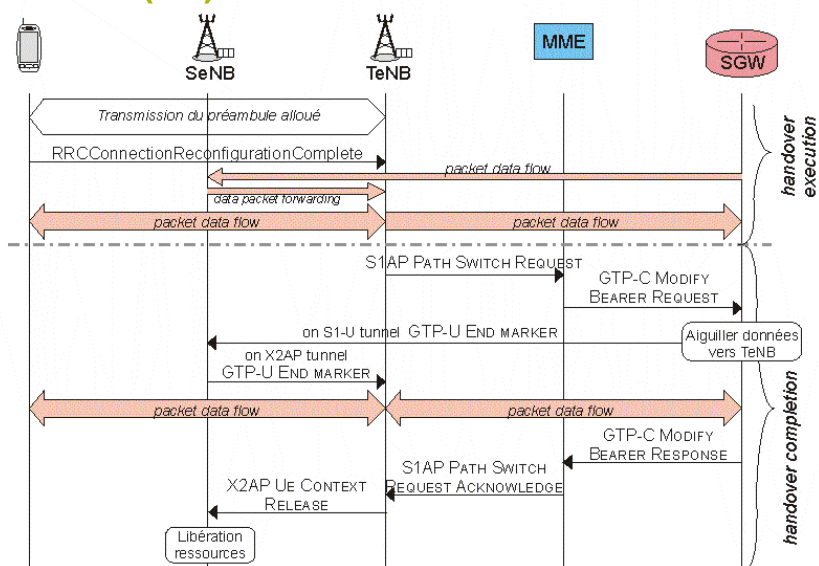
32

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Chronogramme du handover X2 sans changement de SGW ni de MME (2/2)



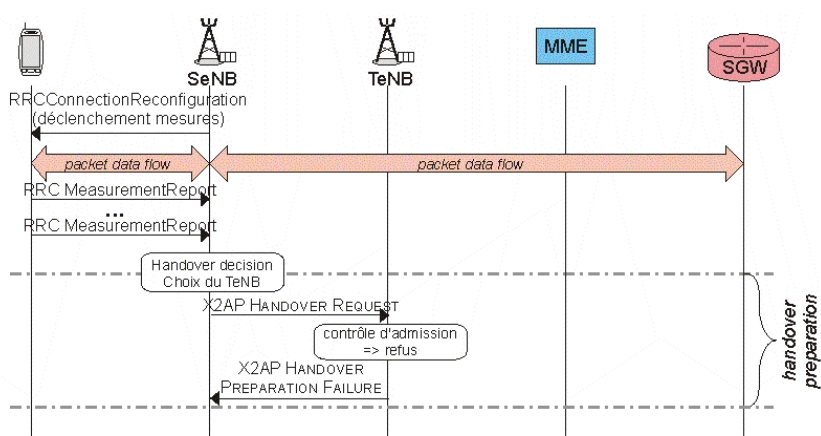
33

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Chronogramme des échanges pour un handover X2 refusé par l'eNodeB cible



34

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Vidéo 7 : Autres cas de handover

Faut-il absolument une interface X2 pour que le handover fonctionne ?

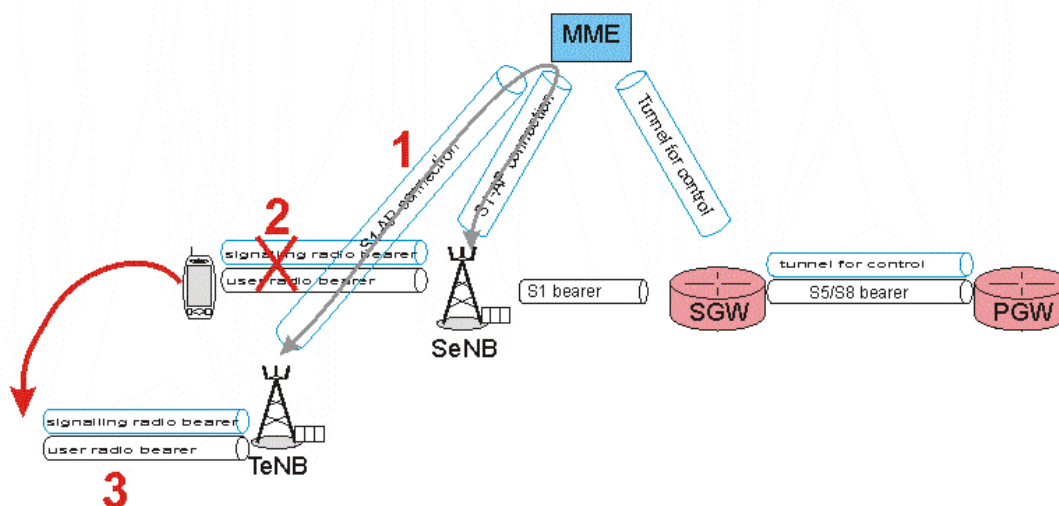
Le handover est-il possible quand le terminal change de MME, de SGW ?

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME

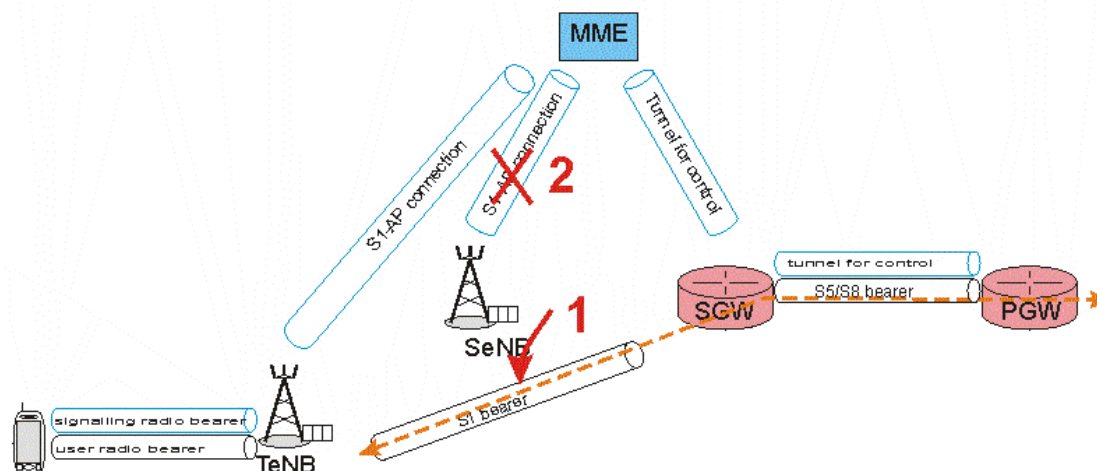


Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



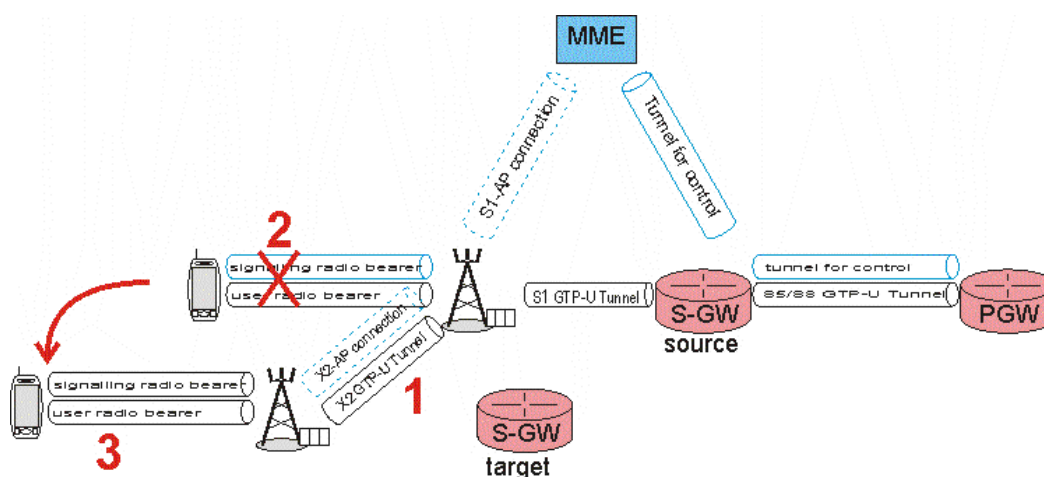
37

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Handover basé sur X2 avec changement de SGW (1))



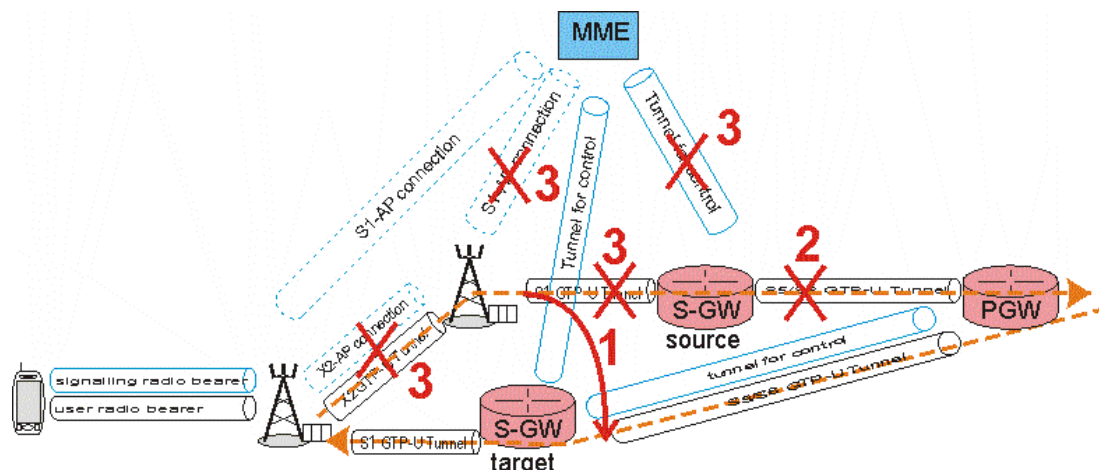
38

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Handover basé sur X2 avec changement de SGW (2)



- Le handover basé sur X2 avec changement de MME n'est pas possible
 - => il faut faire un handover basé sur S1

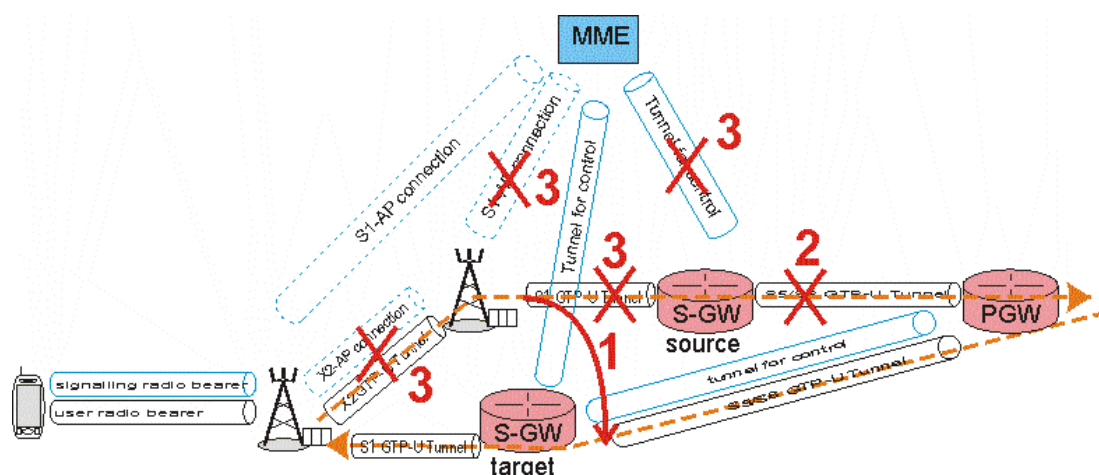
39

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Handover basé sur X2 avec changement de SGW



- Le handover basé sur X2 avec changement de MME n'est pas possible
 - => il faut faire un handover basé sur S1

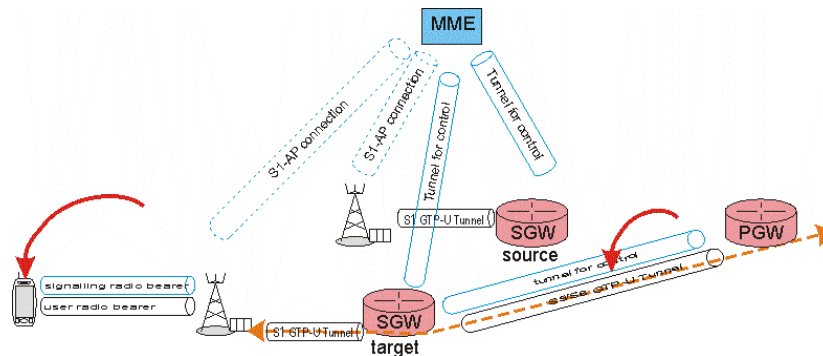
40

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Handover basé sur S1 avec changement de SGW



■ Le handover basé sur S1 avec changement de MME est prévu

- Cas rare

41

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



Conclusion sur le handover

- Tous les cas de handover au sein d'un même réseau sont prévus dans la norme
- Il y a toujours une micro-coupure de la connexion radio
 - quelques dizaines à quelques centaines de ms
 - il faut que le handover soit suffisamment rapide pour ne pas perturber les couches supérieures (TCP, applications)
- Le handover basé sur X2 permet un plus faible de taux de perte de paquet
- Les ruptures de connexion perçues par l'utilisateur sont souvent des handovers qui échouent
- Procédure de re-établissement automatique de la connexion en cas de coupure

42

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



List of some LTE acronyms

3GP
3GPP 3GPP file format
Third Generation Partnership Project

A

AAA Authentication, Authorization and Accounting
ACK Acknowledgement
AES Advanced Encryption Standard
AKA Authentication and Key Agreement
AM Acknowledged Mode
AMBR Aggregate Maximum Bit Rate
AMR Adaptive Multi Rate
AMR-WB Adaptive Multi Rate Wide Band
AN Access Network
ANDSF Access Network Discovery and Selection Function
ANDSF-SN Access Network Discovery and Selection Function Server Name
APN Access Point Name
ARFCN Absolute Radio Frequency Channel Number
ARP Address Resolution Protocol
ARQ Automatic Repeat ReQuest
AS Access Stratum
ASE Application Service Element
AUTN Authentication token

B

BBU Base-Band Unit (DRoF context)
BCCH Broadcast Control Channel (logical channel)
BER Bit Error Rate
BPSK Binary Phase Shift Keying
BS Base Station

C

CA Carrier Aggregation
CBR Constant Bit Rate
CCF Call Control Function
CDMA Code Division Multiple Access
CHAP Challenge Handshake Authentication Protocol
CN Core Network
COMP Coordinated Multi-Point transmission and reception
CP Cyclic Prefix (OFDM major Parameter)
CPRI Common Public Radio Interface
CQI Channel Quality Indicator
CRC Cyclic Redundancy Check
CRE Call Re-establishment procedure
C-RNTI Cell Radio Network Temporary Identity
C-TEID Common Tunnel Endpoint Identifier
CSG Closed Subscriber Group

D

DFTS-OFDM Direct Fourier Transform Spread – OFDM
DHCP Dynamic Host Configuration Protocol
diff-serv Differentiated services
DLCI Data Link Connection Identifier
DNS Domain Name System
DRoF Digital Radio Over the Fiber
DRX Discontinuous Reception
DS-CDMA Direct-Sequence Code Division Multiple Access
DSCH Downlink Shared Channel
DTX Discontinuous Transmission

E

EAP Extensible Authentication Protocol
ECM EPS Connection Management (also called ESM)
EEA EPS (Evolved Packet System) Encryption Algorithm
EIR Equipment Identity Register
EMM EPS Mobility Management
eNB Evolved Node B
eNodeB Evolved Node B
EPC Evolved Packet Core
EPS Evolved Packet System
E-RAB E-UTRAN Radio Access Bearer
ESM EPS Session Management (also called ECM)
E-UTRA Evolved UTRA
E-UTRAN Evolved UTRAN

F

FDD Frequency Division Duplex
FDMA Frequency Division Multiple Access
FEC Forward Error Correction
FER Frame Erasure Rate,
FFS For Further Study
FLUTE File deLivery over Unidirectional Transport
FMC Fixed Mobile Convergence
FQDN Fully Qualified Domain Name
FR Full Rate

G

GBR Guaranteed Bit Rate
GERAN GSM EDGE Radio Access Network
GGSN Gateway GPRS Support Node
GIF Graphics Interchange Format
GMLC Gateway Mobile Location Centre
GMM GPRS Mobility Management
GMSC Gateway MSC
GMSK Gaussian Minimum Shift Keying
GRE Generic Encapsulation
GSA Global mobile Suppliers Association
GSM Global System for Mobile communications
GSN GPRS Support Nodes
GTP GPRS Tunneling Protocol

GTP-C	GPRS Tunnelling Protocol for Control Plane	LBO	Local Break Out (if the PGW is “far” from the SGW, use a local gateway)
GTP-U	GPRS Tunnelling Protocol for User Plane	LIPA	Local IP access
GUTI	Globally Unique Temporary Identifier	LMA	Local Mobility Anchor (PMIP)
GW	Gateway	LV	Length and Value
H		M	
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	MAC	Medium Access Control (protocol layering context)
HCS	Hierarchical Cell Structure	MAC	Message authentication code (encryption context)
HLR	Home Location Register	MAG	Mobile Access Gateway (PMIP)
HO	Handover	MBMS	Multimedia Broadcast/Multicast Service
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	MBSFN	Multicast/Broadcast over Single Frequency Network
HSS	Home Subscriber Server	MCC	Mobile Country Code
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access	MCS	Modulation and Coding Scheme
HTML	Hyper Text Markup Language	MGCF	Media Gateway Control Function
HTTP	Hypertext Transfer Protocol	MIB	Master Information Block
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure	MIMO	Multiple Input Multiple Output
I		MIP	Mobile IP
I/O	Input/Output	MM	Mobility Management
ICC	Integrated Circuit Card	MME	Mobility Management Entity
ICMP	Internet Control Message Protocol	MMEC	Mobility Management Entity Code
IE	Information Element	MMI	Man Machine Interface
IEI	Information Element Identifier	MNC	Mobile Network Code
IETF	Internet Engineering Task Force	MPEG	Moving Pictures Experts Group
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	MSIN	Mobile Station Identification Number
IK	Integrity key	MSISDN	Mobile Subscriber ISDN Number
IKE	Internet Key Exchange (RFC2409)	MTC	Machine-Type Communications
IKEv2	Internet Key Exchange version 2	M-TMSI	M-Temporary Mobile Subscriber Identity
IMEI	International Mobile Equipment Identity	MTU	Maximum Transfer Unit
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	N	
IP	Internet Protocol	NAS	Non-Access Stratum
IP-CAN	IP-Connectivity Access Network	O	
IPv4	Internet Protocol Version 4	O&M	Operations & Maintenance
IPv6	Internet Protocol Version 6	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ISO	International Organisation for Standardisation	OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
ISP	Internet Service Provider	P	
ISR	Idle mode Signalling Reduction	PCCH	Paging Control Channel (logical channel)
ITU	International Telecommunication Union	PCEF	Policy and Charging Enforcement Function
J		PCFICH	Physical Control Format Indicator CHannel (LTE)
JPEG	Joint Photographic Experts Group	PCRF	Policy and Charging Rules Function
K		PDCCH	Physical Downlink Control CHannel
kbps	kilo-bits per second	PDCP	Packet Data Convergence Protocol
Kc	Ciphering key	PDN	Packet Data Network
KSI	Key Set Identifier	PDN-GW	Packet Data Network Gateway (also called PGW)
ksp/s	kilo-symbols per second	PDSCH	Physical Downlink Shared CHannel (LTE)
L		PDU	Protocol Data Unit
L1	Layer 1 (physical layer)	P-GW or PGW	Packet Data Network Gateway (also called PDN-GW)
L2	Layer 2 (data link layer)		
LAC	Location Area Code		
LAI	Location Area Identity		
LAN	Local Area Network		

PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator CHannel (LTE)	SIPTO	Selective IP Traffic Offload
PHY	Physical layer	SNMP	Simple Network Management Protocol
PLMN	Public Land Mobile Network	SNR	Signal to Noise Ratio
PMIP	Proxy Mobile Internet Protocol	SON	Self Organised Network
PMIP/PMIPv6	Proxy Mobile IP version 6	SQN	Sequence number
PRACH	Physical Random Access CHannel (LTE)	S-TMSI	S-Temporary Mobile Subscriber Identity (M-TMSI+MMEC)
PRB	Physical Resource Block		
PSTN	Public Switched Telephone Network	T	
PUCCH	Physical Uplink Control CHannel	TA	Timing Advance
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel	TA	Tracking Area
		TAI	Tracking Area identity
Q		TBS	Transport Block Size
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	TDD	Time Division Duplex
QCI	QoS Class Identifier	TDMA	Time Division Multiple Access
QoS	Quality of Service	TEID	Tunnel End Point Identifier
QPSK	Quadrature (Quaternary) Phase Shift Keying	TFT	Traffic Flow Template
		TLS	Transport Layer Security
R		TLV	Tag Length Value
RADIUS	Remote Authentication Dial In User Service	TM	Transparent Mode
RAND	RANdOm number (used for authentication)	TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
RA-RNTI	Random Access RNTI	TTI	Transmission Time Interval
RAT	Radio Access Technology	TX	Transmit
RB	Resource Block (LTE)		
RBER	Residual Bit Error Ratio	U	
REL	RELease	UARFCN	UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number
RF	Radio Frequency	UDP	User Datagram Protocol
RFC	Request For Comments	UE	User Equipment
RLC	Radio Link Control	UICC	Universal Integrated Circuit Card
RNTI	Radio Network Temporary Identity	UL	Uplink (Reverse Link)
ROHC	Robust Header Compression	UM	Unacknowledged Mode
RRC	Radio Resource Control	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
RRH	Remote Radio Head	U-plane	User plane
RSA	Algorithm invented by Rivest, Adleman and Shamir	URI	Uniform Resource Identifier
RSCP	Received Signal Code Power	URL	Uniform Resource Locator
RSSI	Received Signal Strength Indicator	USIM	Universal Subscriber Identity Module
RSVP	Resource ReserVation Protocol	UTF-8	Unicode Transformation Format (the 8-bit form)
RT	Real Time	UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
RTCP	RTP Control Protocol	UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
RTP	Real Time Protocol		
RTSP	Real-Time Streaming Protocol	V	
		VoIMS	Voice over IMS
S		VoIP	Voice Over IP
S1-AP	Application Protocol on the S1 interface	W	
S1-MME	S1 for the control plane	WLAN	Wireless Local Area Network
S1-U	S1 for the user plane	WWW	World Wide Web
SAE	System Architecture Evolution		
SAPI	Service Access Point Identifier	X	
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access (other name : DFTS-OFDM)	X2-C	X2-Control plane
SCTP	Stream Control Transmission Protocol	X2-U	X2-User plane
SGW (S-GW)	Serving Gateway	XHTML	eXtensible Hyper Text Markup Language
SIB	Signalling Information Block	XRES	EXpected user RESponse
SINR	Signal-to-Noise-and-Interference Ratio		
SIP	Session Initiation Protocol		

w w w . t e l e c o m - b r e t a g n e . e u

Campus de Brest

Technopôle Brest-Iroise

CS 83818

29238 Brest Cedex 3

France

Tél. : + 33 (0)2 29 00 11 11

Fax : + 33 (0)2 29 00 10 00

Campus de Rennes

2, rue de la Châtaigneraie

CS 17607

35576 Cesson Sévigné Cedex

France

Tél. : + 33 (0)2 99 12 70 00

Fax : + 33 (0)2 99 12 70 19

Campus de Toulouse

10, avenue Edouard Belin

BP 44004

31028 Toulouse Cedex 04

France

Tél. : +33 (0)5 61 33 83 65

Fax : +33 (0)5 61 33 83 75

