



## 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**



**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 ?**

## 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

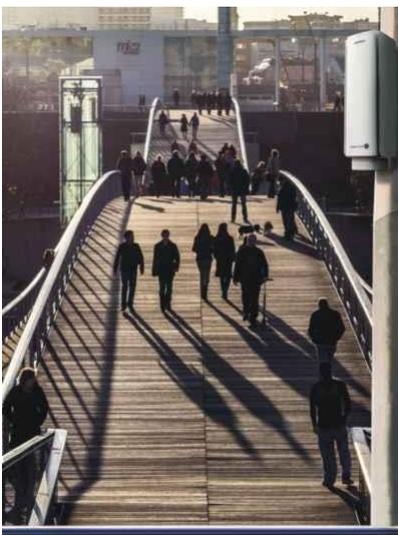
5

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Autres exemples d'eNodeBs



Sources : Alcatel-Lucent

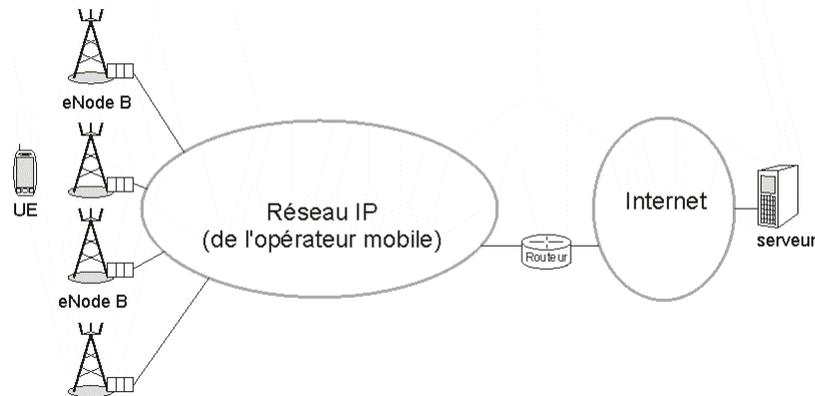
6

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)

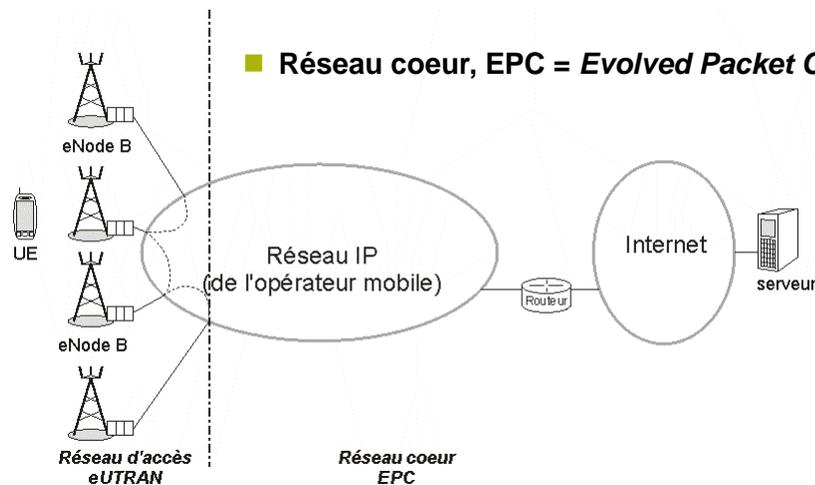
7

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 Equipment) est typiquement de 0,2 W (200 mW)
- La portée est typiquement de quelques kilomètres pour une telle puissance



10

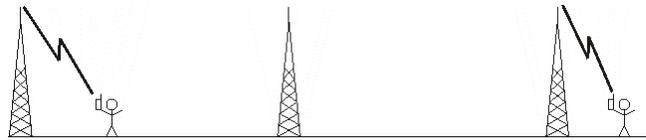
Institut Mines-Télécom

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

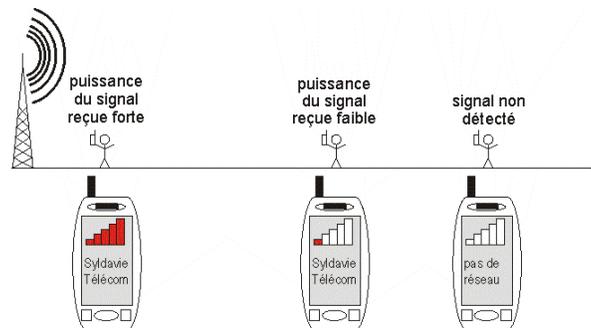
Institut Mines-Télécom

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



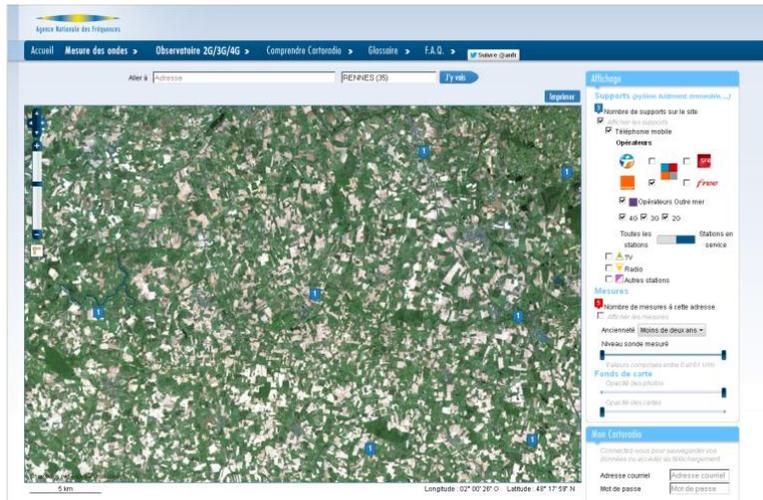
12

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>

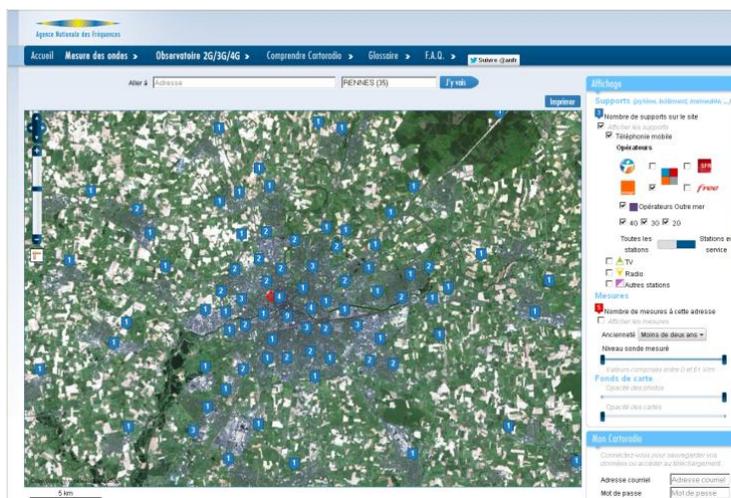


13

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>

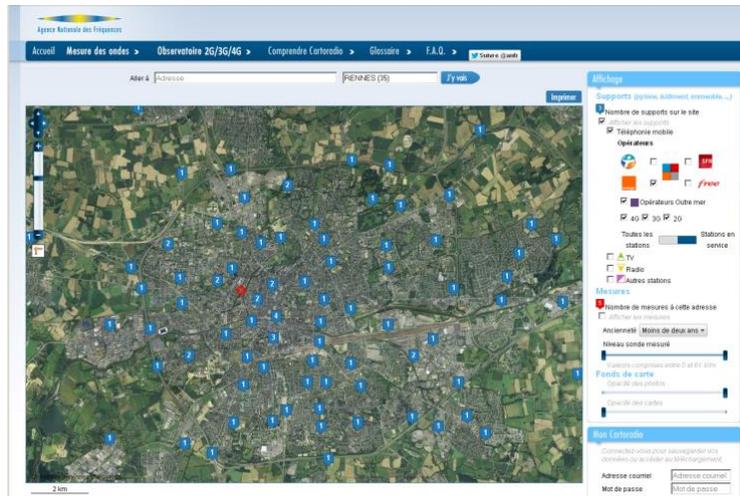


14

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>

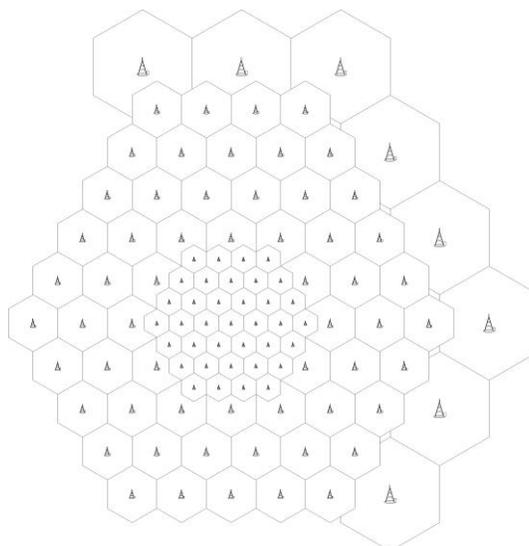


15

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 km<sup>2</sup> soit supérieure au trafic engendré par les clients

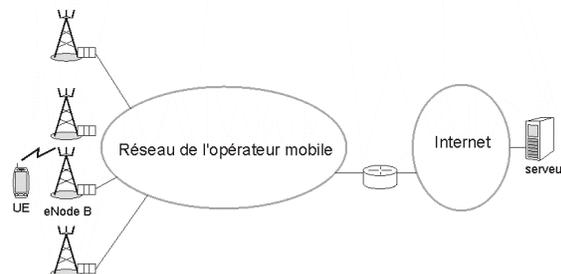
17

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 ?**

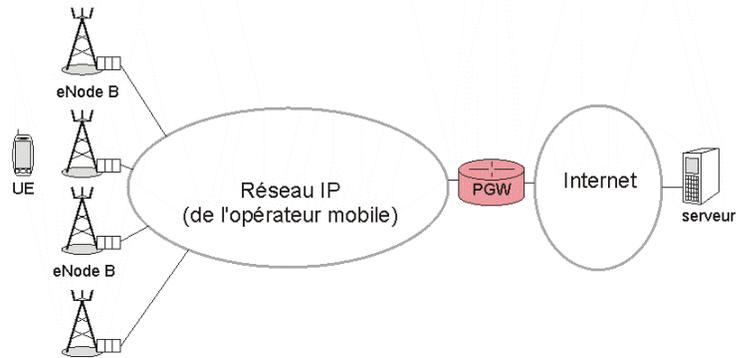
18

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux

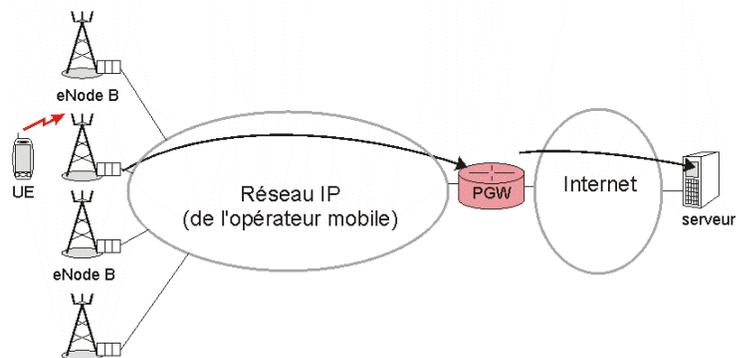


## La passerelle d'accès ou PGW



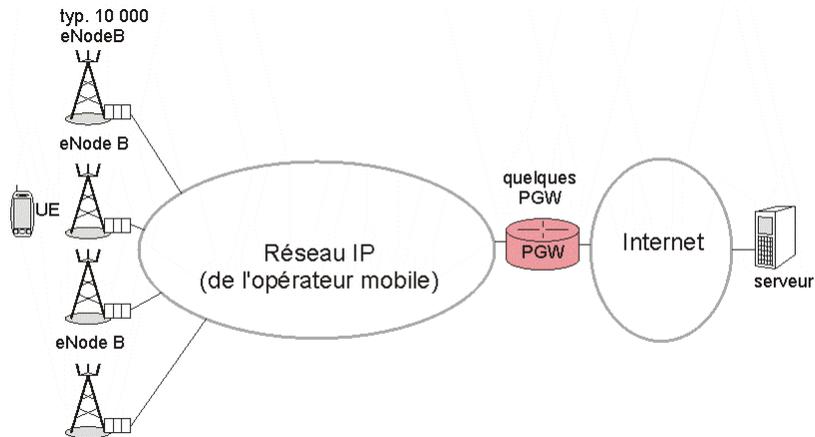
- Le réseau Internet ne sait pas gérer la mobilité
- Les paquets de données doivent être routés vers une « porte d'entrée » unique : PGW, Packet GateWay

## 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

## Nécessité d'une passerelle intermédiaire



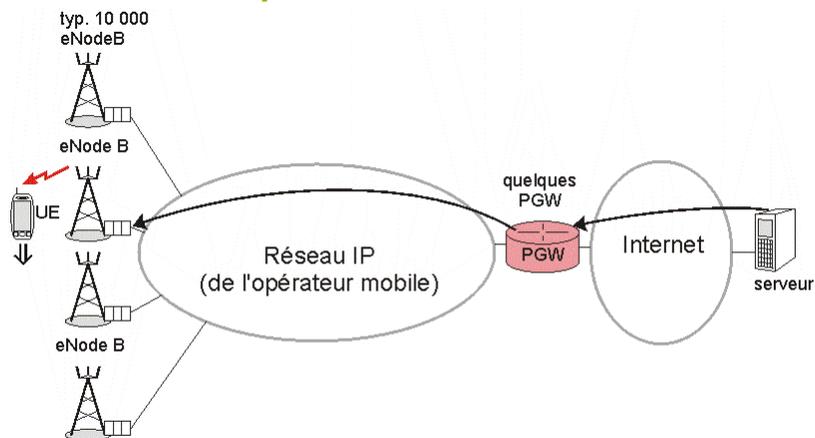
21

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Nécessité d'une passerelle intermédiaire



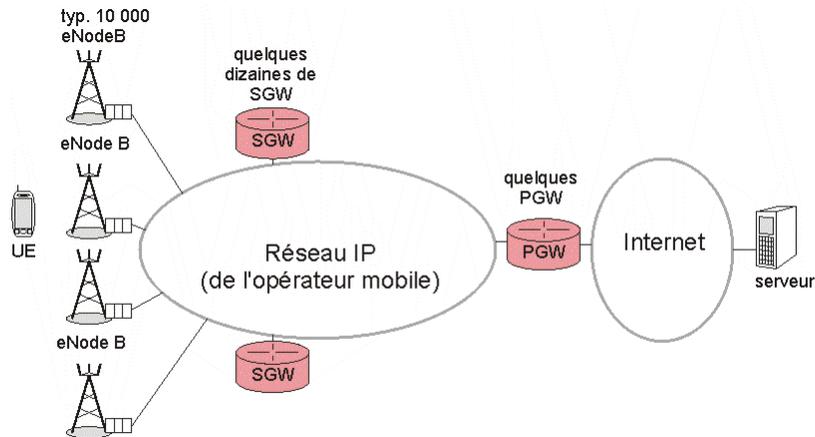
22

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Les passerelles régionales ou SGW



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

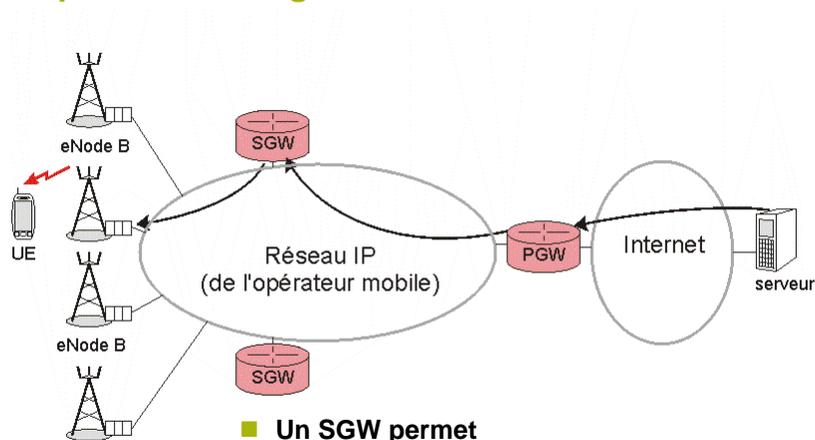
23

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

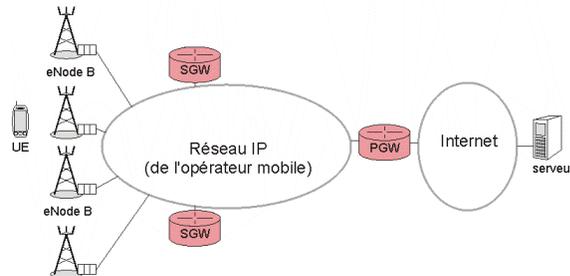
24

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 ?**

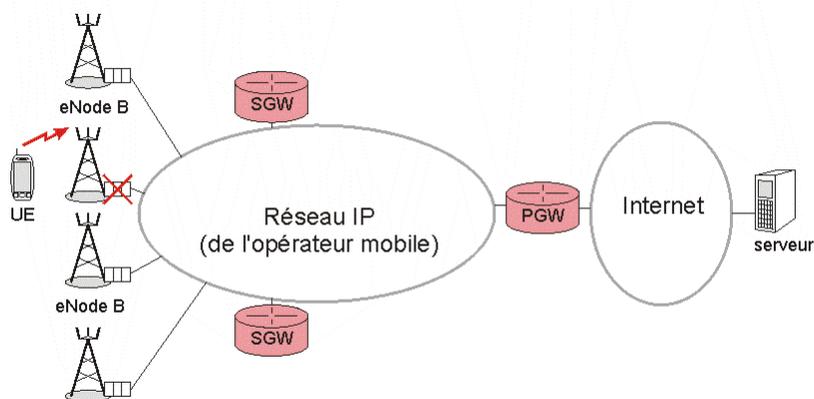
25

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

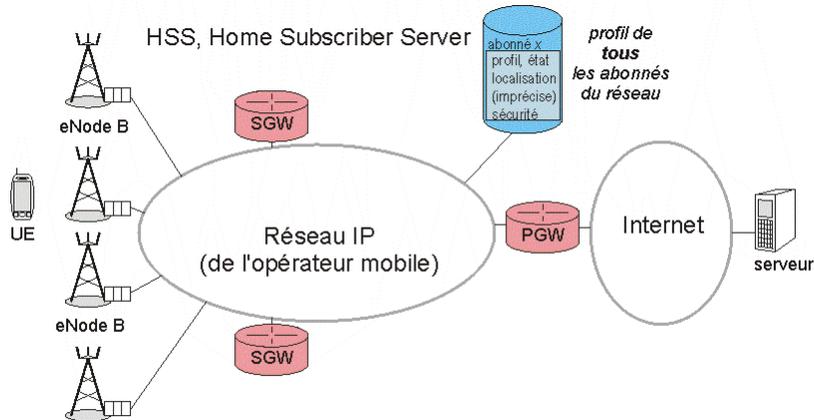
26

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Le HSS, base de données des abonnés



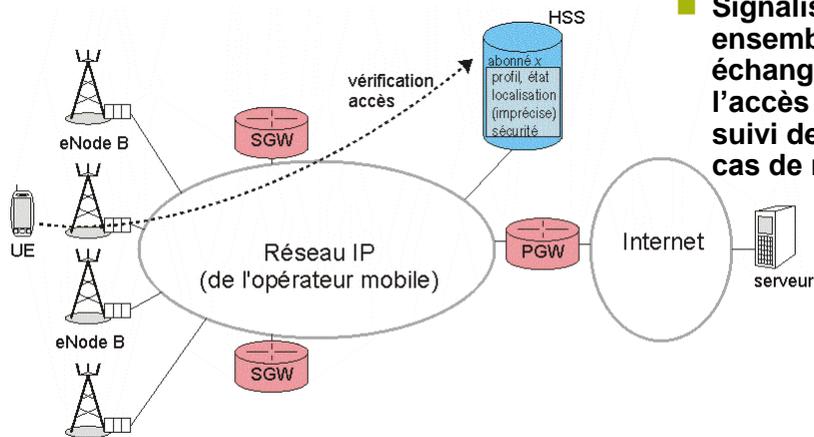
27

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**

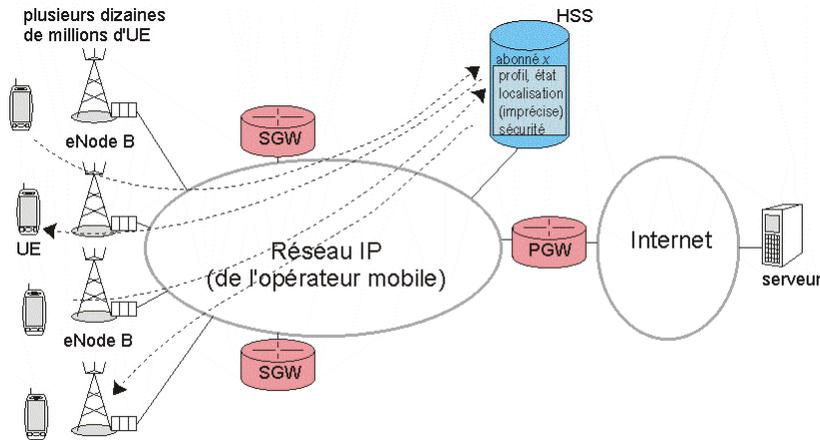
28

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux

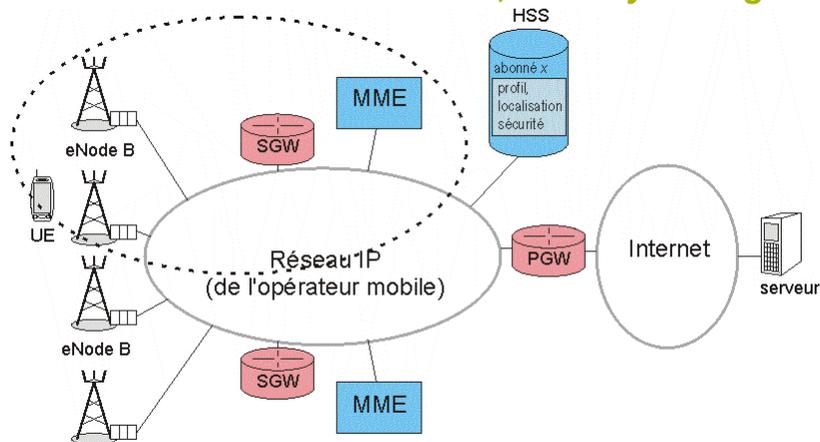


## Le HSS, base de données des abonnés



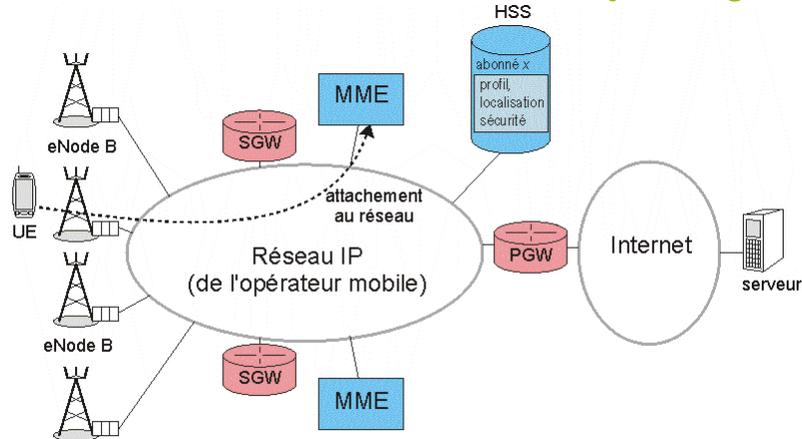
- La mobilité, la sporadicité des activités du terminal conduit à l'envoi (ou la réception) fréquent de signalisation par terminal

## Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



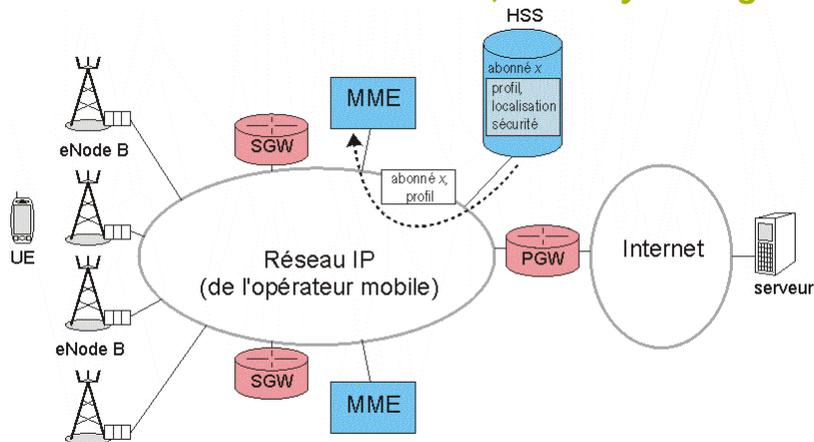
- MME, Mobility Management Entity

## Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



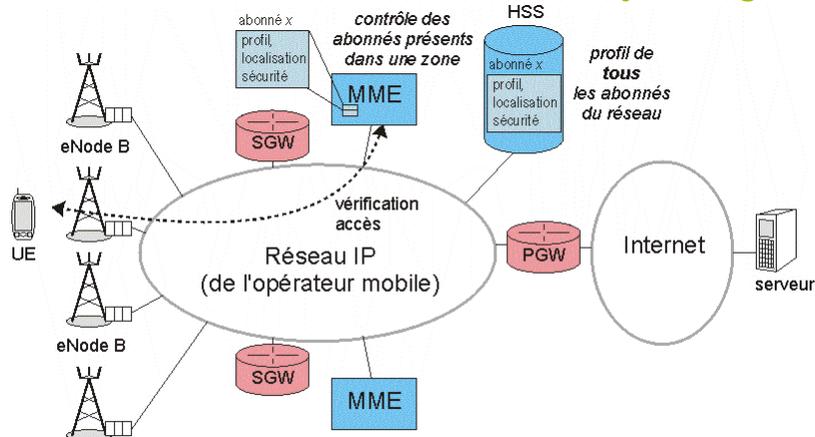
### ■ Attachement du terminal au réseau à la mise sous tension

## Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



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

## Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



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

33

Institut Mines-Télécom

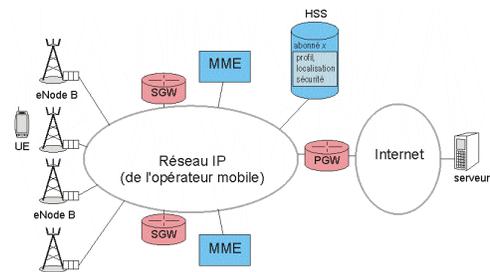
X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## 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 ?

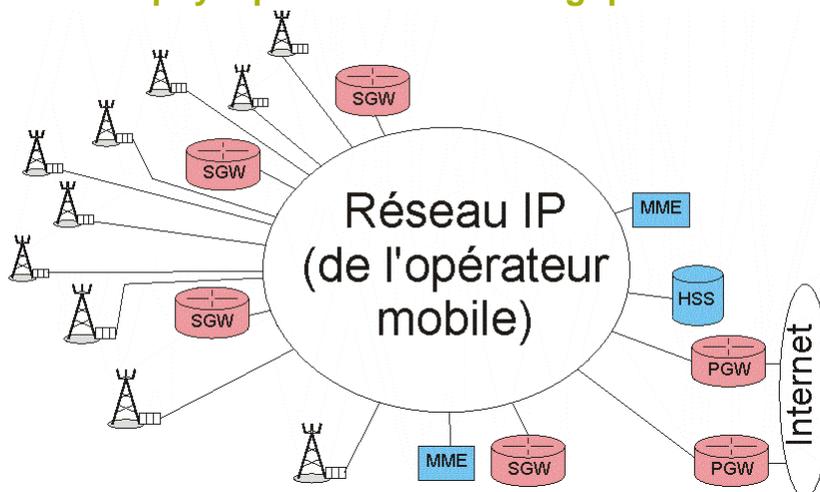
35

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

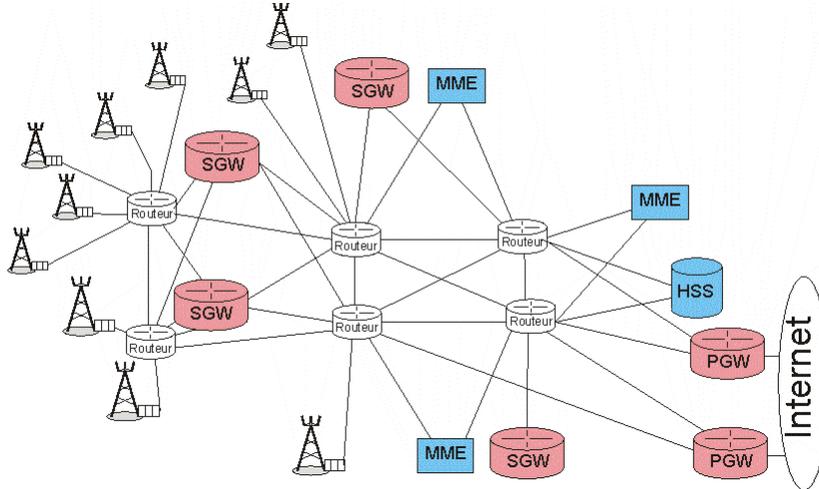
36

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux

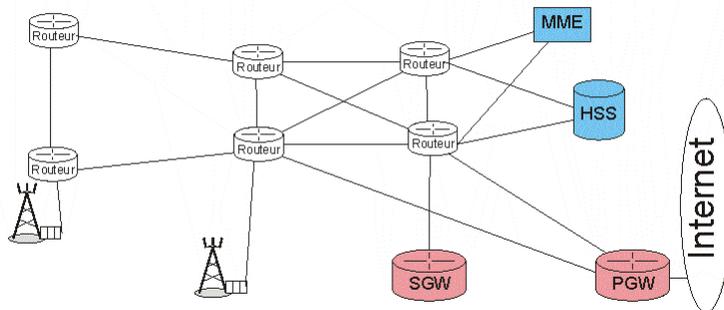


## Interface physique vs interfaces logiques



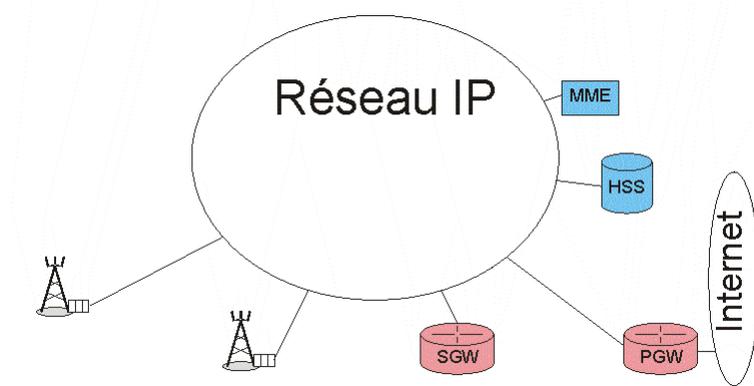
- Des équipements peuvent dialoguer entre eux même s'ils ne sont pas directement physiquement interconnectés par une liaison : dialogue via le réseau IP

## 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

## 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

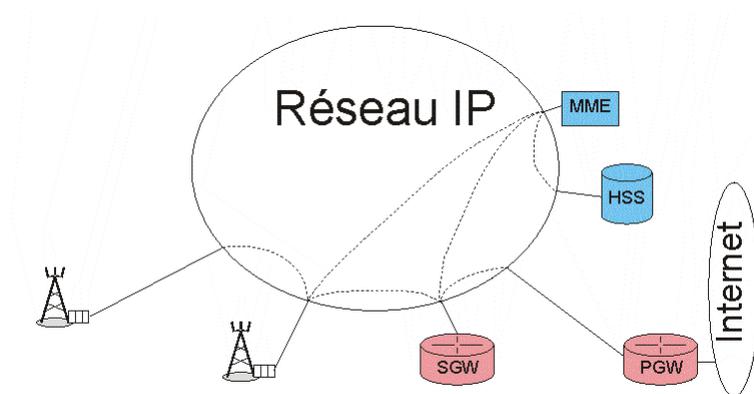


39

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

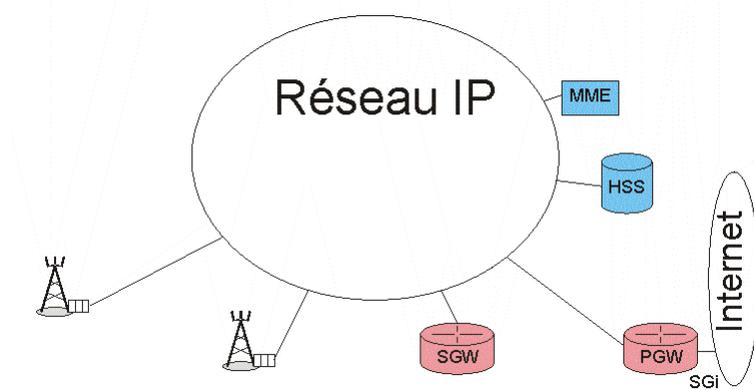


40

Institut Mines-Télécom

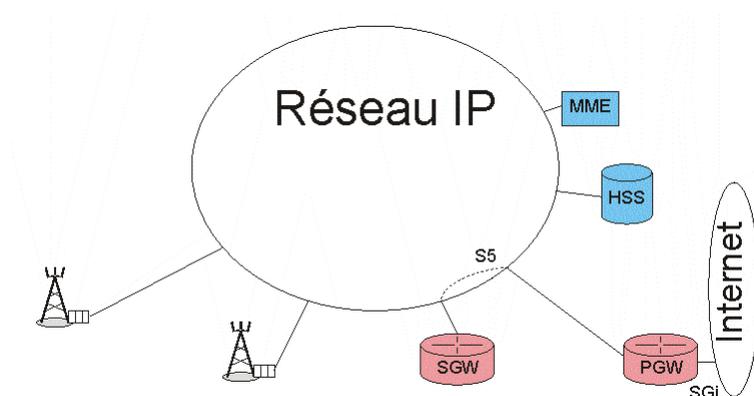
X. Lagrange, Architecture et principes généraux

## Interfaces entre les équipements du réseau coeur



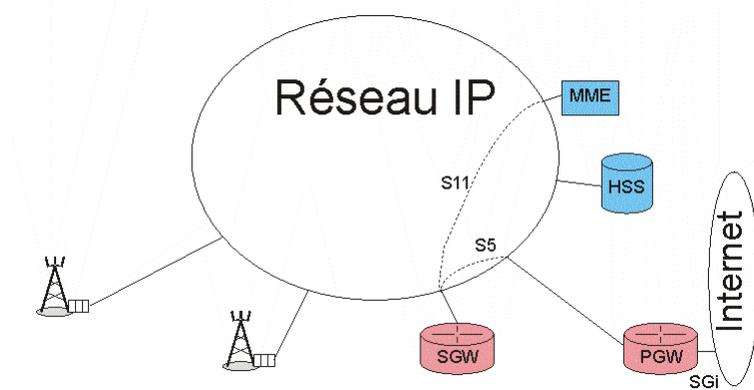
- Interface S-Gi : entre le PGW et le réseau IP externe (Internet)

## Interfaces entre les équipements du réseau coeur



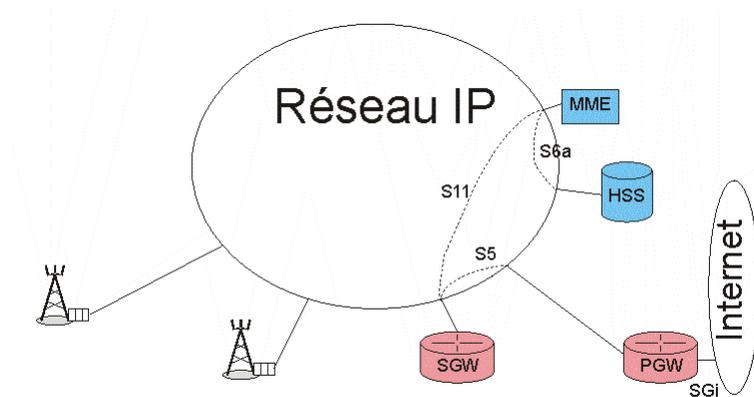
- Interface S5 : entre le SGW et le PGW (d'un même réseau)
- Transport des données utilisateurs + quelques messages de signalisation

## Interfaces entre les équipements du réseau coeur



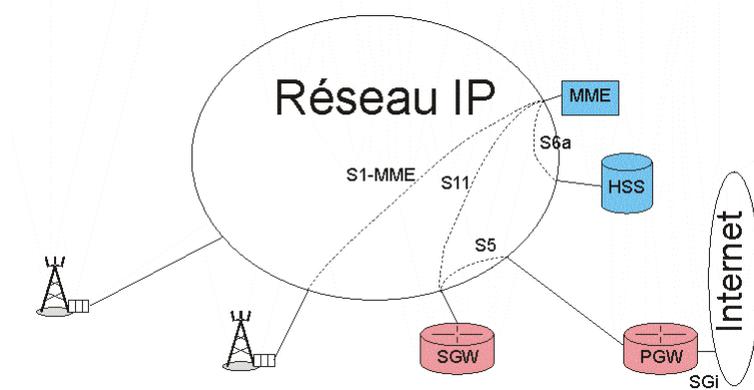
- Interface S11 : entre le SGW et le MME
- Transport de messages de signalisation

## Interfaces entre les équipements du réseau coeur



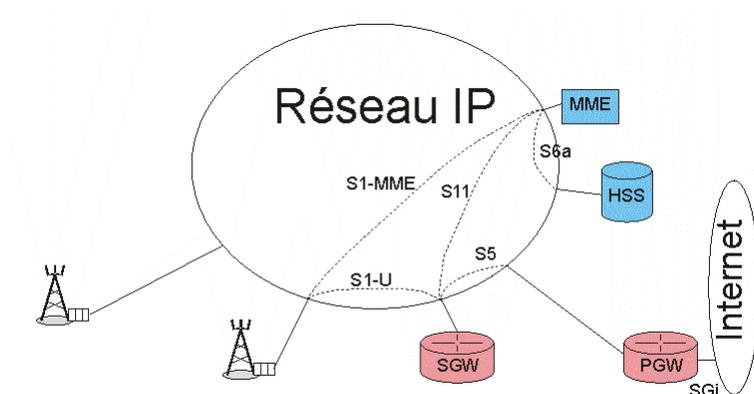
- Interface S6a : entre le MME et le HSS
- Transport de messages de signalisation

## Interfaces entre les équipements du réseau coeur



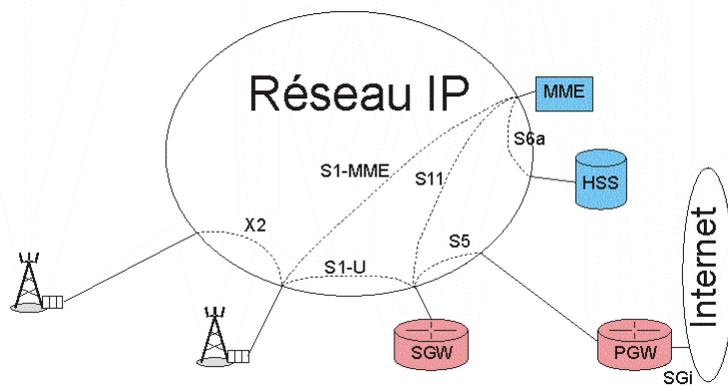
- Interface S1-MME : entre l'eNodeB et le MME
- Transport de messages de signalisation

## Interfaces entre les équipements du réseau coeur



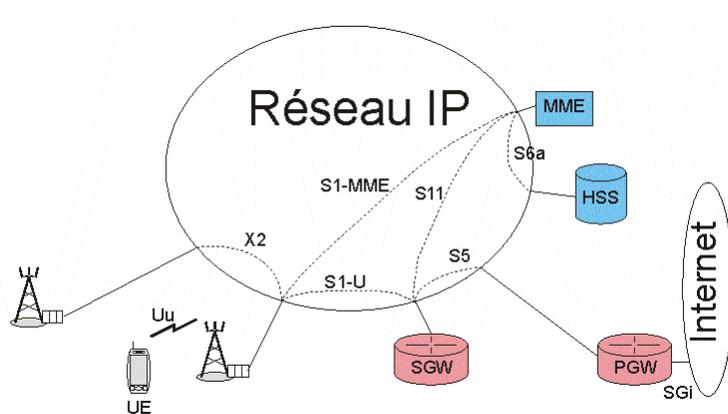
- Interface S1-U : entre l'eNodeB et le SGW
- Transport de données utilisateurs, pas d'échange de signalisation

## Interfaces entre les équipements du réseau coeur



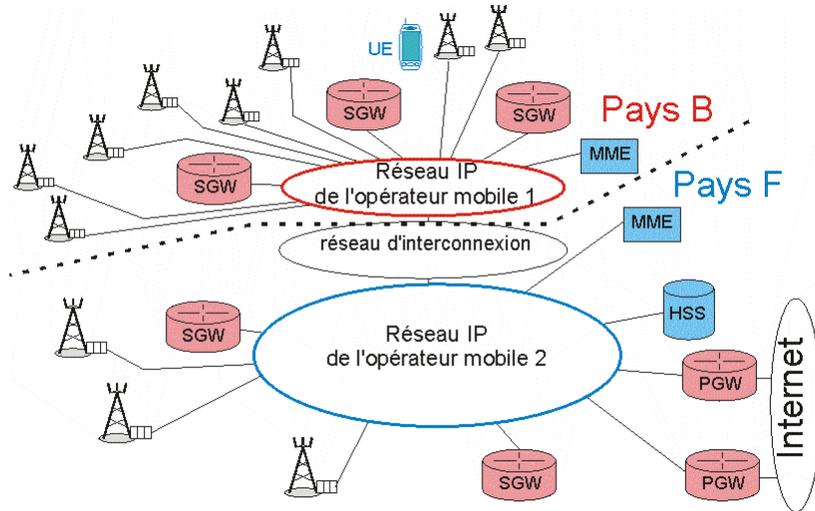
- Interface X2 : entre 2 eNodeB
- Transport des données utilisateurs et des messages de signalisation

## 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

## Interconnexion de réseaux coeurs



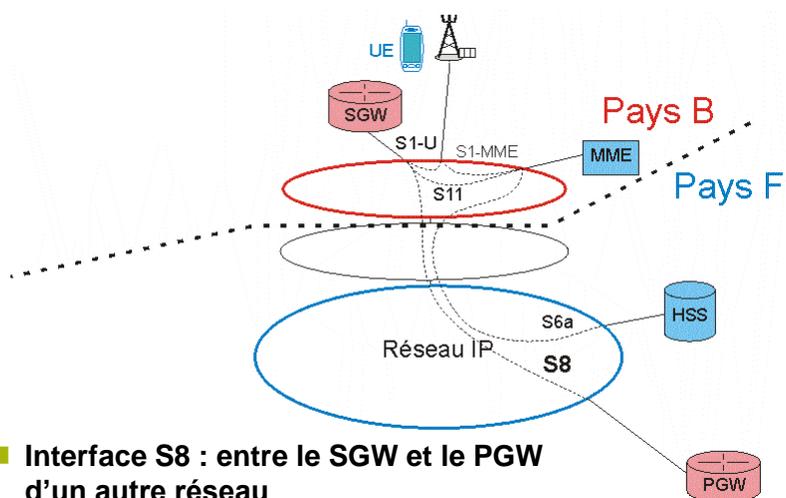
49

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

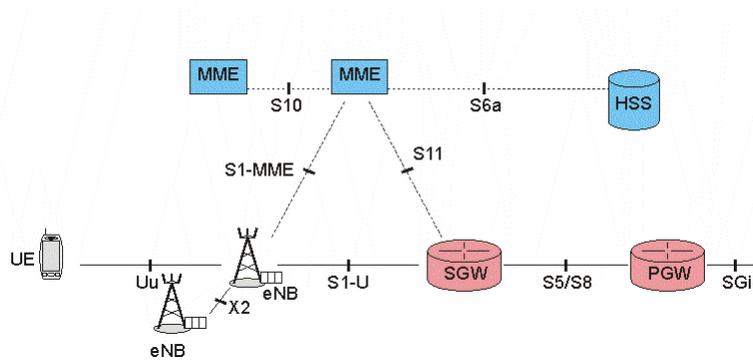
50

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Présentation du réseau cœur et des interfaces dans le cours



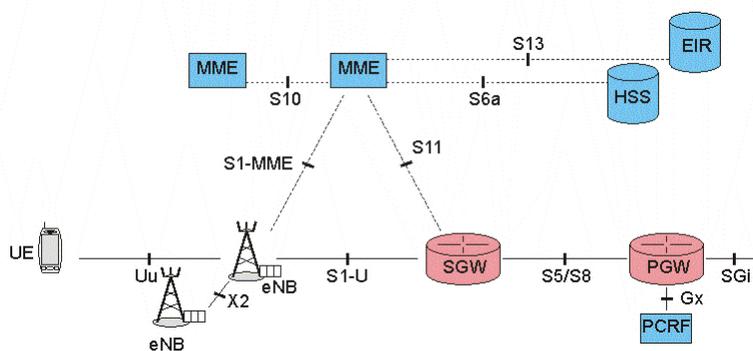
51

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 ?

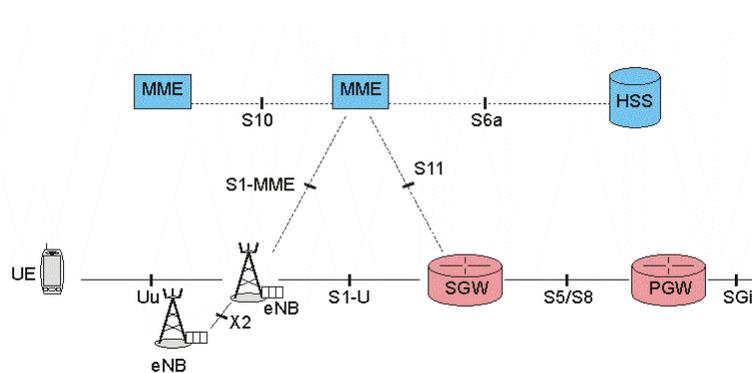
53

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Organisation du cours



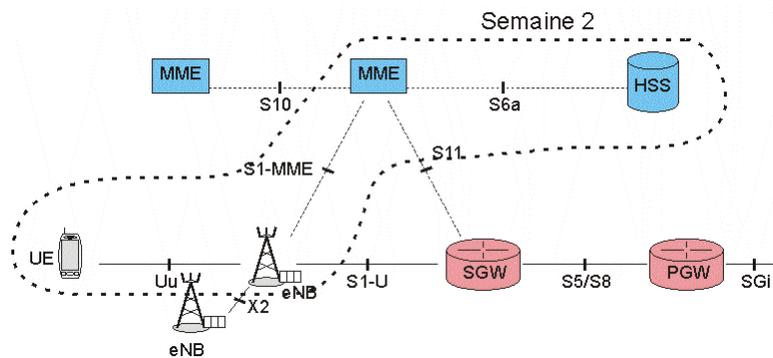
54

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Organisation du cours



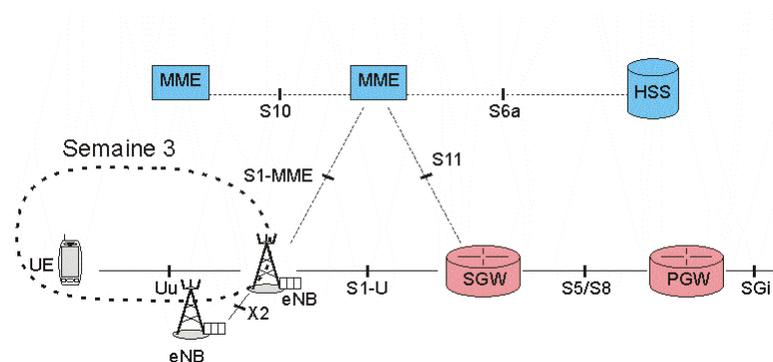
55

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



## Organisation du cours



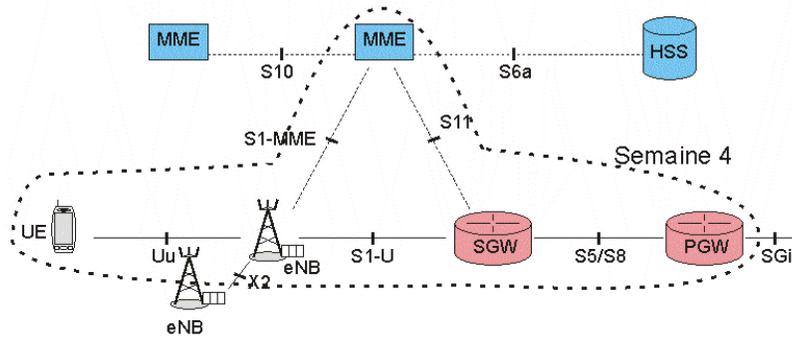
56

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



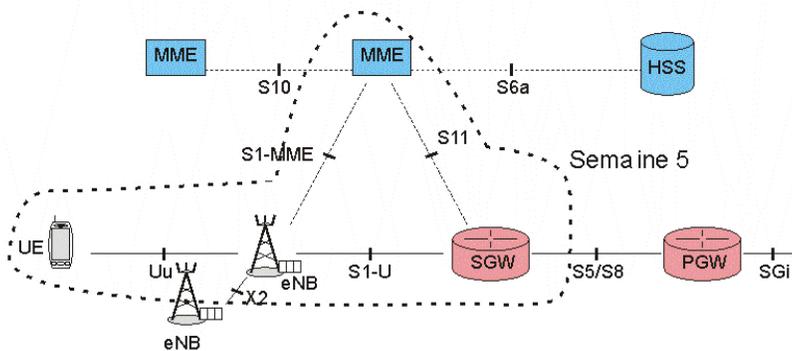
## Organisation du cours



Institut Mines-Télécom



## Organisation du cours



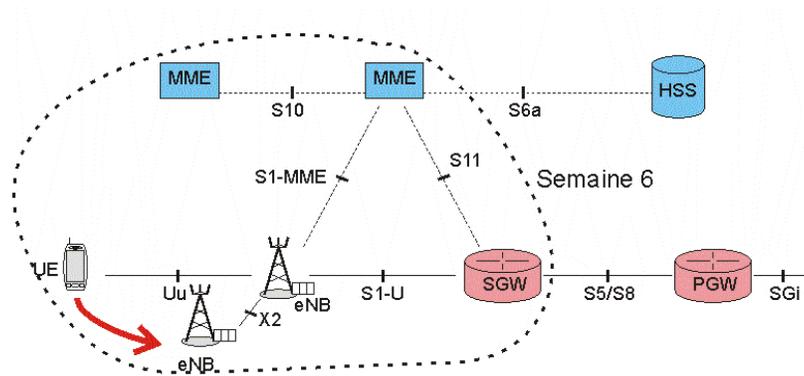
58

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

1

Institut Mines-Télécom

A. Pelov, Procédures de sécurité



## Introduction

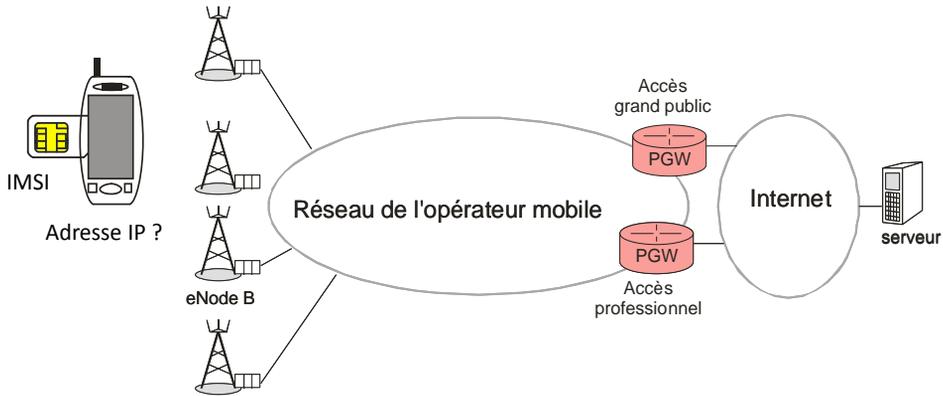
Que se passe-t-il quand j'allume mon terminal ?

Comment sont organisés les mécanismes de sécurité ?

Institut Mines-Télécom

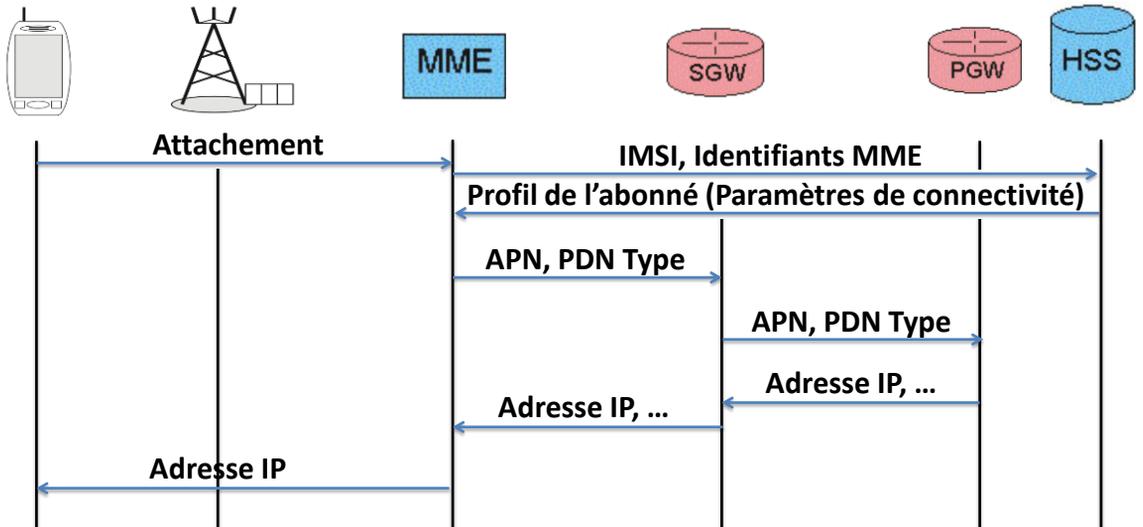
A. Pelov, Sécurité des réseaux 4G





APN = Access Point Name

Exemple : [www.operateur.fr](http://www.operateur.fr) ou [pro.operateur.fr](http://pro.operateur.fr)



APN = Access Point Name  
quel PGW utiliser

PDN Type = Packet Data Network Type

quel type d'IP utiliser (IPv6, IPv4, les deux)



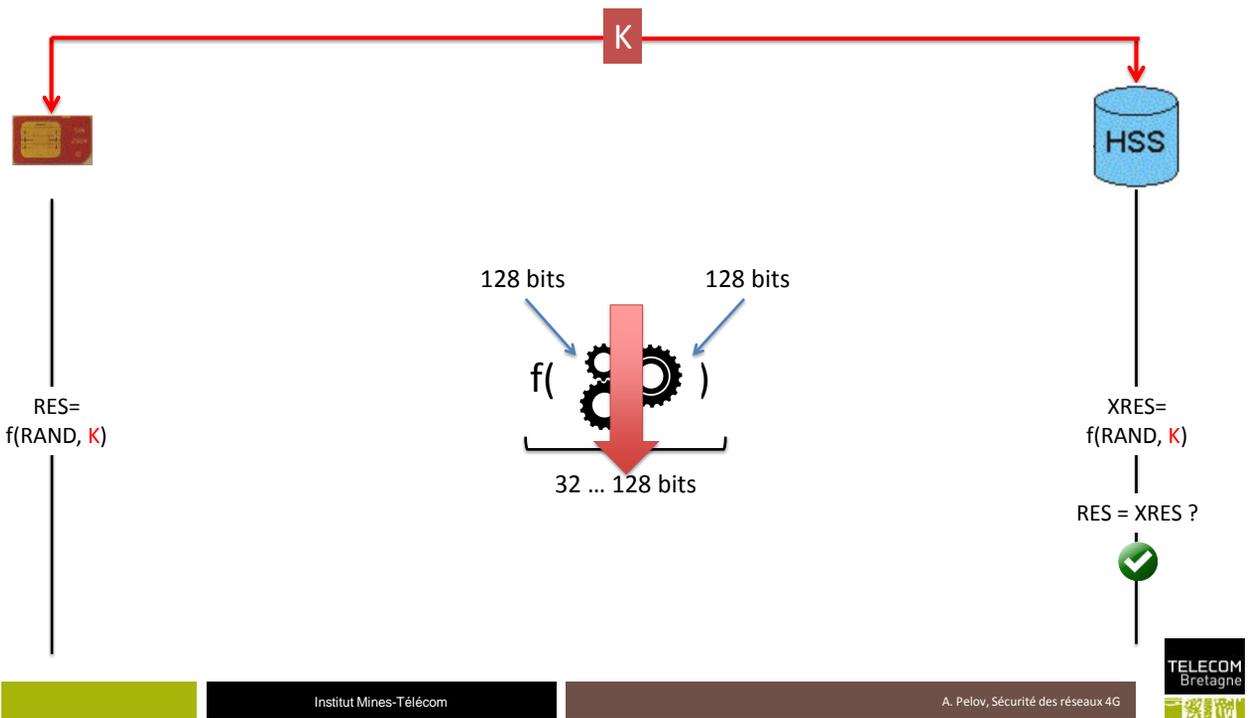
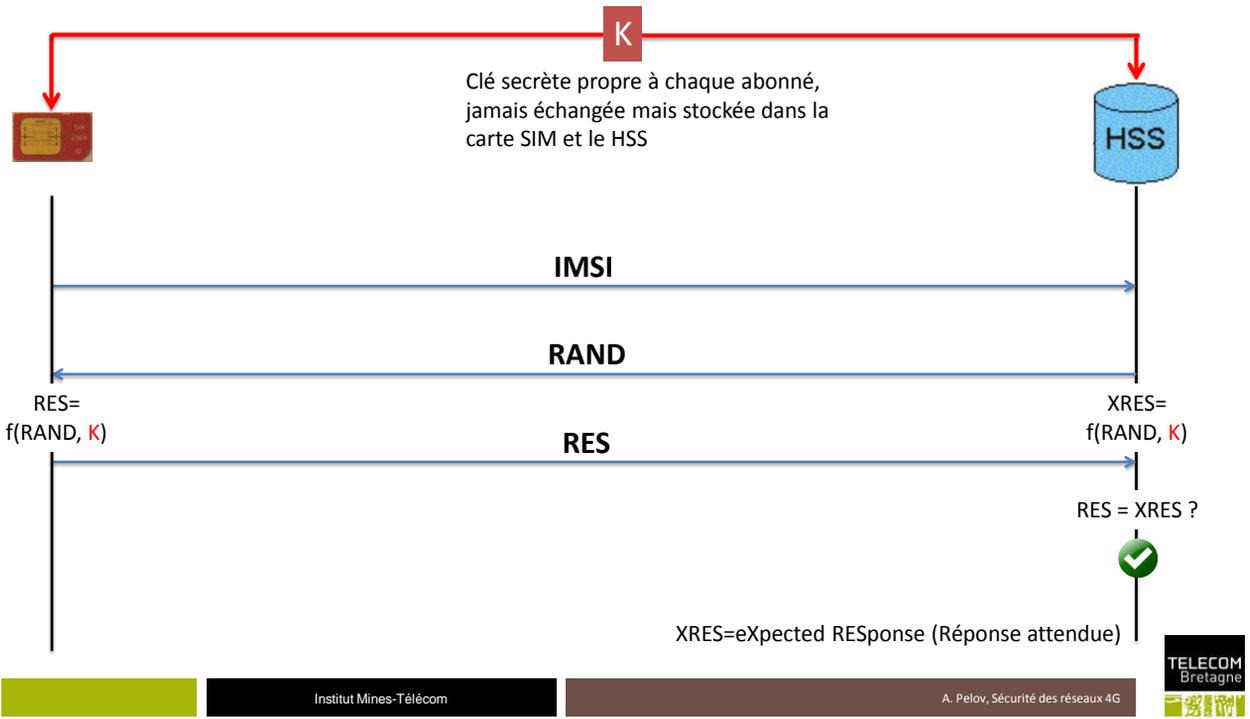
## Les principaux mécanismes de sécurité

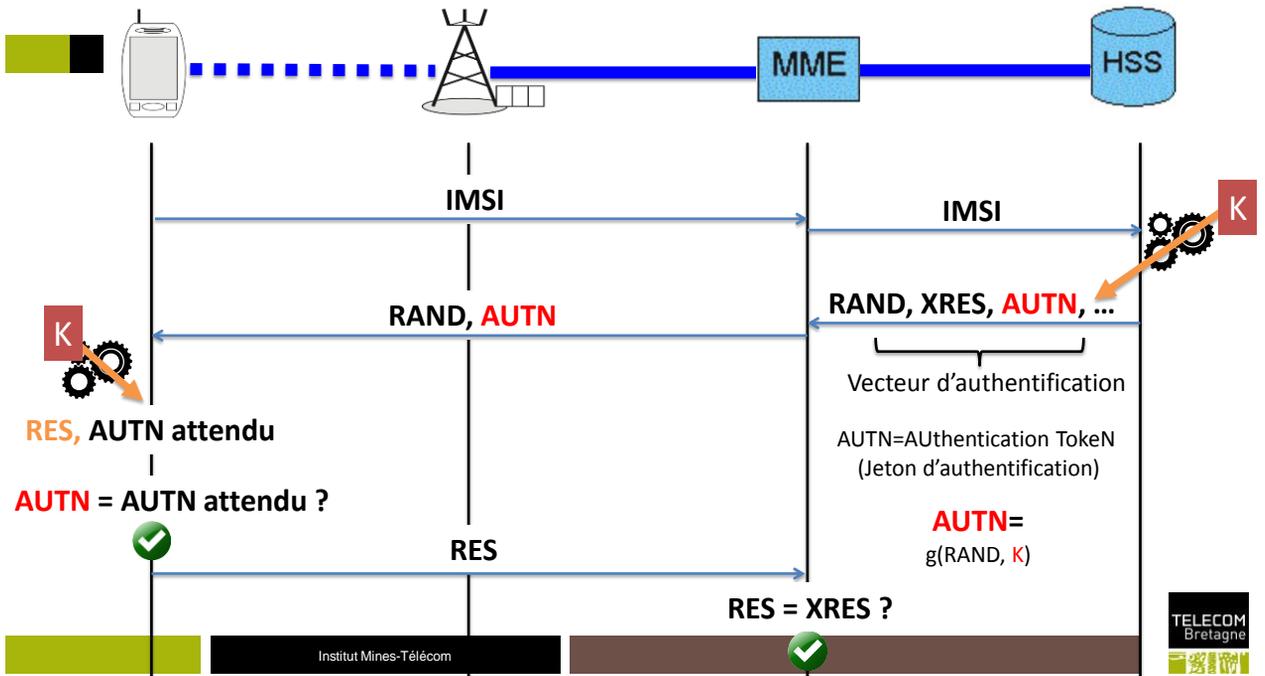
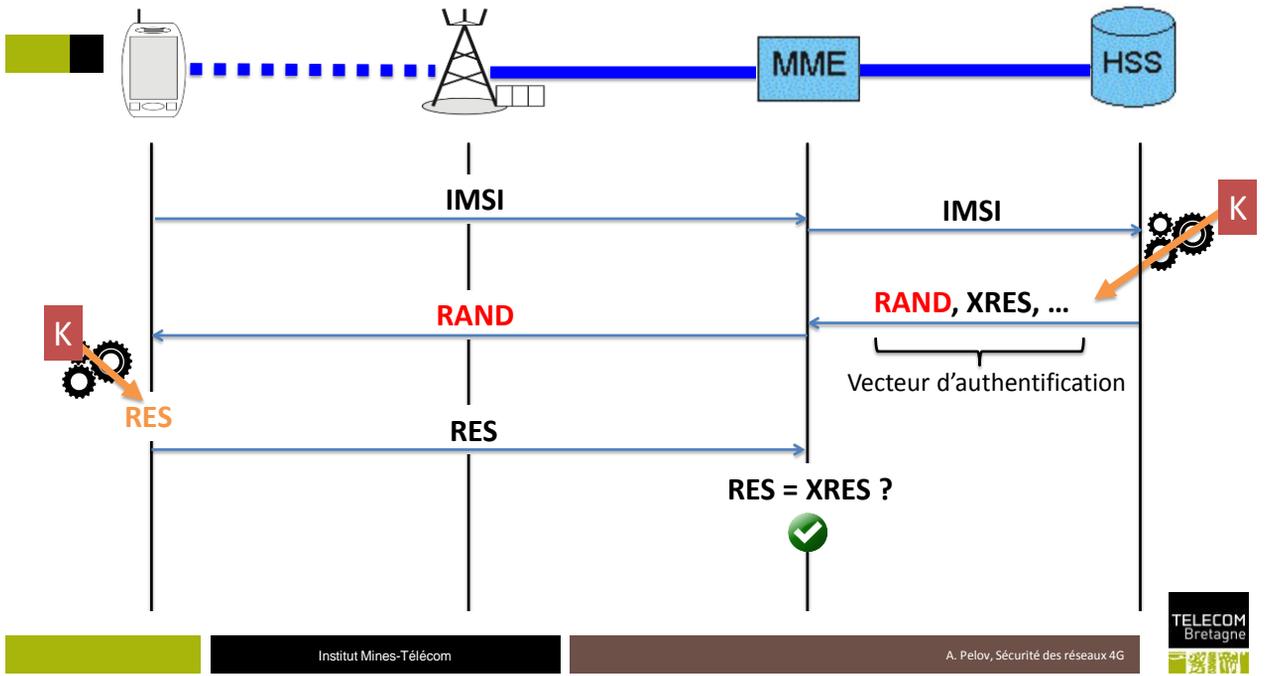
- Utilisation frauduleuse du réseau → Authentification
- Ecoute des échanges → Chiffrement
- Modification des messages → Intégrité
- Suivi/localisation d'un terminal → Identité temporaire

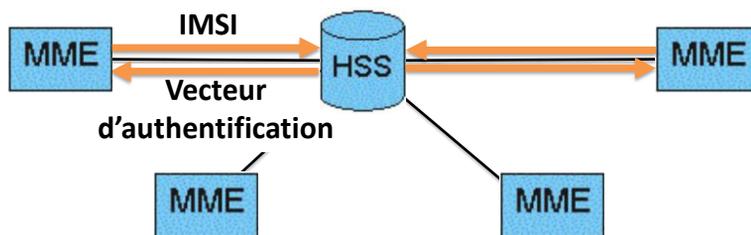
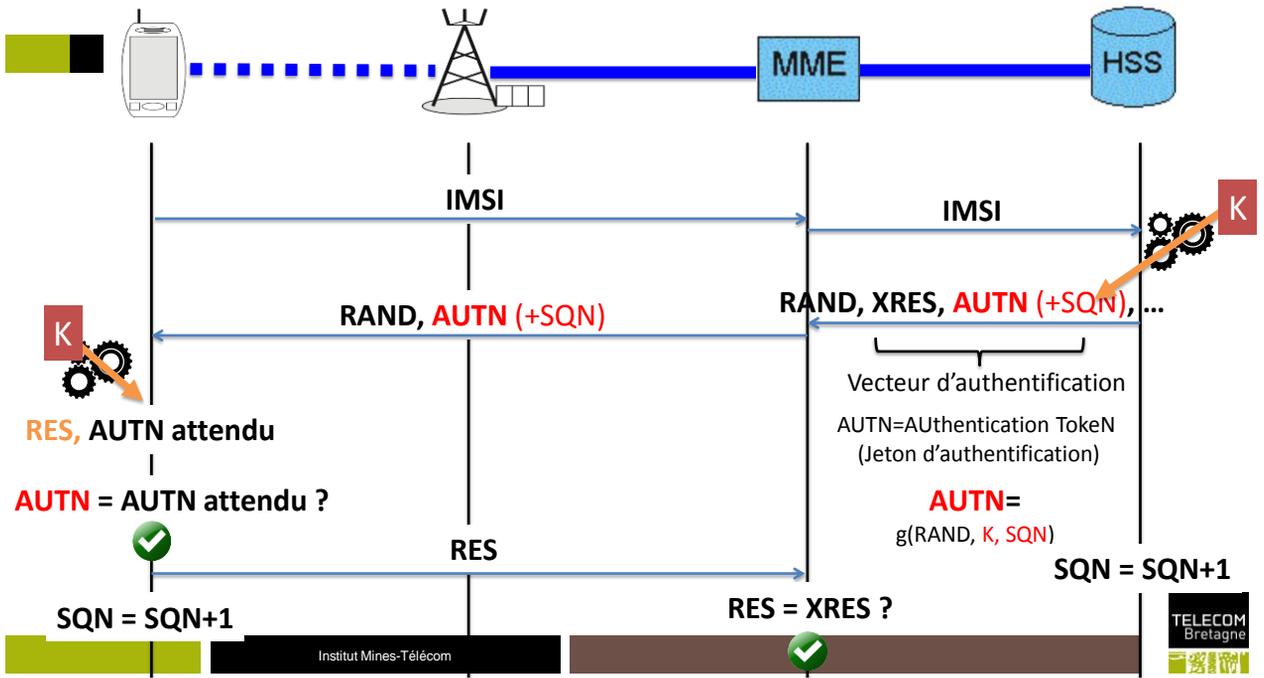


## Authentification et autorisation

Comment un utilisateur est identifié par le réseau?



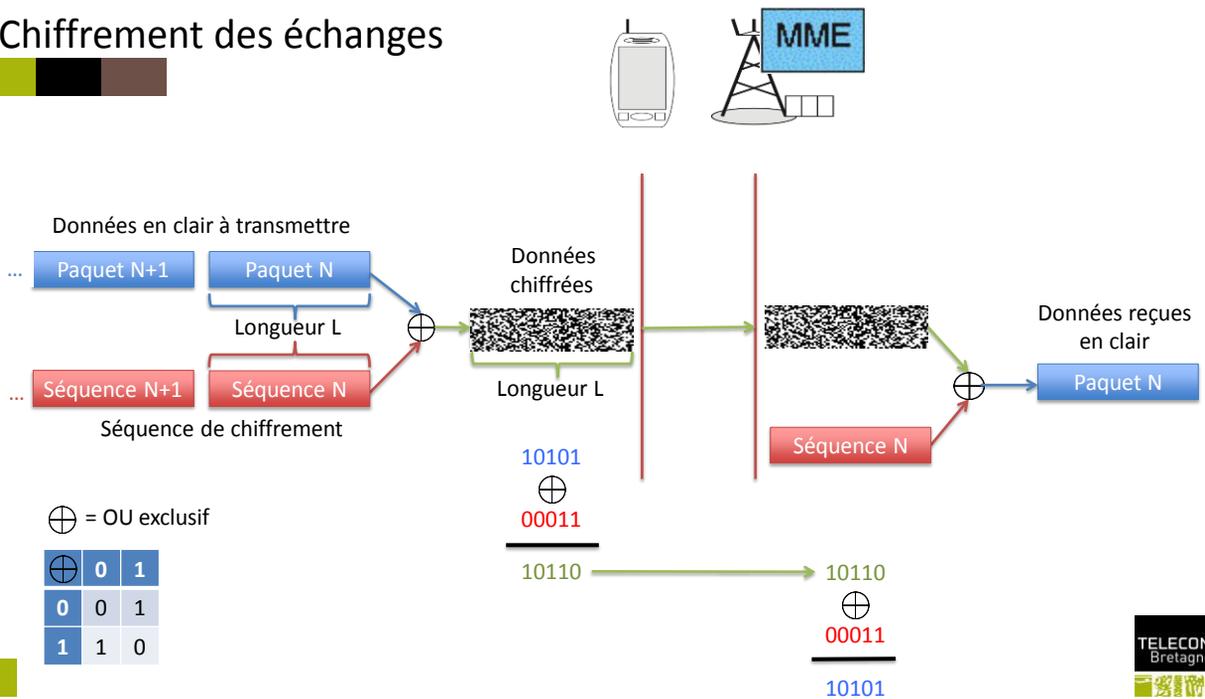


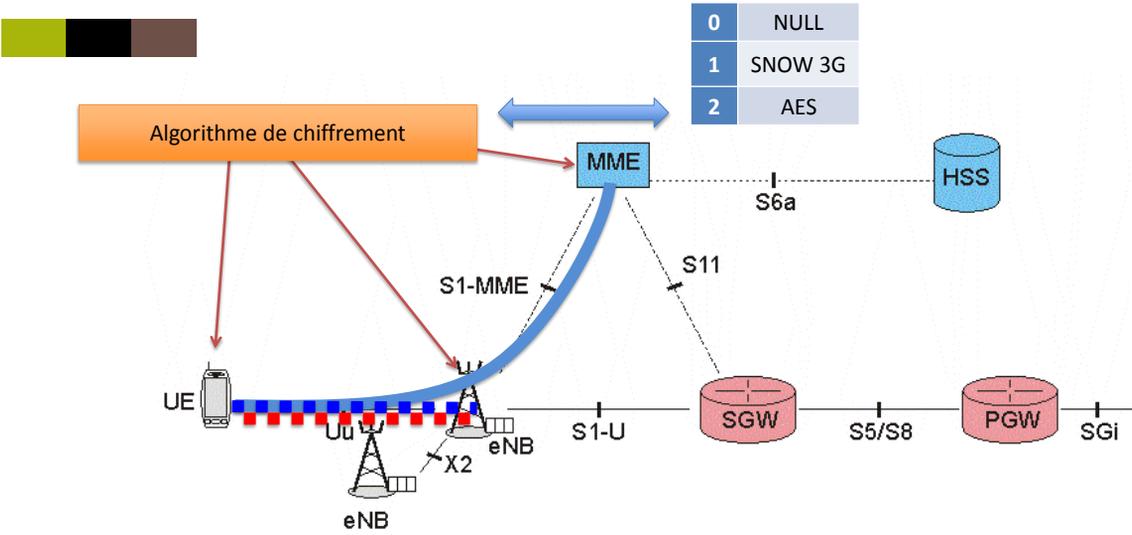
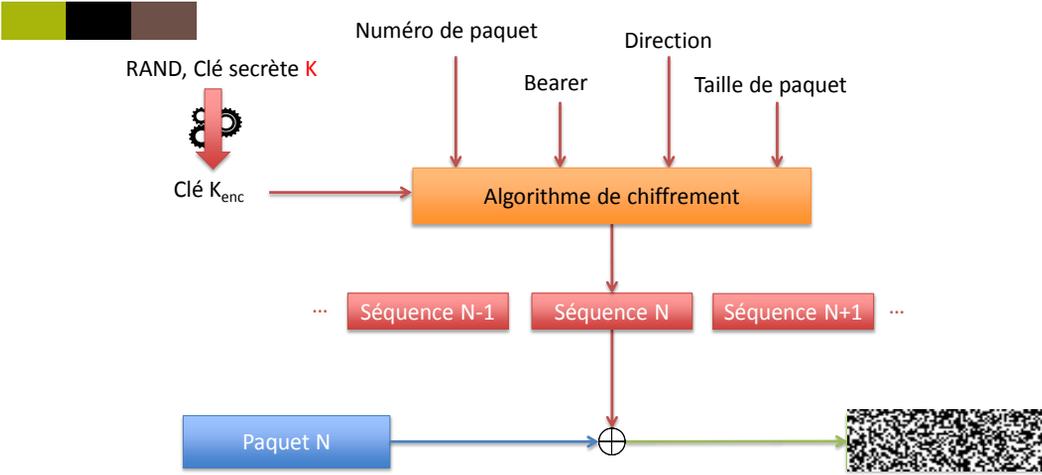


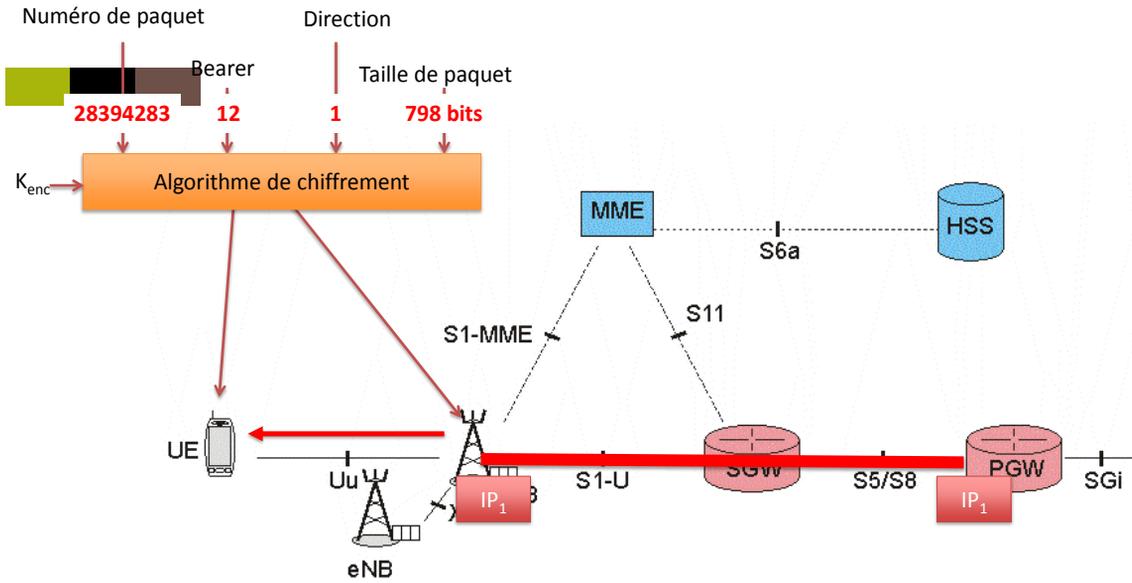
# Chiffrement de données

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

## Chiffrement des échanges



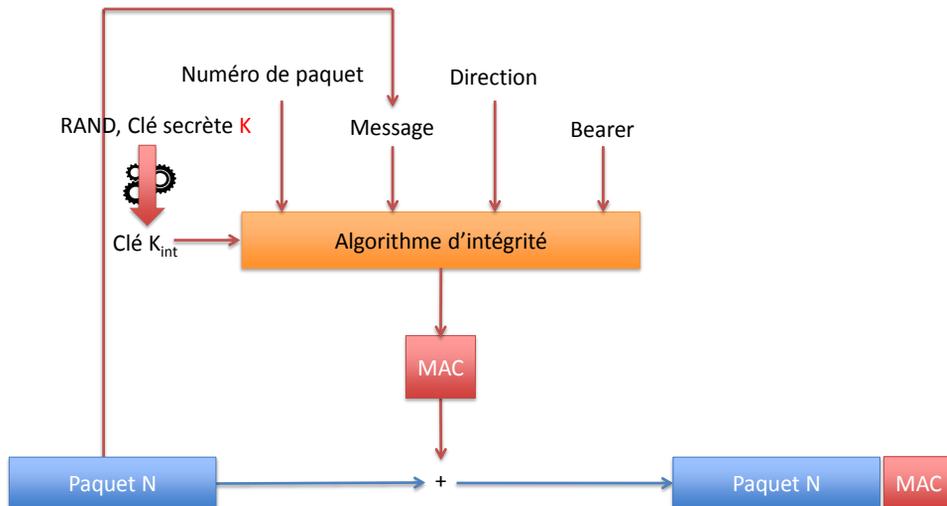
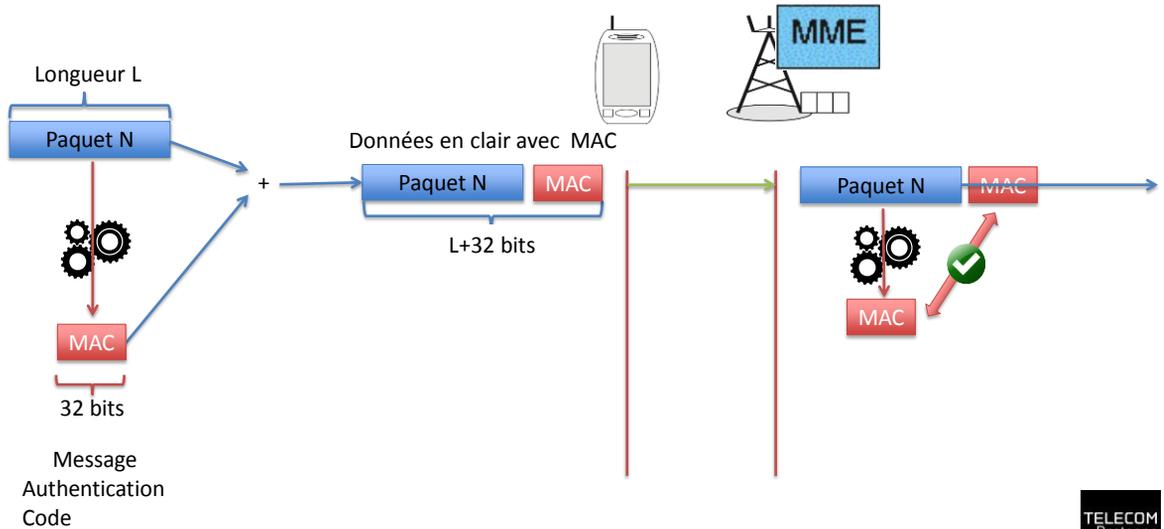


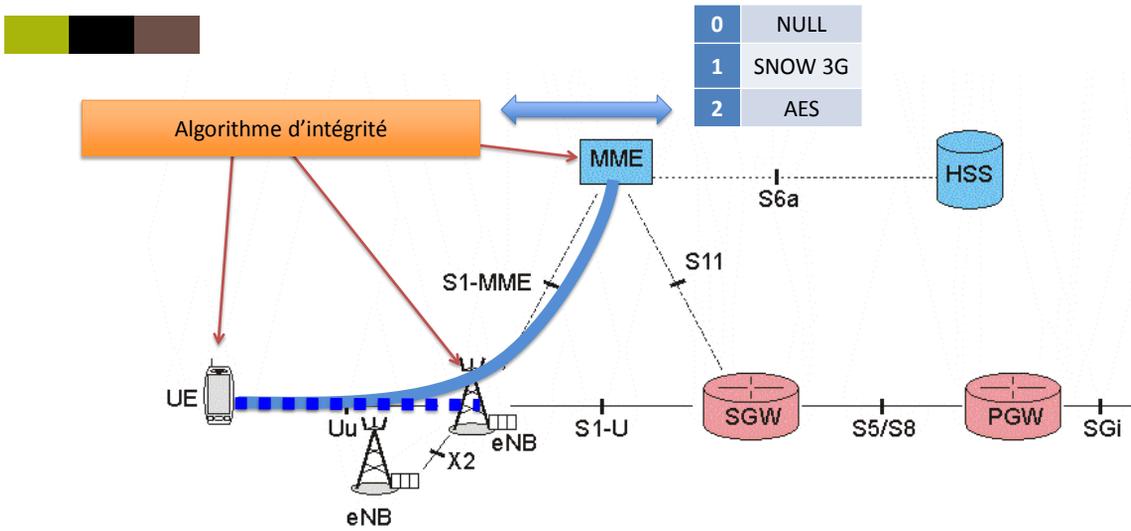


## Intégrité

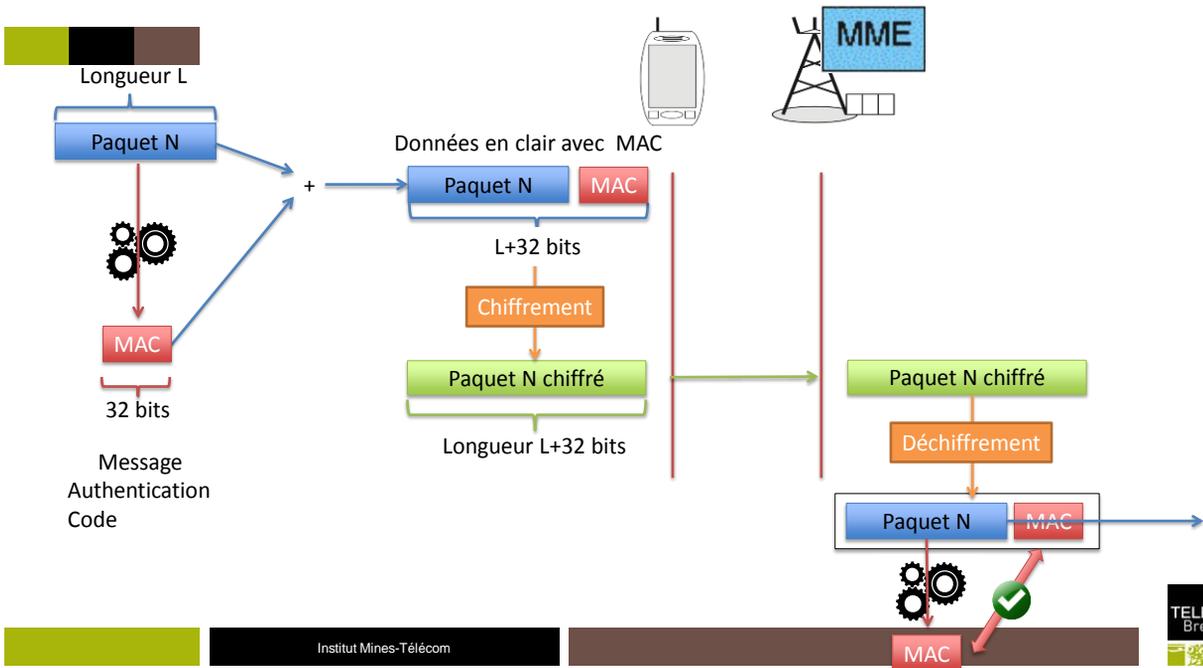
Est-ce que je peux être sûr que le message que je viens de recevoir n'a pas été modifié par un équipement intermédiaire ?

# Protection contre les modifications

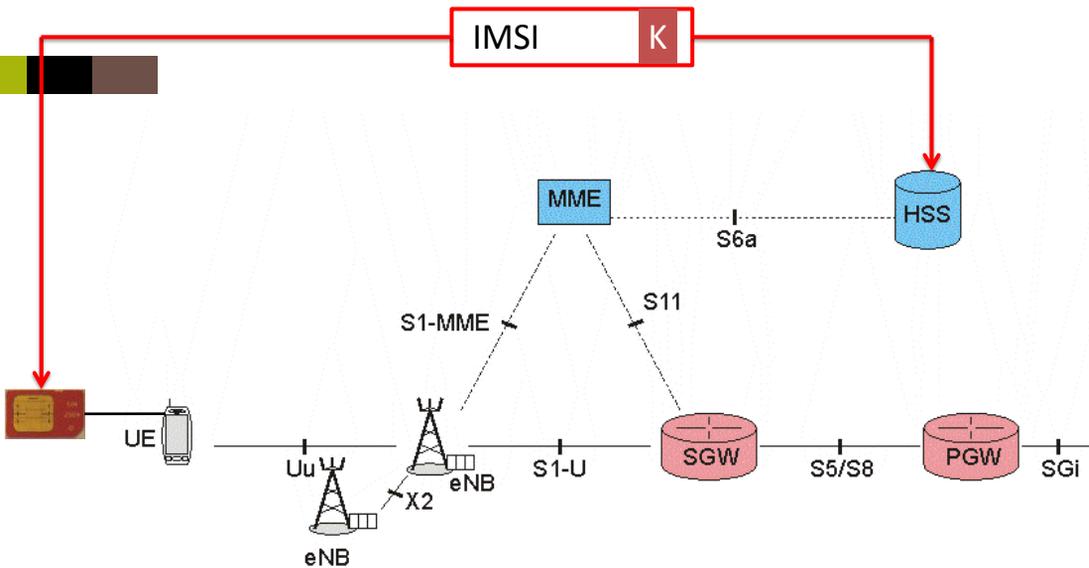


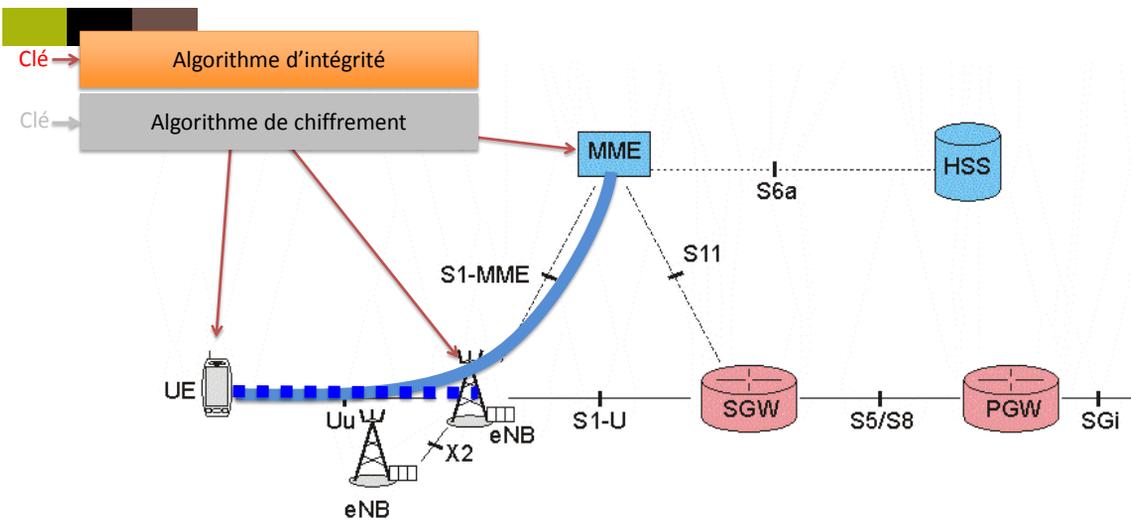
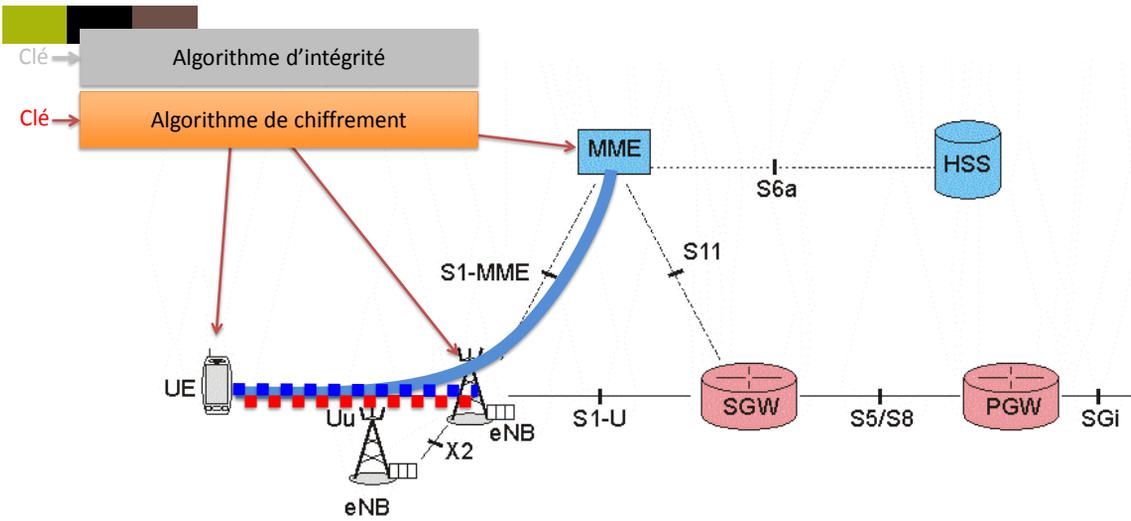


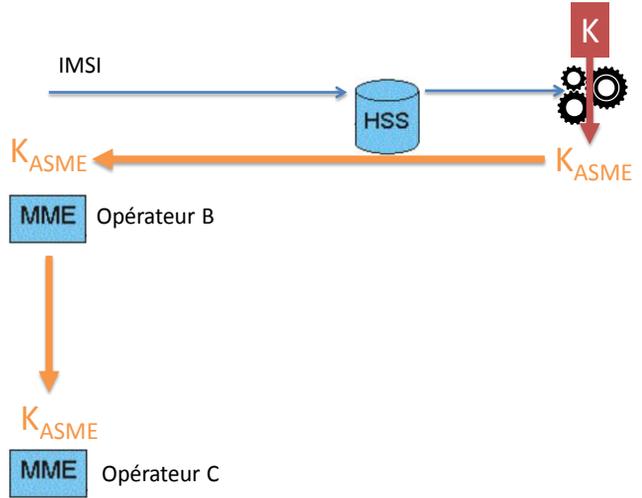
## Intégrité et chiffrement



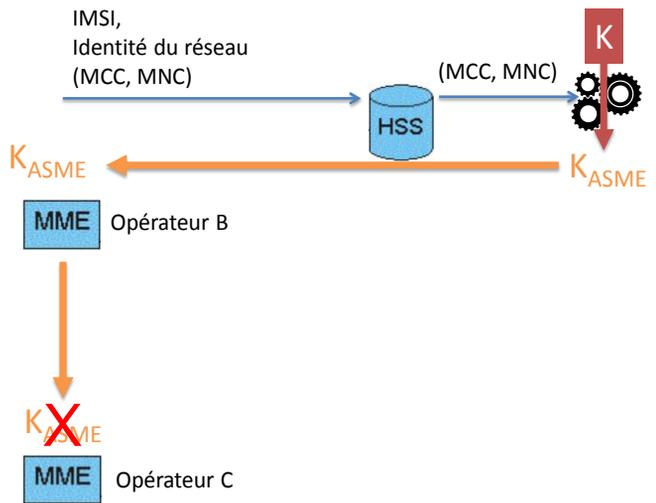
# Hiérarchie de clés







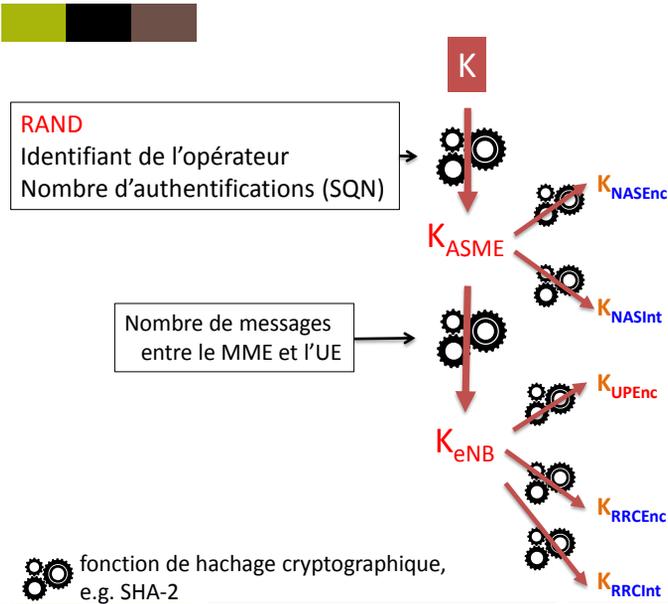
ASME = Access Security Management Entity



ASME = Access Security Management Entity







Institut Mines-Télécom



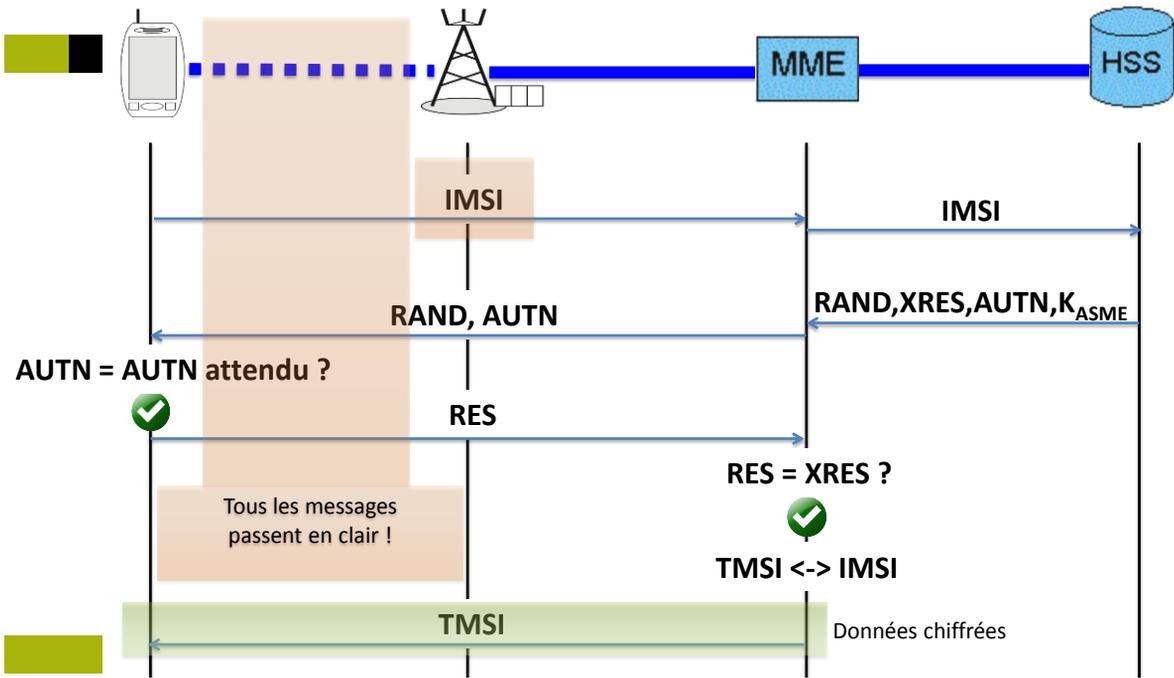
## Identité temporaire

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

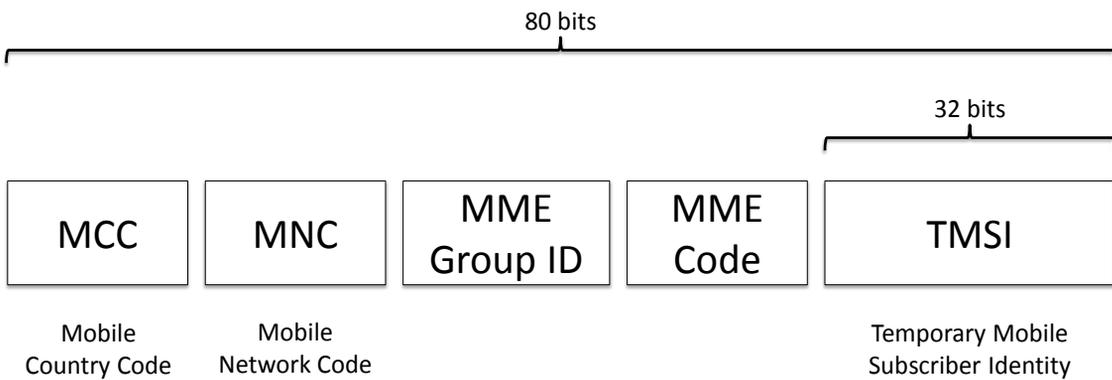
Institut Mines-Télécom

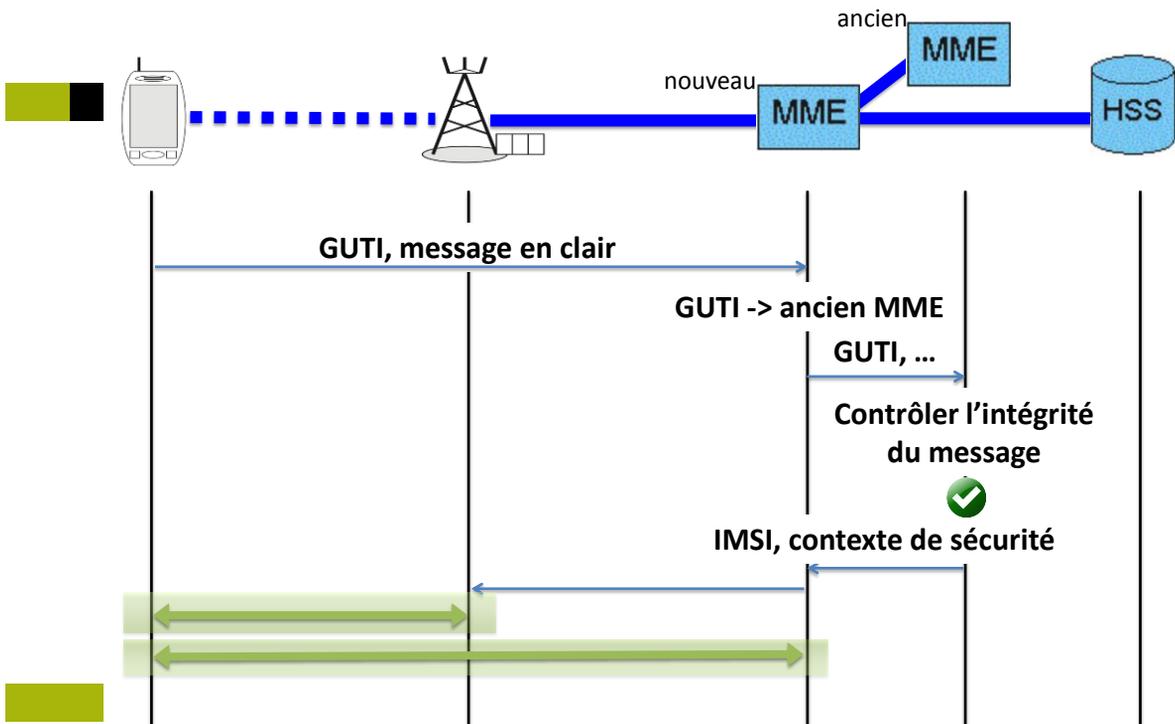
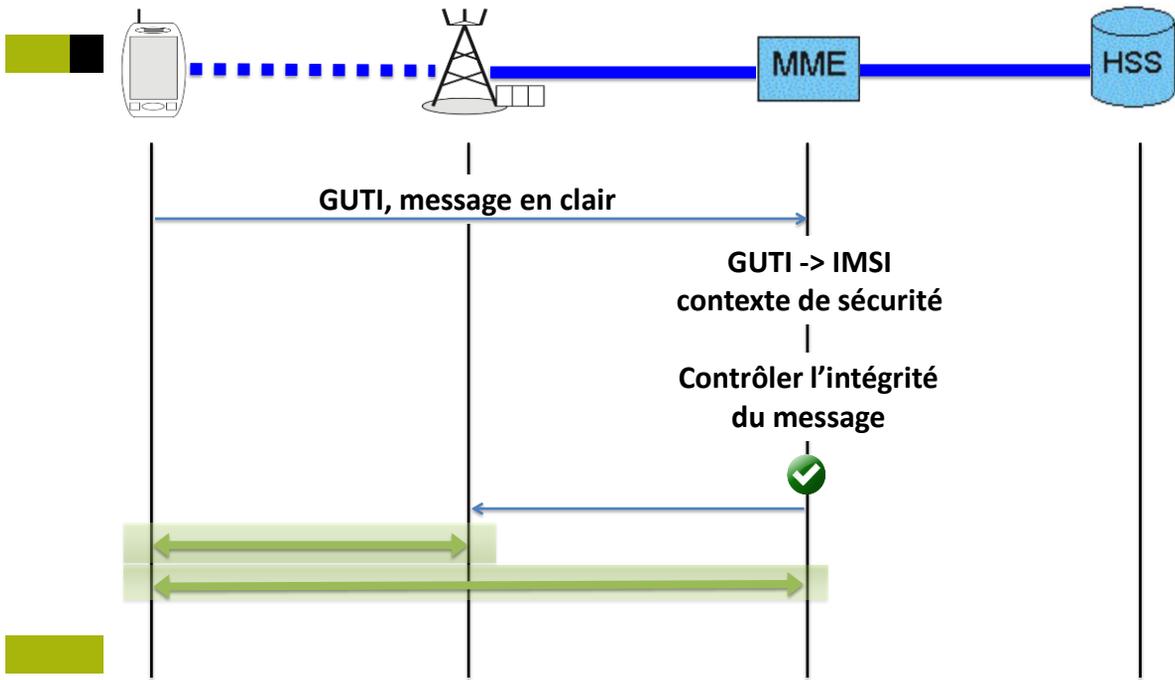
A. Pelow, Sécurité des réseaux 4G

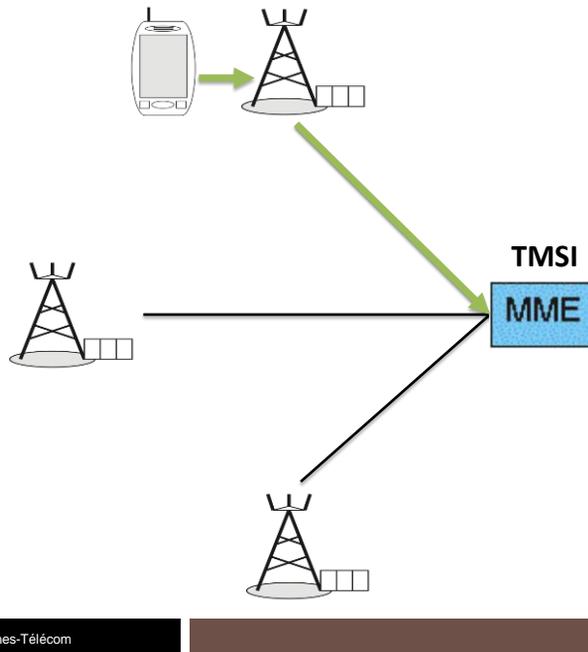
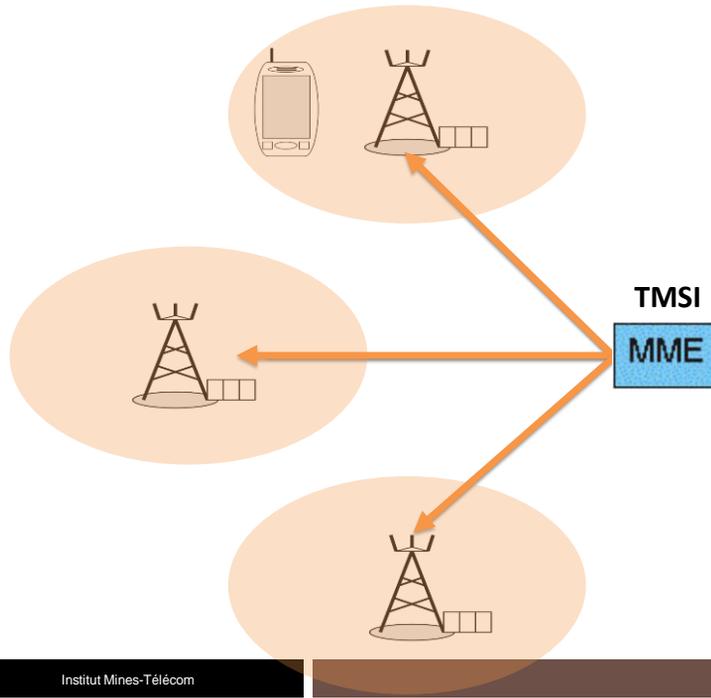




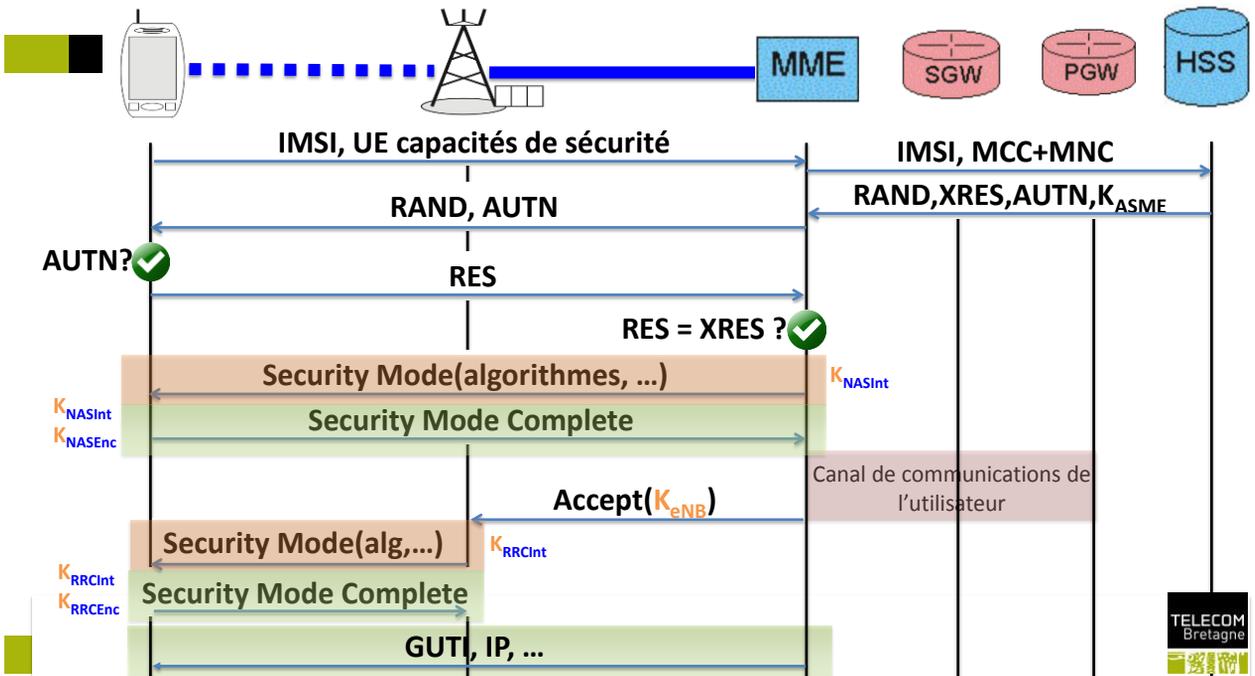
## GUTI (Globally Unique Temporary UE Identity)

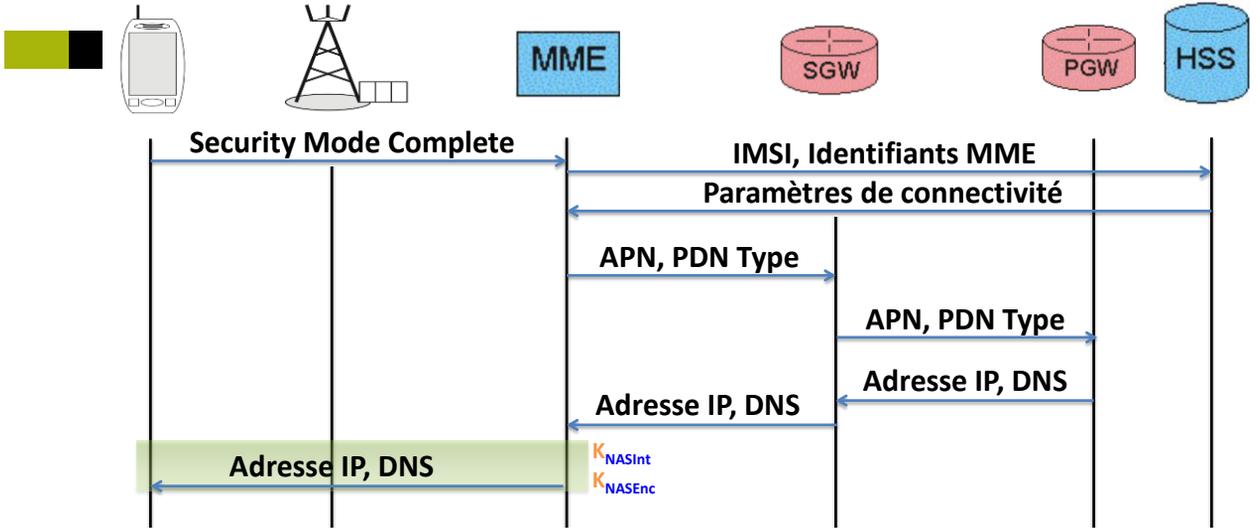




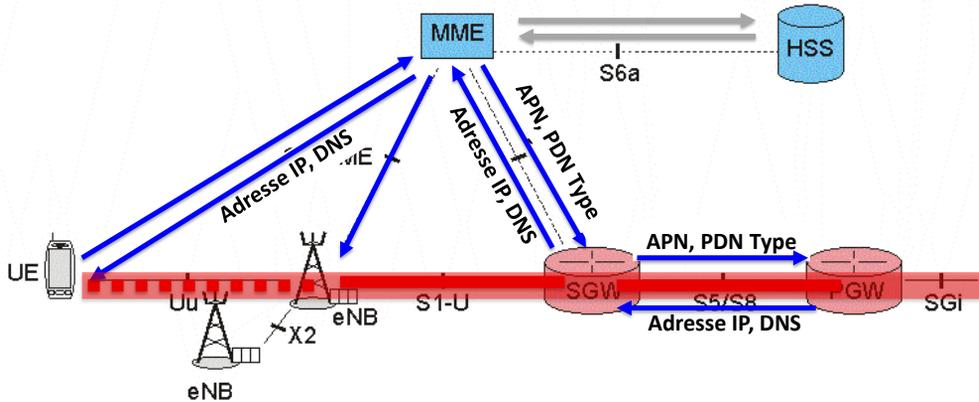


# Attribution de l'adresse IP par défaut





APN = Access Point Name  
 quel PGW utiliser  
 PDN Type = Packet Data Network Type  
 quel type d'IP utiliser (IPv6, IPv4, les deux)





## Interface radio, Semaine 3

Vidéo 1 : Transmission radio

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

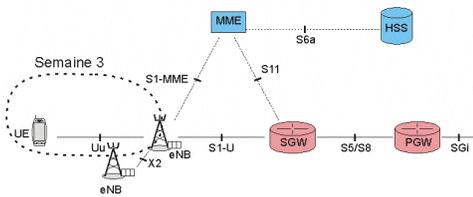
Vidéo 3 : Principe de l'allocation paquet

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 ?**

1

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Vidéo 1 : Transmission radio

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

2

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Notion de modulation



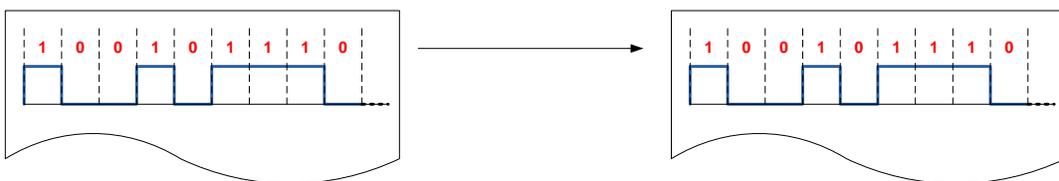
3

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Notion de modulation



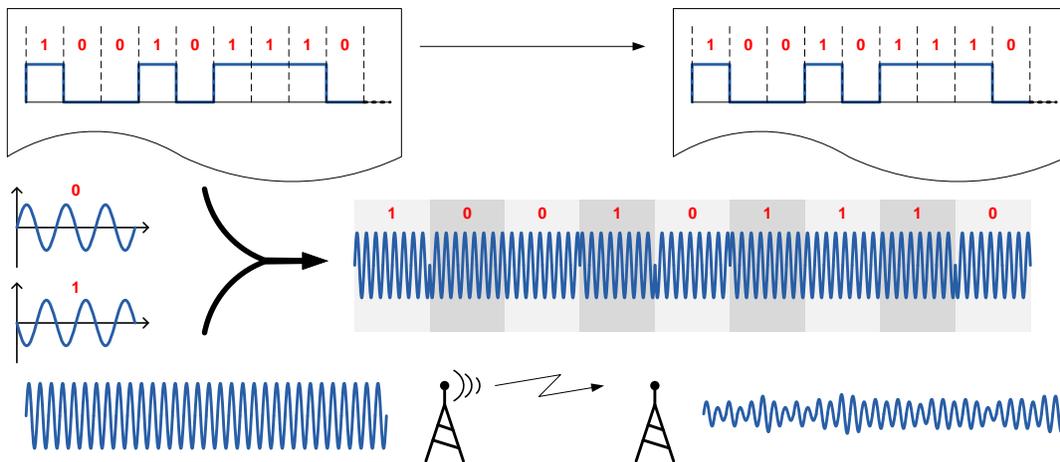
4

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Notion de modulation



5

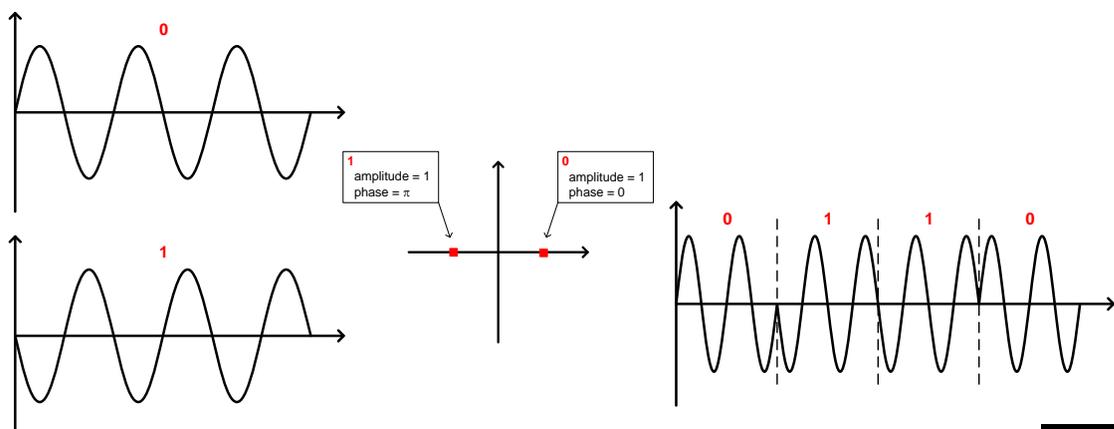
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Quelques techniques de modulation

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



6

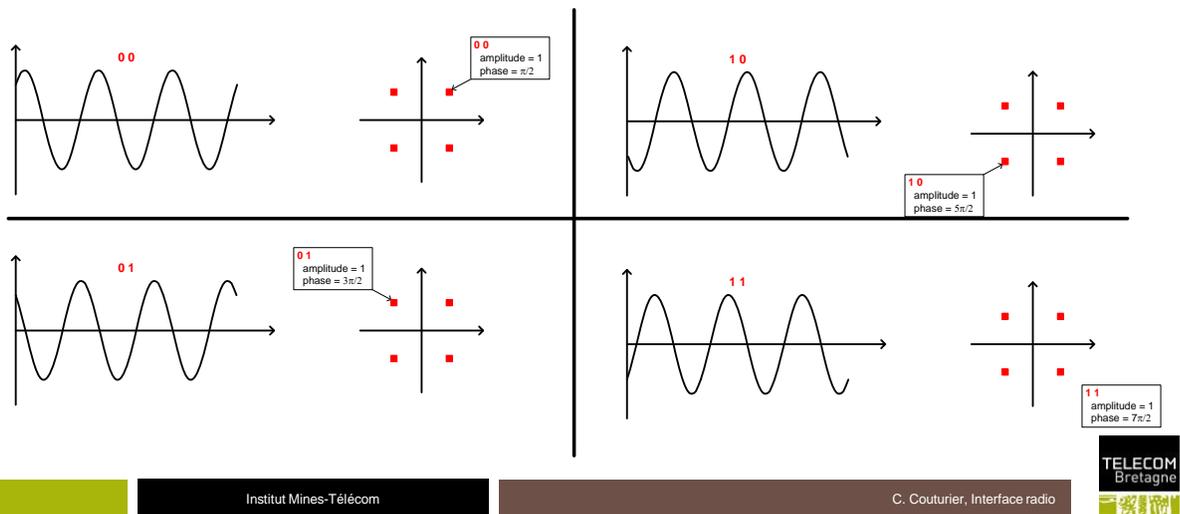
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



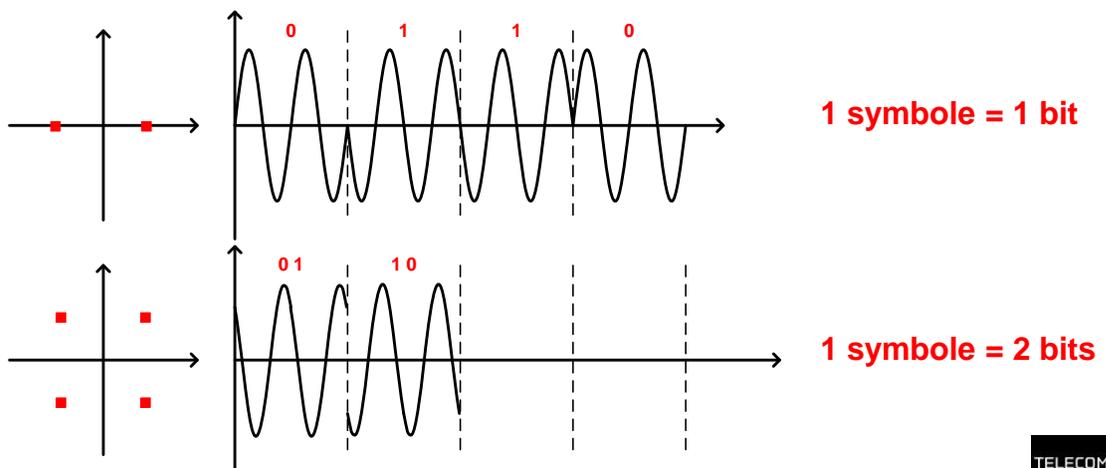
## Quelques techniques de modulation

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



## Quelques techniques de modulation

### ■ Comparaison BPSK / QPSK :



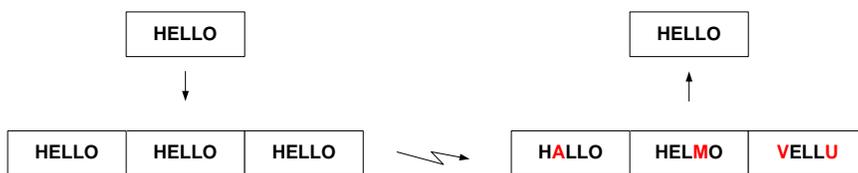
## Comment fiabiliser la transmission

### ■ 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)

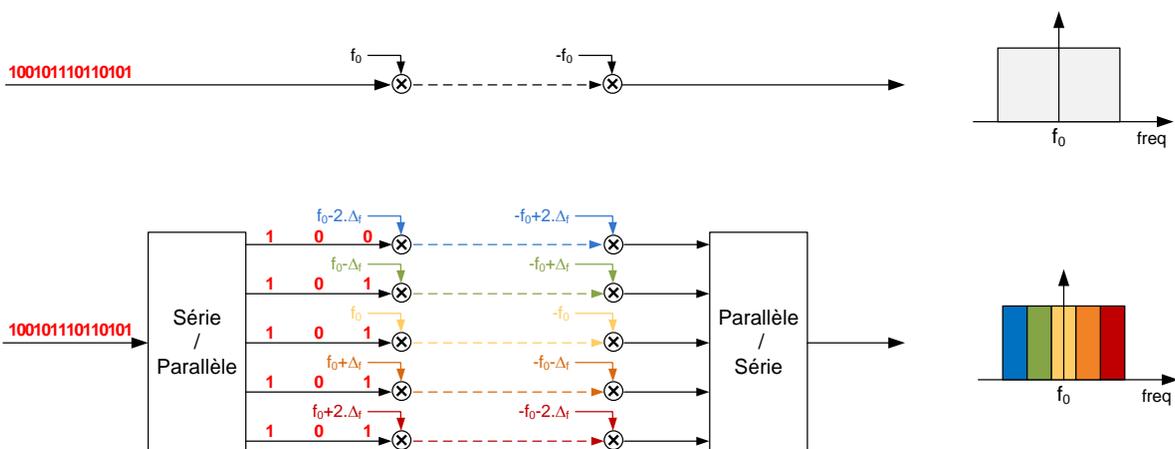
11

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

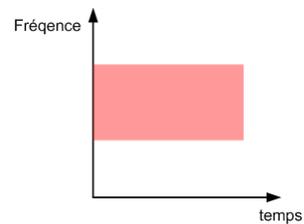
Institut Mines-Télécom

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

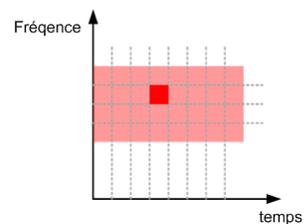
- **La ressource radio peut être partagée entre**
  - Plusieurs utilisateurs
  - Plusieurs usages (signalisation / données)
  - Uplink / Downlink (FDD uniquement dans le MOOC)
- **L'allocation de ces ressources doit être dynamique**

### ■ 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

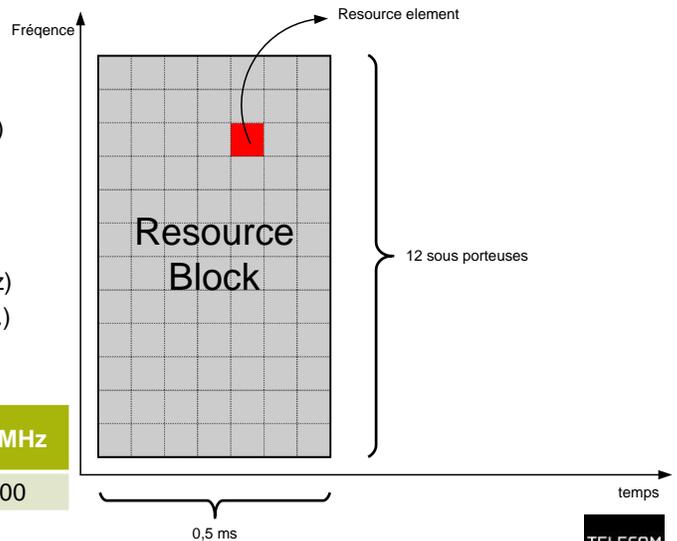
### ■ Resource Element (RE)

- 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)

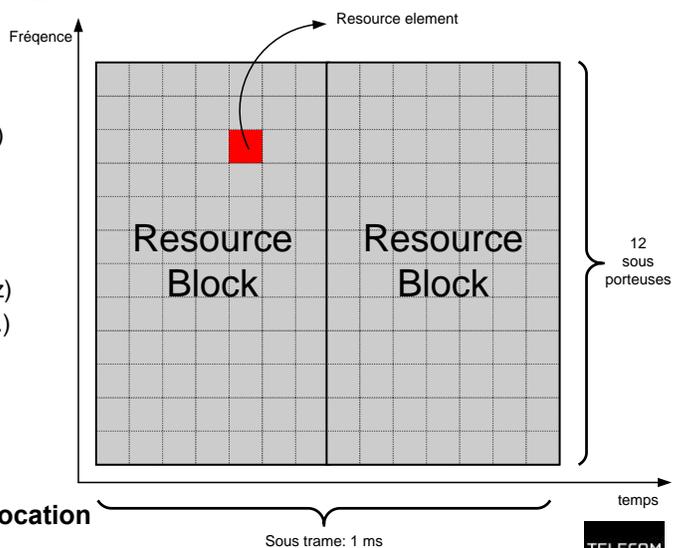
- Ressource élémentaire
- Une sous porteuse (15 kHz)
- **Un symbole**

### ■ 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**

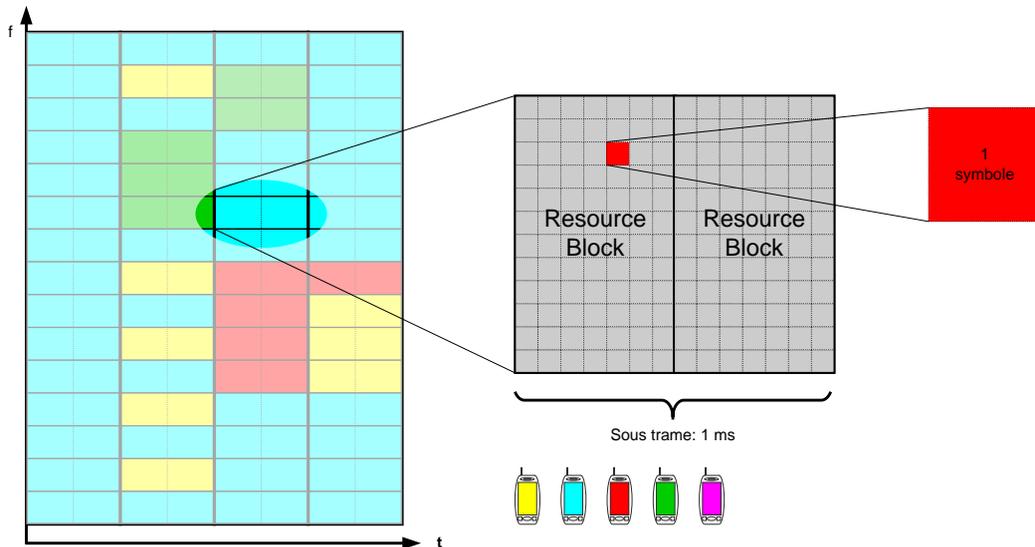


18

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Élément de ressource / Bloc de ressource / Sous trame



19

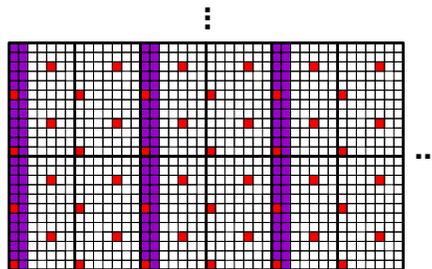
Institut Mines-Télécom

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](http://www.3gpp.org)

22

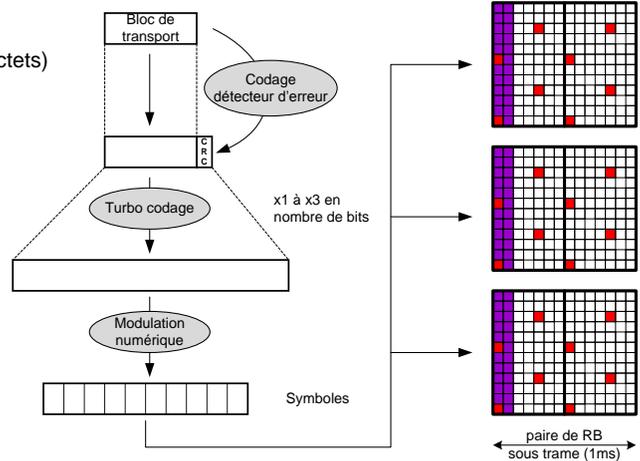
Institut Mines-Télécom

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

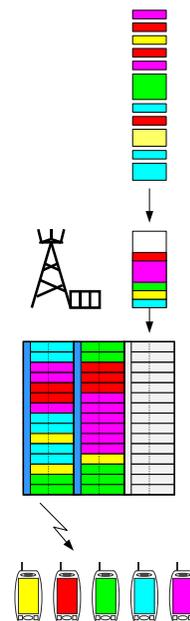
Institut Mines-Télécom

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...

## Allocation sur voie DL

### ■ Allocation des ressources par l'eNB

- Pas forcément adjacentes

### ■ Identification courte des UE

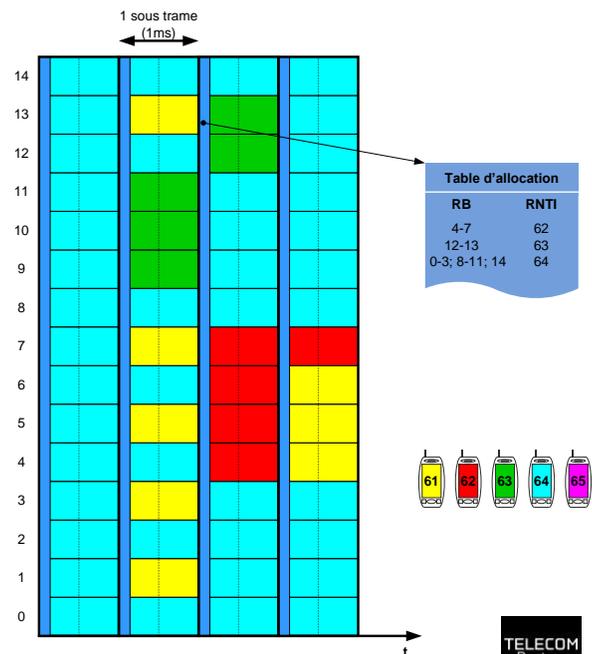
- RNTI: Radio Network Temporary Identifier
- Le RNTI ne fait pas partie du bloc de transport

### ■ 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

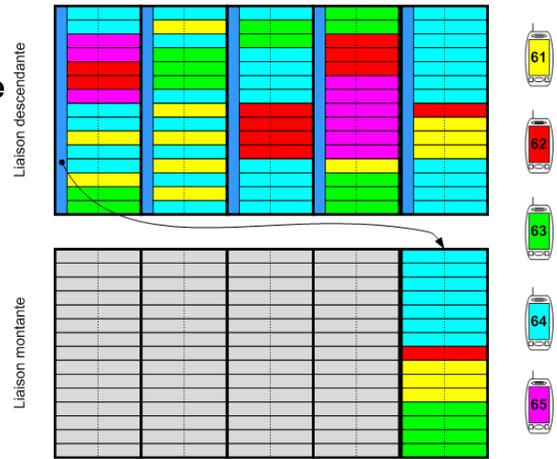
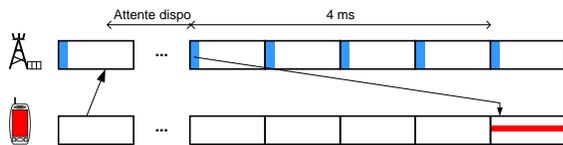
### ■ Décodage par les UE

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



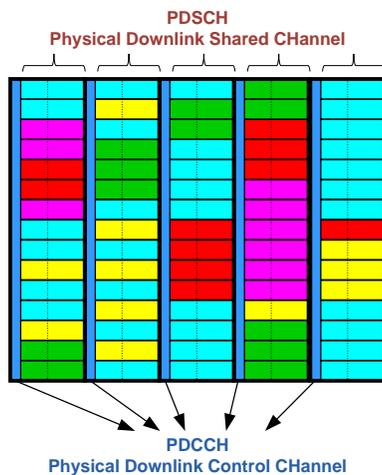
## Allocation en voie montante

- 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)

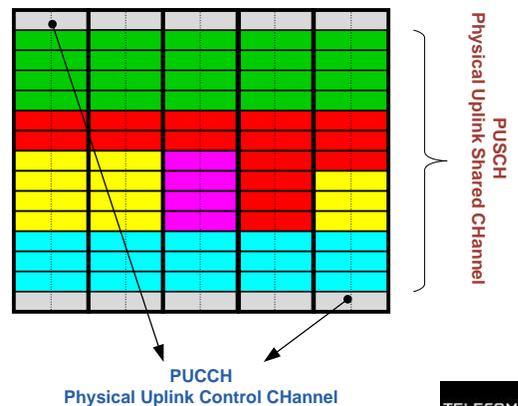


## Canal de données / canal de contrôle

Liaison descendante



Liaison montante



## 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

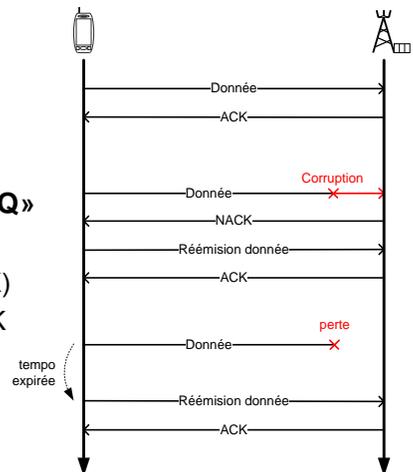
- Couche MAC (Media Access Control)
- Codes détecteurs d'erreur (CRC: Cyclic Redundancy Check)

### ■ 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

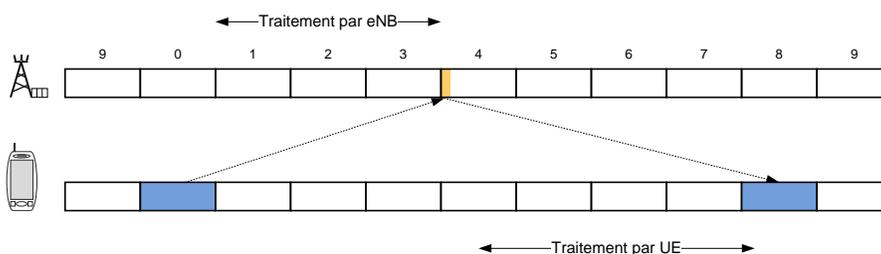
## Acquittements parallèles

### ■ 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

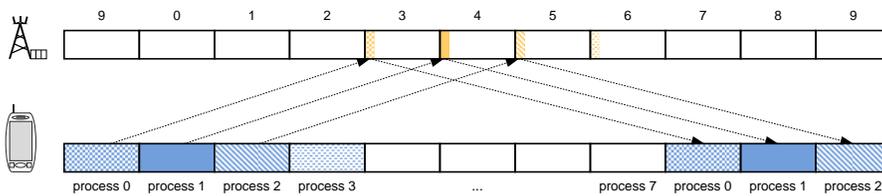
Institut Mines-Télécom

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



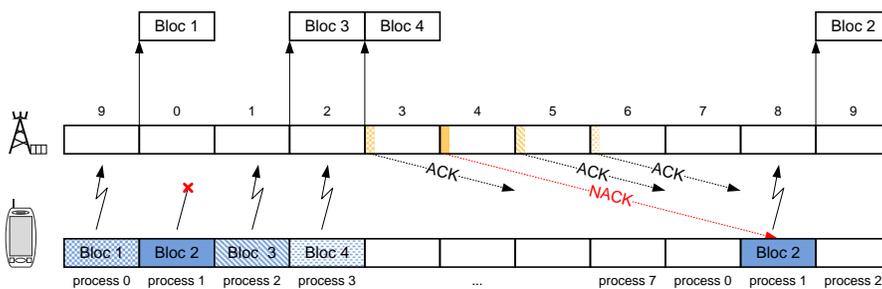
## Acquittements parallèles

### ■ 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

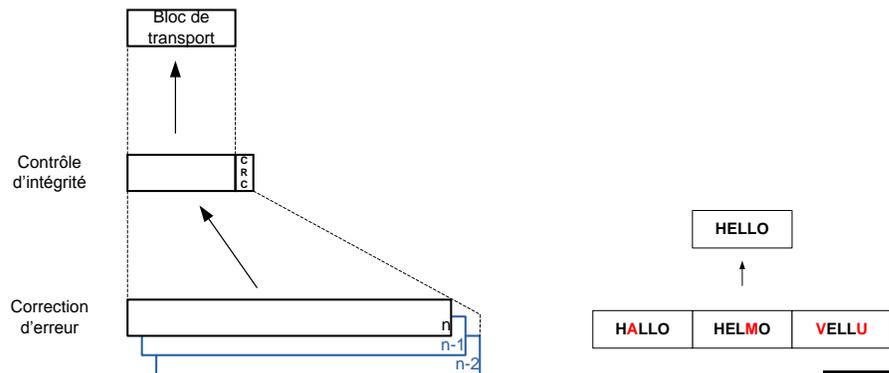
C. Couturier, Interface radio



## HARQ: Hybrid ARQ

### Retransmission = Redondance

- Redondance augmente les performances de la correction d'erreur



37

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



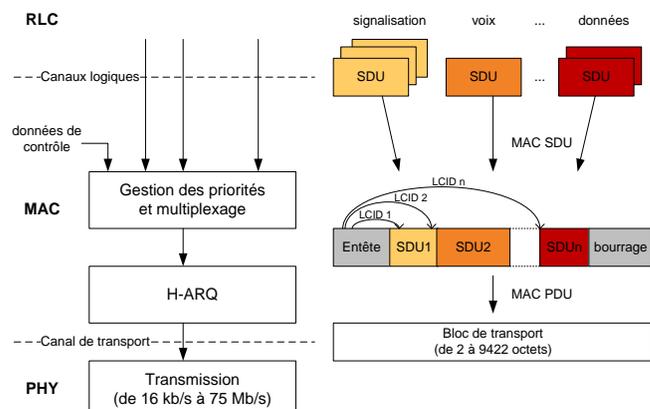
## Multiplexage

### 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




## Vidéo 5 : Protocole RLC

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



## 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



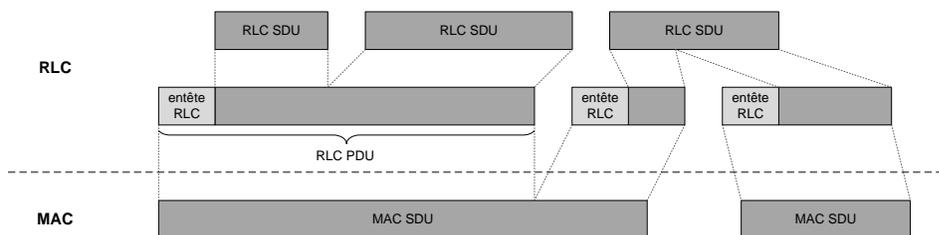
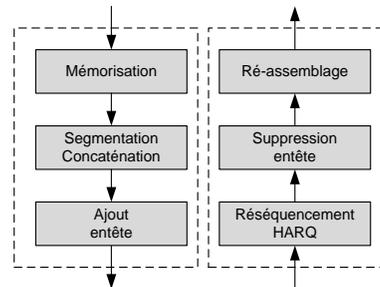
## Mode non acquitté (UM)

### ■ Segmentation / concaténation

- Ajustement à la taille du MAC-SDU

### ■ Entête

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



## Mode acquitté (AM)

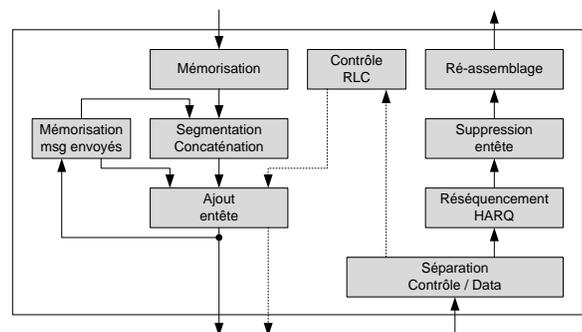
### Même fonctions que UM plus:

#### ■ 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 reçu) ou réémission des messages perdus





## 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

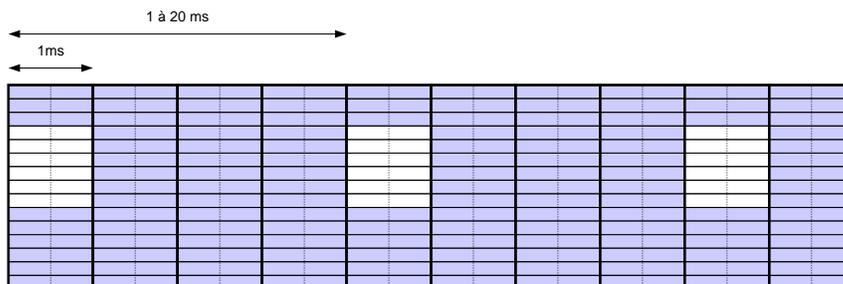
C. Couturier, Interface radio



## 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



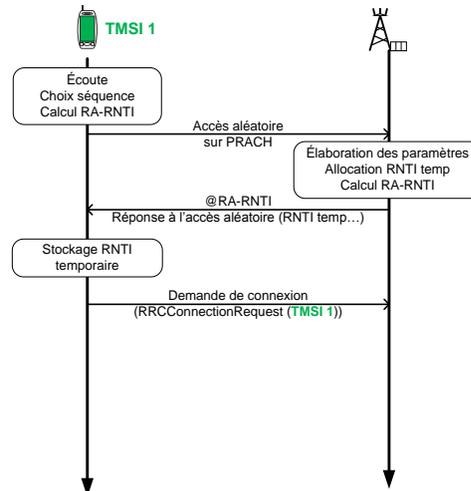
48

Institut Mines-Télécom

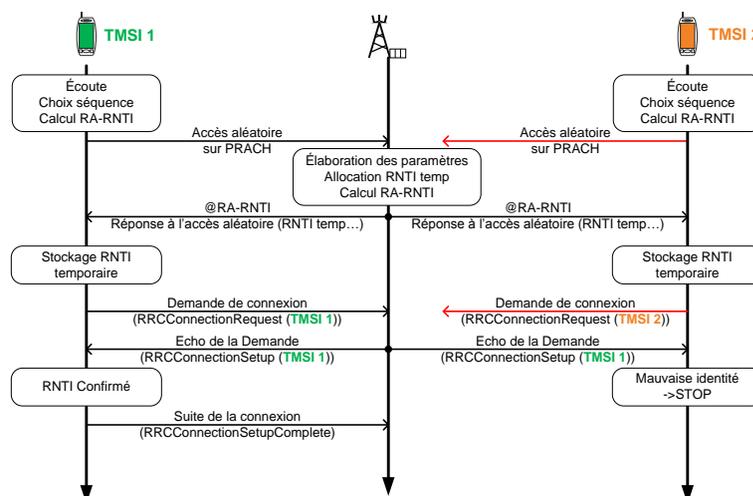
C. Couturier, Interface radio



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



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



## 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

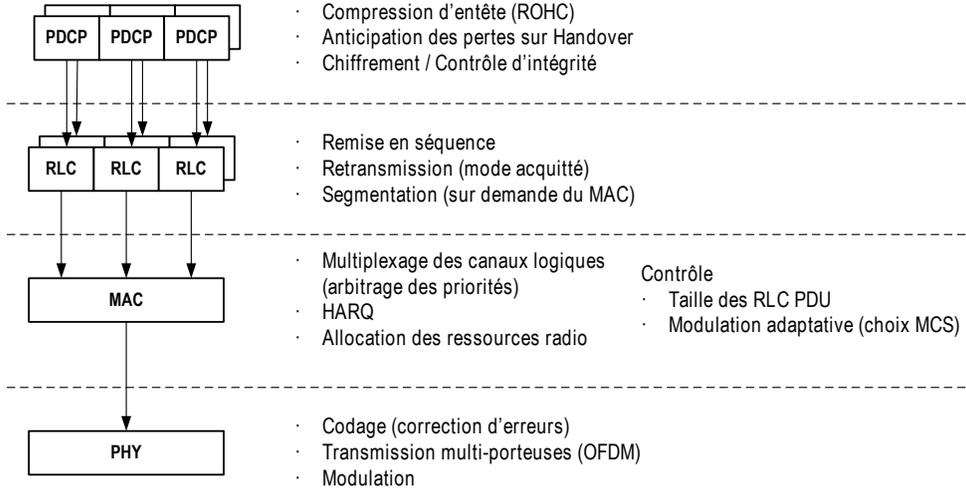


## Fonctionnalités PDCP

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



## Récapitulatif



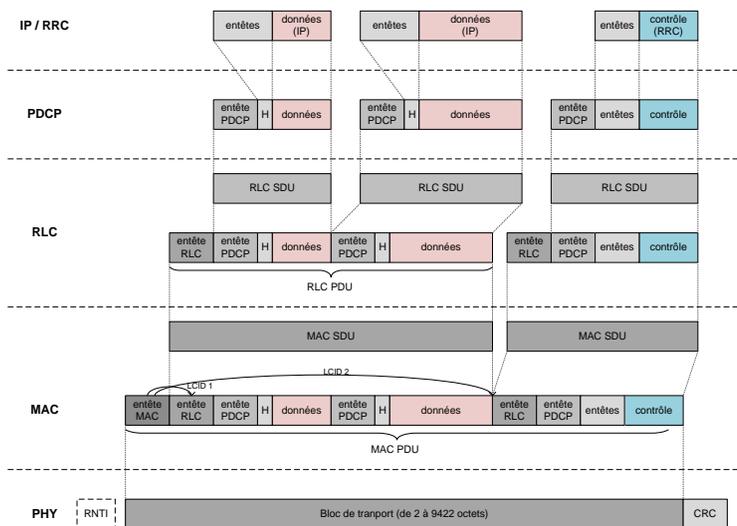
55

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Récapitulatif



56

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



 **Index des sigles**

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

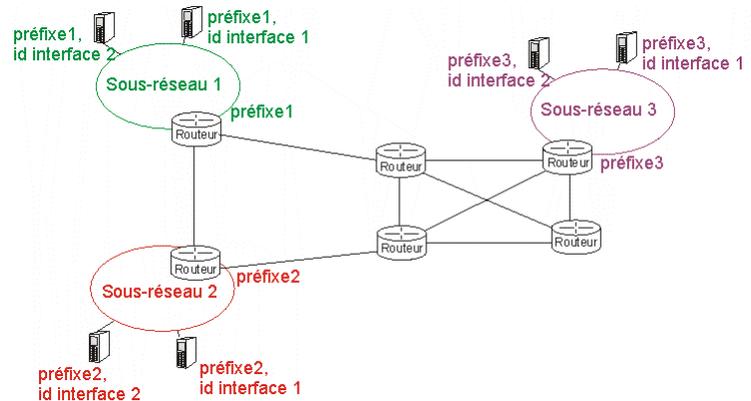
Institut Mines-Télécom

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

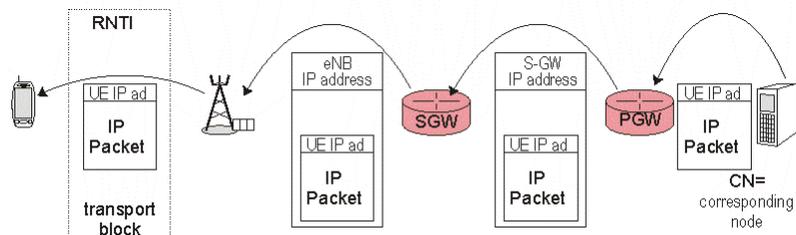
Institut Mines-Télécom

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

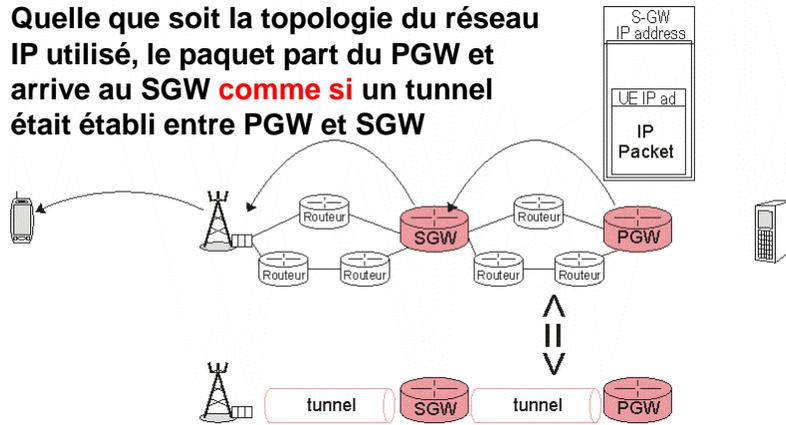
Institut Mines-Télécom

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

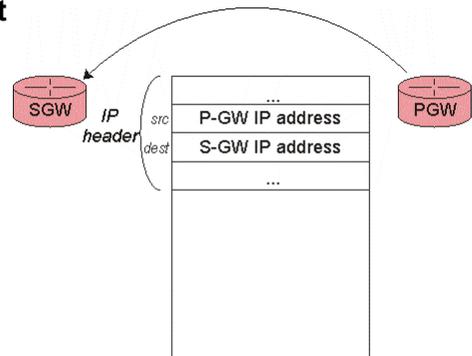
Institut Mines-Télécom

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



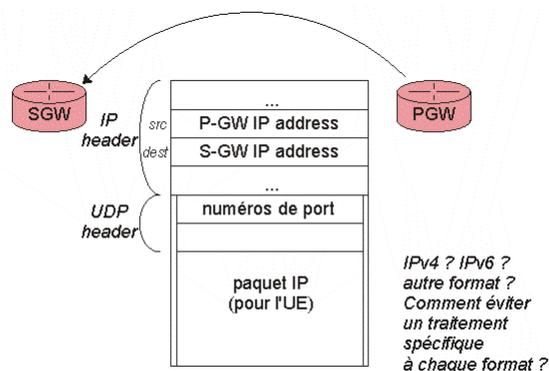
7

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

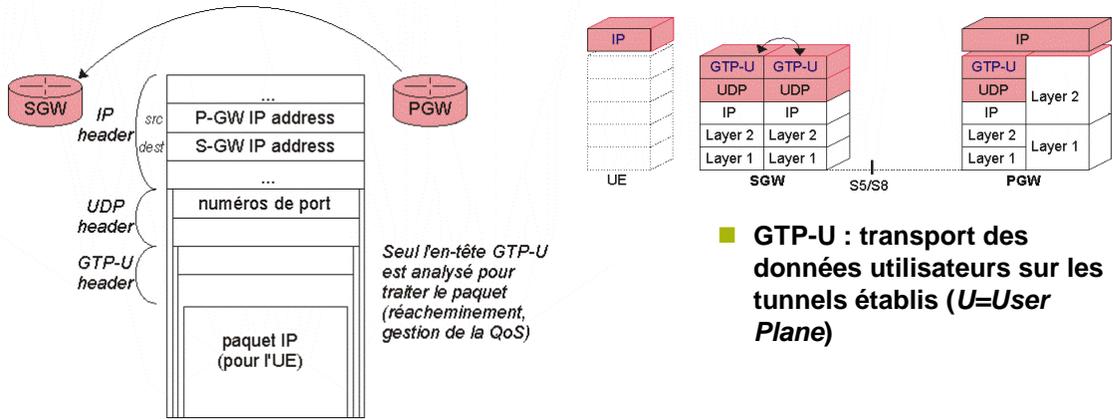
8

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



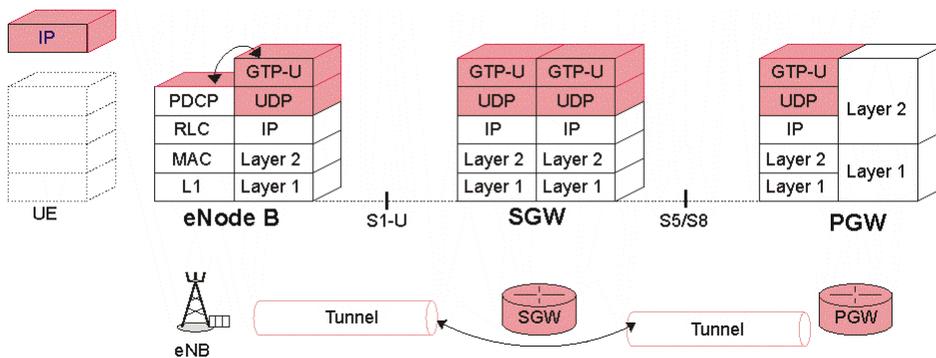
## Place de GTP-U dans la pile de protocoles et fonction principale



■ **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

## 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

### 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

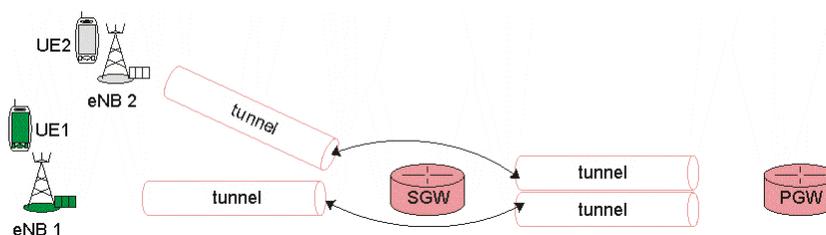
Institut Mines-Télécom

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**



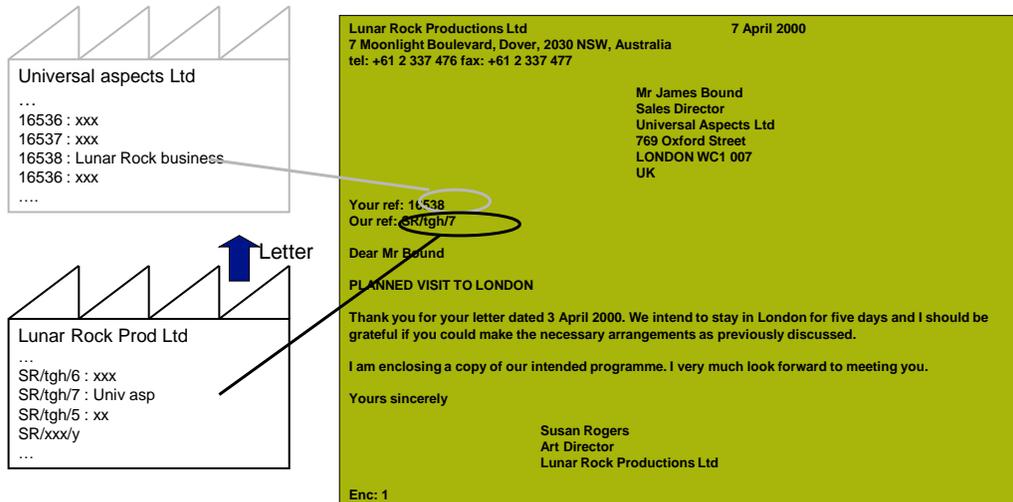
12

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



## Quittons le monde des télécommunications



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



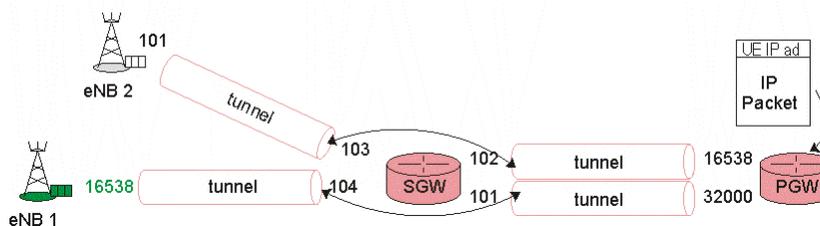
13

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)

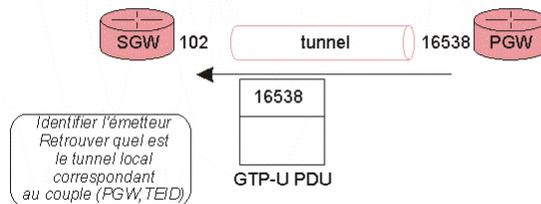


14

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

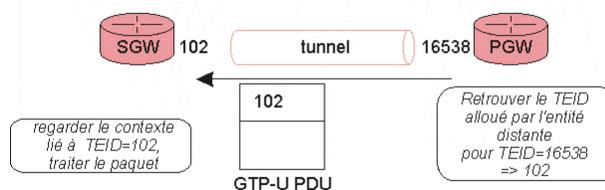
15

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

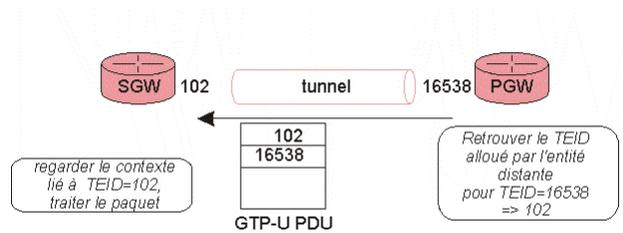
16

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 ?

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

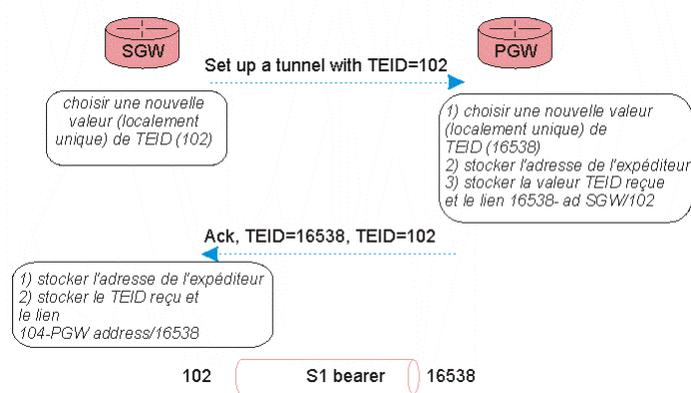
18

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



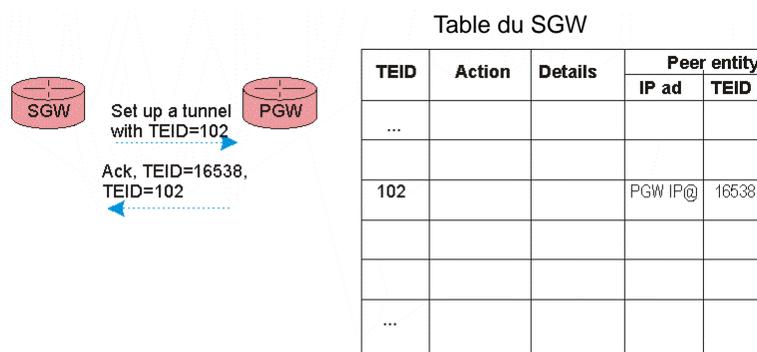
## Initialisation d'un tunnel



- 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



## Exemple de table de gestion de TEID



## Exemple de table de gestion de TEID

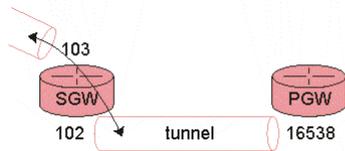


Table du SGW

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

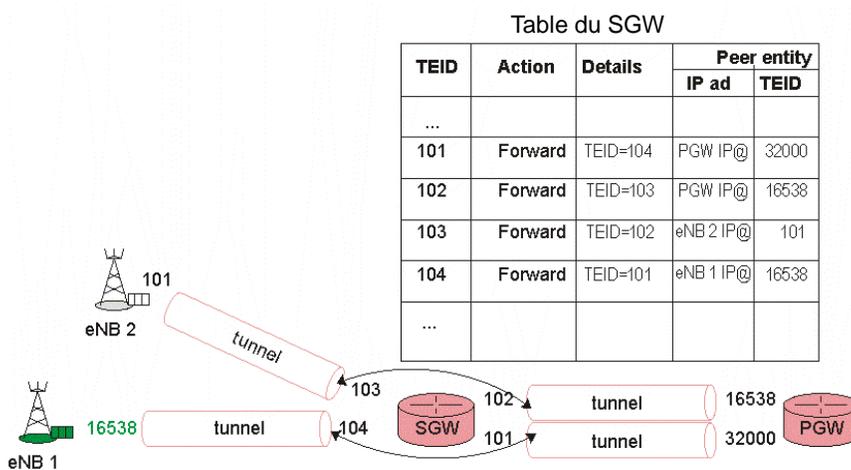


Table du SGW

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 ?**

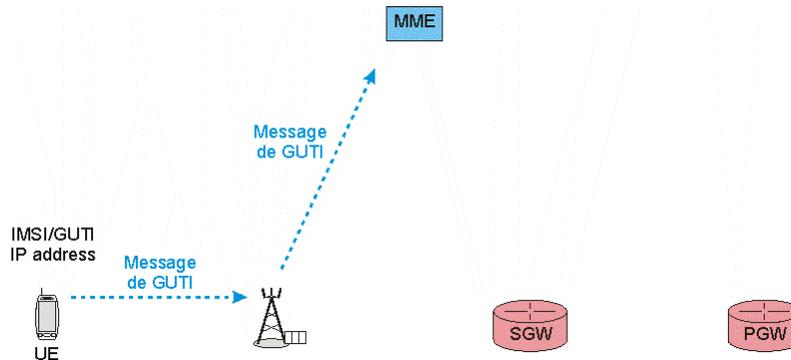
24

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



## Gestion des dialogues entre l'UE et le MME



### ■ Idée naïve : placer l'identifiant du mobile dans tout message reçu ou envoyé par le MME

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

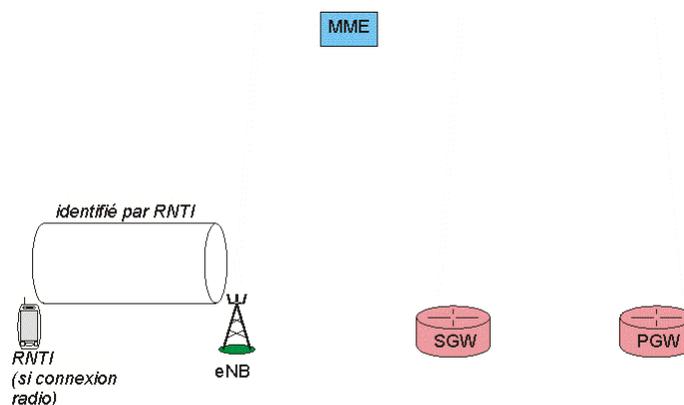
25

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)

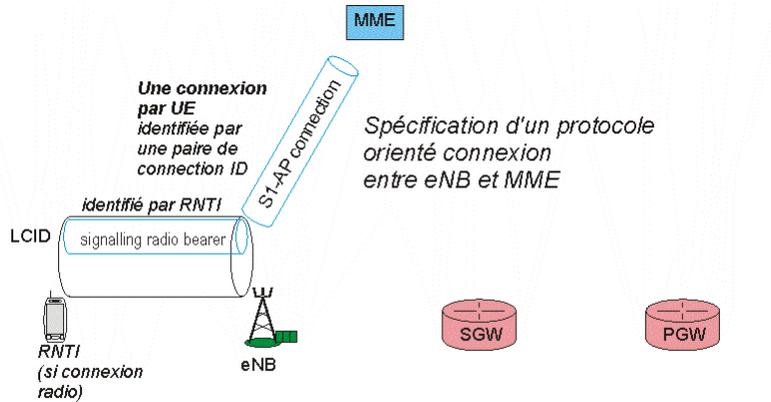
26

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données

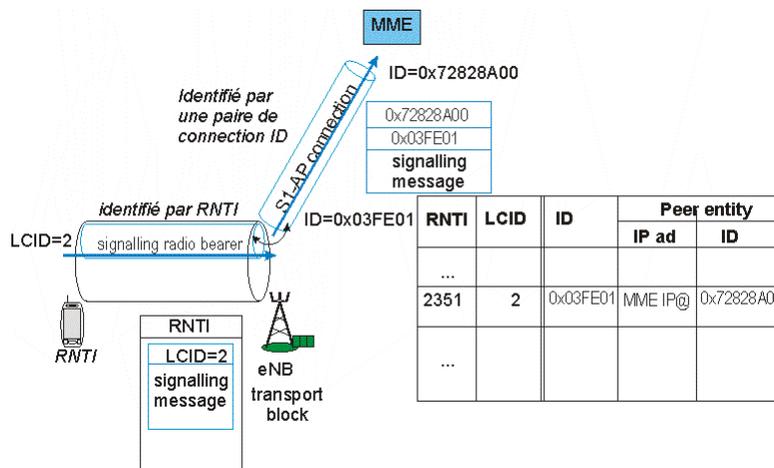


## Présentation du protocole S1-AP



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

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



## Vidéo 6 : Etablissement d'une connexion S1-AP

Comment une connexion S1-AP est-elle établie ?

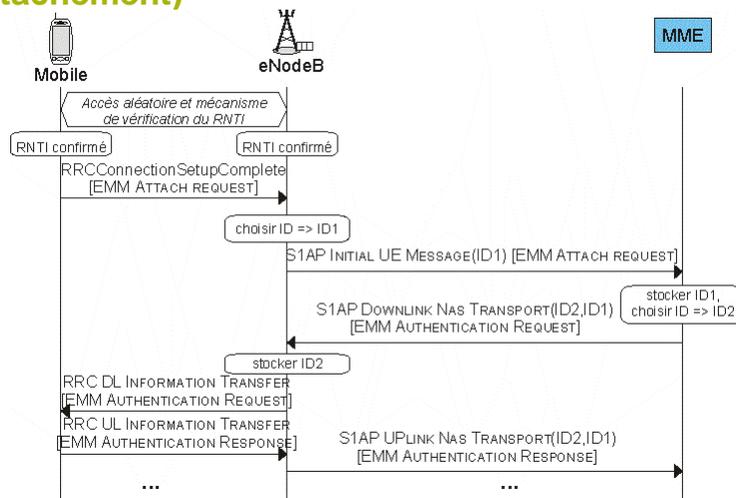
29

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

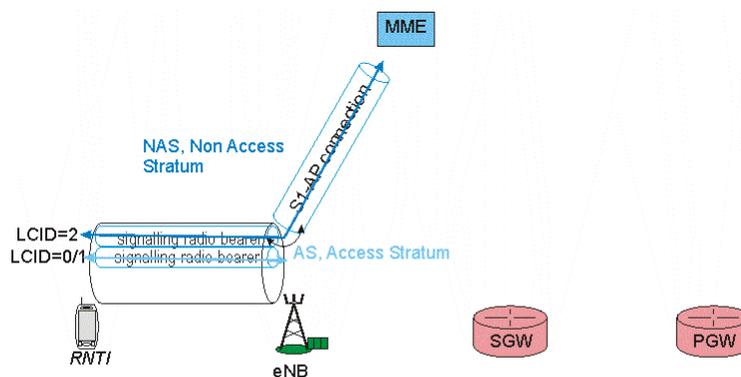
33

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

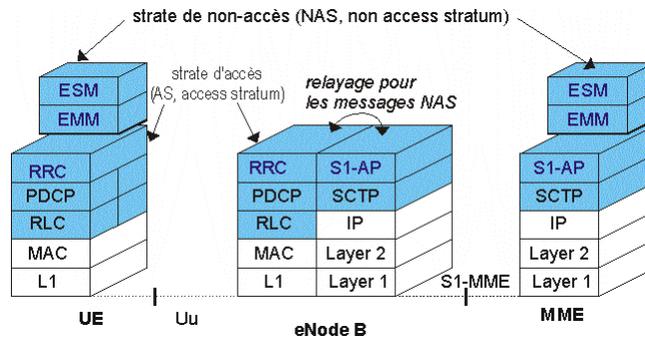
34

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

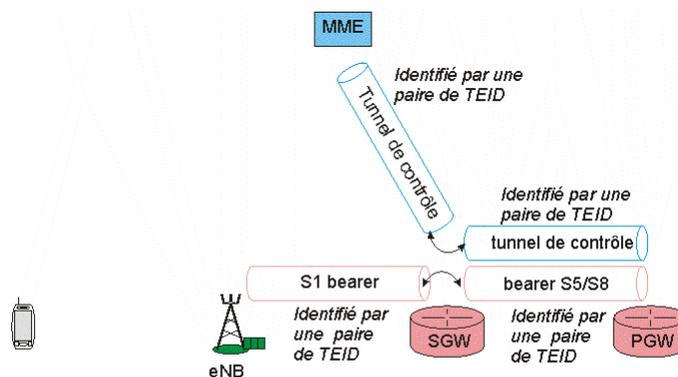
35

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)

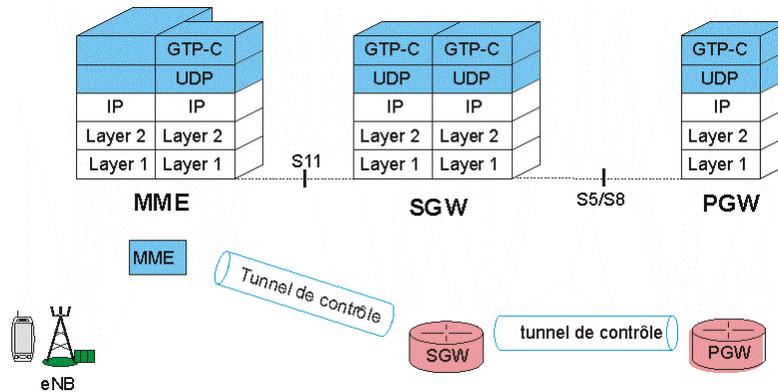
36

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



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

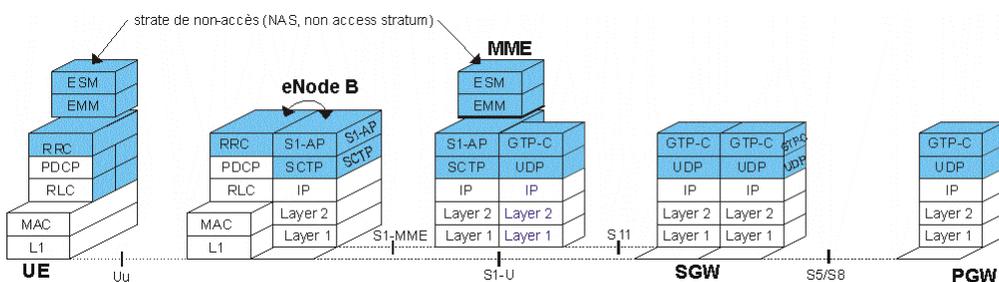


### ■ GTP Control = GTP-C

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

## Vision d'ensemble des piles protocolaires de contrôle

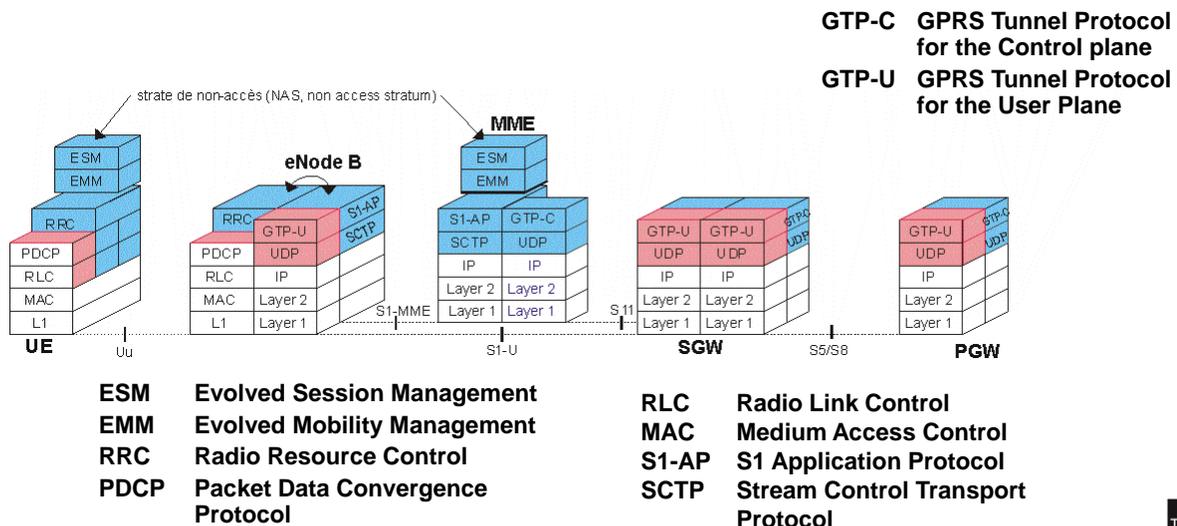
### GTP-C GPRS Tunnel Protocol for the Control plane



**ESM** Evolved Session Management  
**EMM** Evolved Mobility Management  
**RRC** Radio Resource Control  
**PDCP** Packet Data Convergence Protocol

**RLC** Radio Link Control  
**MAC** Medium Access Control  
**S1-AP** S1 Application Protocol  
**SCTP** Stream Control Transport Protocol

## Vision d'ensemble des piles protocolaires



## Vision d'ensemble des piles protocolaires

**GTP-C** GPRS Tunnel Protocol for the Control plane  
**GTP-U** GPRS Tunnel Protocol for the User Plane

**ESM** Evolved Session Management  
**EMM** Evolved Mobility Management  
**RRC** Radio Resource Control  
**PDCP** Packet Data Convergence Protocol

**RLC** Radio Link Control  
**MAC** Medium Access Control  
**S1-AP** S1 Application Protocol  
**SCTP** Stream Control Transport Protocol



## Semaine 5, Gestion de la sporadicité des flux

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

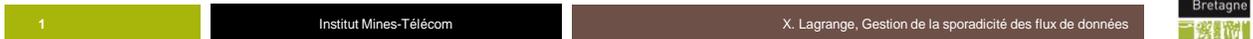
**Vidéo 2 : Notion d'état ECM**

**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)**



## 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 ?**



## 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

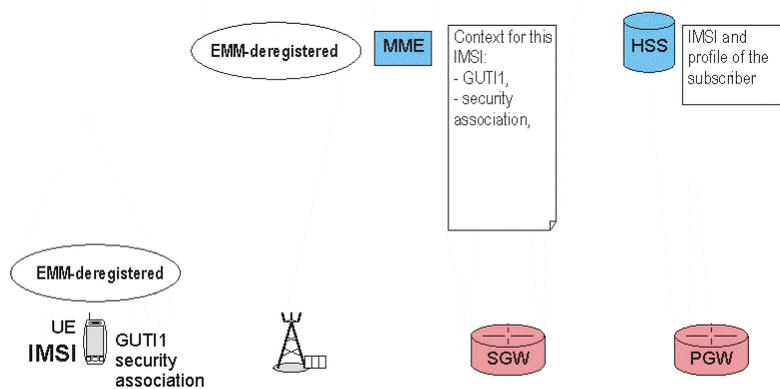
3

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)

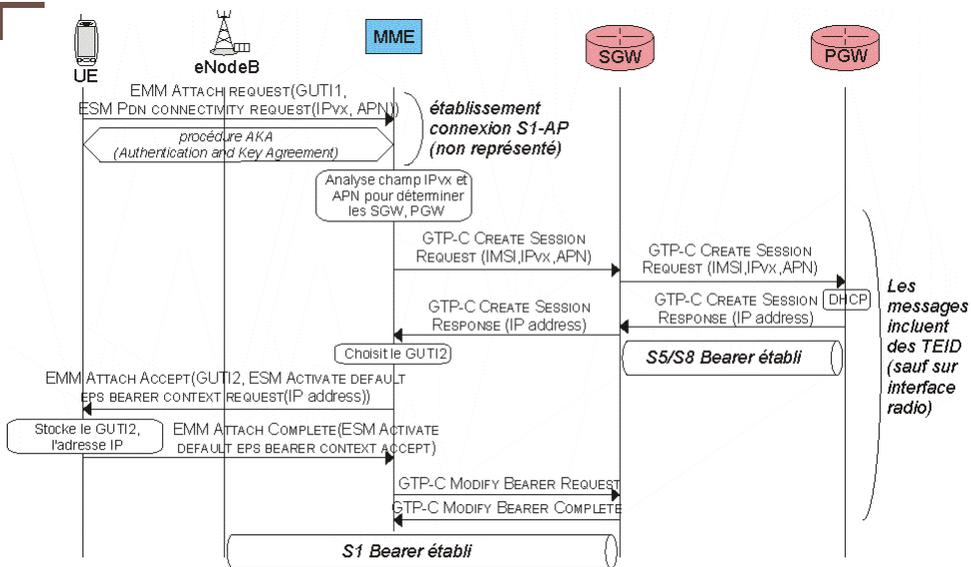


4

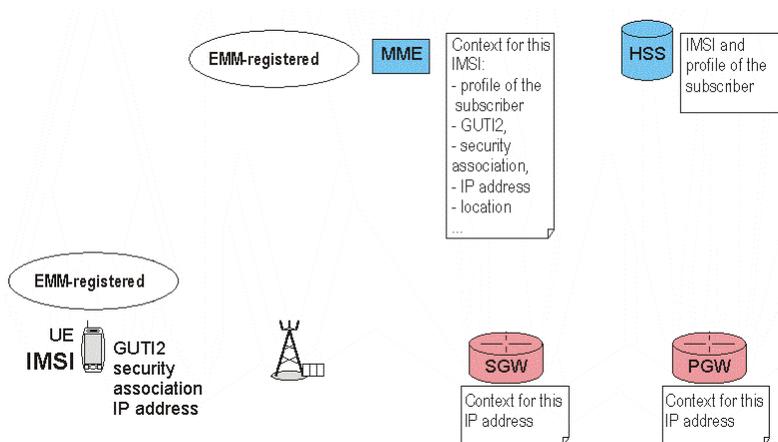
Institut Mines-Télécom

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

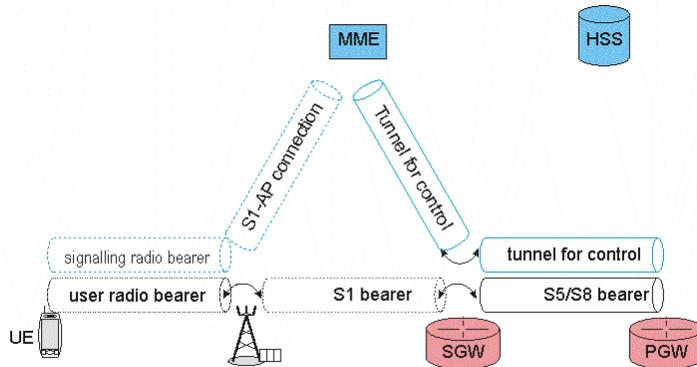




### Contextes stockés dans les différents équipements (vue simplifiée)



## Tunnels et connexions établis



7

Institut Mines-Télécom

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



## Procédure de détachement

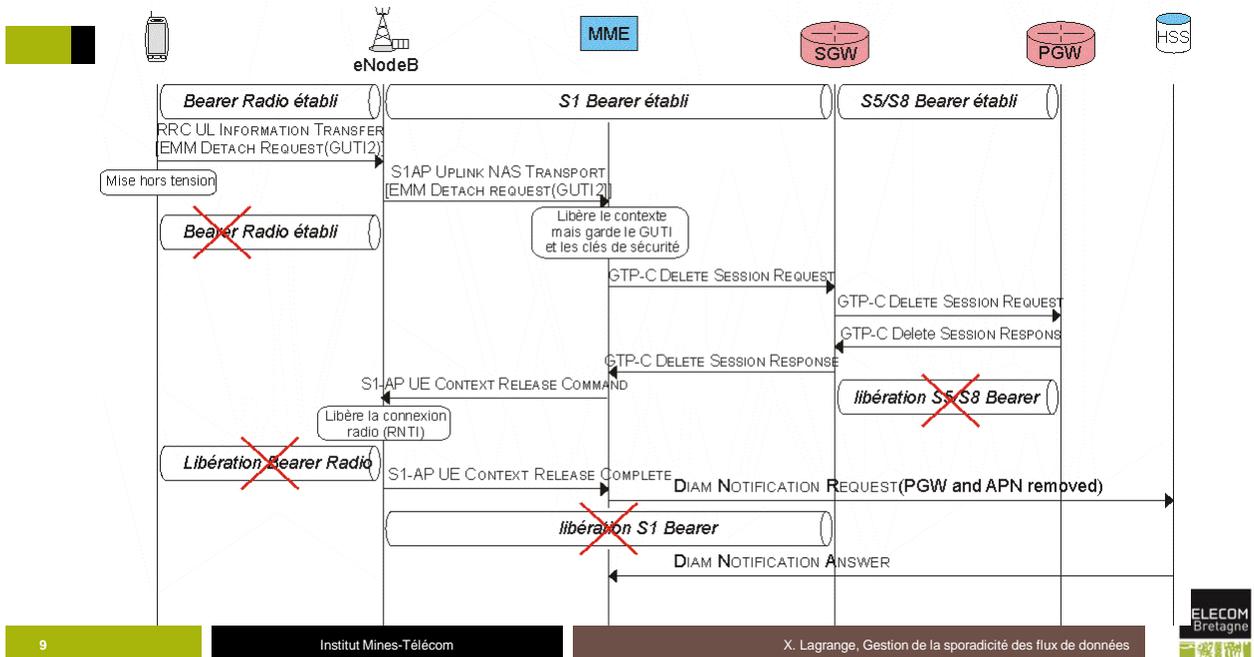
- **Mise hors tension du terminal**
  - Le terminal fait une demande de détachement
  - Il est autorisé à s'éteindre si la demande de détachement est bien reçue par la station de base (acquiescement de niveau MAC)
- **Libération de toutes les connexions et les tunnels**
- **Le MME garde le GUTI et les clés de sécurité**

8

Institut Mines-Télécom

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





## 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 ?**

## 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

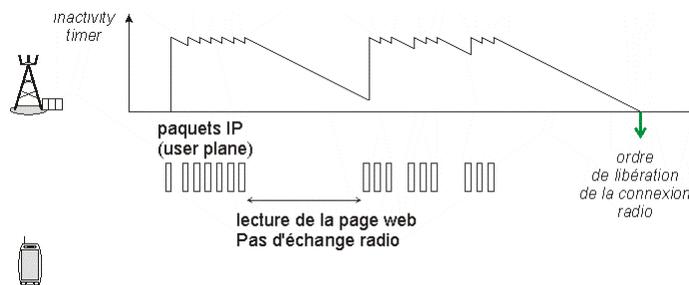
11

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

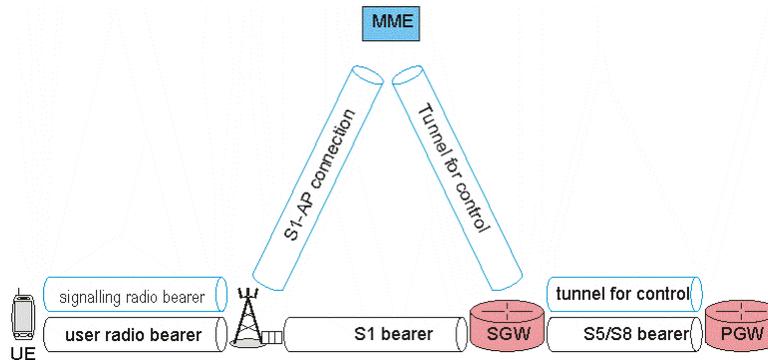
12

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

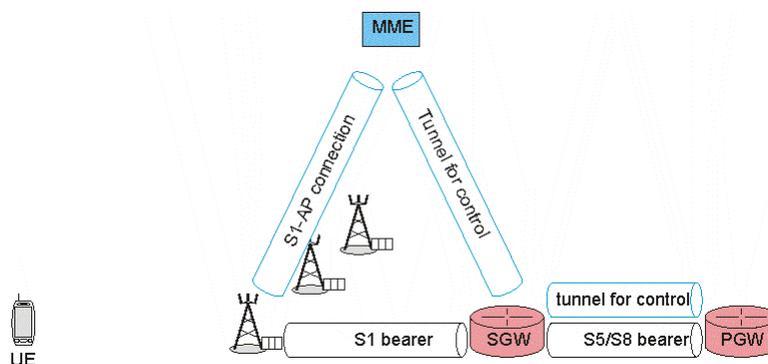
13

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)

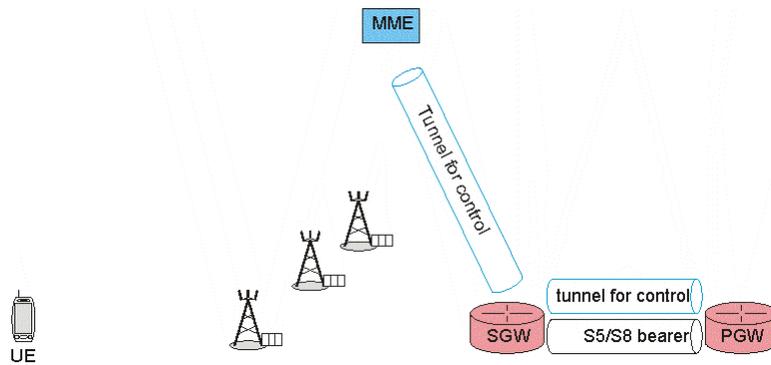
14

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

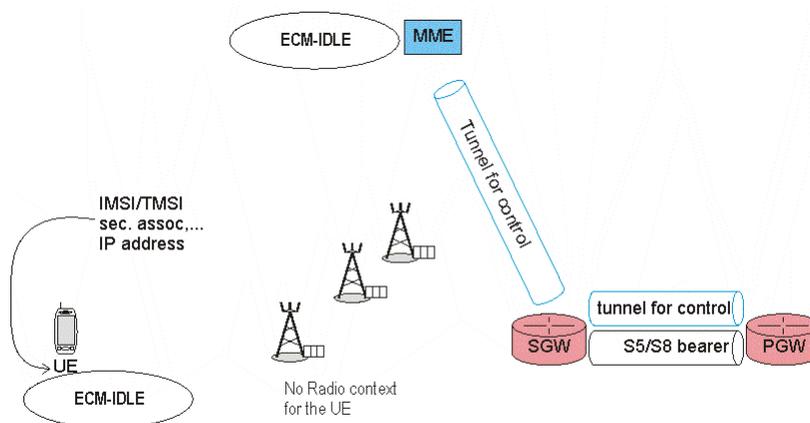
15

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

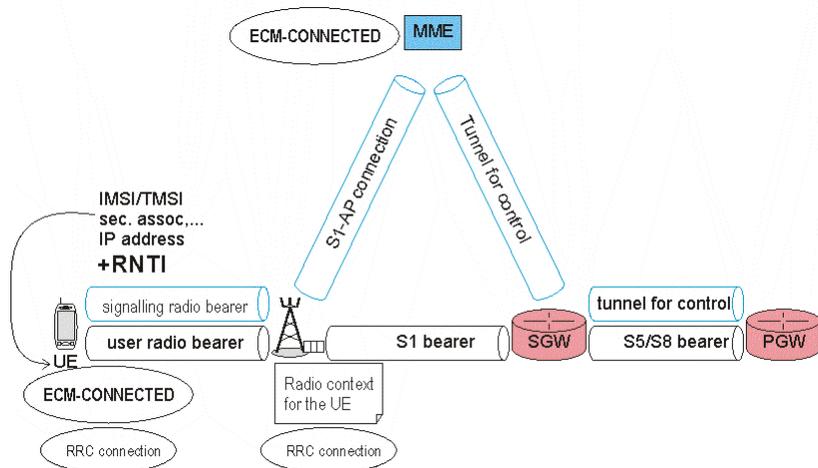
16

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

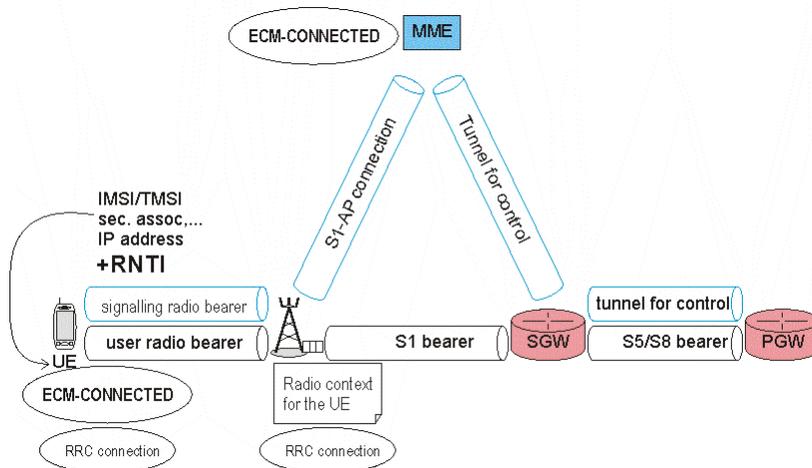


## Vidéo 3 : Passage en mode veille suite à longue période d'inactivité

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

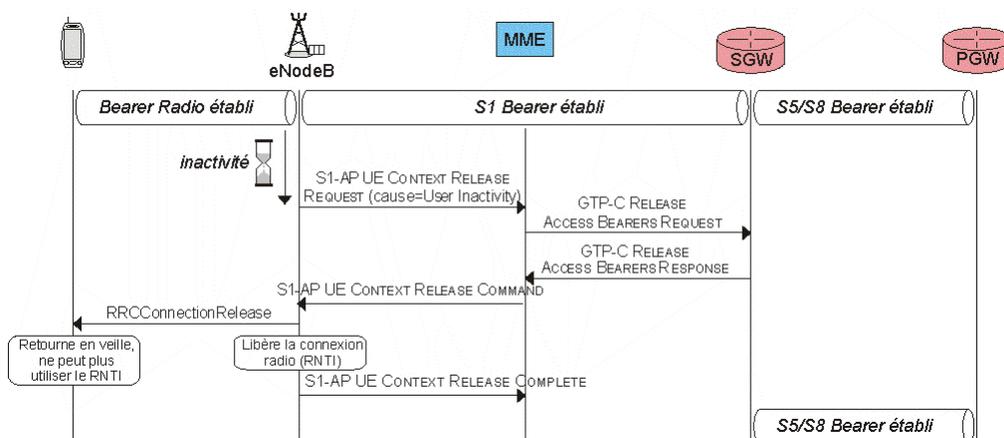


**Etat initial**



**Longue période d'inactivité**

**Procédure de libération d'une connexion radio sur inactivité**

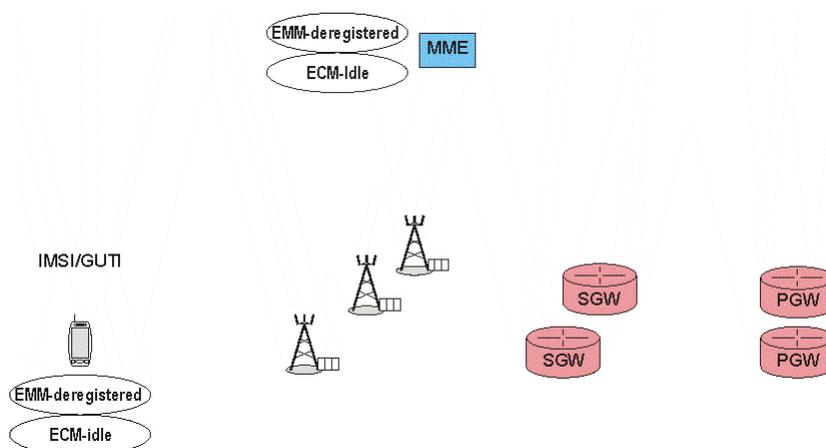


**A la fin de la procédure, le terminal et le MME (pour ce terminal) sont dans l'état ECM Idle (et EMM Registered)**

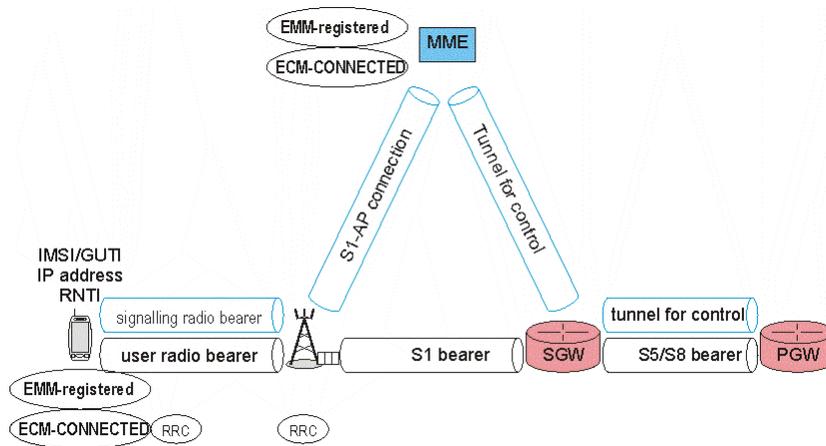
## Conclusion sur les états ECM et EMM

- **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)

## Evolution des états ECM-Idle et ECM-Connected



## Evolution des états ECM-Idle et ECM-Connected



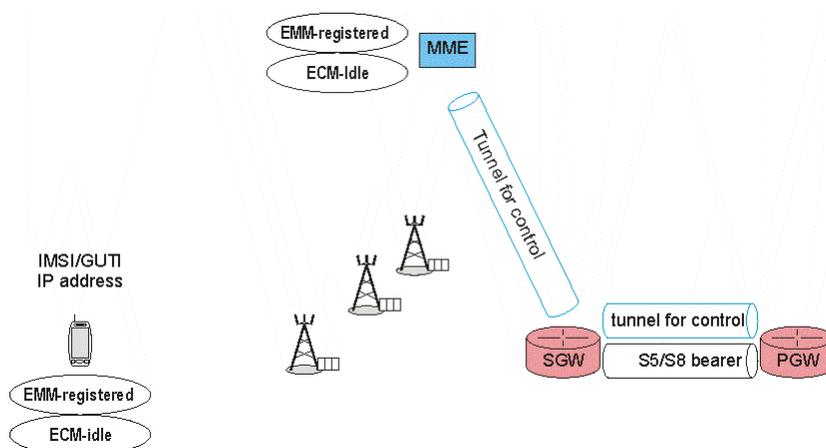
23

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**

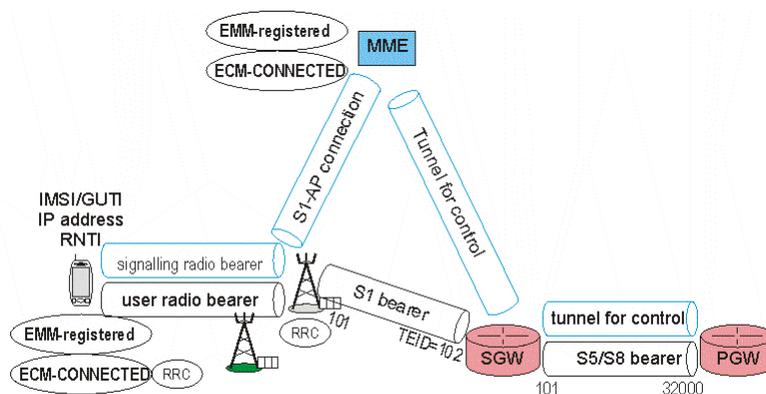
25

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

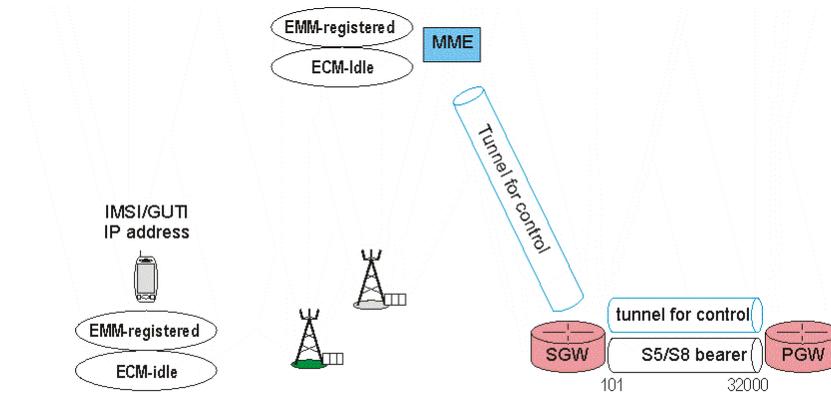
26

Institut Mines-Télécom

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

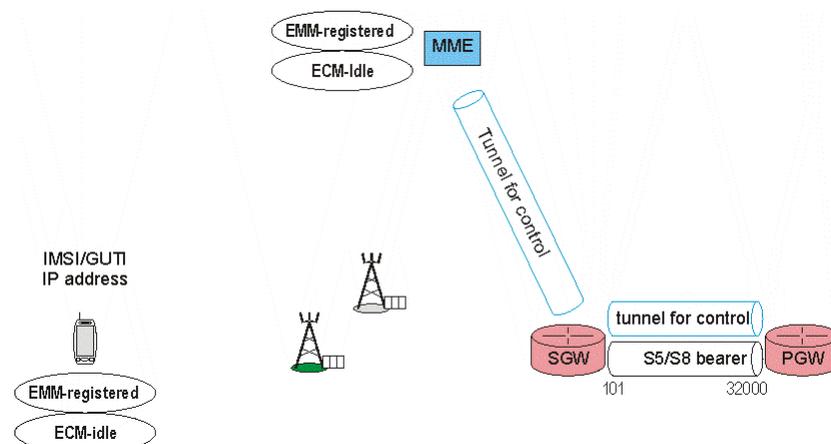


## Hypothèses du scénario considéré



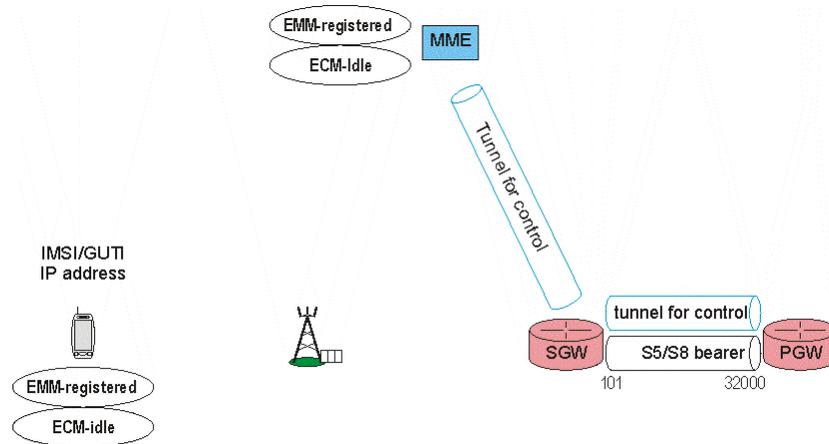
### 2) Inactivité pendant quelques minutes

## Hypothèses du scénario considéré



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

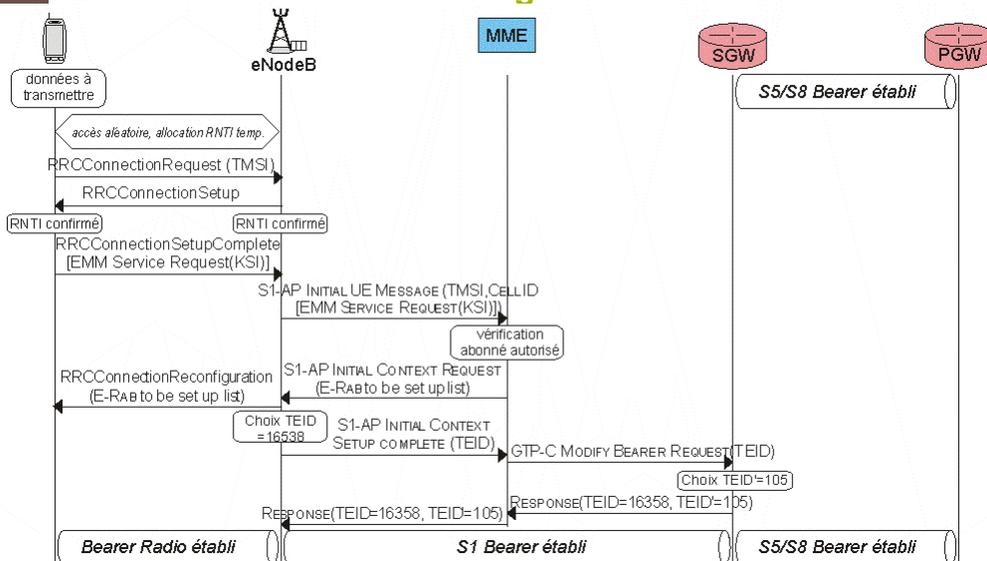
## Hypothèses du scénario considéré



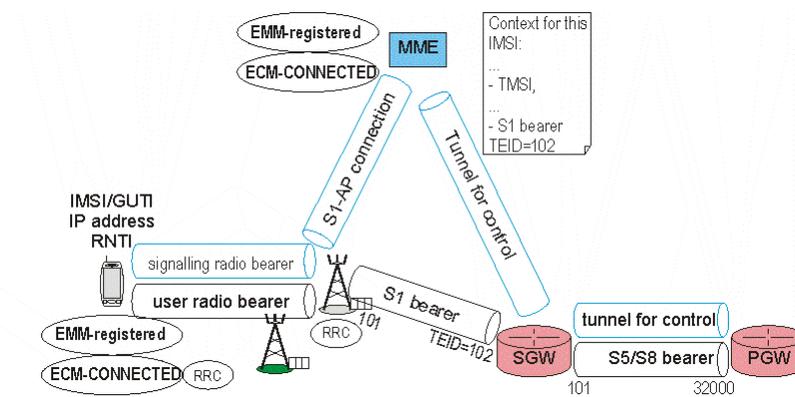
- 4) Action de l'utilisateur : UE transmet des données  
=> Besoin d'une procédure de ré-établissement des connexions et tunnels



## Etablissement du service : gestion naïve du tunnel S1

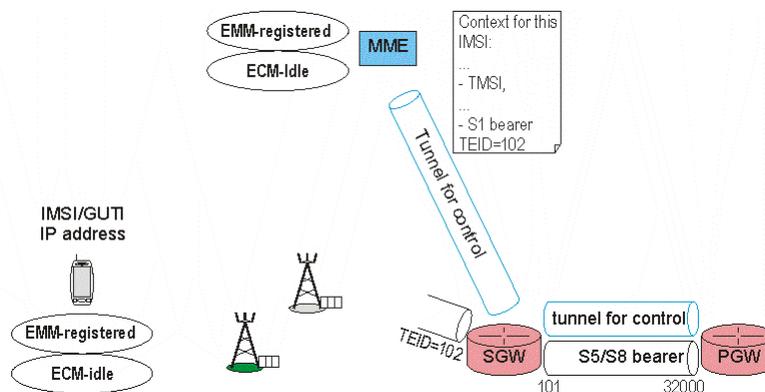


## Utilité d'une libération partielle du tunnel S1



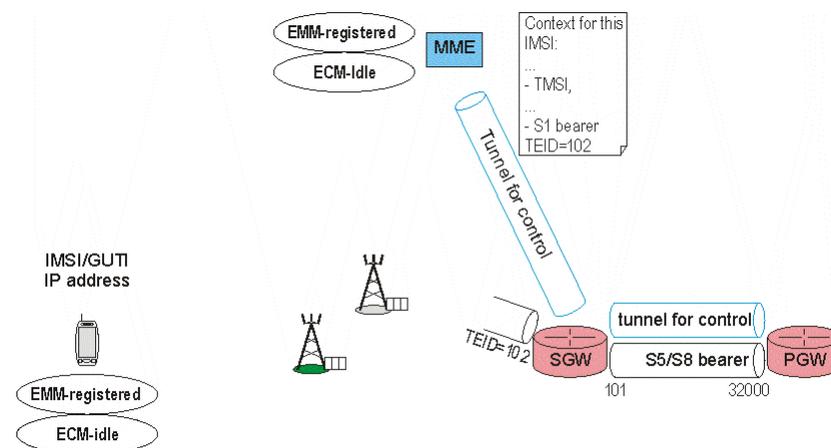
- 1) UE attaché et actif sur une cellule => les TEIDs du tunnel S1 sont mémorisés par le MME

## Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



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

## Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



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

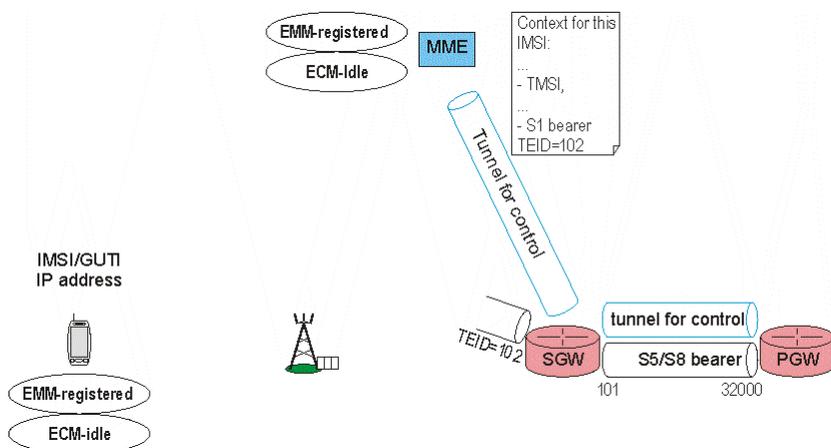


33

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

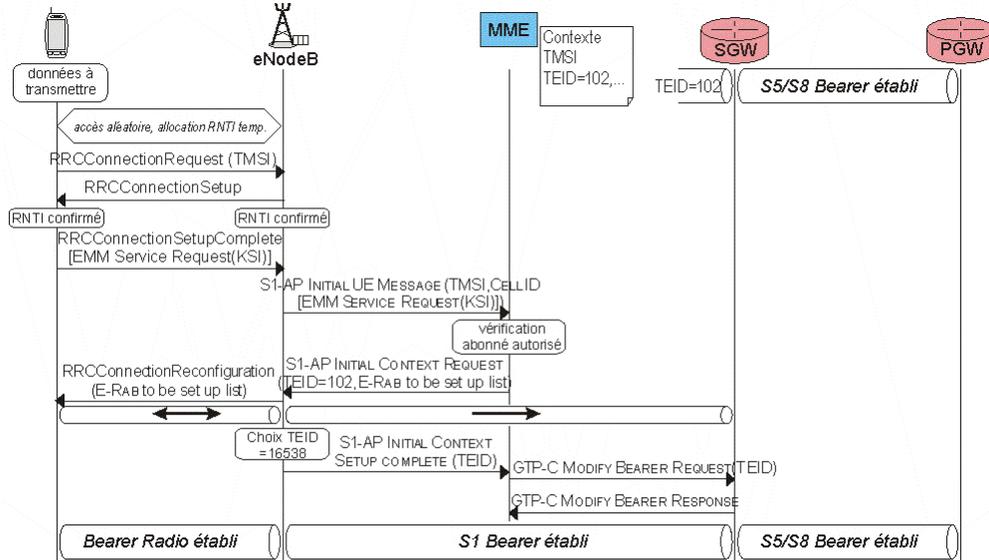


34

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

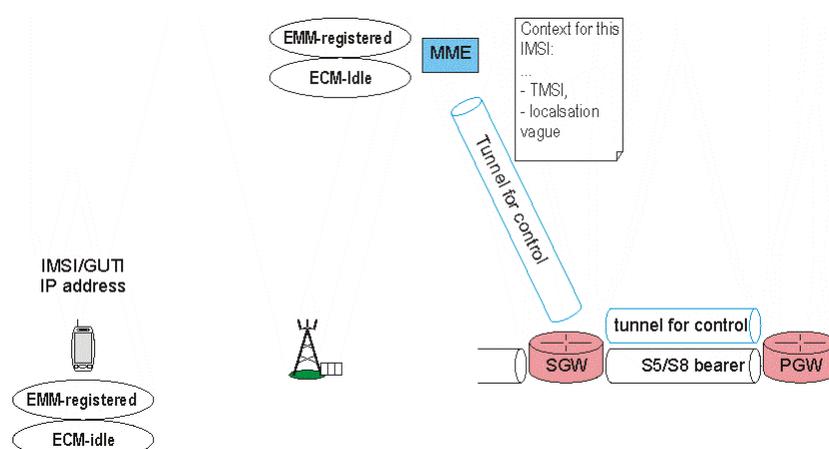
X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



## 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

## 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**



## Vidéo 5 : Principes des bearers dédiés

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

41

Institut Mines-Télécom

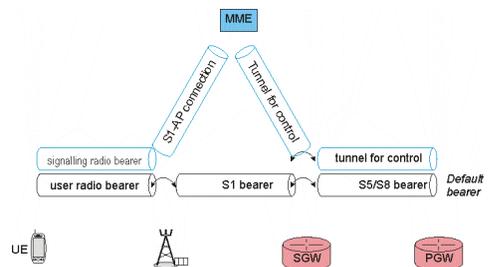
X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



### 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

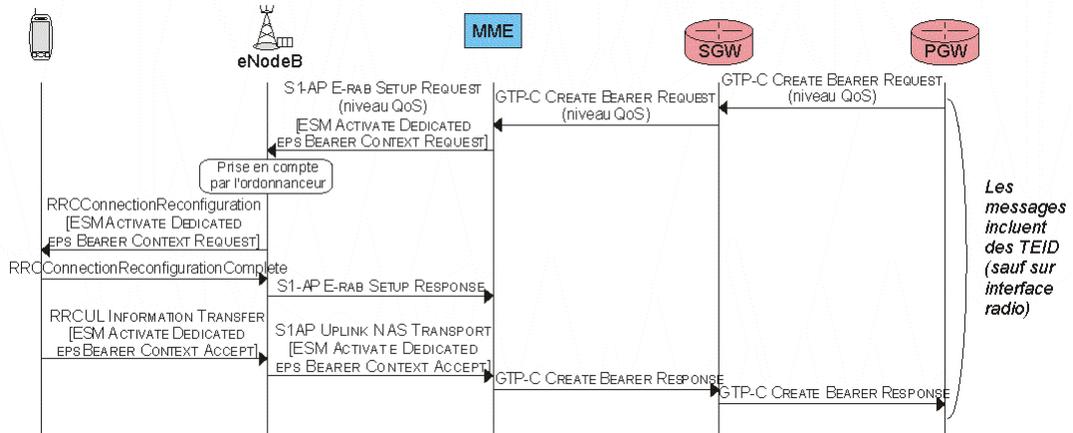
Institut Mines-Télécom

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





## Procédure d'activation de bearer dédié



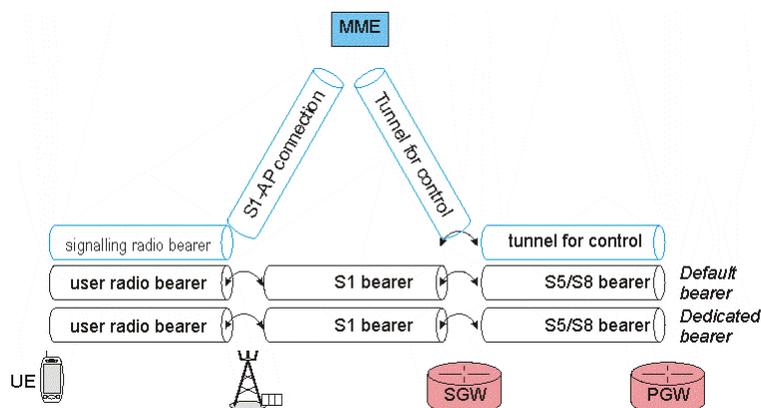
45

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

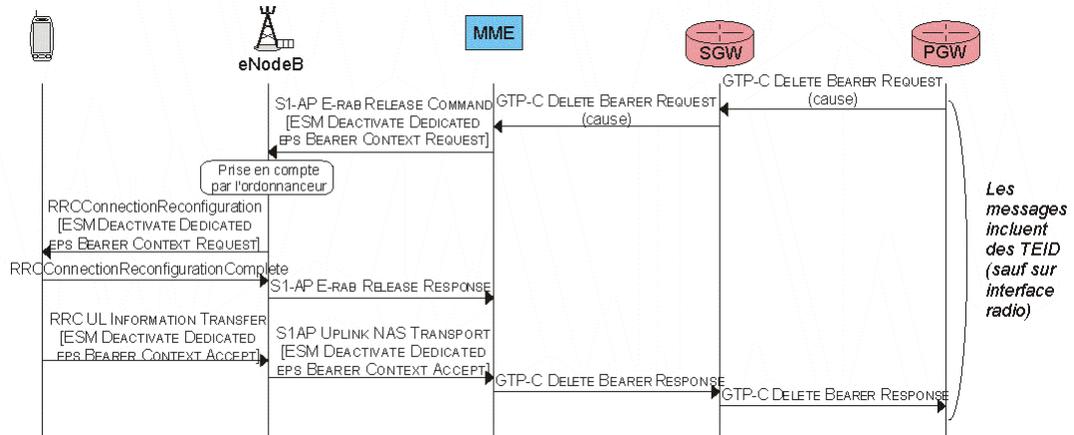
46

Institut Mines-Télécom

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



## Désactivation d'un bearer dédié



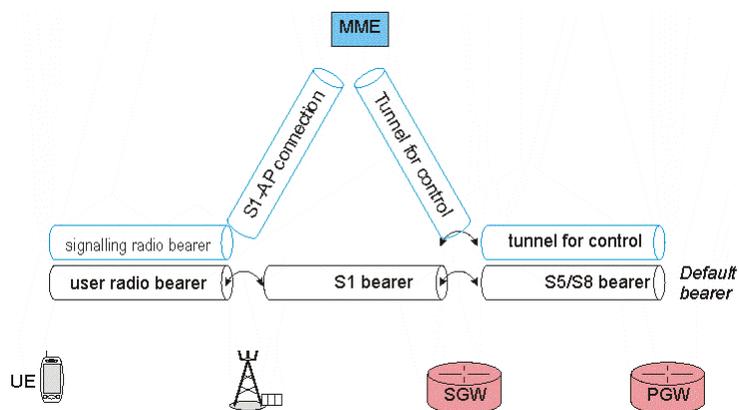
47

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

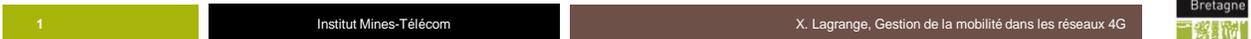




## Gestion de la mobilité

- 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

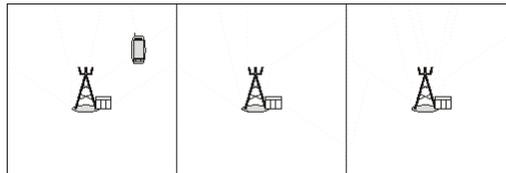
Institut Mines-Télécom

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
  - Raisonement 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 ?

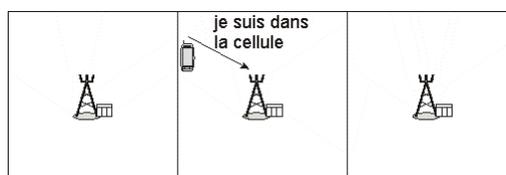
3

Institut Mines-Télécom

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



## Principe de la mise à jour de localisation



4

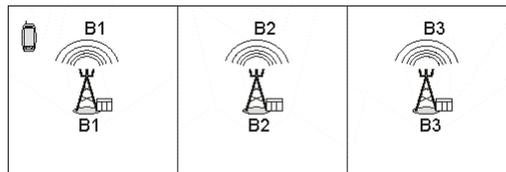
Institut Mines-Télécom

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)



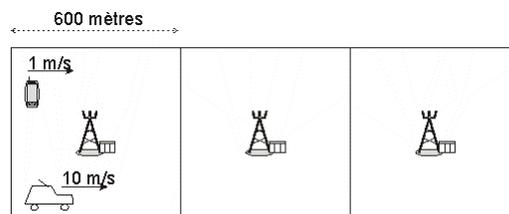
5

Institut Mines-Télécom

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



## Estimation du nombre de mises à jour de localisation par seconde et par terminal



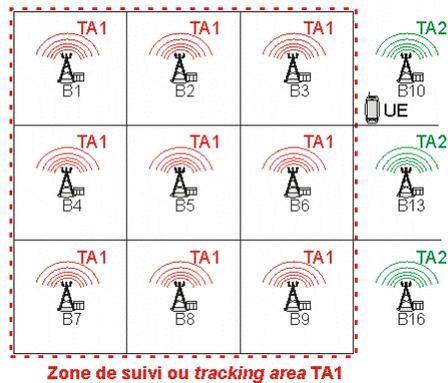
6

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**

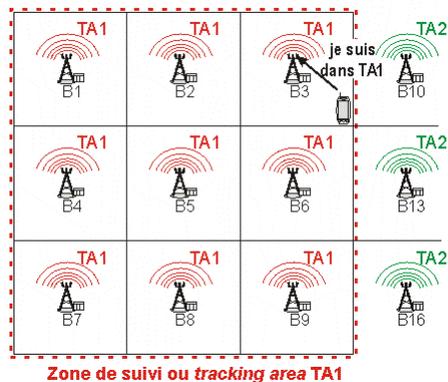
7

Institut Mines-Télécom

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



## Principe de la mise à jour de localisation



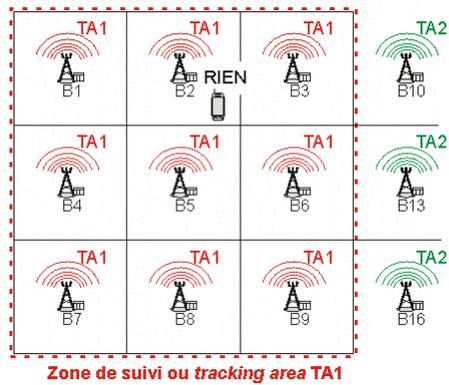
8

Institut Mines-Télécom

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



## Principe de la mise à jour de localisation



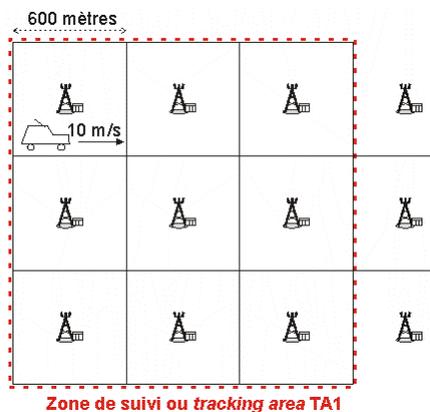
9

Institut Mines-Télécom

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



## Estimation du nombre de mises à jour de localisation par seconde et par terminal



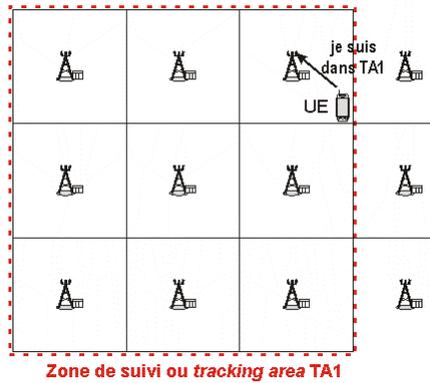
10

Institut Mines-Télécom

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



## Imprécision de la localisation



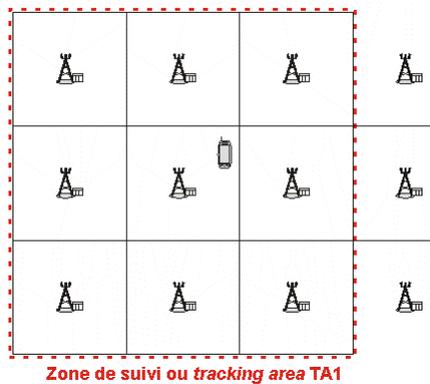
11

Institut Mines-Télécom

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



## Imprécision de la localisation



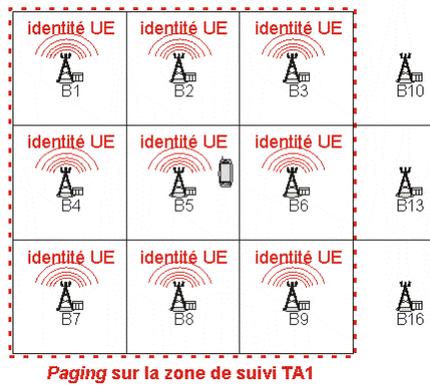
12

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 tracking (TAI)

13

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  $\sqrt{N}$

14

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 ?

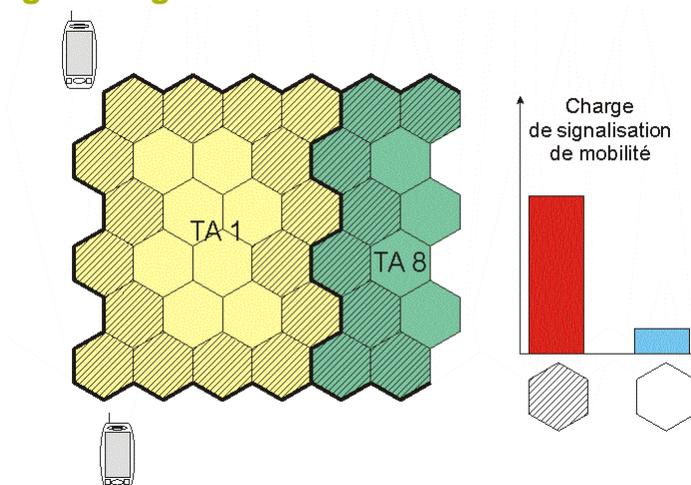
15

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

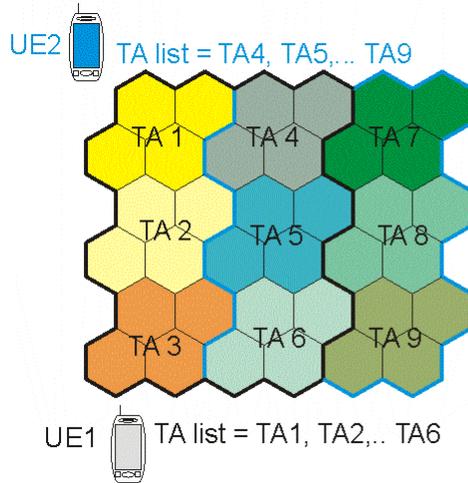
16

Institut Mines-Télécom

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



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

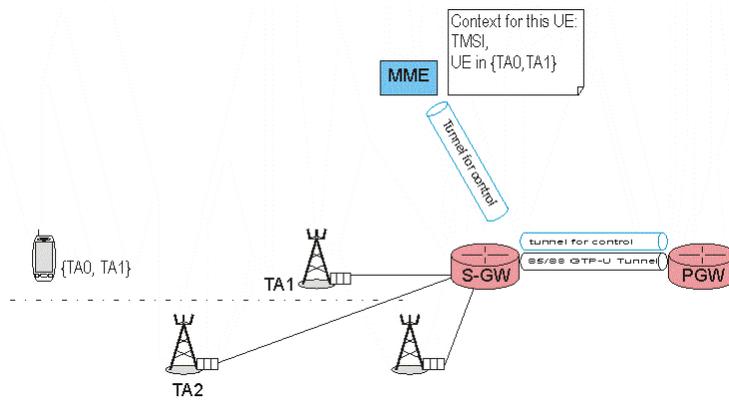


- A chaque mise à jour, le réseau fournit une liste de zones de suivi
  - *Tracking Area List* ou *TA List*
- Deux terminaux dans la même cellule peuvent avoir des listes différentes
- Le paging doit être fait sur toutes cellules de la liste du mobile
- Optimisations possibles

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

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

## 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

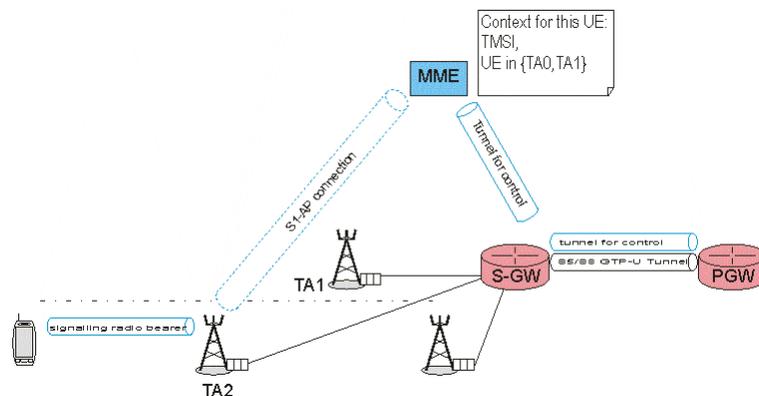
19

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation



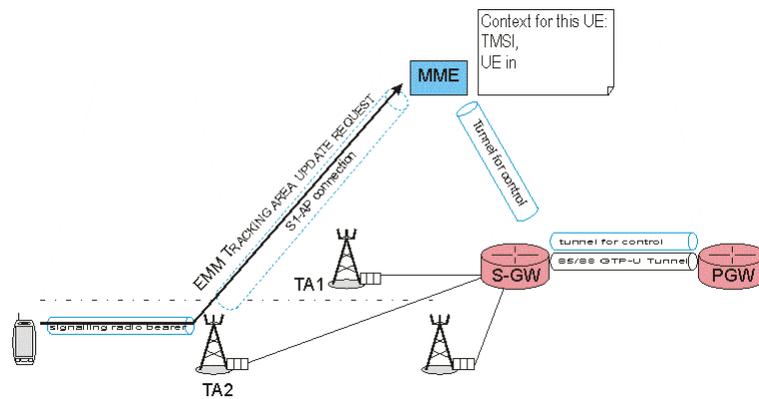
20

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation



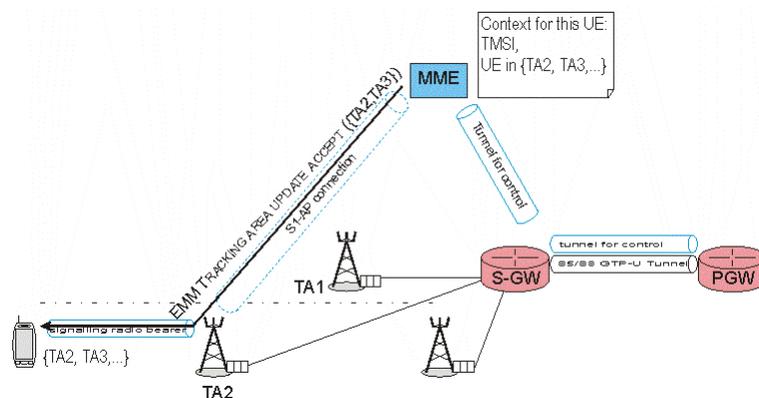
21

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation



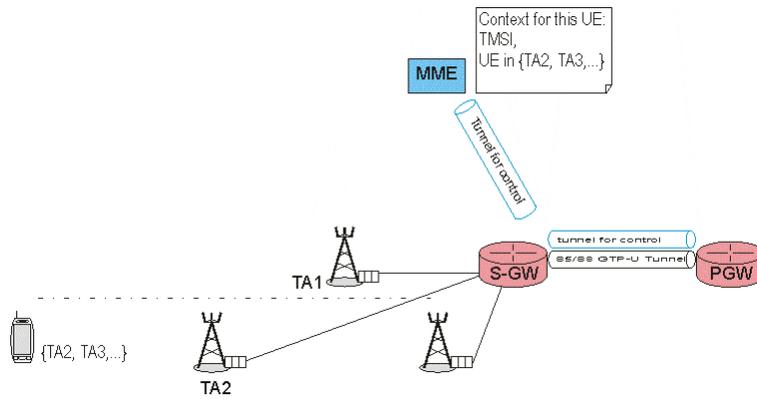
22

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation



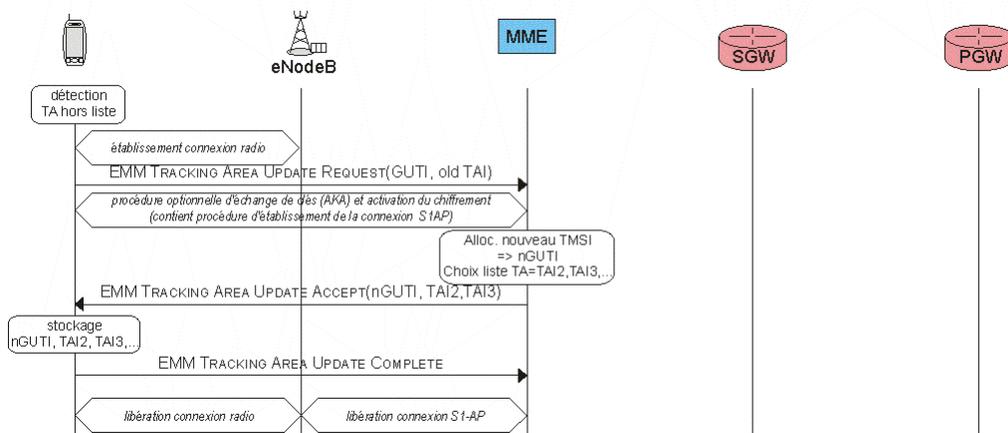
23

Institut Mines-Télécom

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



## Chronogramme de la mise à jour de localisation



24

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 ?

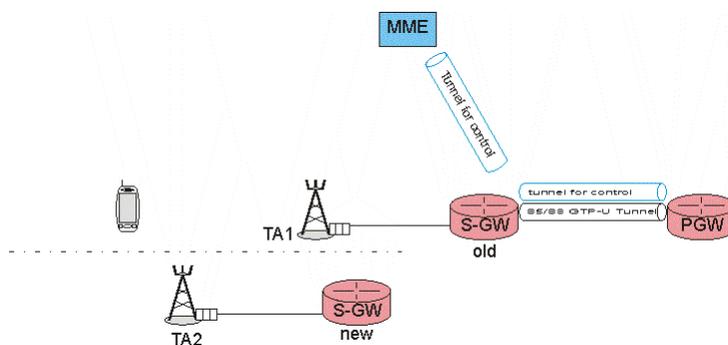
25

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation avec changement de SGW



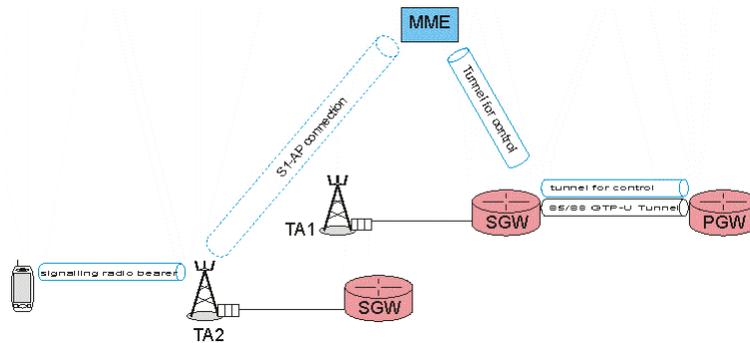
26

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation avec changement de SGW



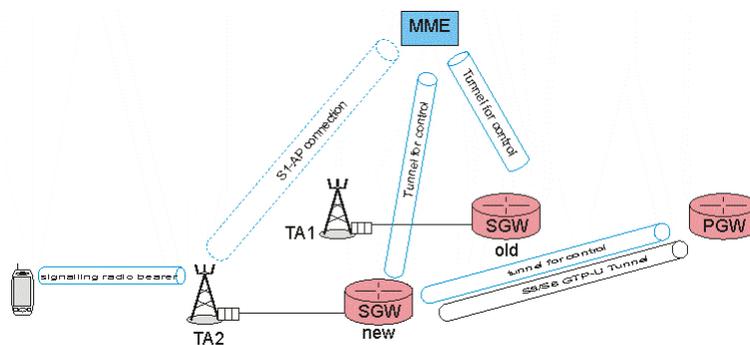
27

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation avec changement de SGW



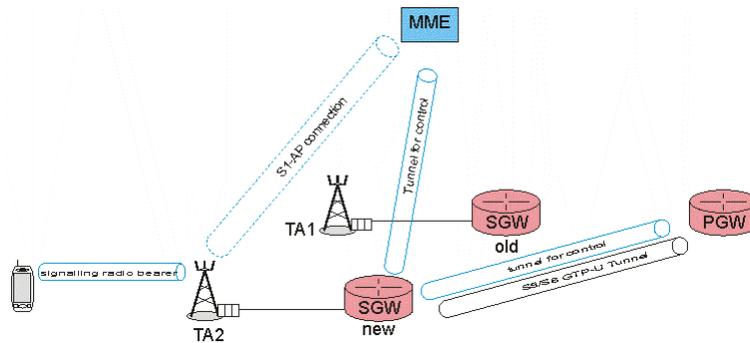
28

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation avec changement de SGW



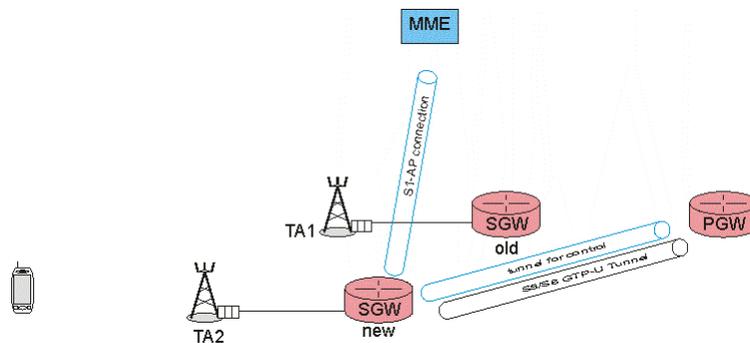
29

Institut Mines-Télécom

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



## Exemple de mise à jour de localisation avec changement de SGW



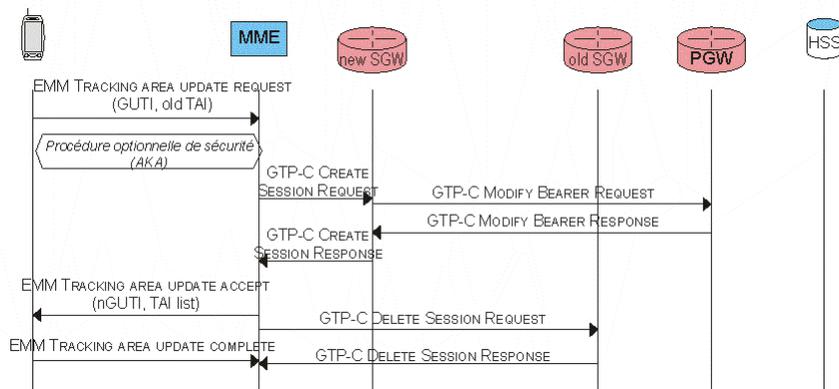
30

Institut Mines-Télécom

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



## Chronogramme du mise à jour avec changement de SGW



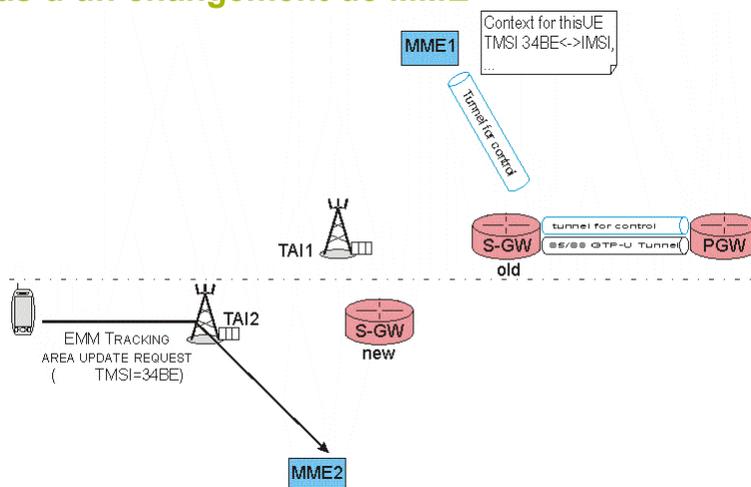
31

Institut Mines-Télécom

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



## Cas d'un changement de MME



32

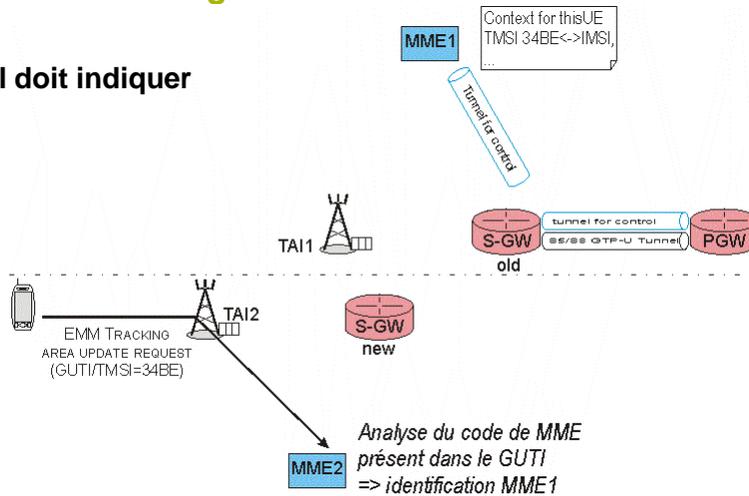
Institut Mines-Télécom

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



## Cas d'un changement de MME

- Le terminal doit indiquer son GUTI



33

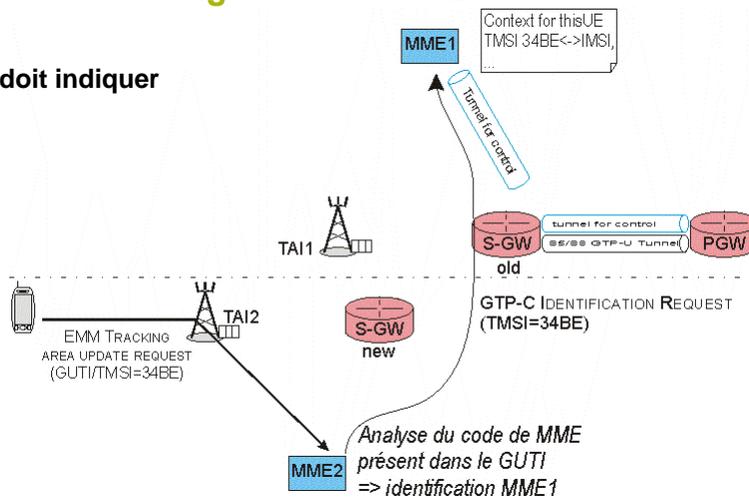
Institut Mines-Télécom

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



## Cas d'un changement de MME

- Le terminal doit indiquer son GUTI



34

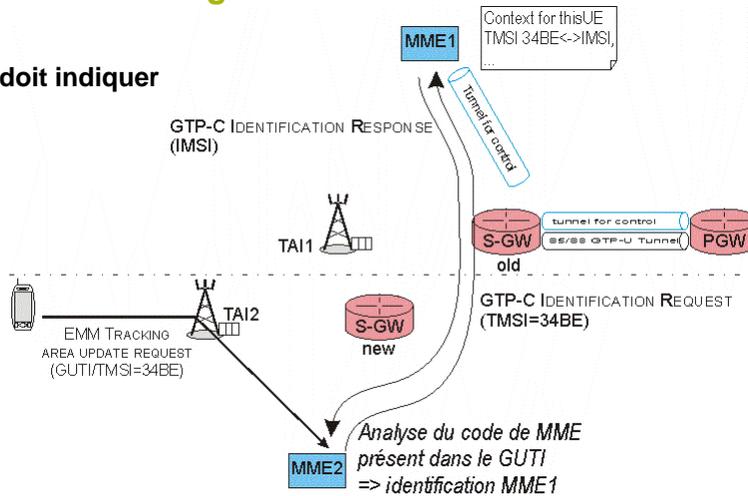
Institut Mines-Télécom

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



## Cas d'un changement de MME

- Le terminal doit indiquer son GUTI



35

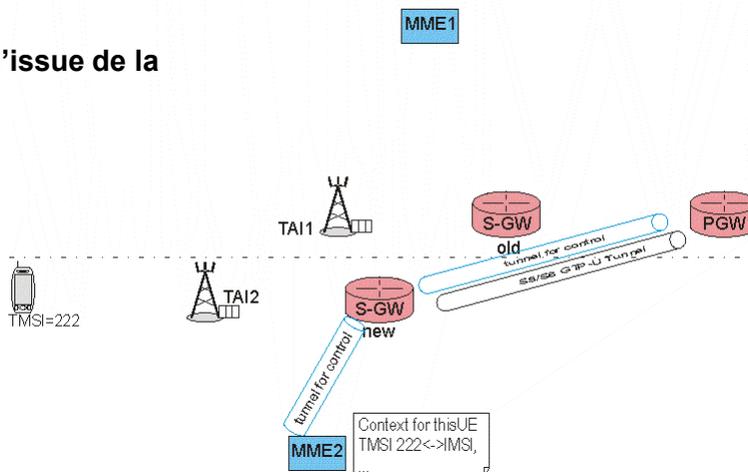
Institut Mines-Télécom

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



## Cas d'un changement de MME

- Tunnels à l'issue de la procédure



36

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



37

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 ?**

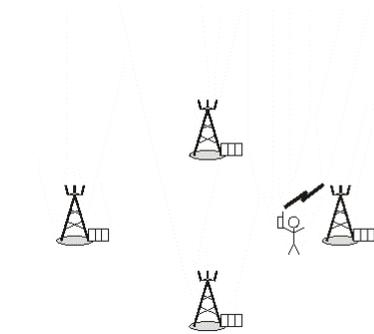


38

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

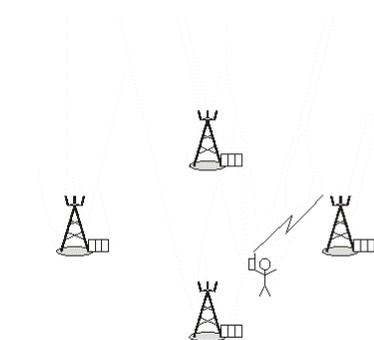
39

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



### ■ 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

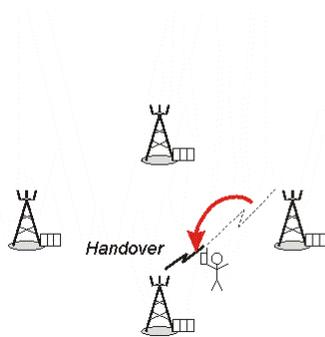
40

Institut Mines-Télécom

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



## Nécessité et complexité du handover



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

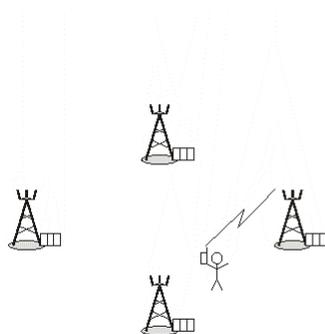
41

Institut Mines-Télécom

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



## Nécessité et complexité du handover



- 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

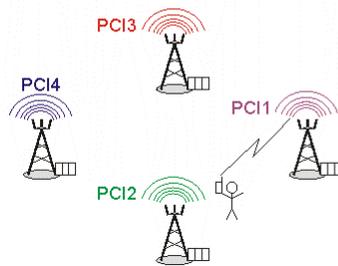
42

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 Channel Identity)

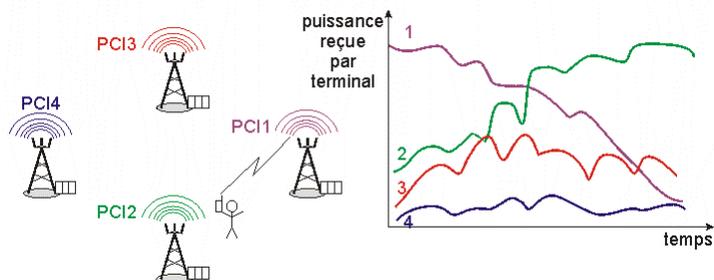
43

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



- Mesure par le terminal des niveaux de puissance reçue des (typiquement) 6 stations de base les mieux reçues

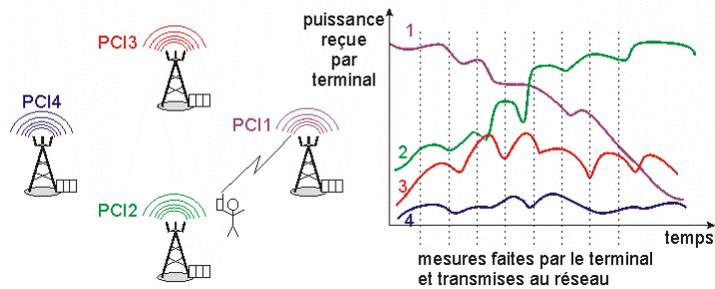
44

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



### ■ Remontée régulière vers l'enzymeB 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

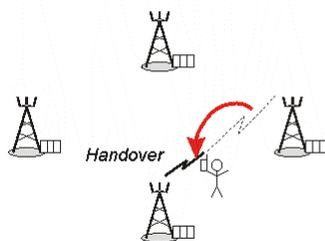
45

Institut Mines-Télécom

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



## Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau



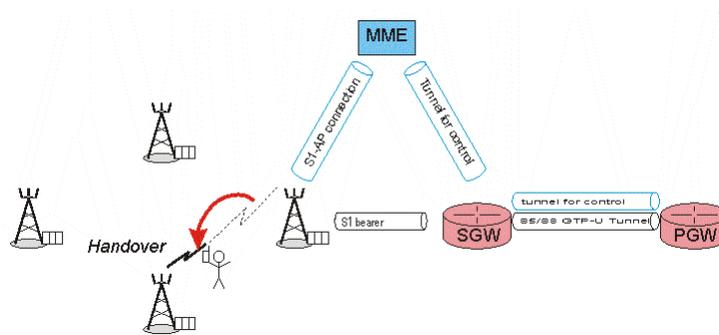
46

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

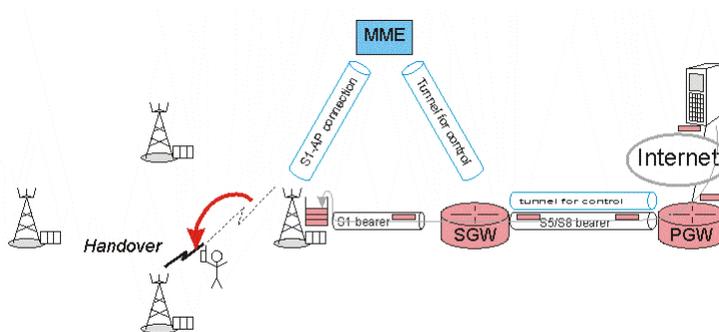
47

Institut Mines-Télécom

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



## Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau



- 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

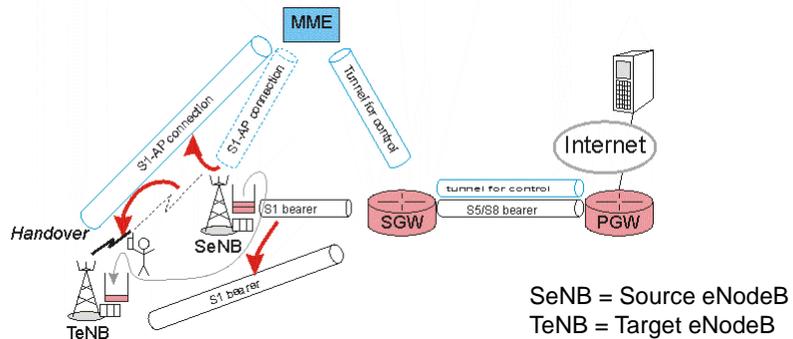
48

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

49

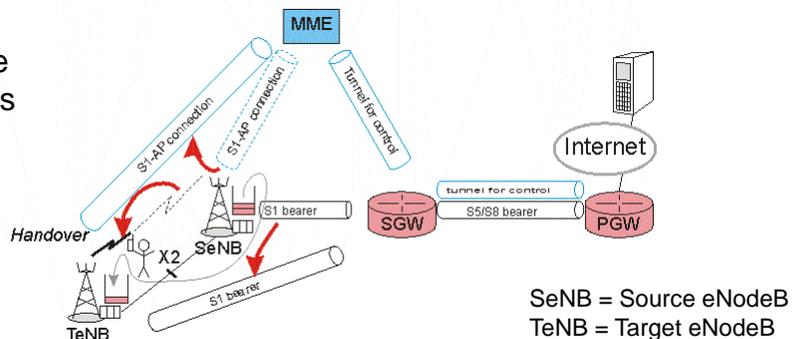
Institut Mines-Télécom

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

50

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*)



51

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 ?**

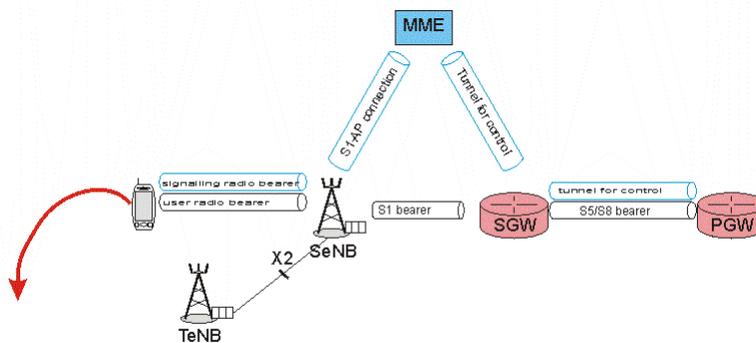


52

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

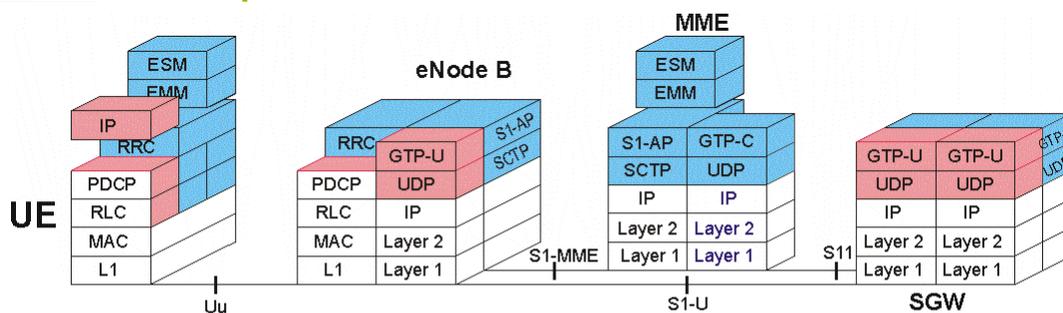
53

Institut Mines-Télécom

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



## Pile de protocole sur X2



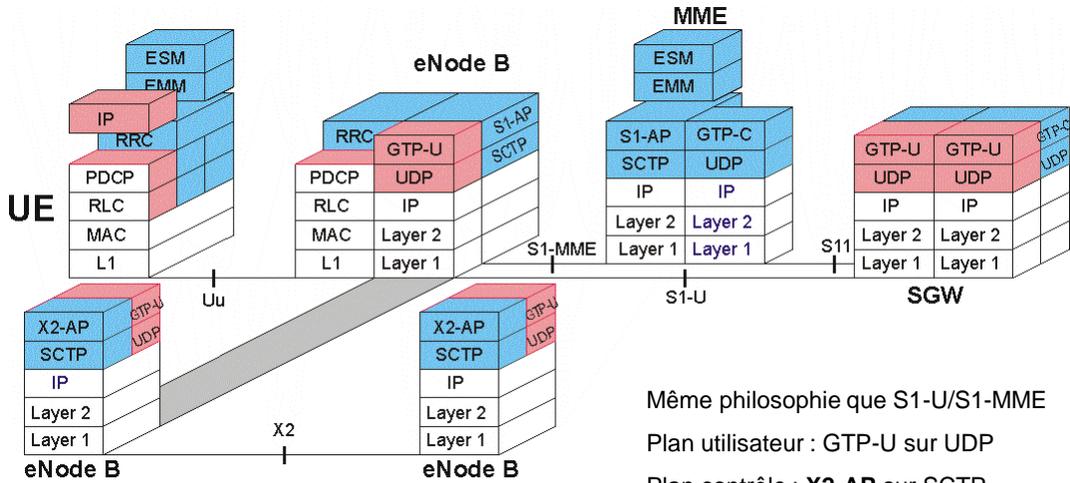
54

Institut Mines-Télécom

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



## Pile de protocole sur X2



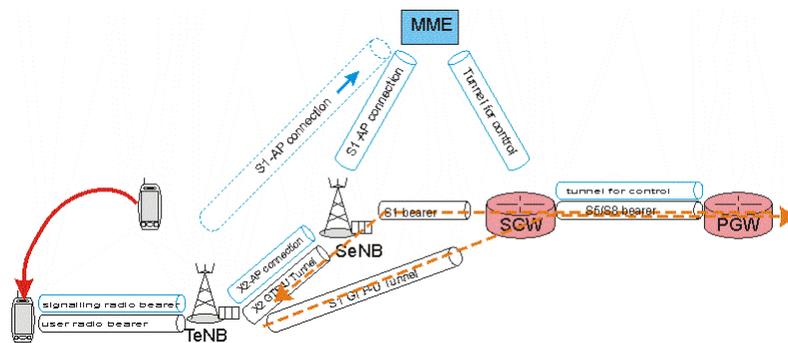
55

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

56

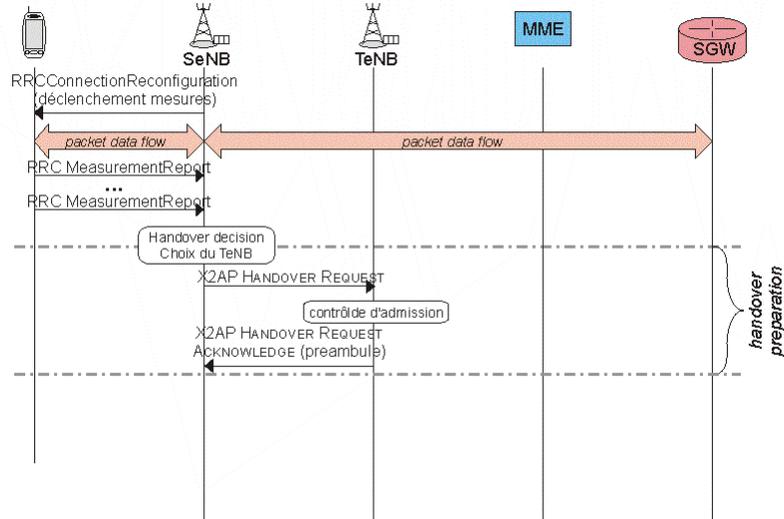
Institut Mines-Télécom

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



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

Choix et échange des TEID et des identités de connexion sur X2



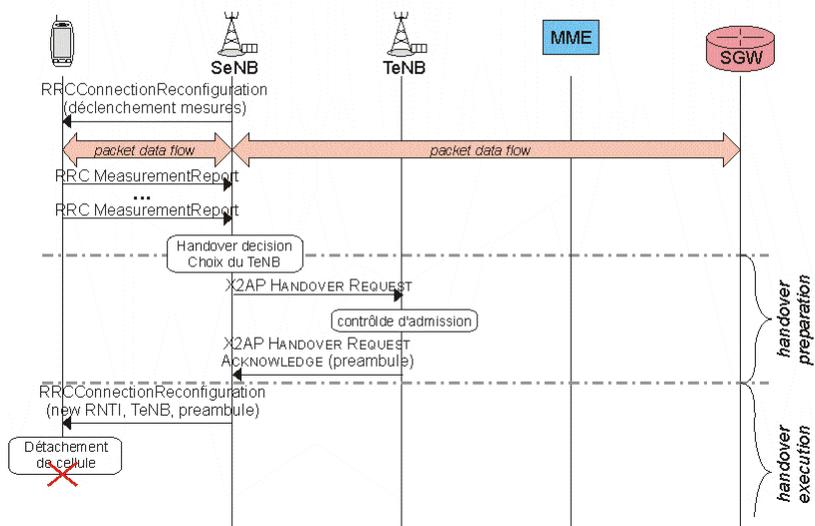
57

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)



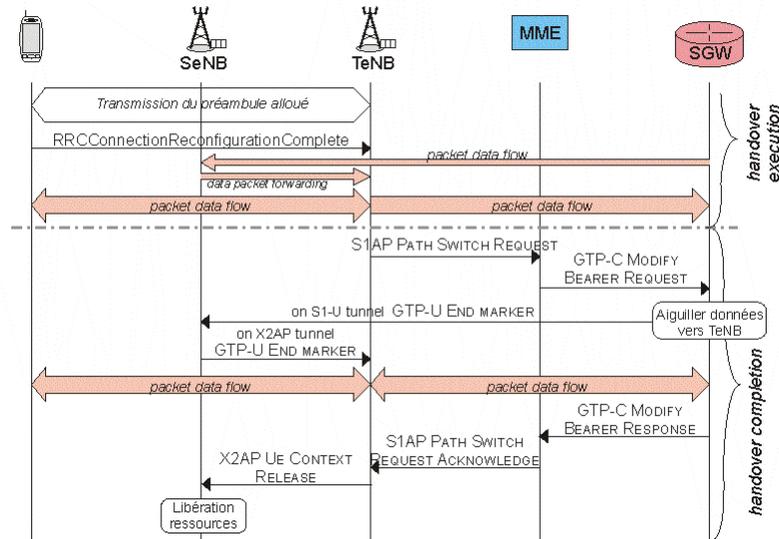
58

Institut Mines-Télécom

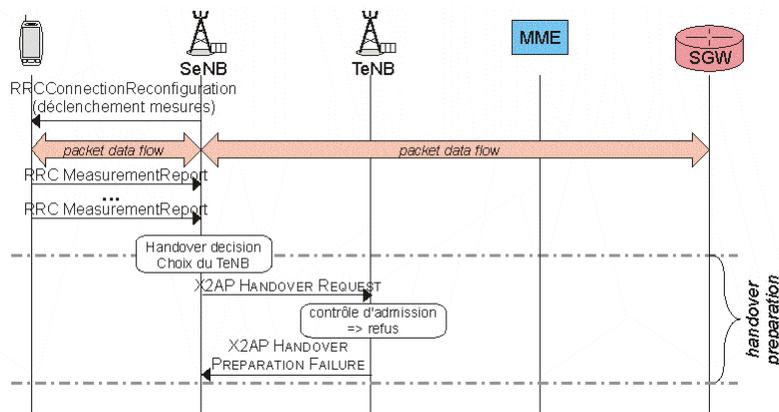
X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



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



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



## 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 ?

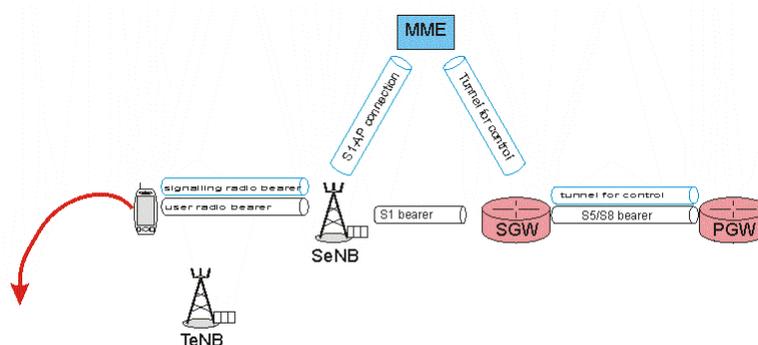
61

Institut Mines-Télécom

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



## Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



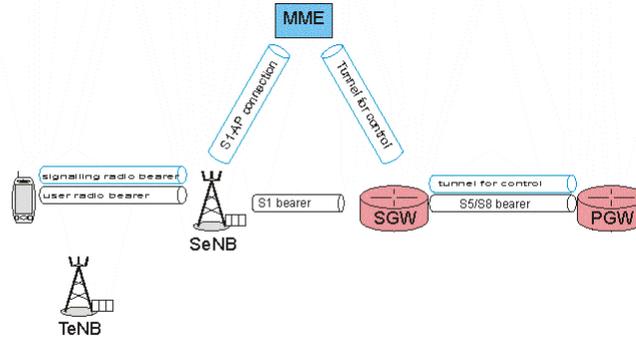
62

Institut Mines-Télécom

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



## Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



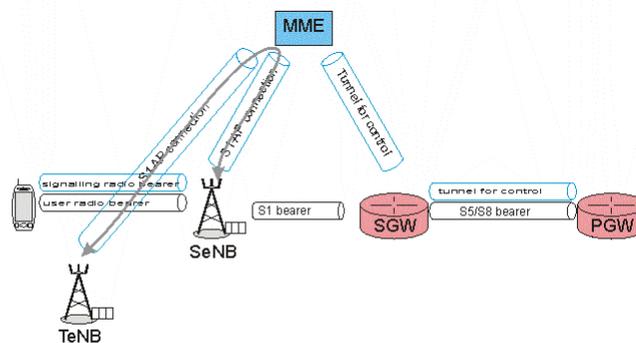
63

Institut Mines-Télécom

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



## Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



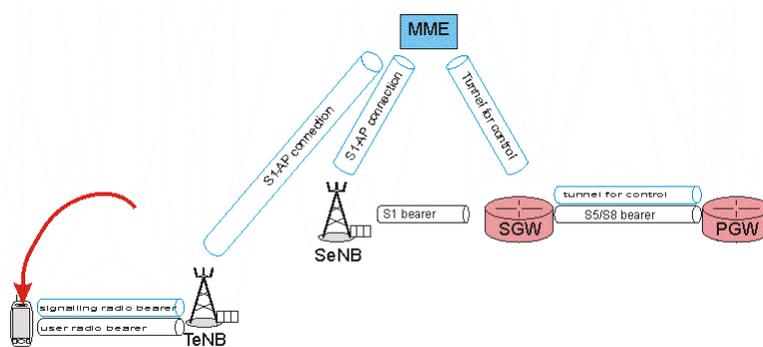
64

Institut Mines-Télécom

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



## Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



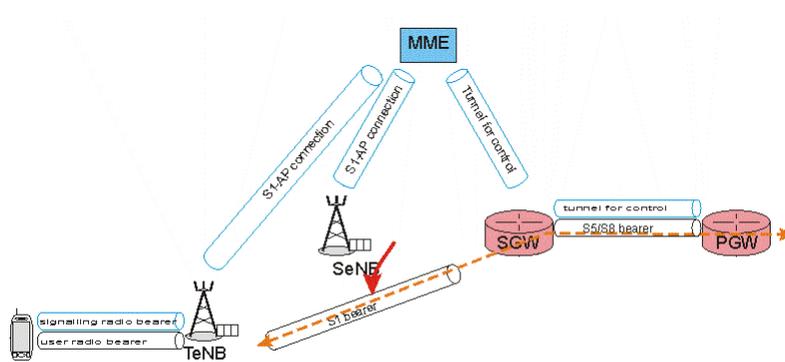
65

Institut Mines-Télécom

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



## Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



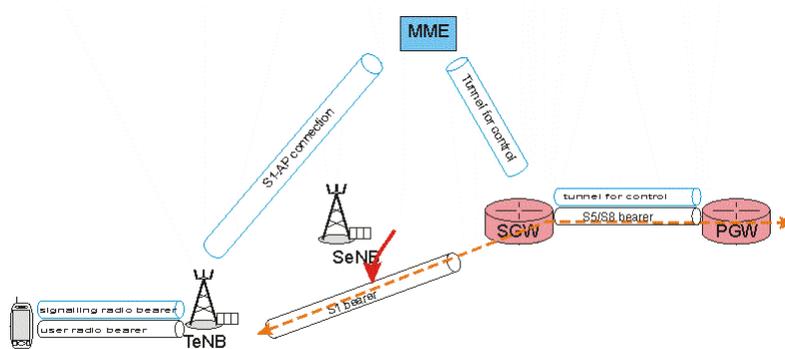
66

Institut Mines-Télécom

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



## Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



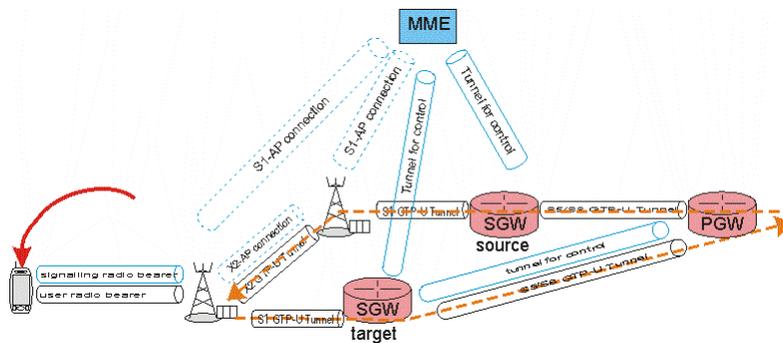
67

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 est prévu
  - Cas rare

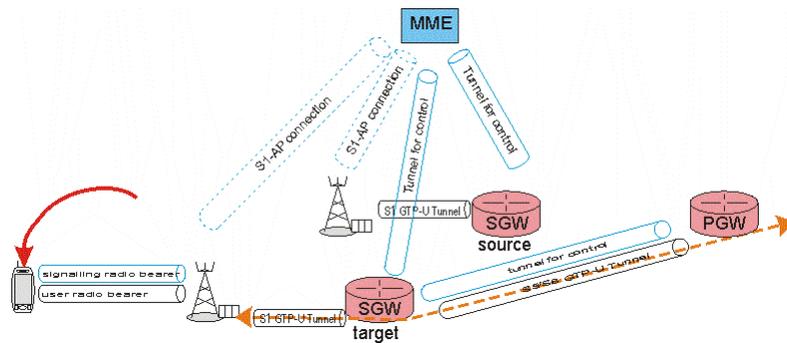
68

Institut Mines-Télécom

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



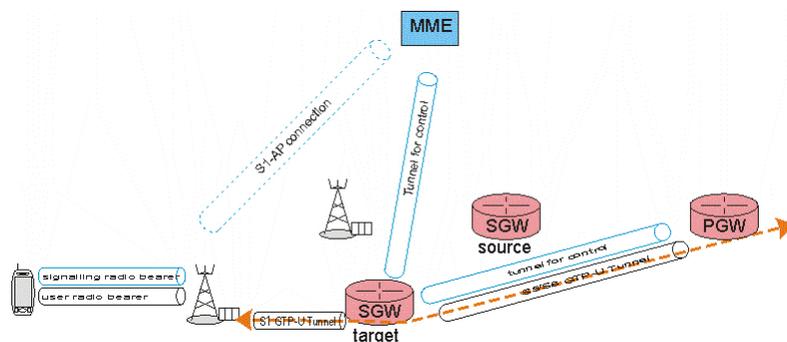
## Handover basé sur X2 avec changement de SGW



### ■ Le handover basé sur X2 avec changement de MME est prévu

- Cas rare

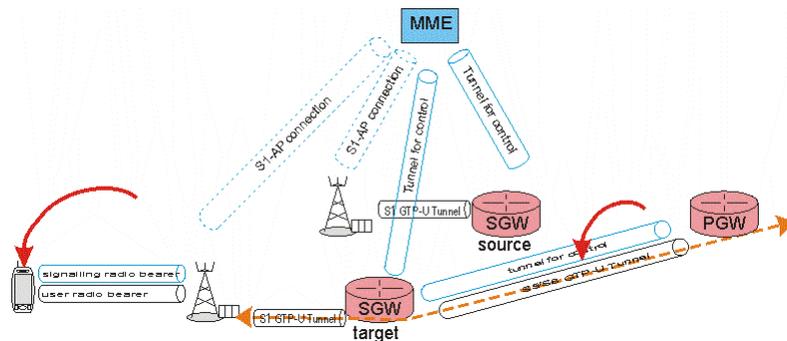
## Handover basé sur X2 avec changement de SGW



### ■ Le handover basé sur X2 avec changement de MME est prévu

- Cas rare

## Handover basé sur S1 avec changement de SGW



- Le handover basé sur S1 avec changement de MME est prévu
  - Cas rare

## 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