



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

Xavier Lagrange, Christophe Couturier, Alexander Pelov



Table des matières

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



Architecture et principes généraux, Semaine 1

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

Vidéo 2 : Concept cellulaire

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

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

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

Vidéo 6 : Plan du cours

Vidéo 7 : Services et différentes générations

1

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



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

2

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



**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

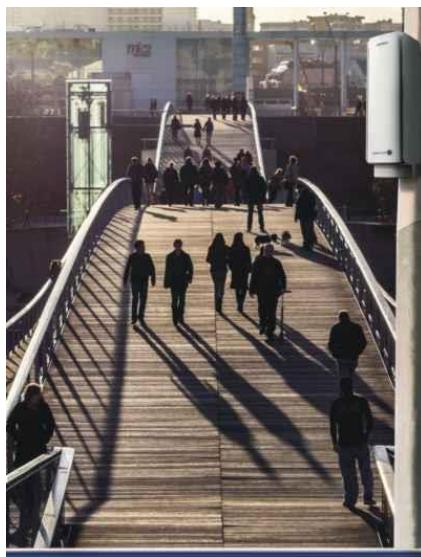
5

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Autres exemples d'eNodeBs



Sources : Alcatel-Lucent

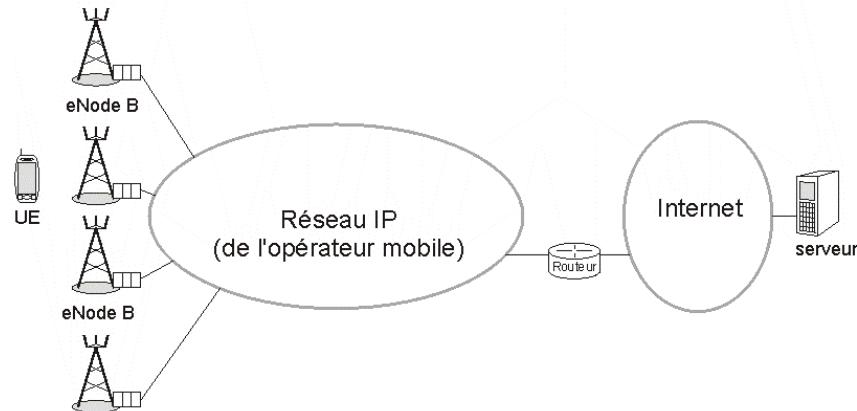
6

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)

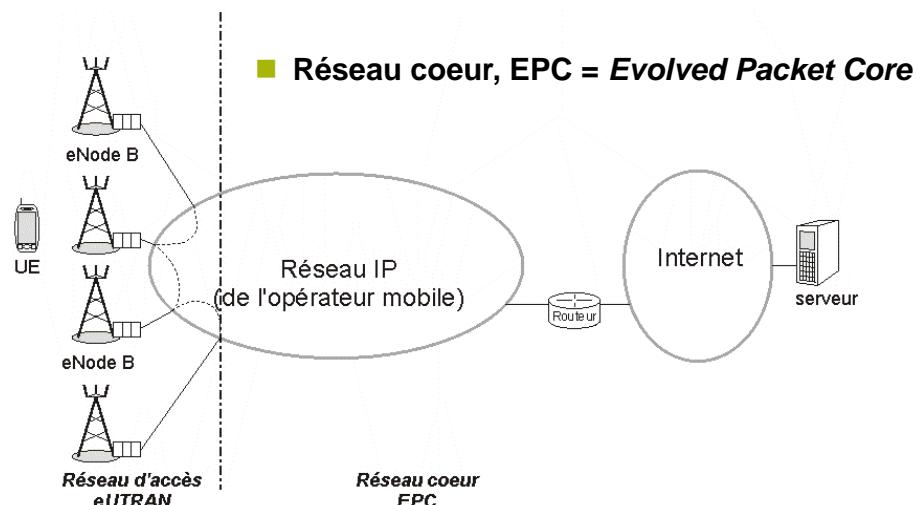
7

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Réseau d'accès et réseau cœur



- 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

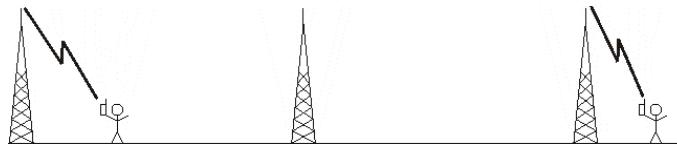
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



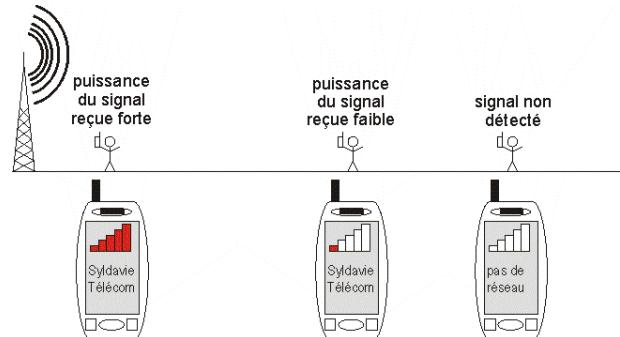
Nécessité de mailler le territoire par des stations de base

- 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 ?

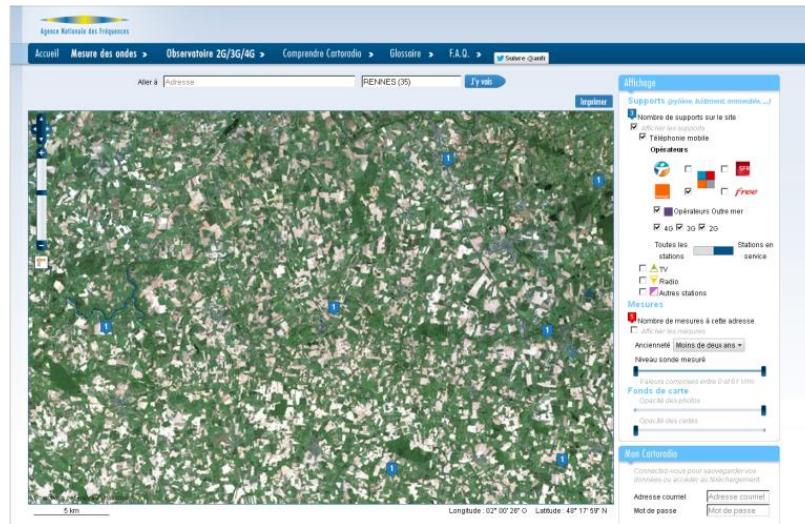


Principe générale de la voie balise

- 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



Cas d'une zone rurale



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

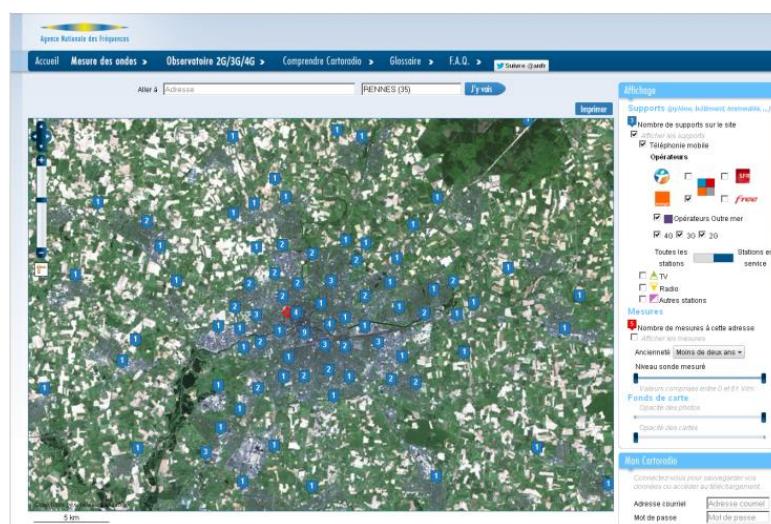
13

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>

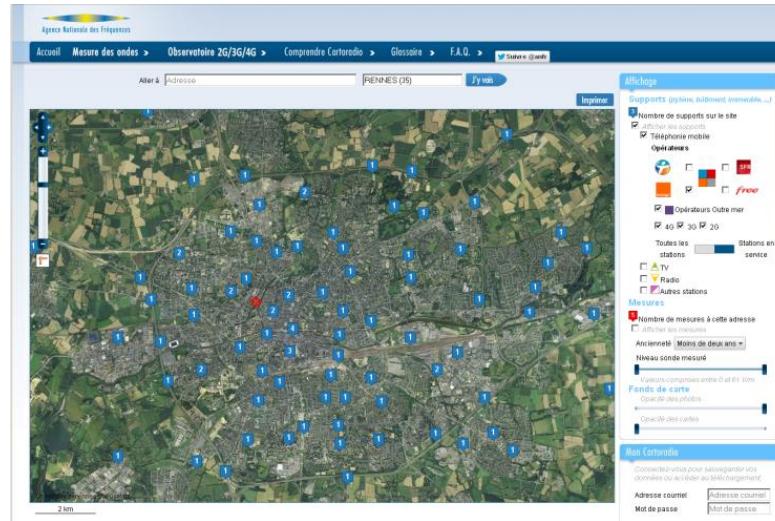
14

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>

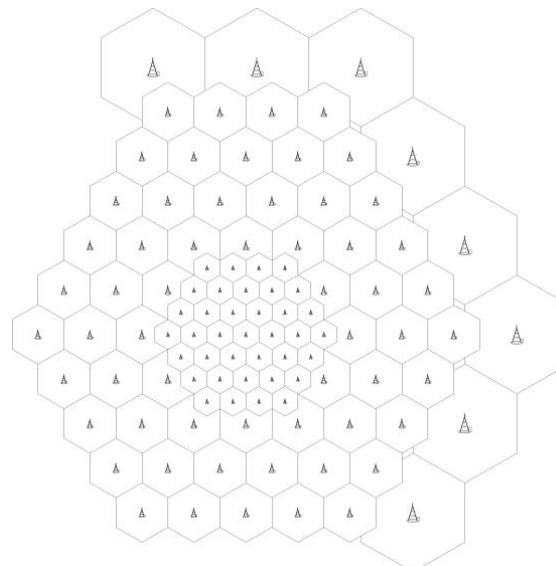
15

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'usager
 - Passage d'une cellule à l'autre idéalement imperceptible
- La capacité d'une cellule en Mbit/s ne dépend pas de la taille de la cellule

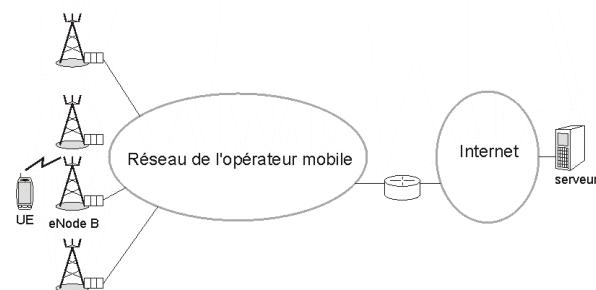
■ Zone rurale = faible densité d'utilisateurs

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

■ Zone urbaine = forte densité d'utilisateurs

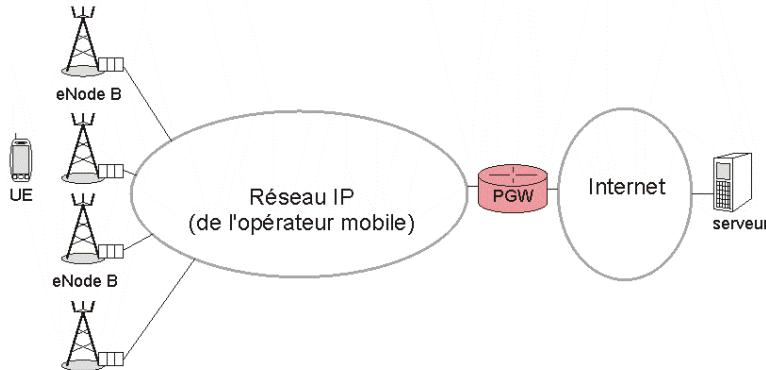
- Les stations de base sont déployées pour fournir une **capacité** suffisante
- Déployer suffisamment de stations de base pour que la capacité en Mbit/s par km² soit supérieure au trafic engendré par les clients

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



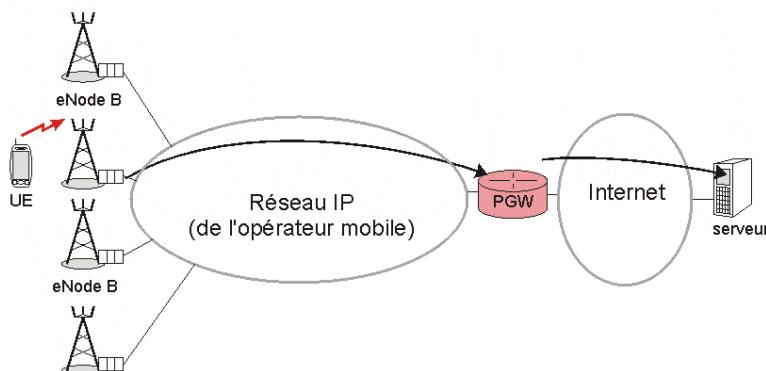
Par où passent les paquets quand je consulte un serveur ?

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

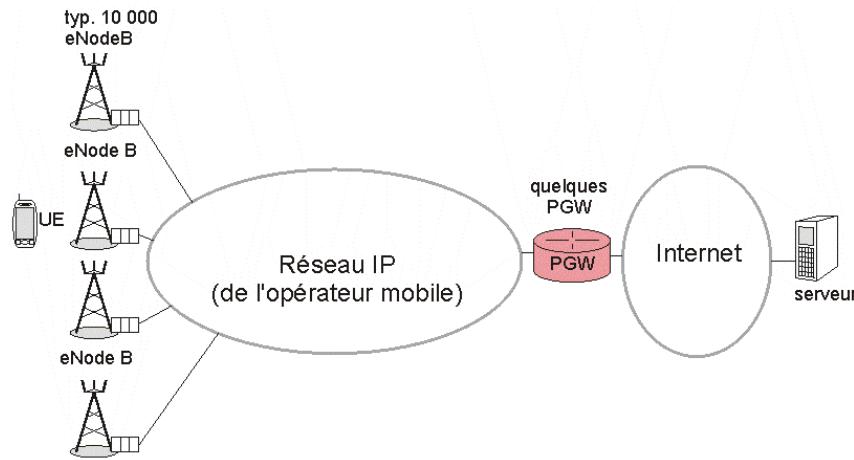
La passerelle d'accès ou PGW



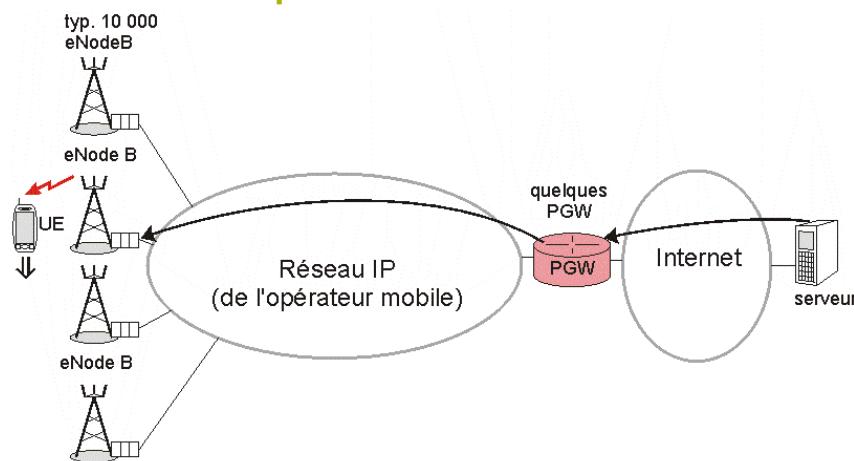
■ PGW, Packet GateWay

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

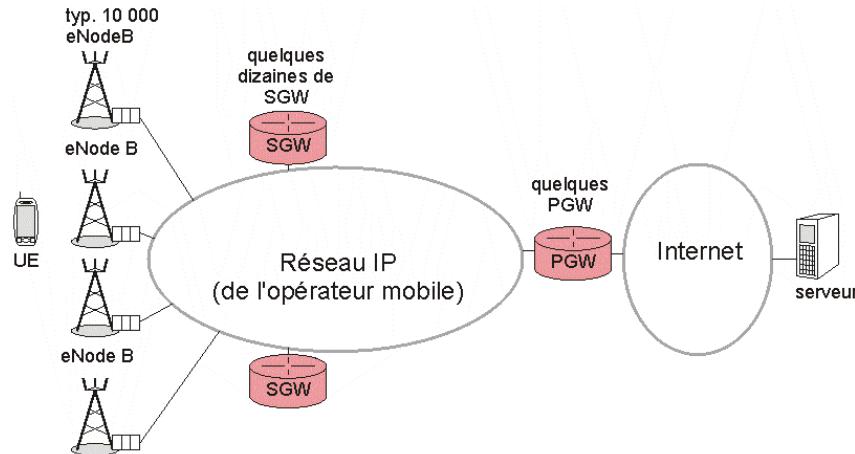
Nécessité d'une passerelle intermédiaire



Nécessité d'une passerelle intermédiaire

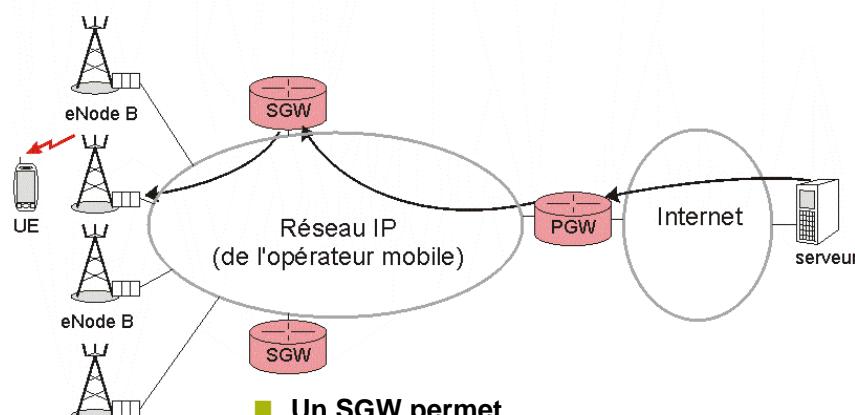


Les passerelles régionales ou SGW



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

Les passerelles régionales ou SGW

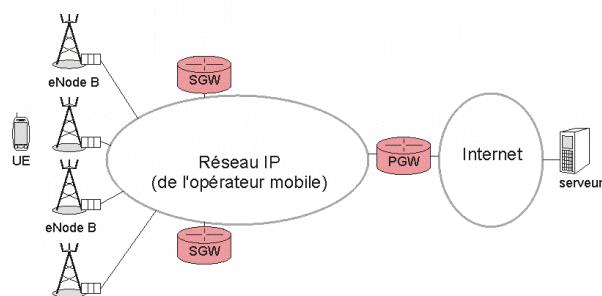


■ Un SGW permet

- 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



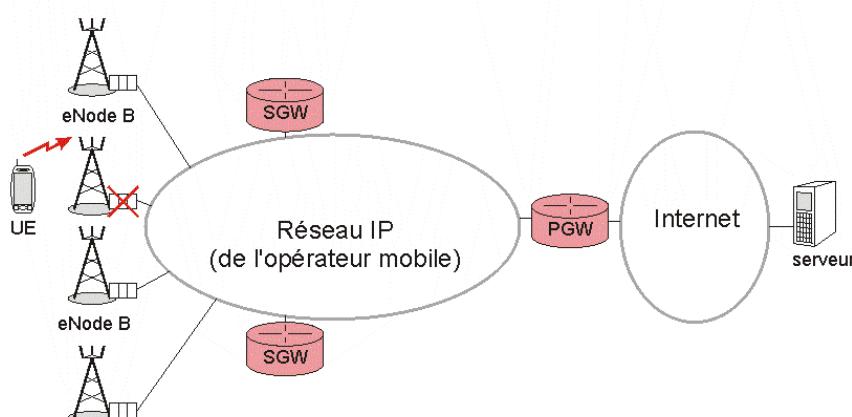
Vidéo 4 : Equipements de contrôle dans le réseau cœur (HSS, MME)



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

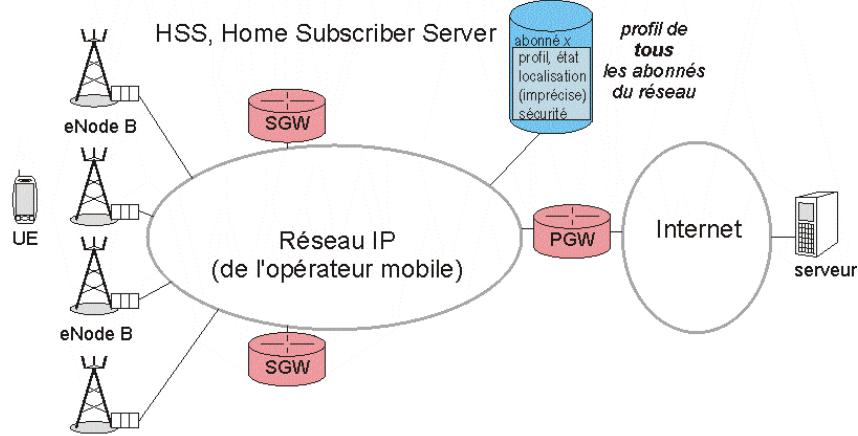


Nécessité de procédures de contrôle

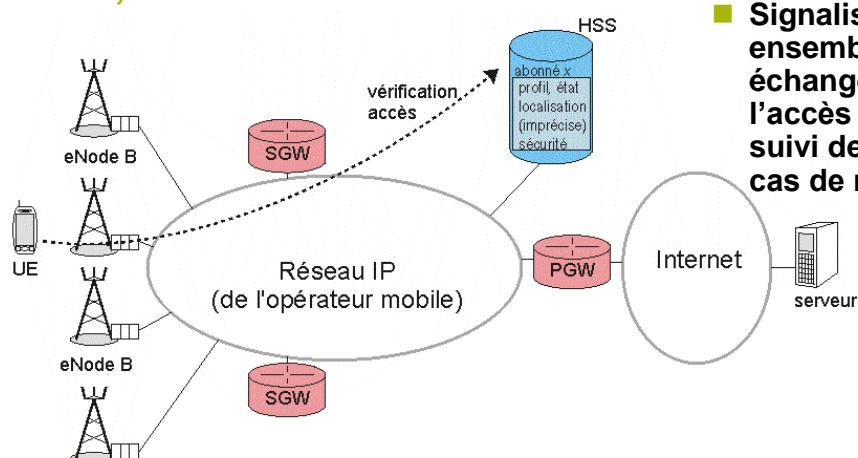


- Avant que des données puissent être transmises par un terminal, il y a plusieurs procédures d'accès et de contrôle

Le HSS, base de données des abonnés



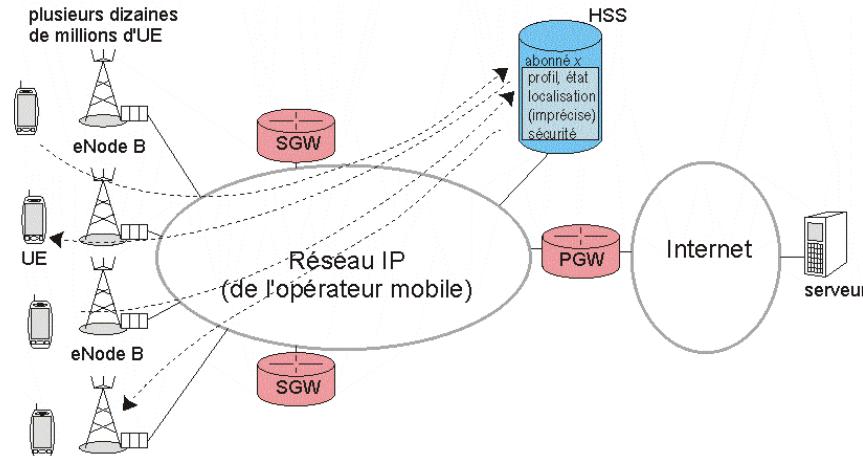
Le HSS, base de données des abonnés



■ **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

Le HSS, base de données des abonnés



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

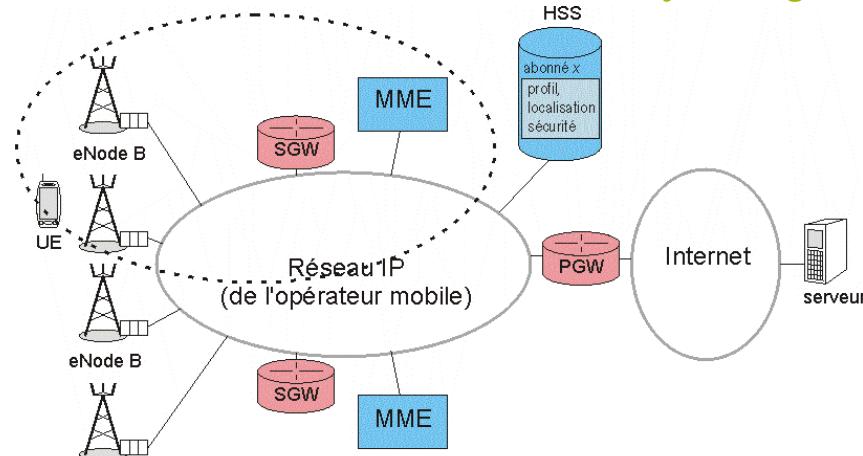
29

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



- MME, *Mobility Management Entity*

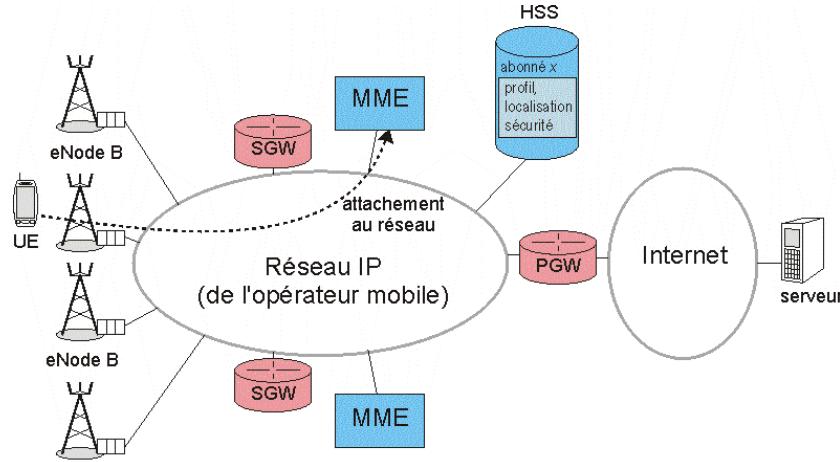
30

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux

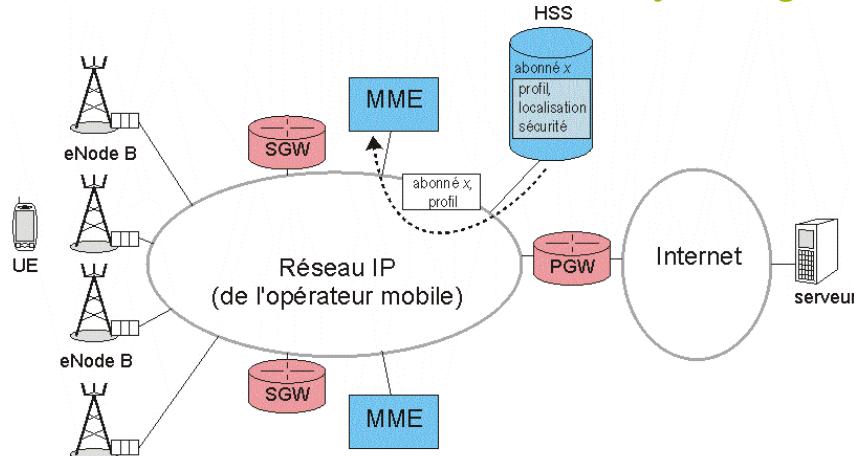


Le contrôleur de mobilité MME, *Mobility Management Entity*



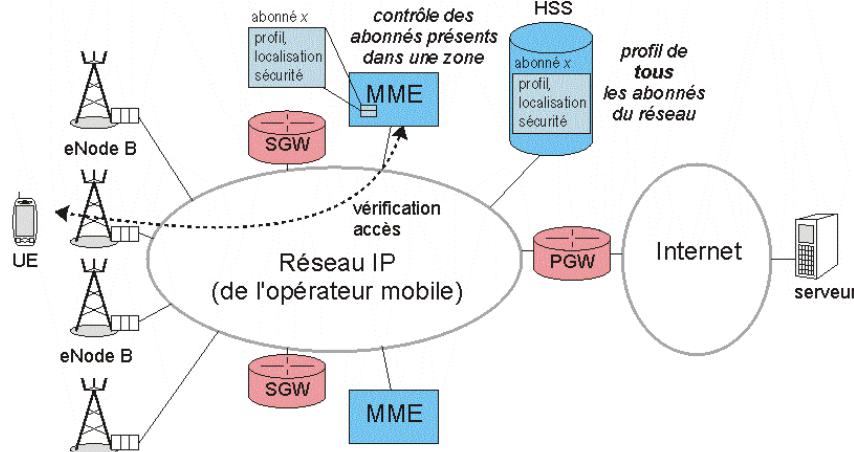
■ Attachement du terminal au réseau à la mise sous tension

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*

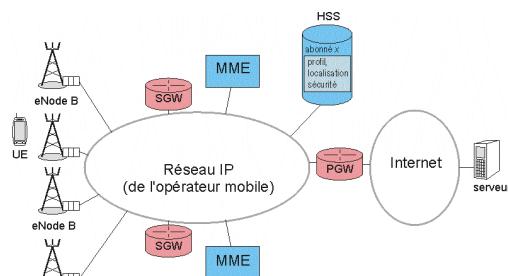


Les échanges de signalisation se font entre le terminal et le MME

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)





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

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

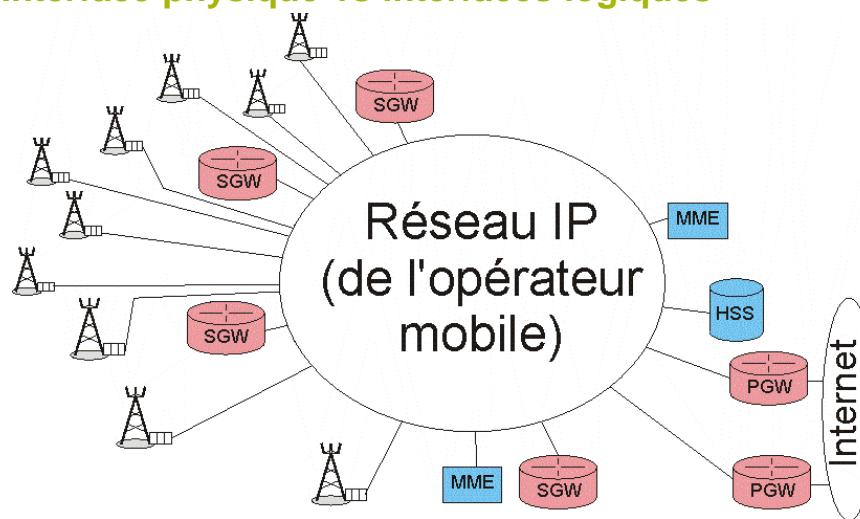
35

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs interfaces logiques



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

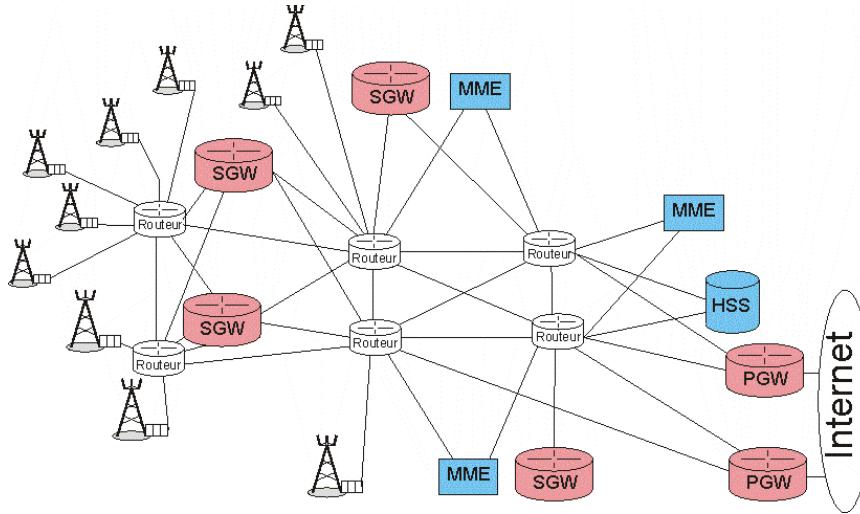
36

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs interfaces logiques



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

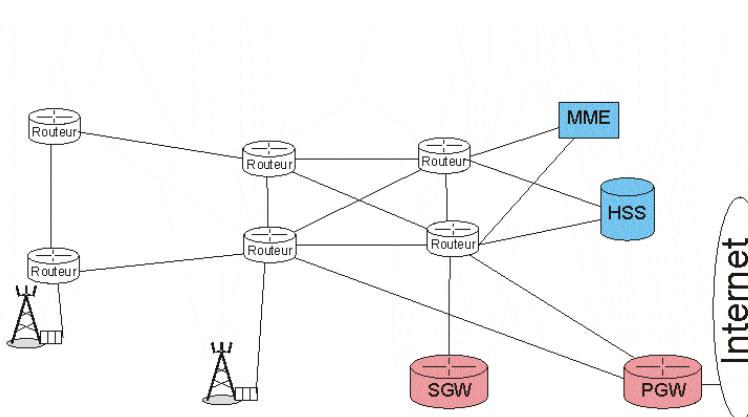
37

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs interfaces logiques



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

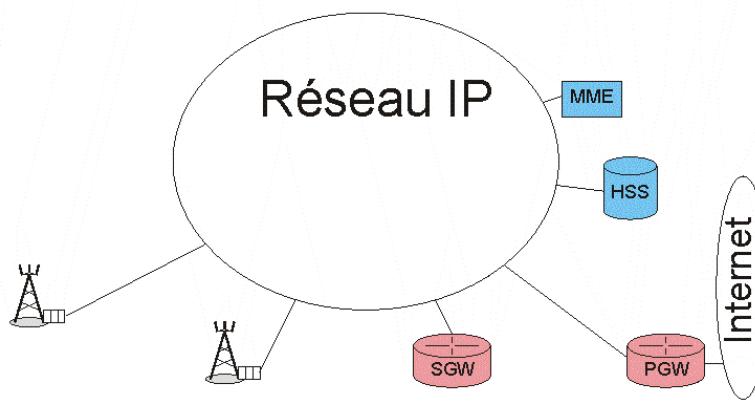
38

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interface physique vs interfaces logiques



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

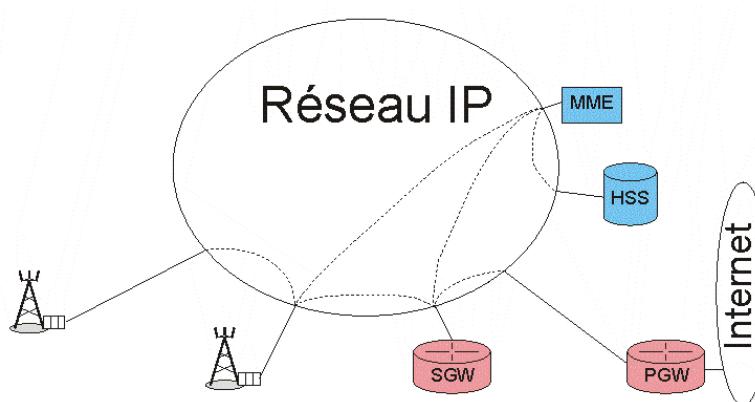
39

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau coeur



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

40

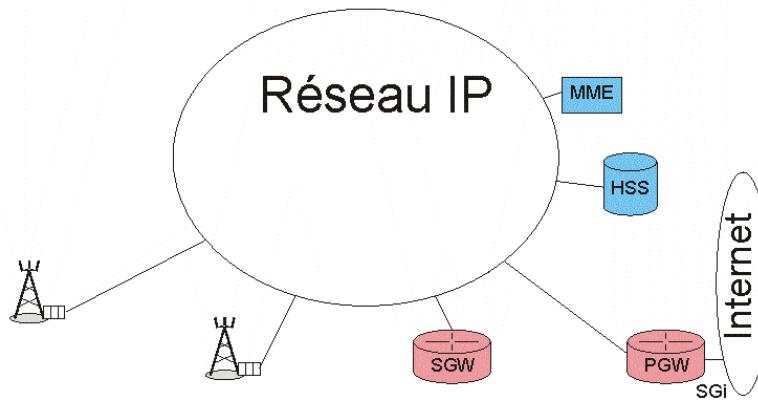
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux





Interfaces entre les équipements du réseau cœur



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

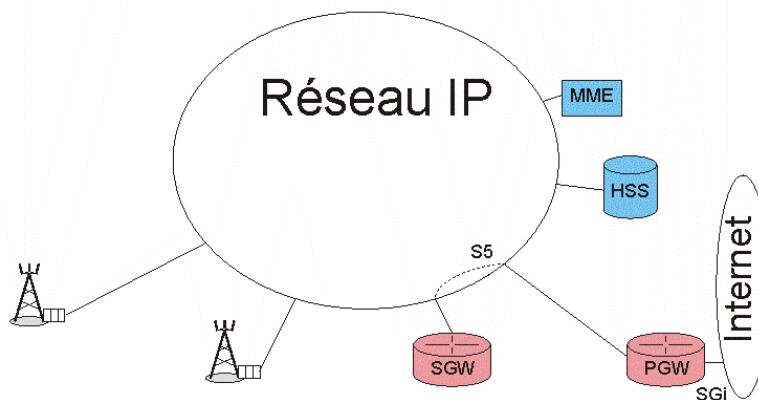
41

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux




Interfaces entre les équipements du réseau cœur



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

42

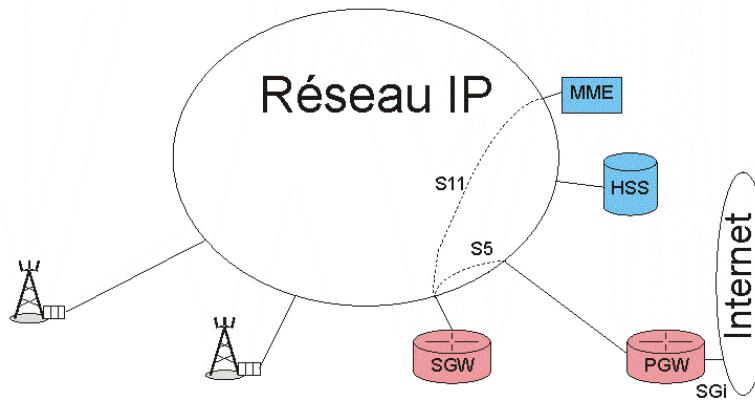
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux





Interfaces entre les équipements du réseau cœur



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

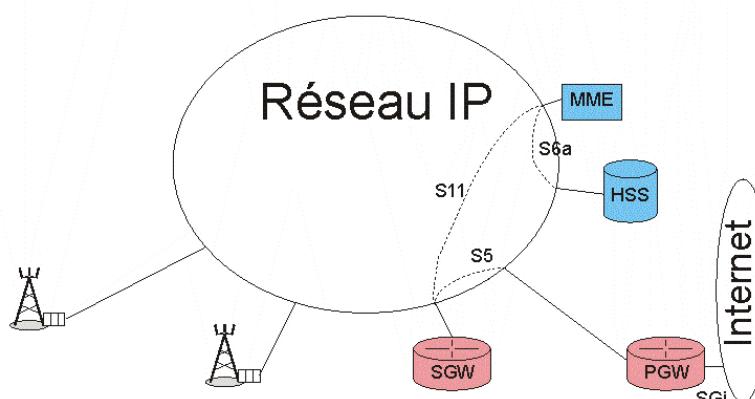
43

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux




Interfaces entre les équipements du réseau cœur



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

44

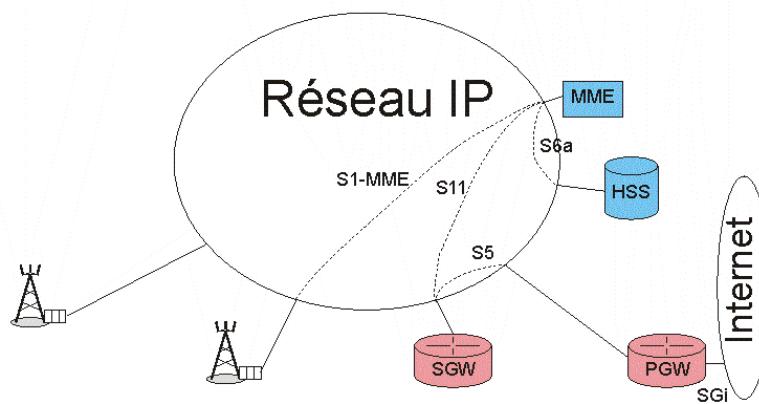
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux





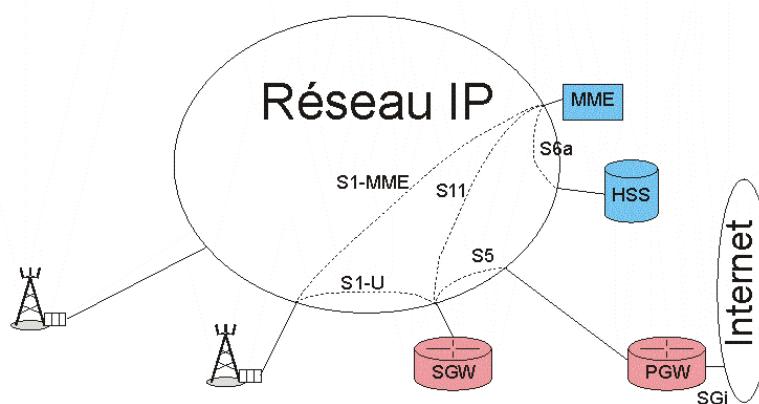
Interfaces entre les équipements du réseau coeur



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

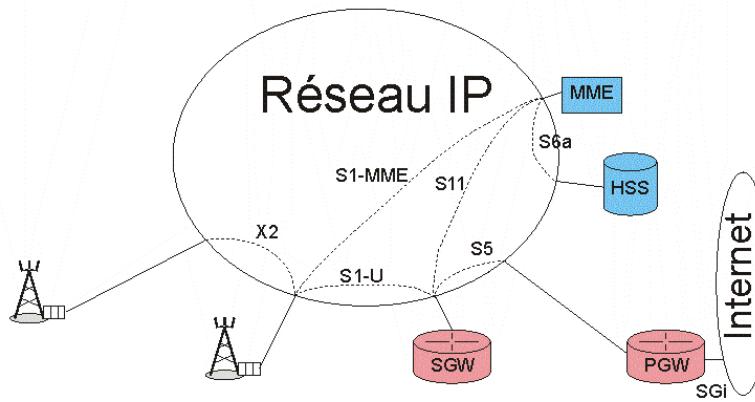


Interfaces entre les équipements du réseau coeur



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

Interfaces entre les équipements du réseau cœur



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

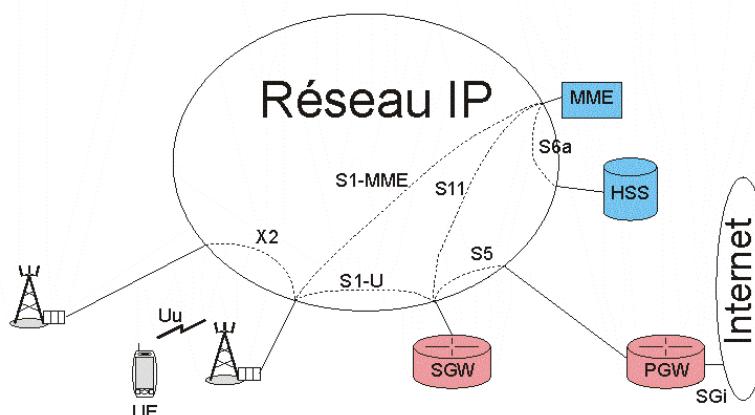
47

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interfaces entre les équipements du réseau cœur



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

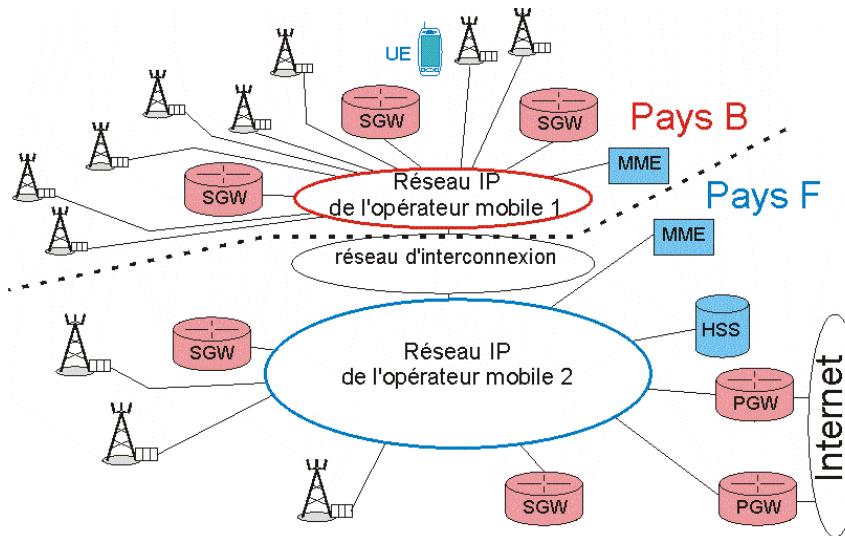
48

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interconnexion de réseaux coeurs



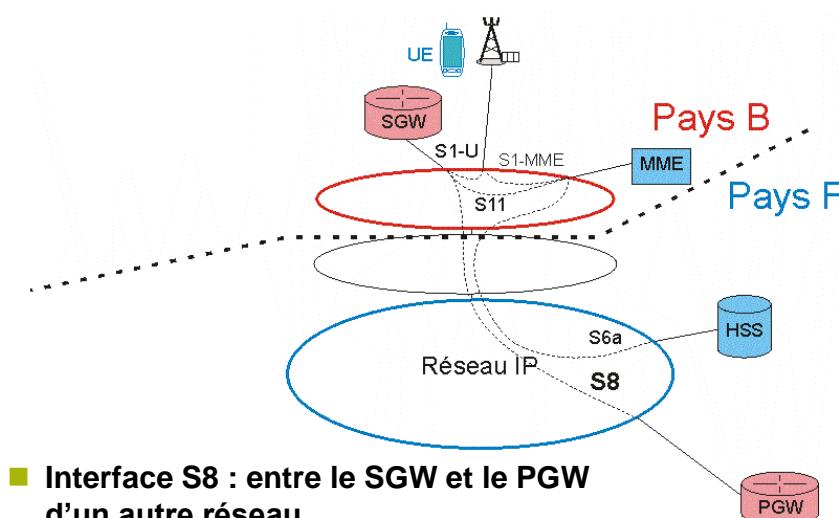
49

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Interconnexion de réseaux coeurs



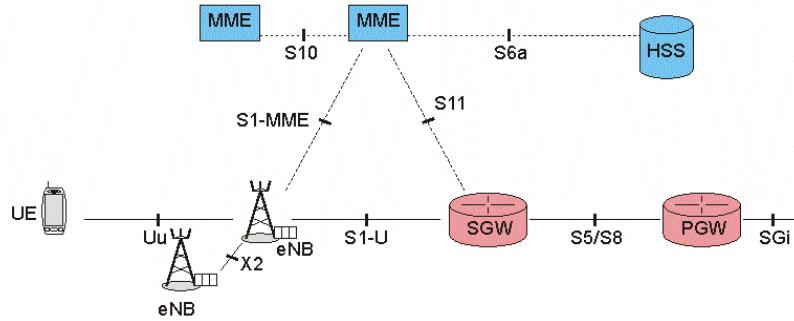
50

Institut Mines-Télécom

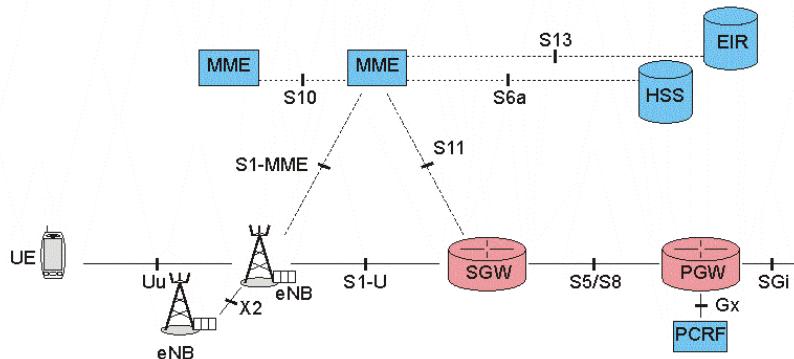
X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Présentation du réseau cœur et des interfaces dans le cours



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

Vidéo 6 : Organisation du cours



Comment est structuré le cours ?

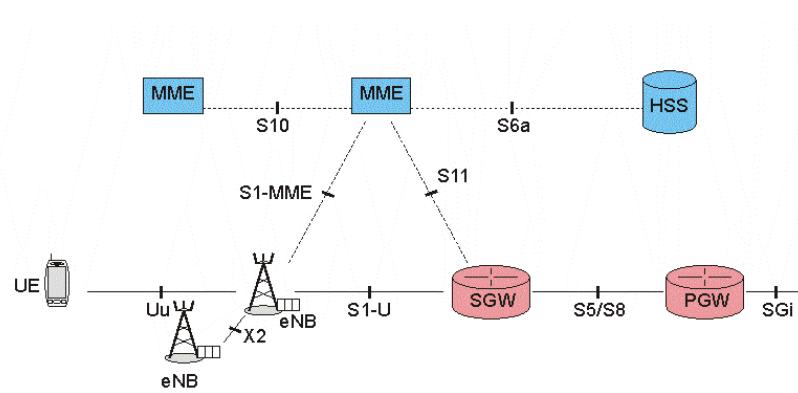
53

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Architecture et principes généraux



Organisation du cours



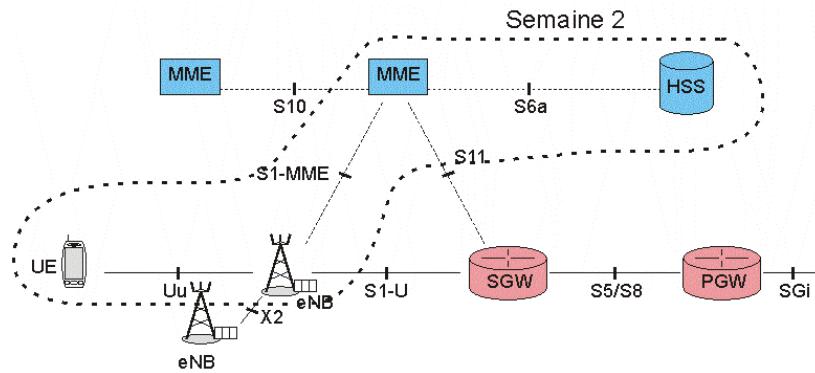
54

Institut Mines-Télécom

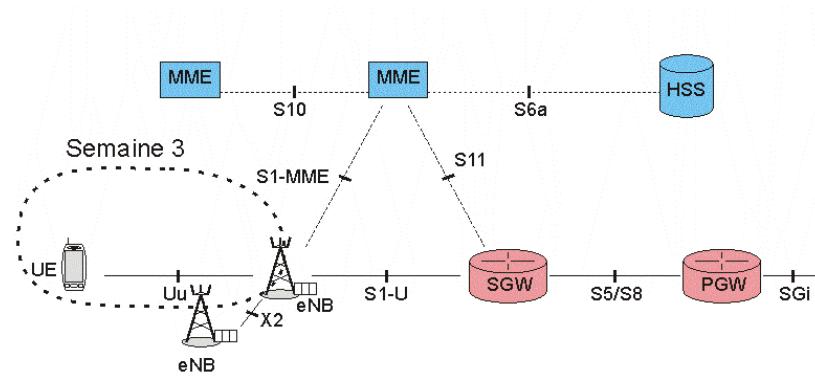
X. Lagrange, Architecture et principes généraux



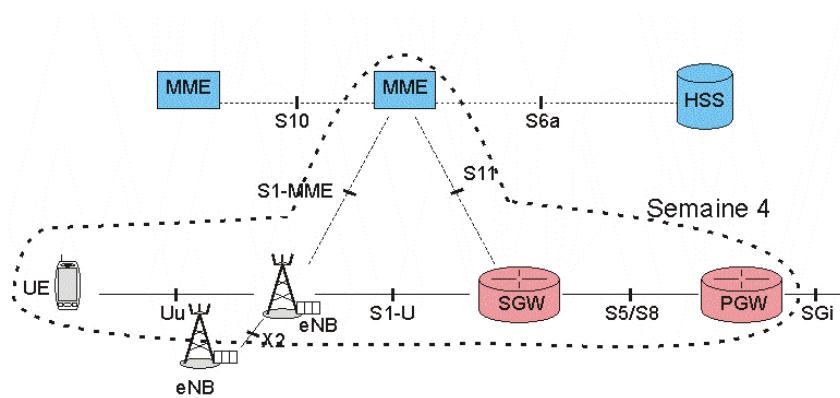
Organisation du cours



Organisation du cours



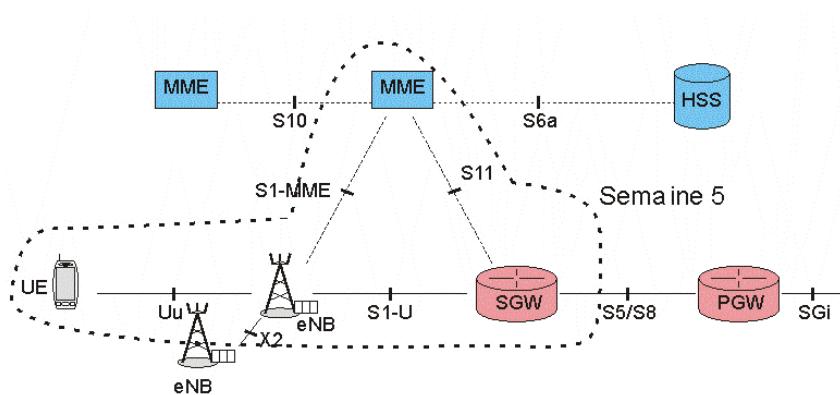
Organisation du cours



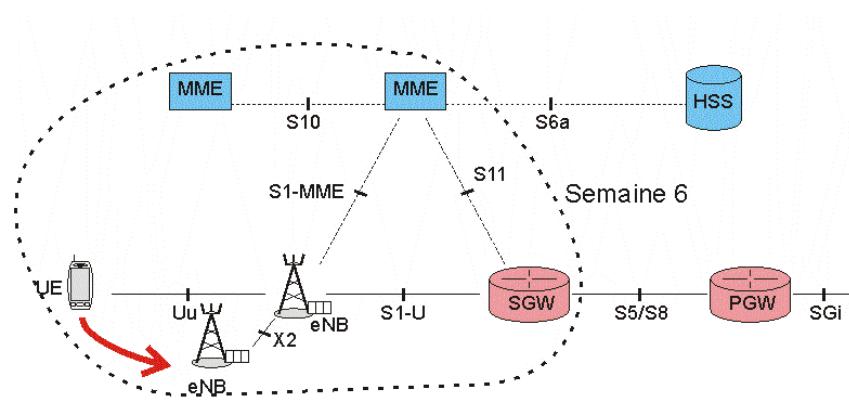
Institut Mines-Télécom



Organisation du cours



Organisation du cours



Vidéo 7 : Services et différentes générations de réseaux mobiles

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

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 ?

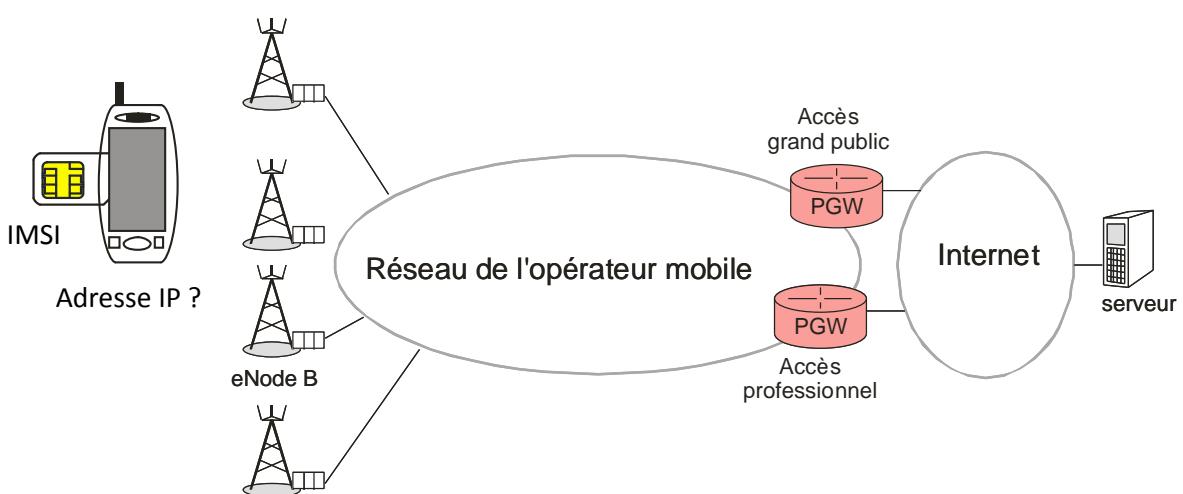
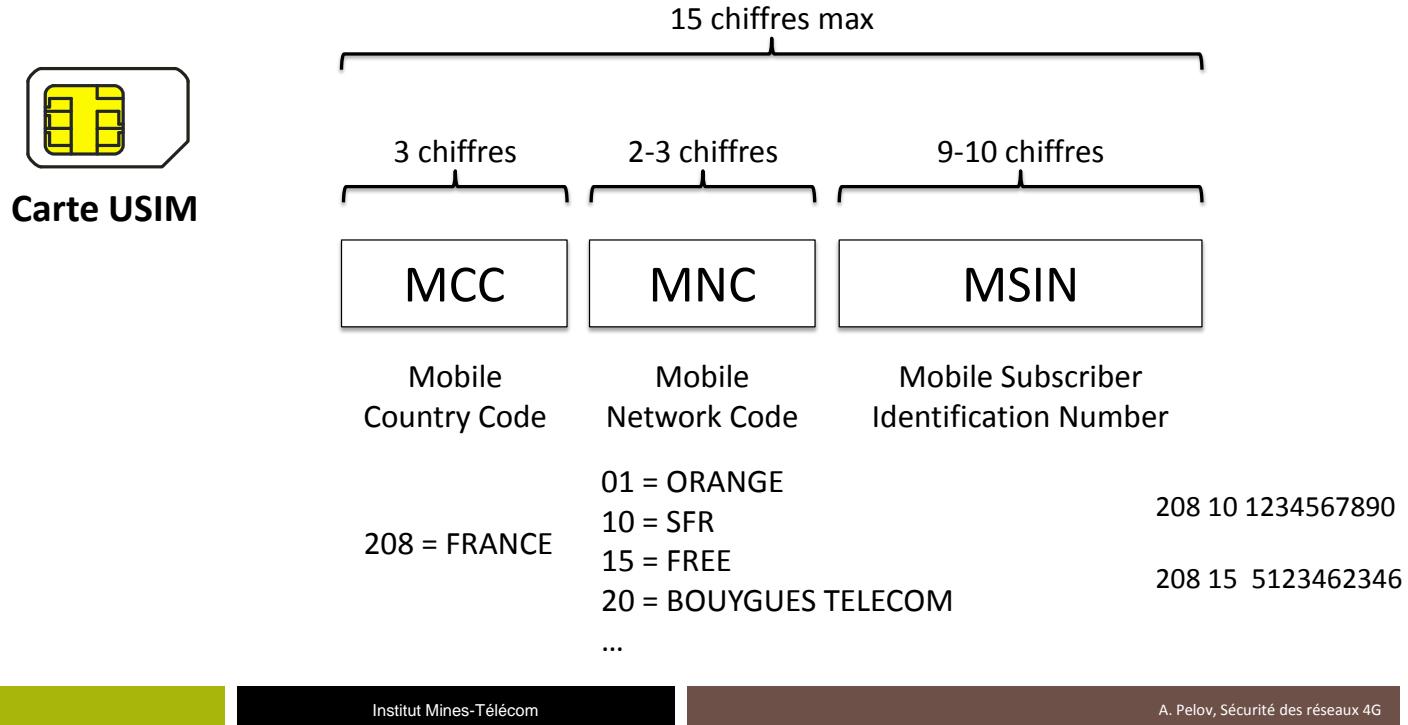
Comment sont organisés les mécanismes de sécurité ?

Institut Mines-Télécom

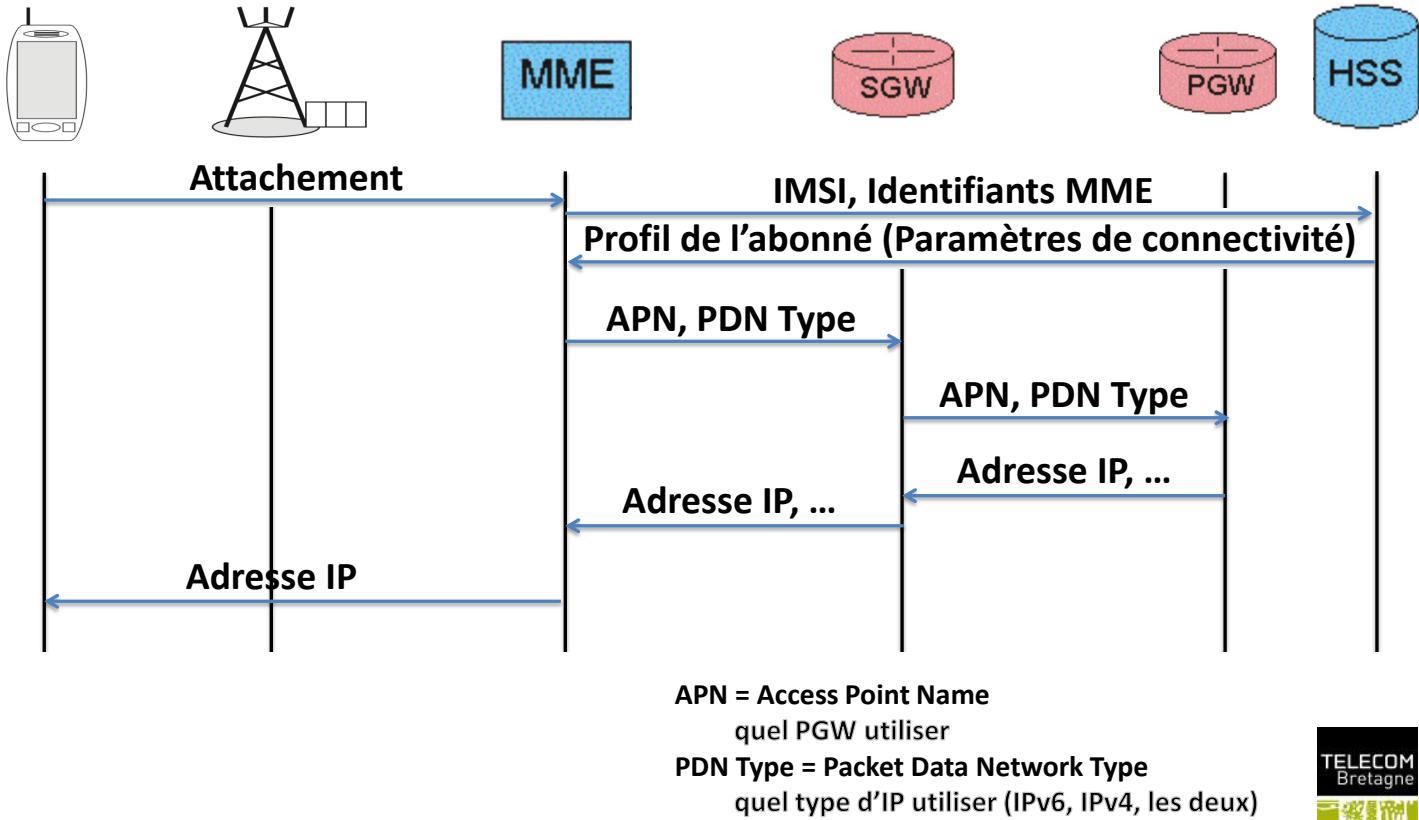
A. Pelov, Sécurité des réseaux 4G



IMSI (International Mobile Subscriber Identity)



APN = Access Point Name
Exemple : internet ou prooperator.mnc10.mcc208.gprs ou weboperator.fr

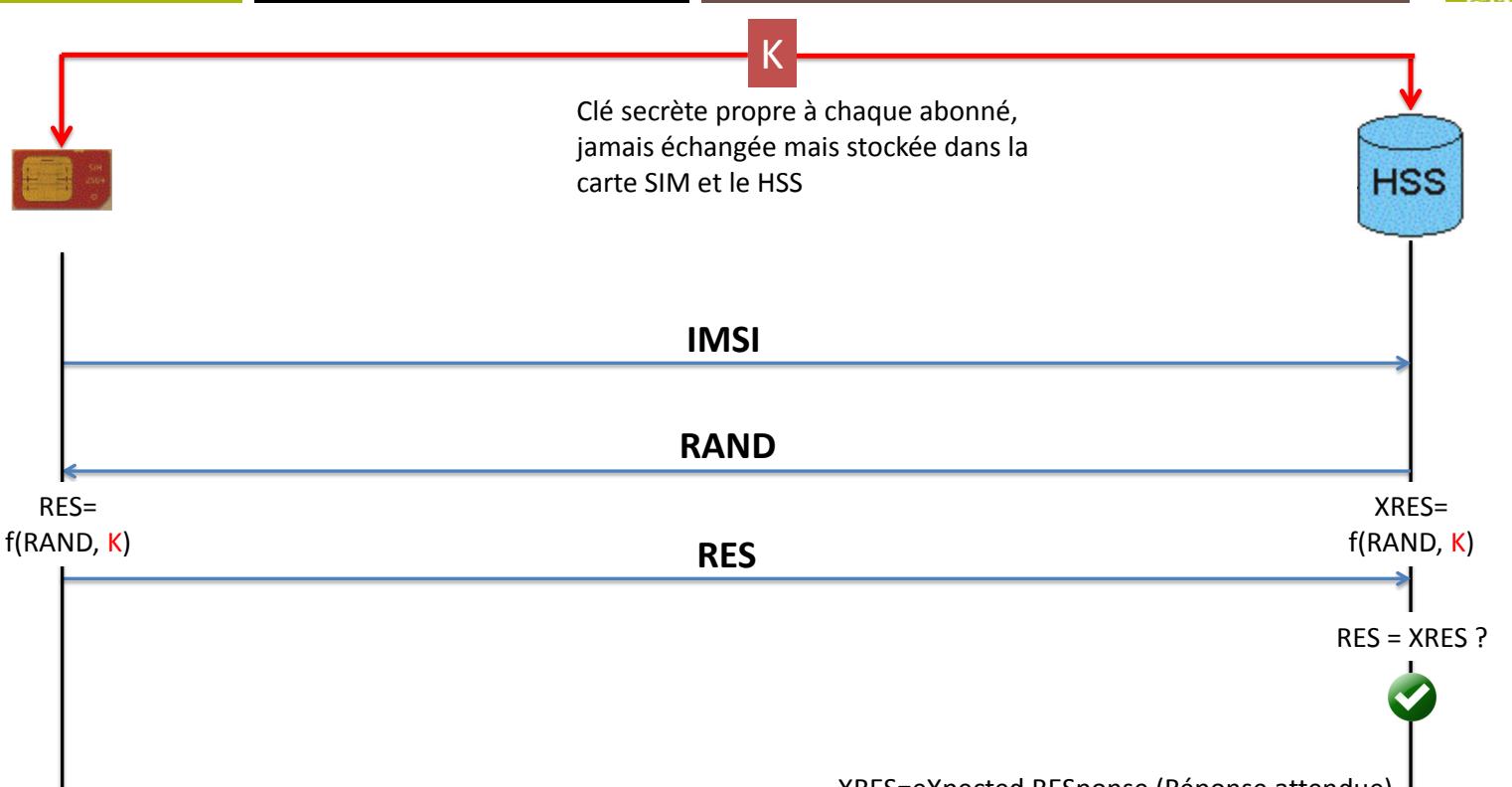


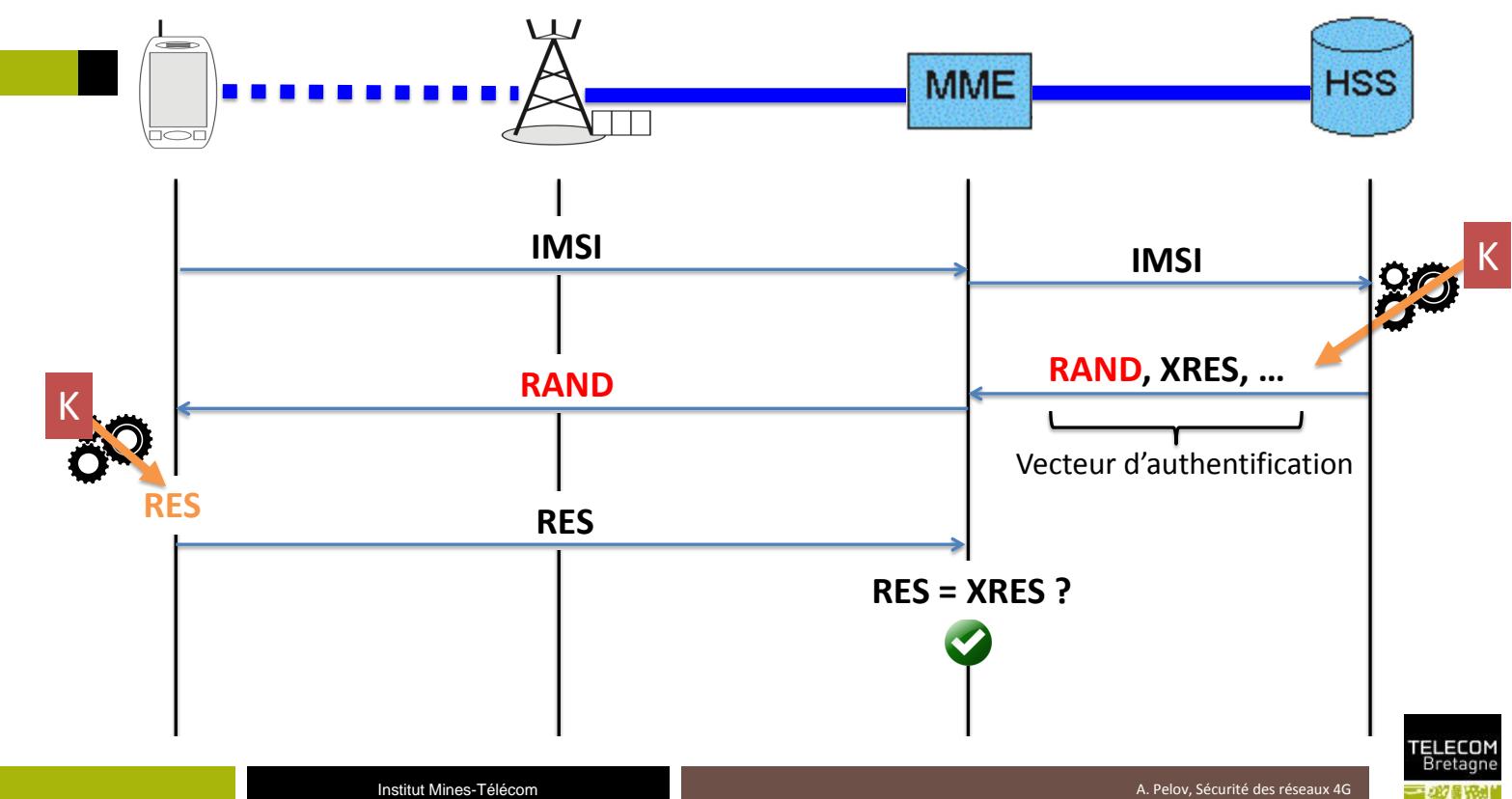
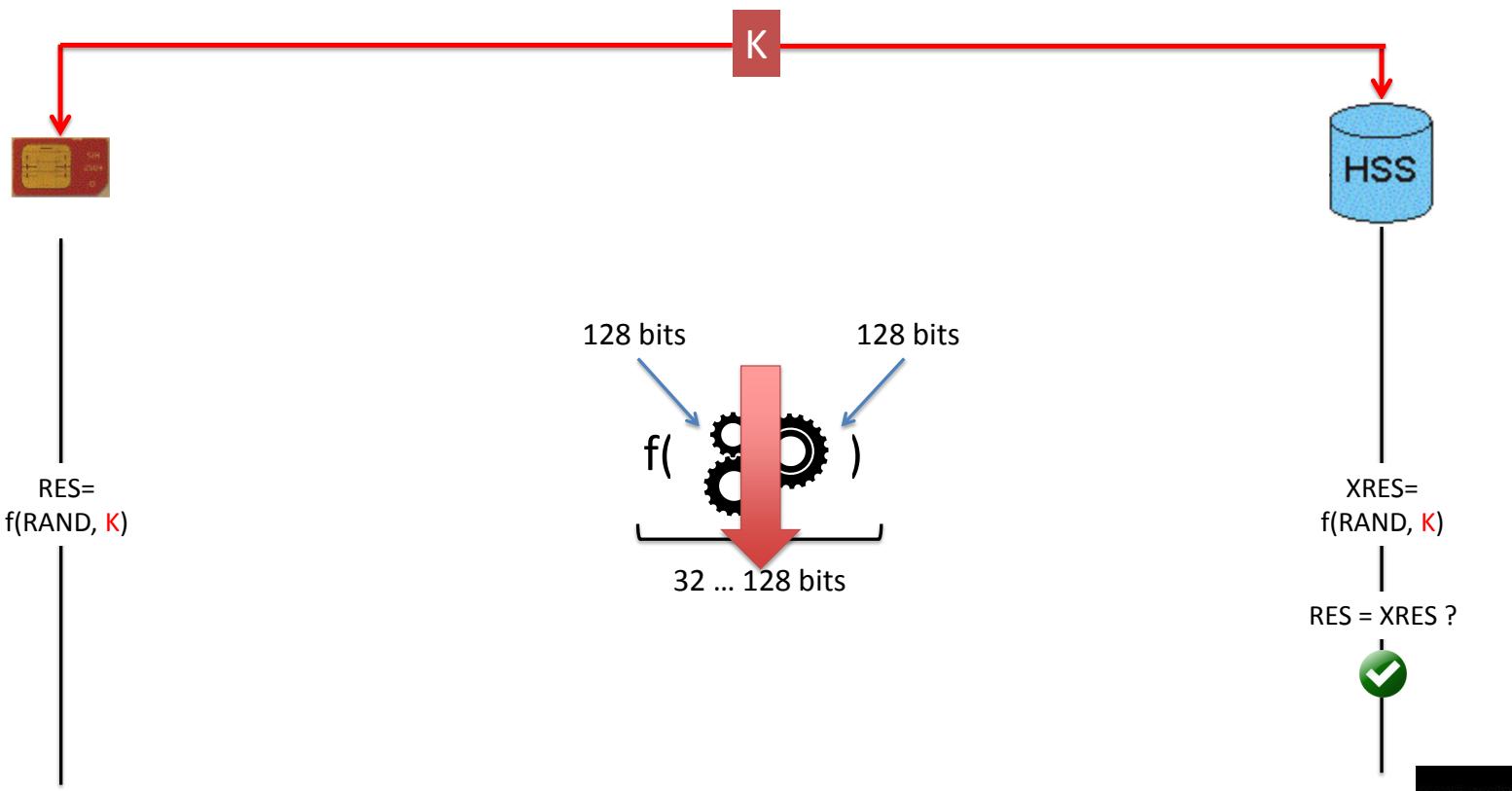
Les principaux mécanismes de sécurité

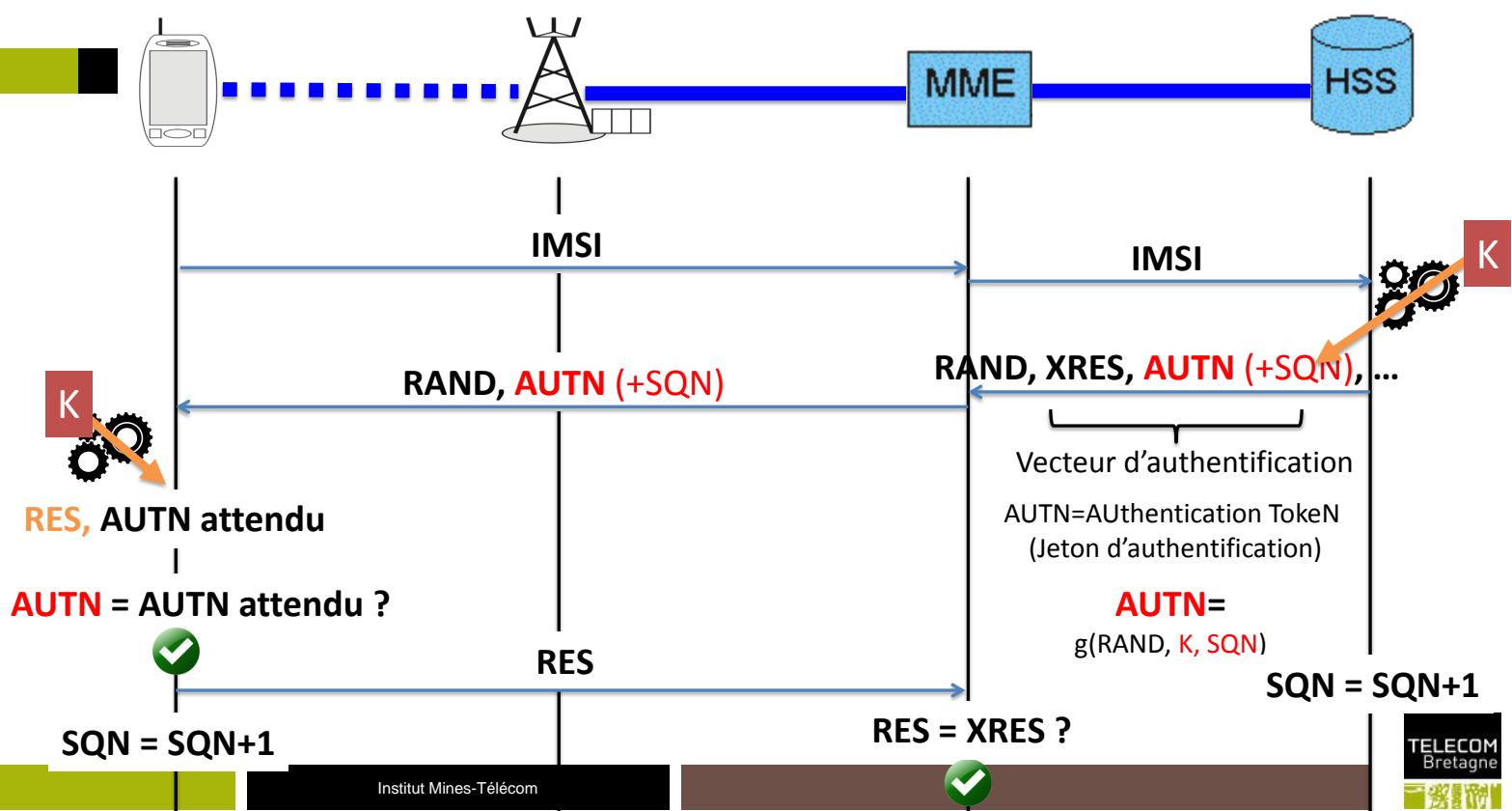
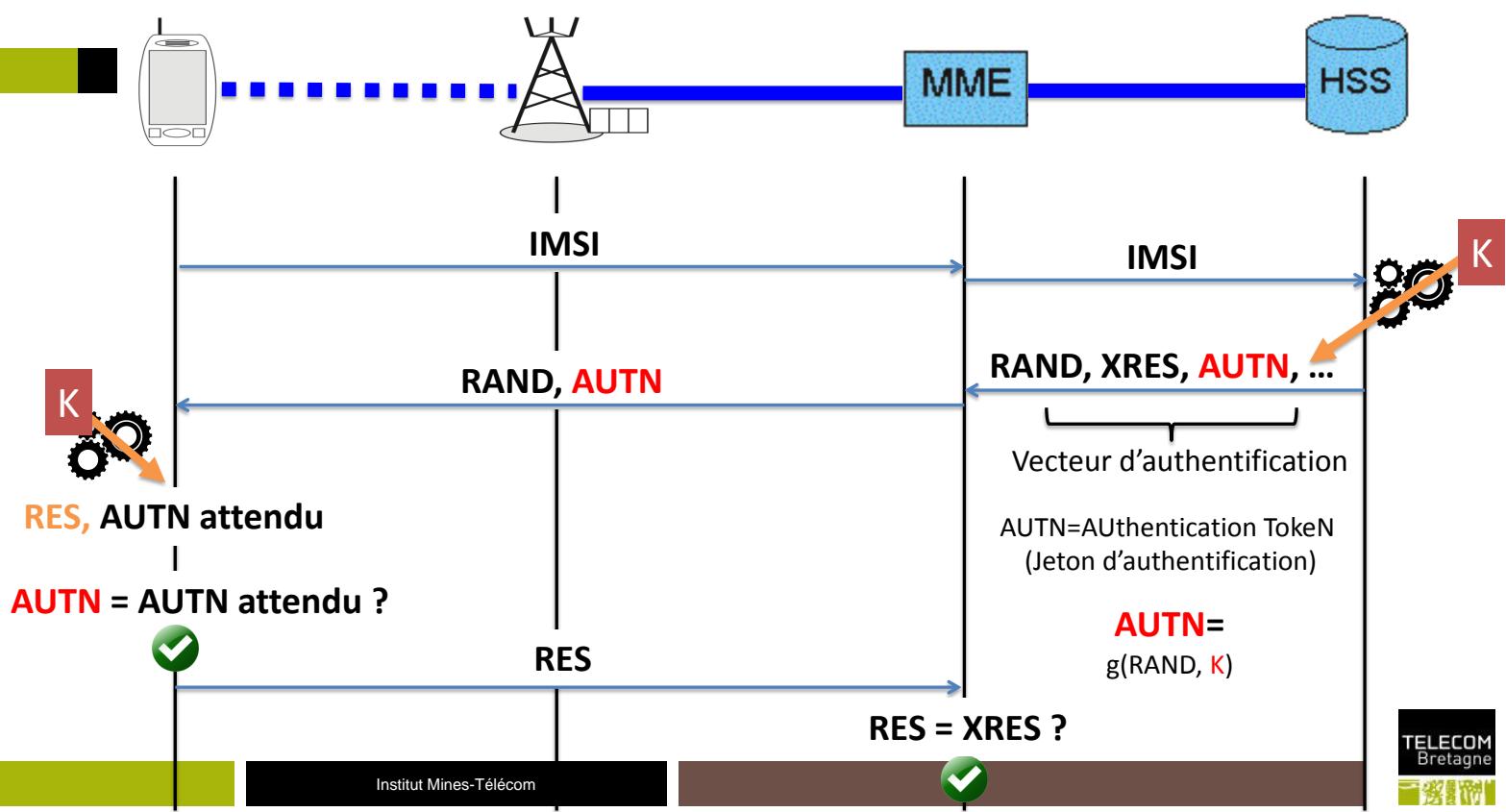
- Utilisation frauduleuse du réseau → Authentification
- Ecoute des échanges → Chiffrement
- Modification des messages → Intégrité
- Suivi/localisation d'un terminal → Identité temporaire

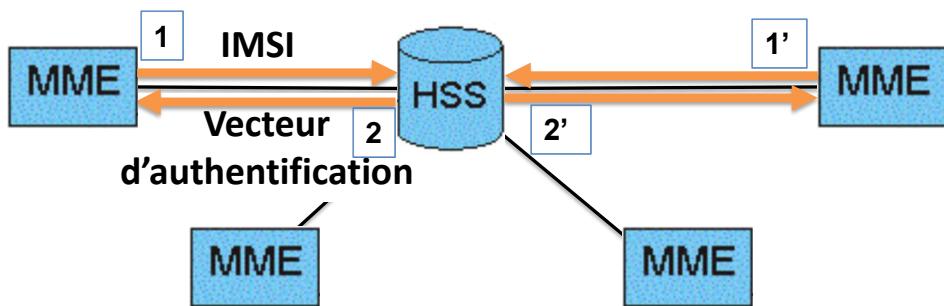
Authentification et autorisation

Comment un utilisateur est identifié par le réseau?





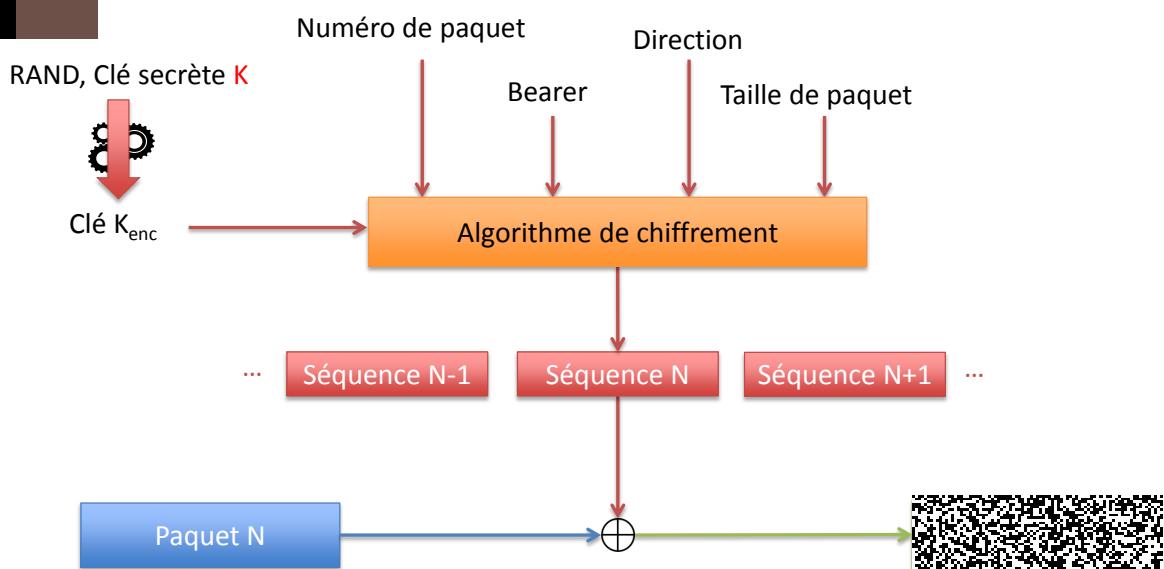
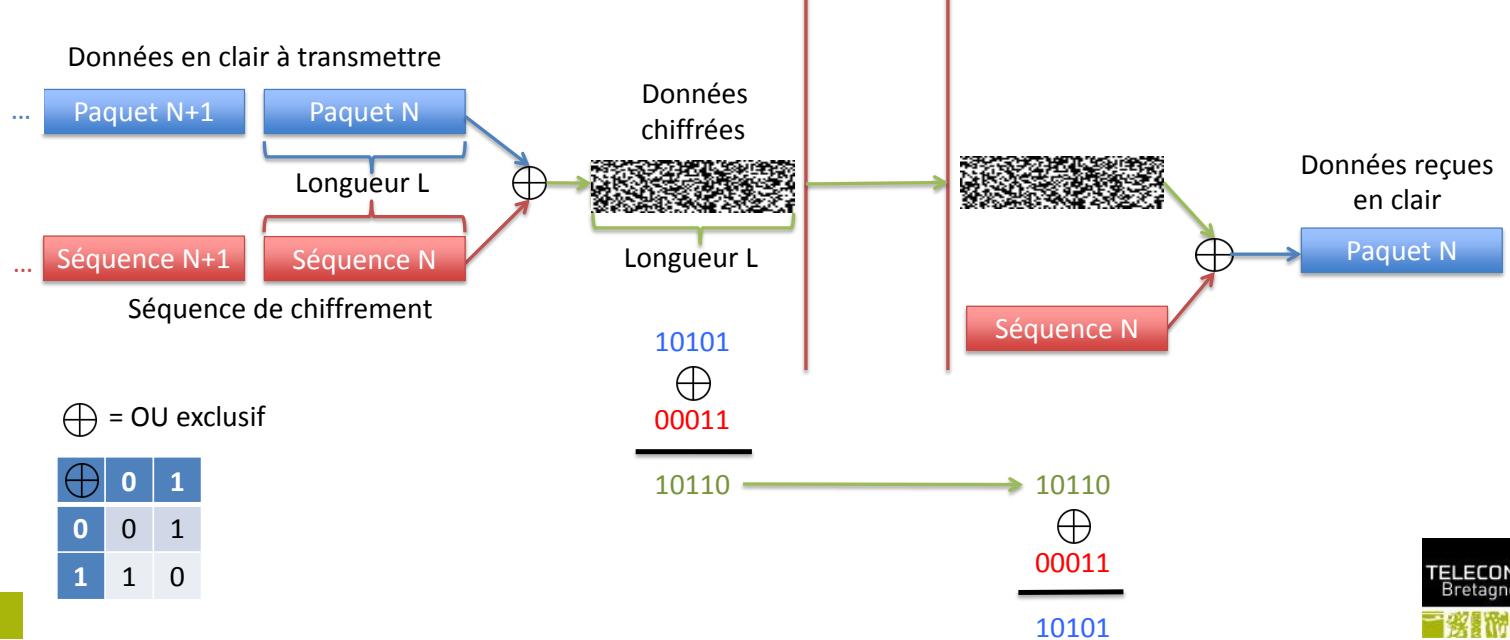
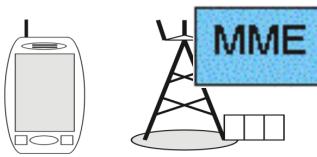




Chiffrement de données

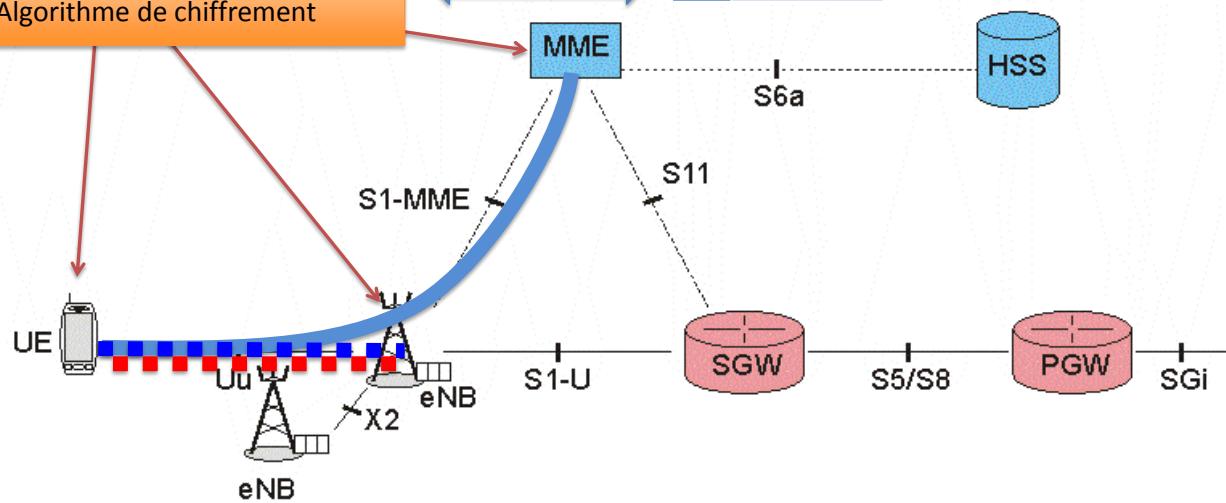
Est-ce que quelqu'un peut écouter mes communications ?

Chiffrement des échanges



Algorithme de chiffrement

0	NULL
1	SNOW 3G
2	AES



Institut Mines-Télécom

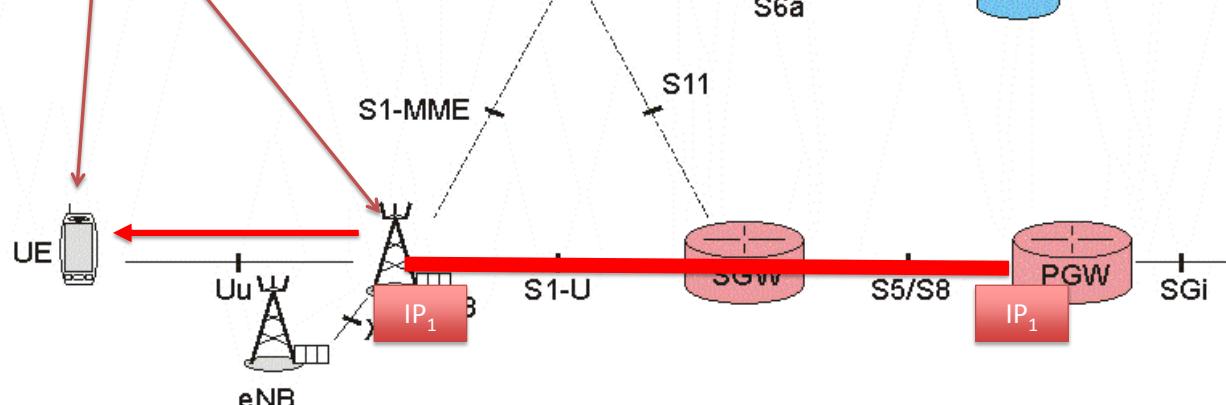
A. Pelov, Sécurité des réseaux 4G

Numéro de paquet

Direction

28394283 Bearer 12 1 798 bits

Algorithme de chiffrement



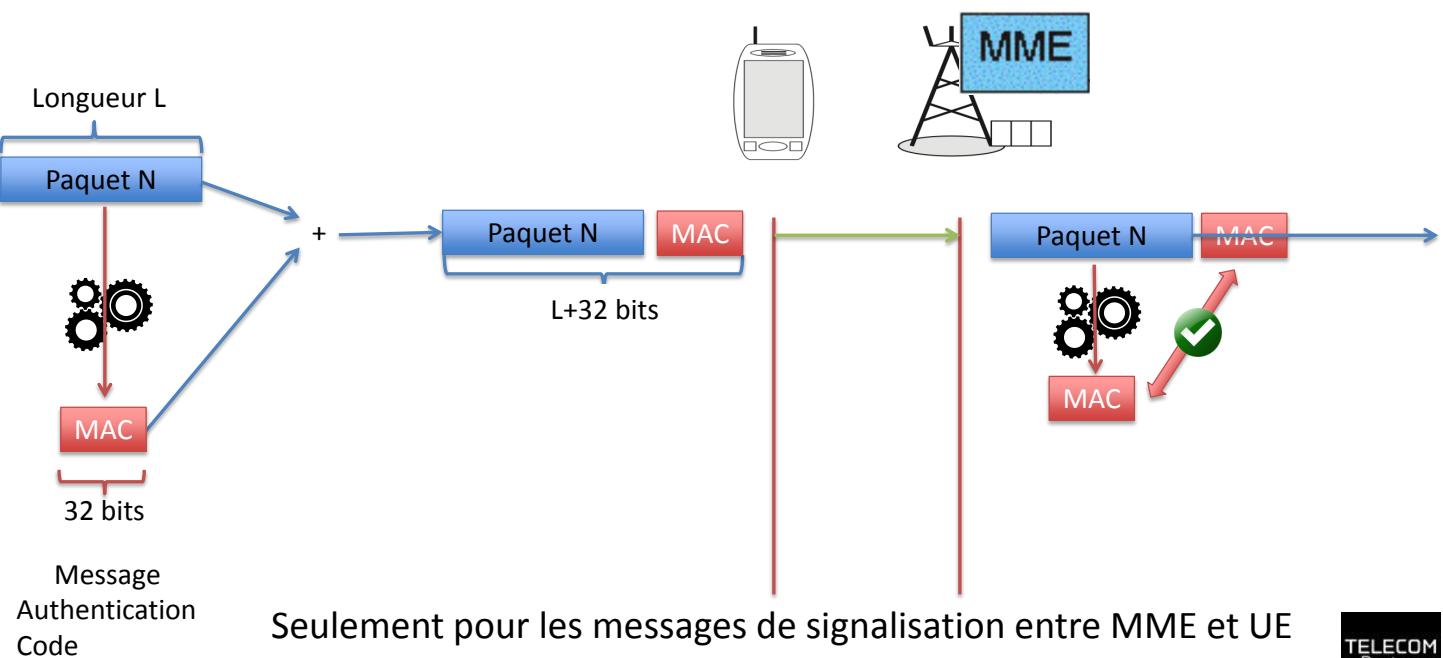
Institut Mines-Télécom

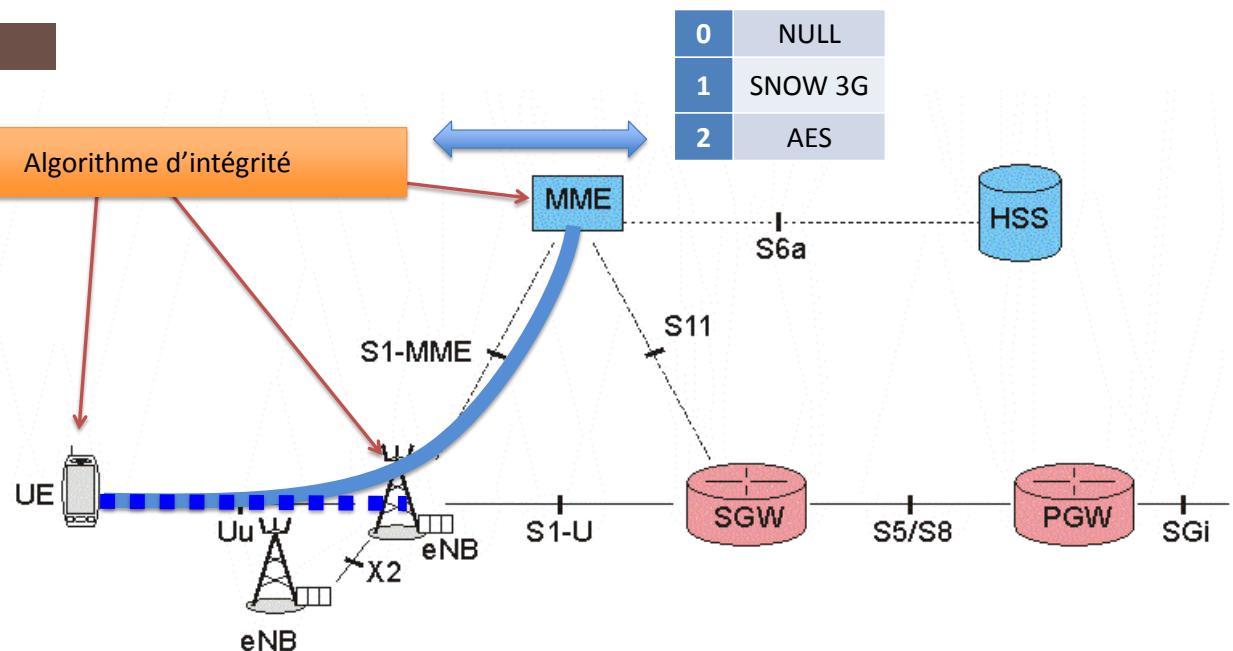
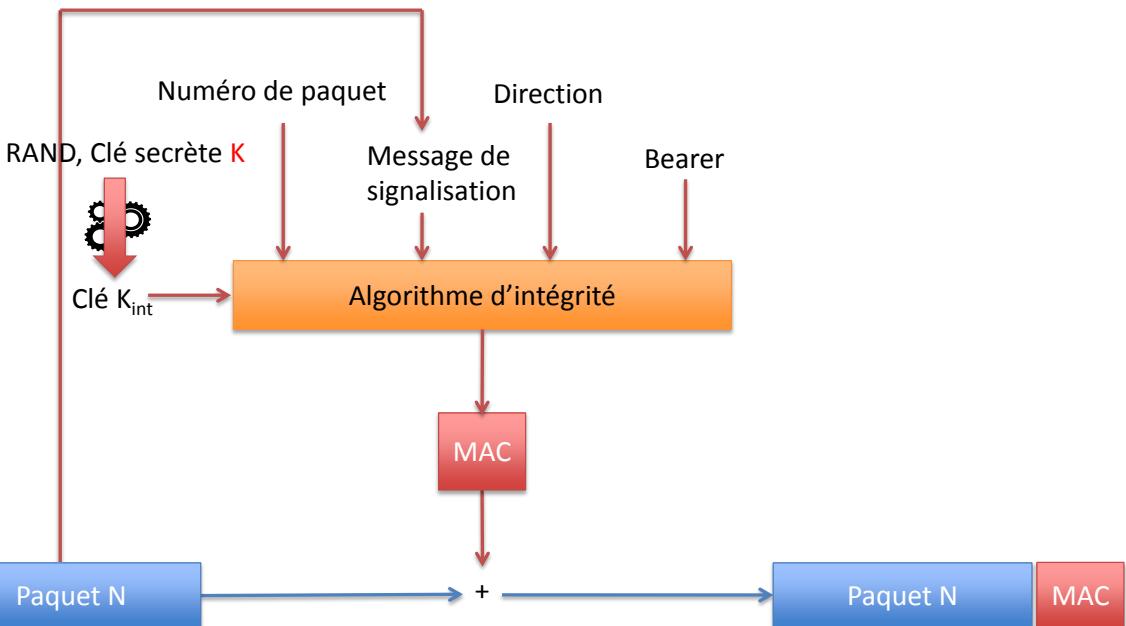
A. Pelov, Sécurité des réseaux 4G

Intégrité

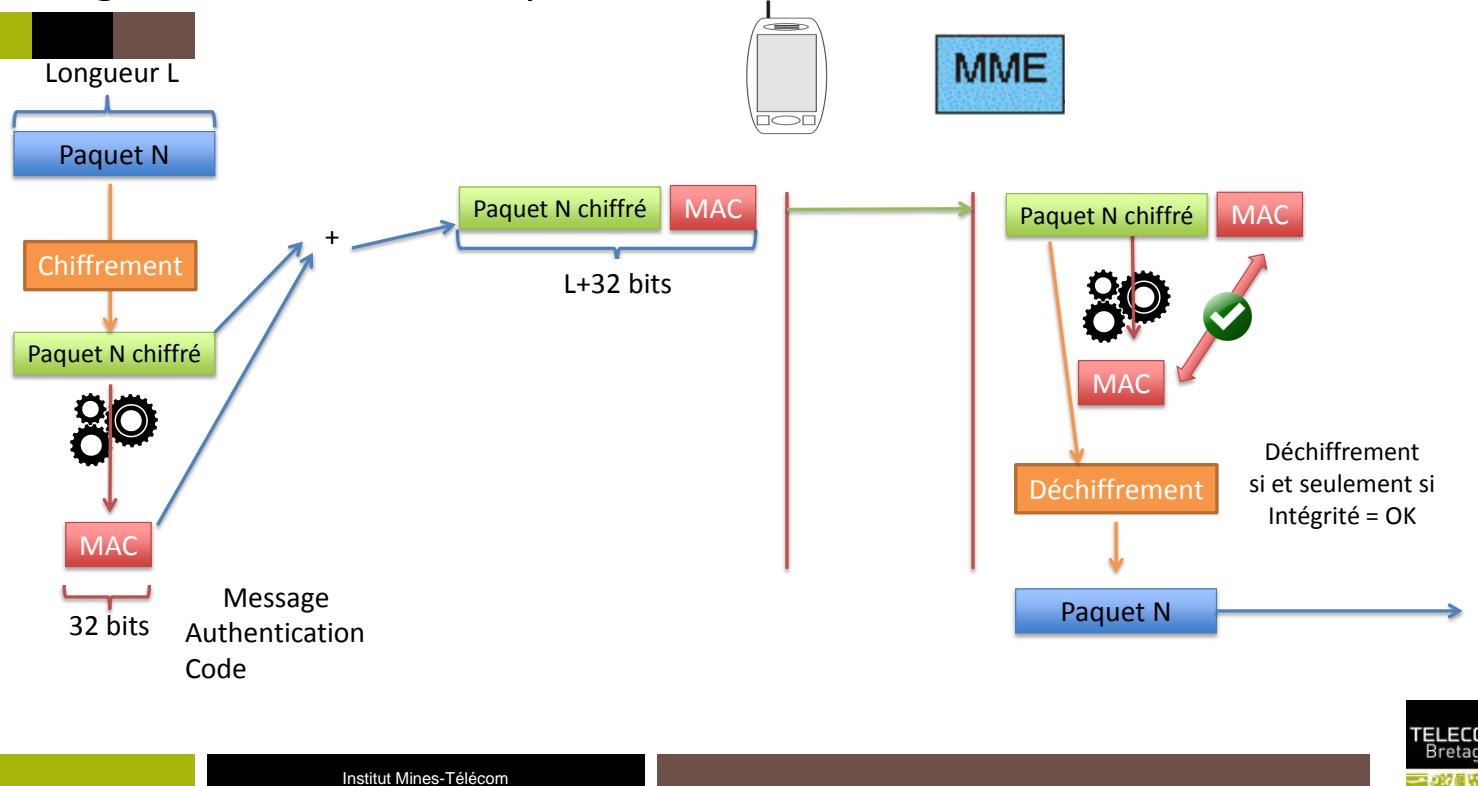
Est-ce que je peux être sûr que le message que je viens de recevoir n'a pas été modifié par un équipement intermédiaire ?

Protection contre les modifications

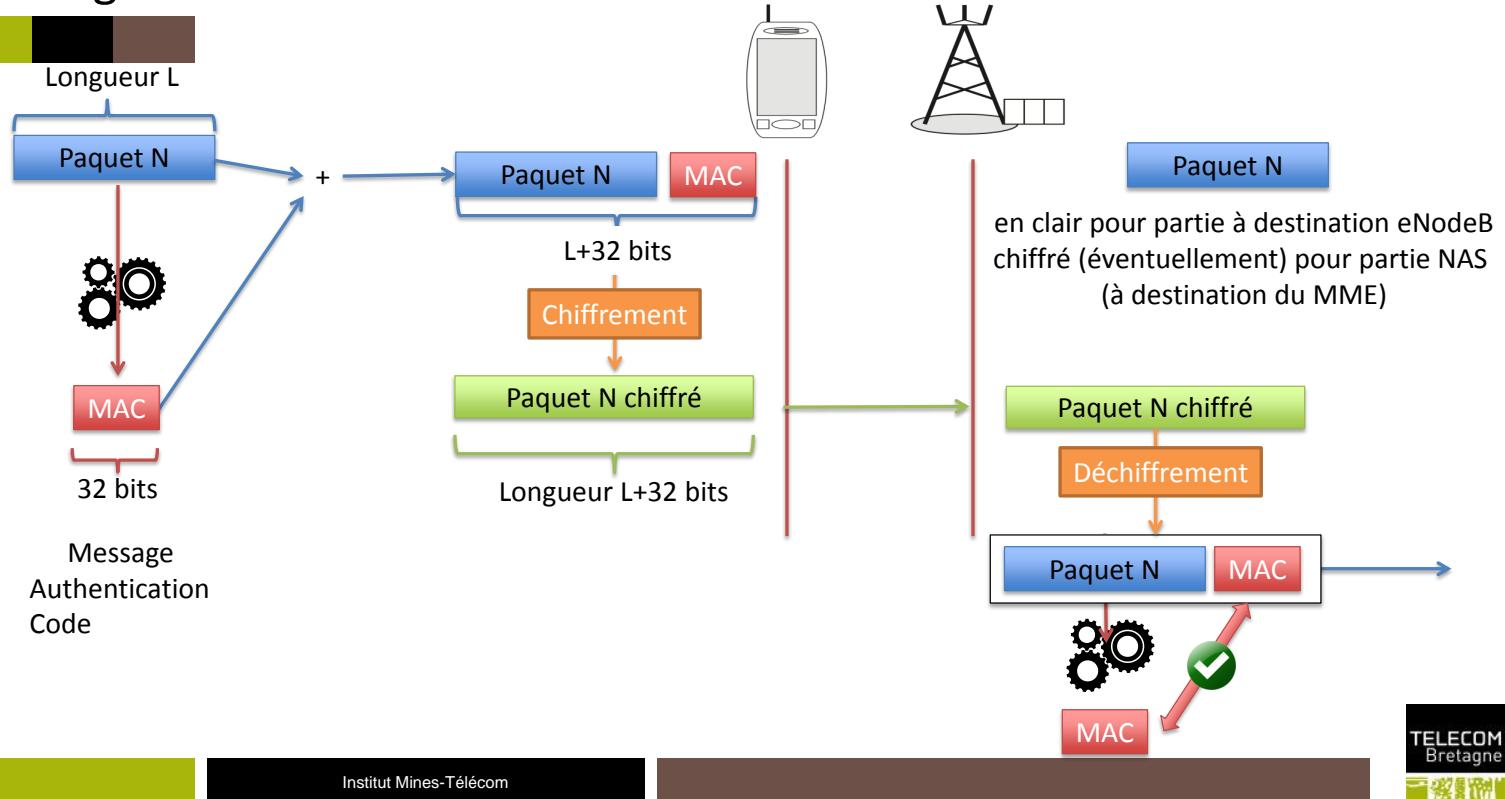




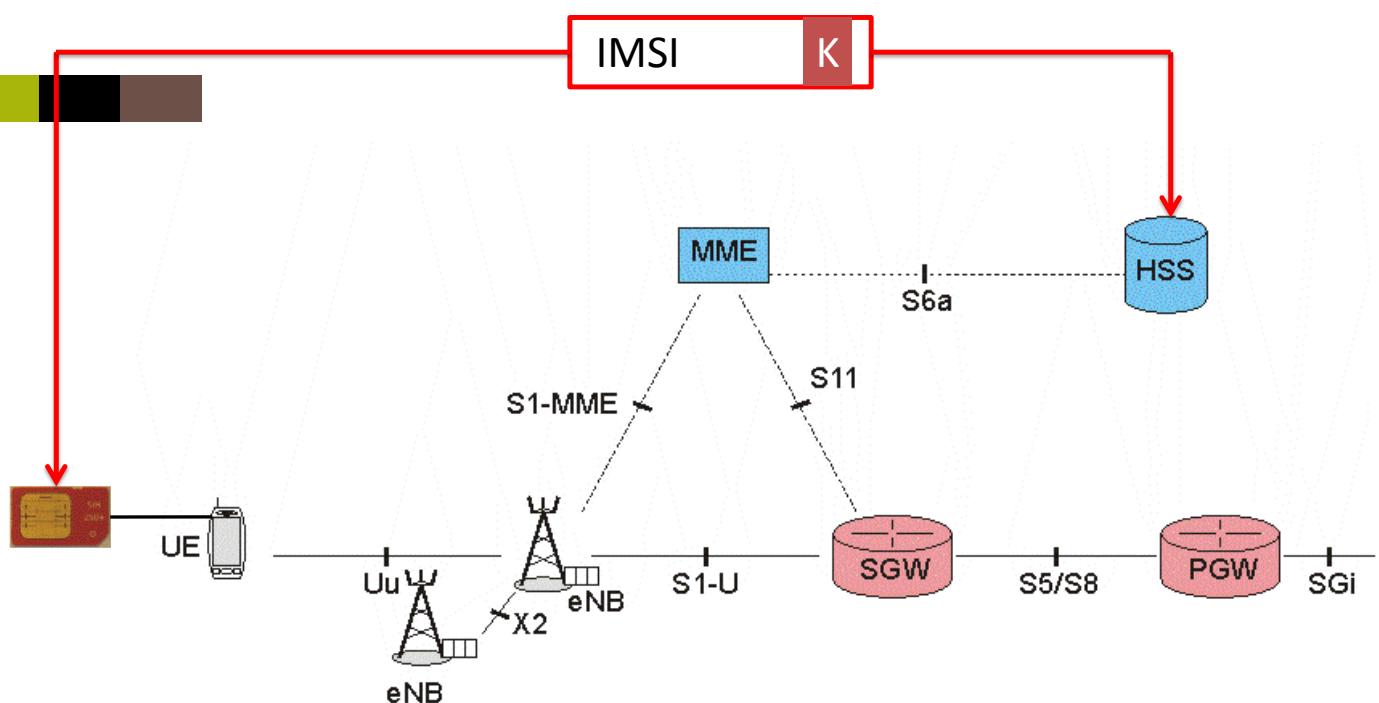
Intégrité et chiffrement pour messages NAS

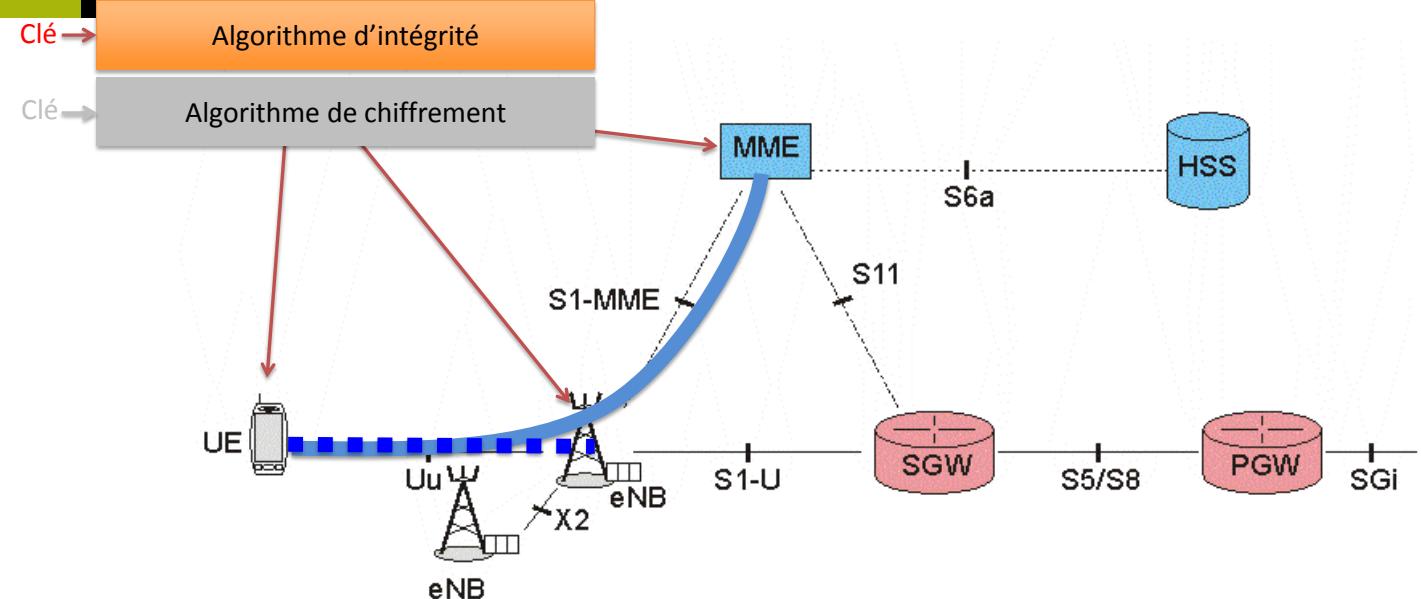
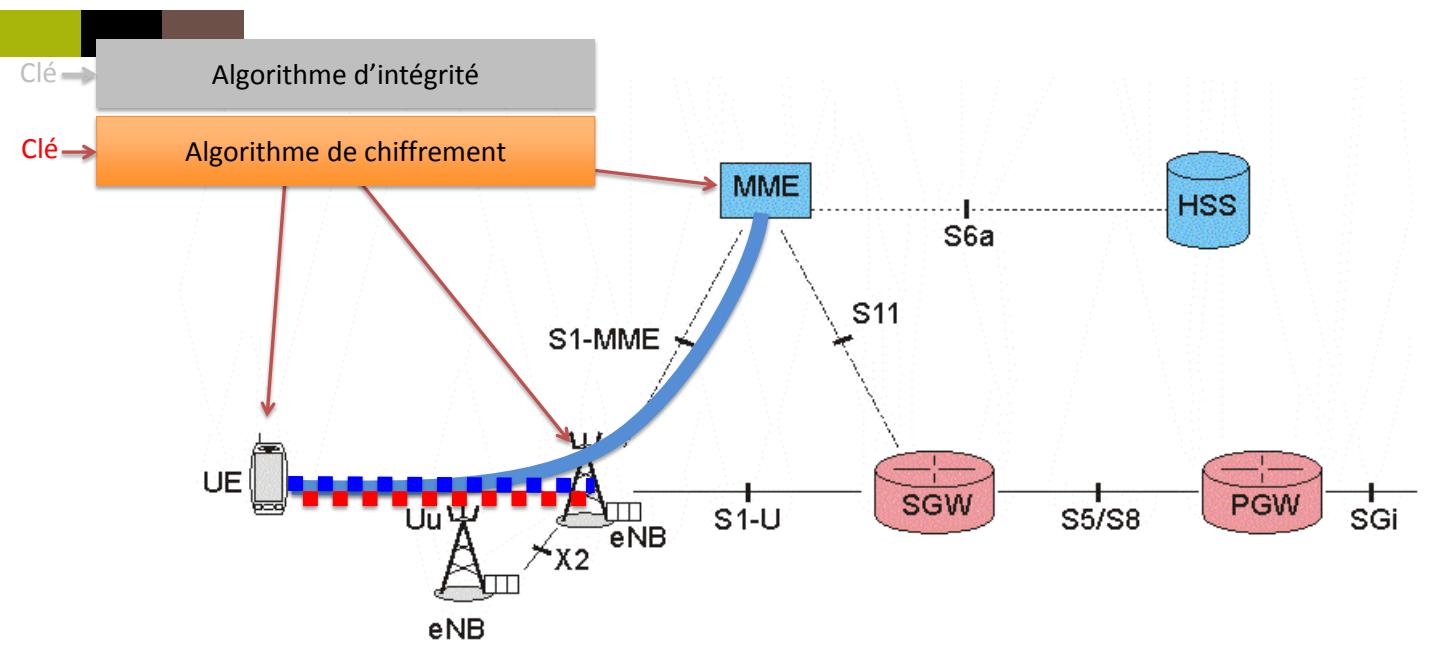


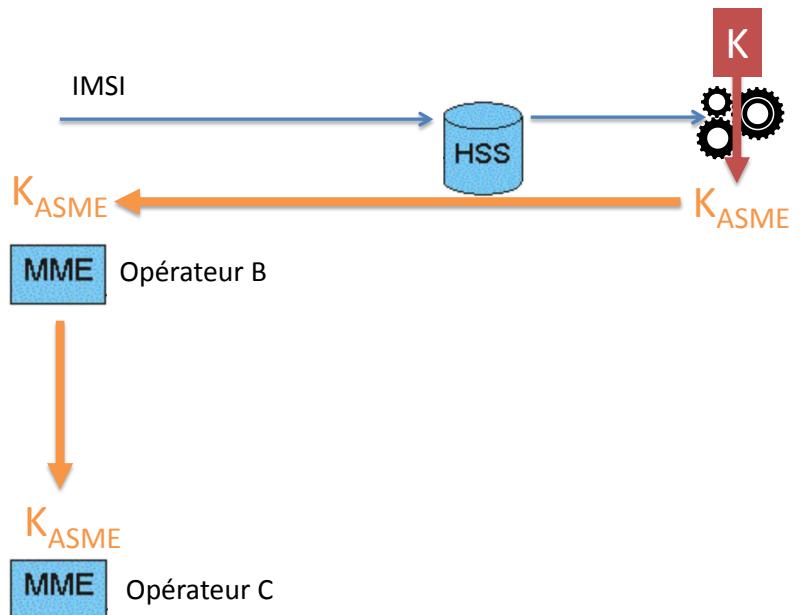
Intégrité et chiffrement sur voie radio



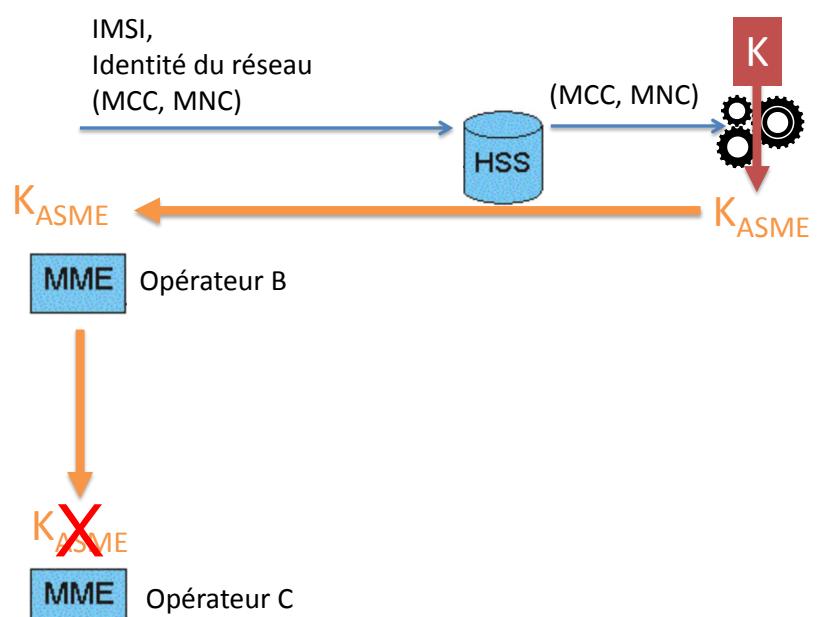
Hiérarchie de clés



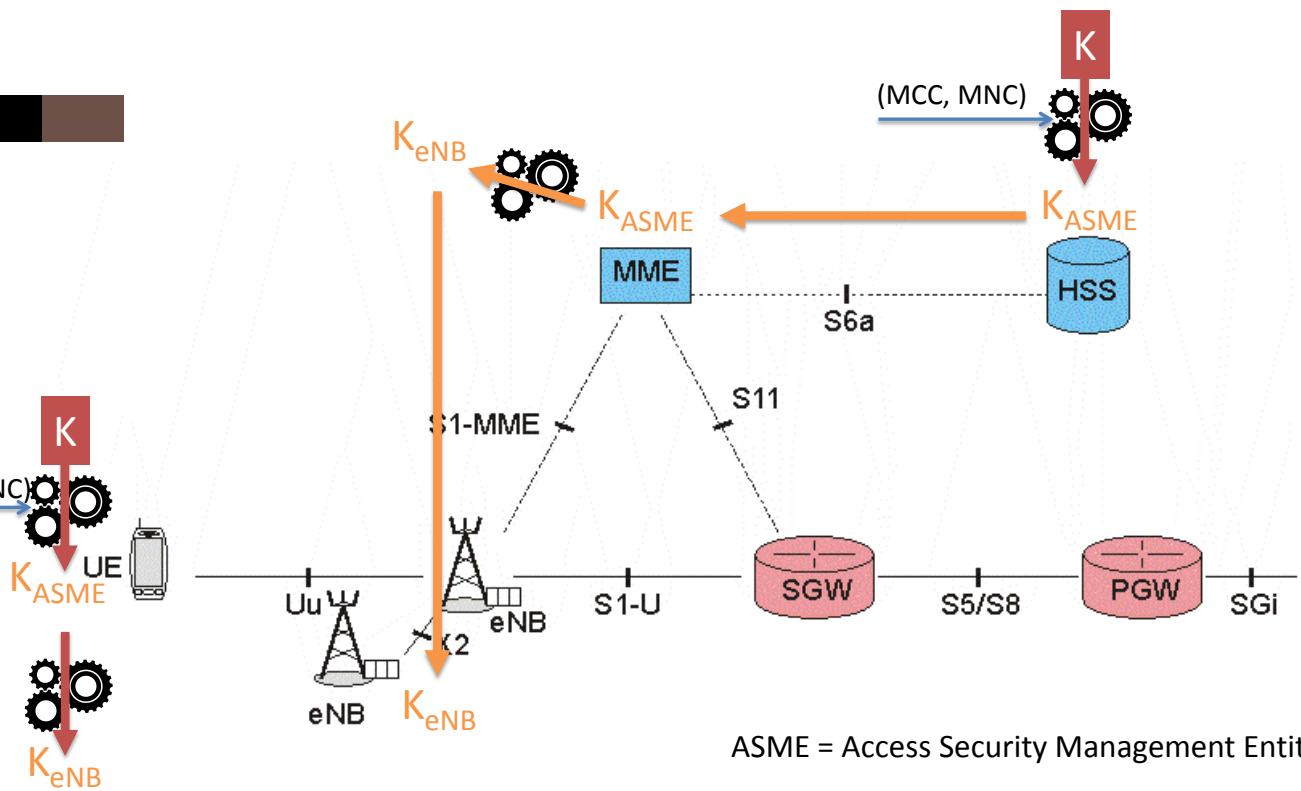




ASME = Access Security Management Entity

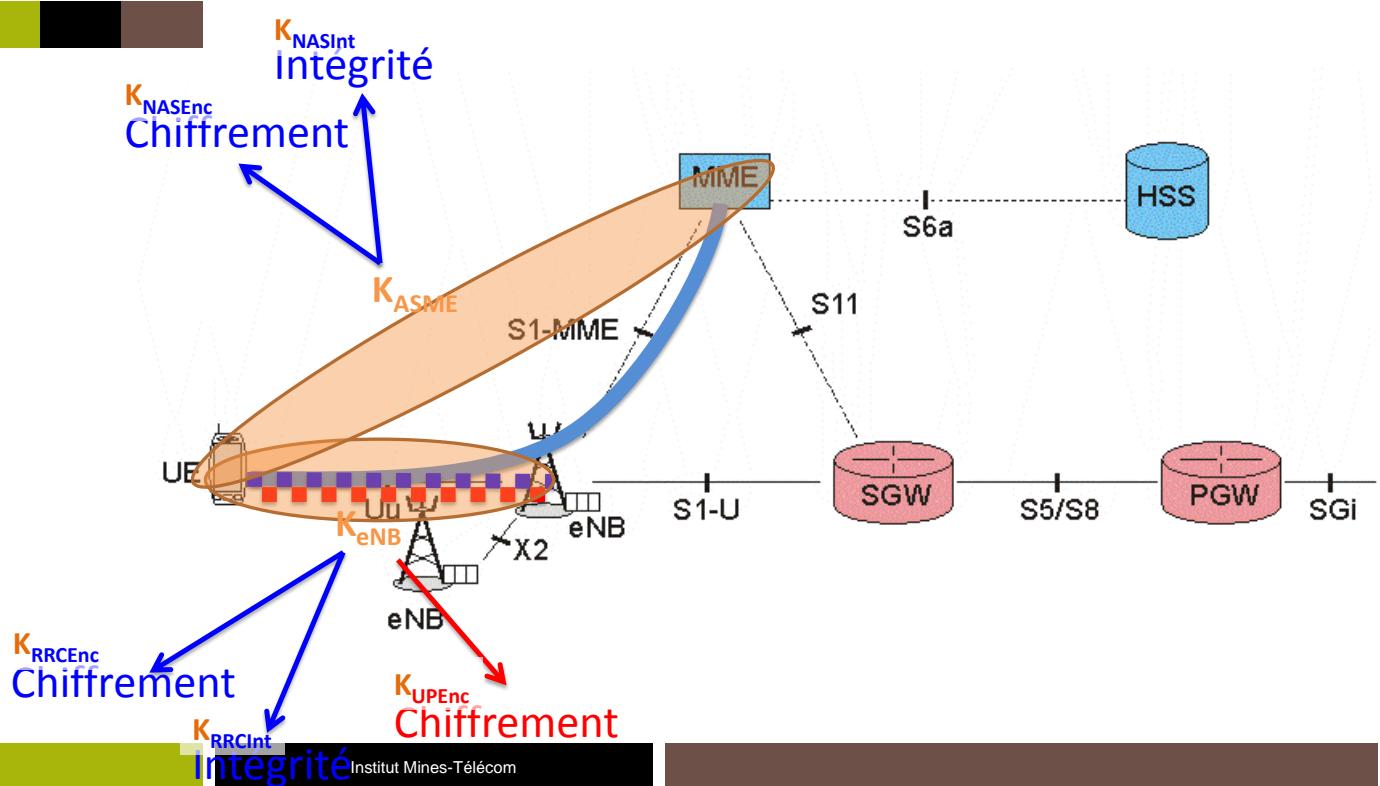


ASME = Access Security Management Entity



Institut Mines-Télécom

A. Pelov, Sécurité des réseaux 4G

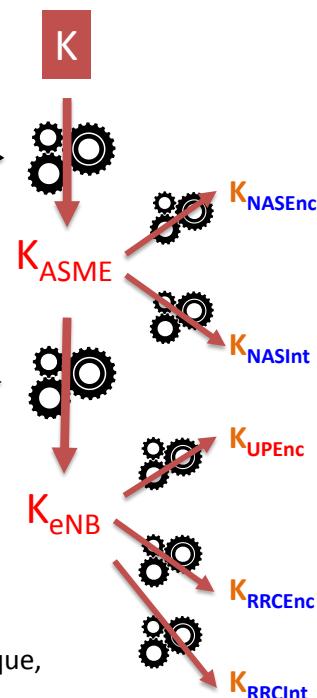


Institut Mines-Télécom





RAND
Identifiant de l'opérateur
Nombre d'authentifications (SQN)



Nombre de messages
entre le MME et l'UE



fonction de hachage cryptographique,
e.g. SHA-2

Institut Mines-Télécom

TELECOM
Bretagne



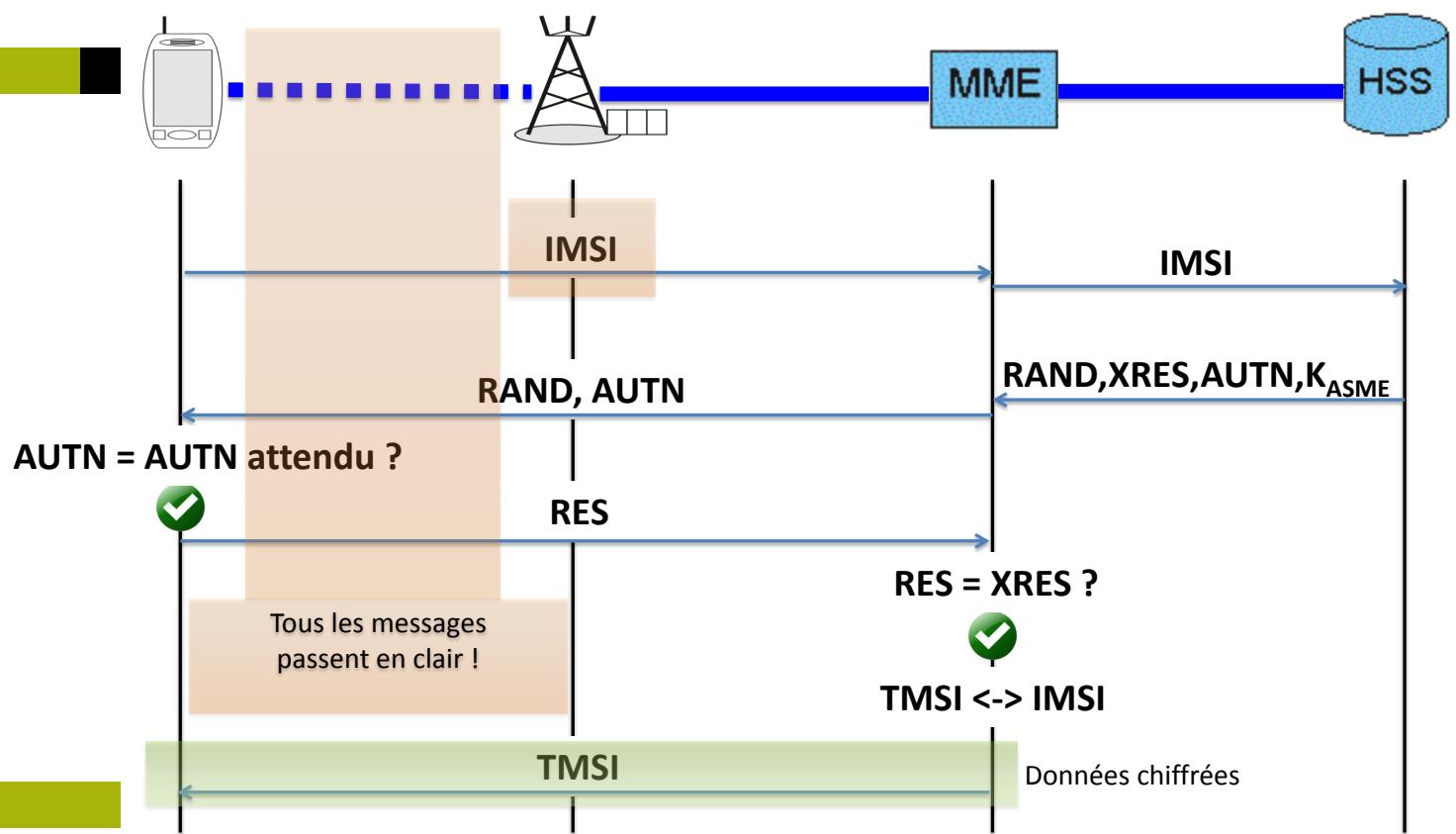
Identité temporaire

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

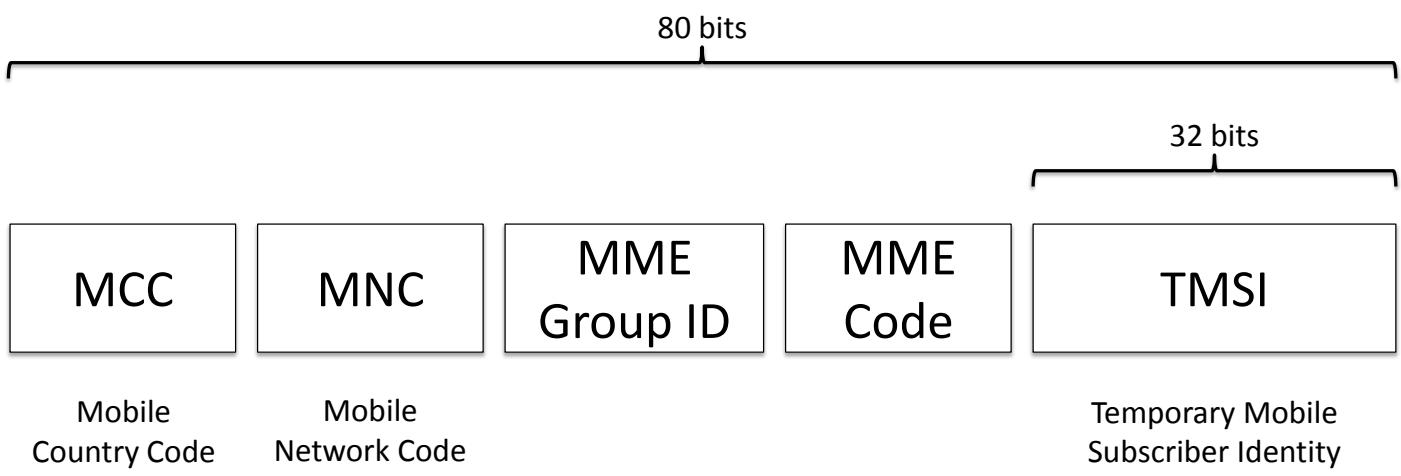
Institut Mines-Télécom

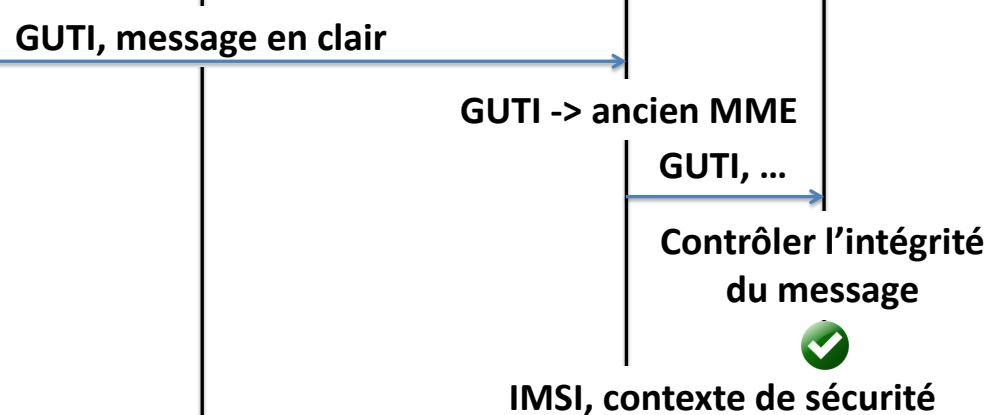
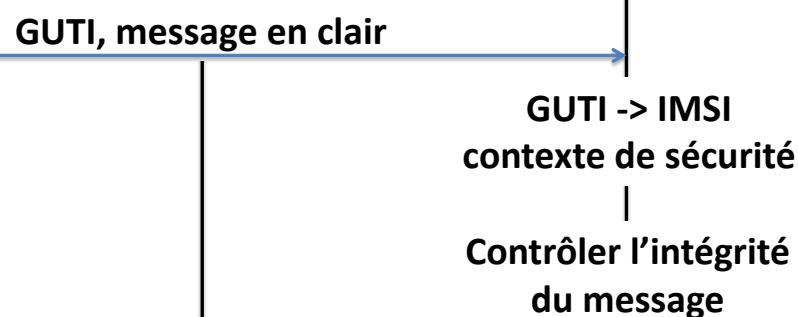
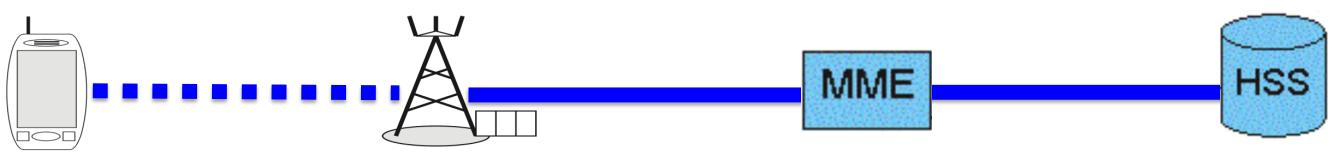
A. Pelov, Sécurité des réseaux 4G

TELECOM
Bretagne

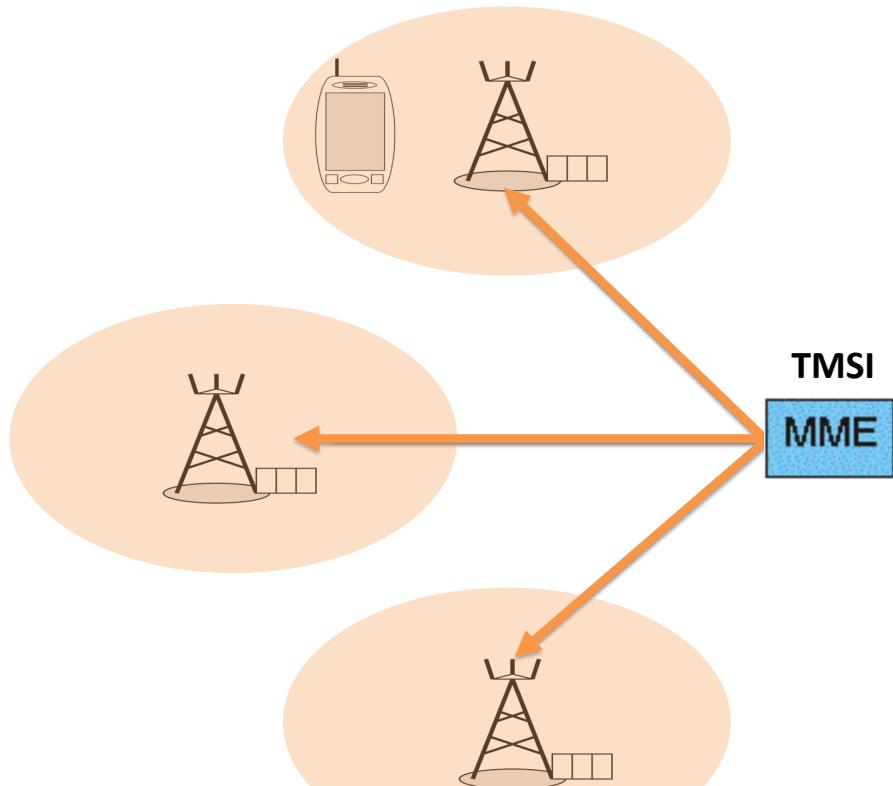


GUTI (Globally Unique Temporary UE Identity)

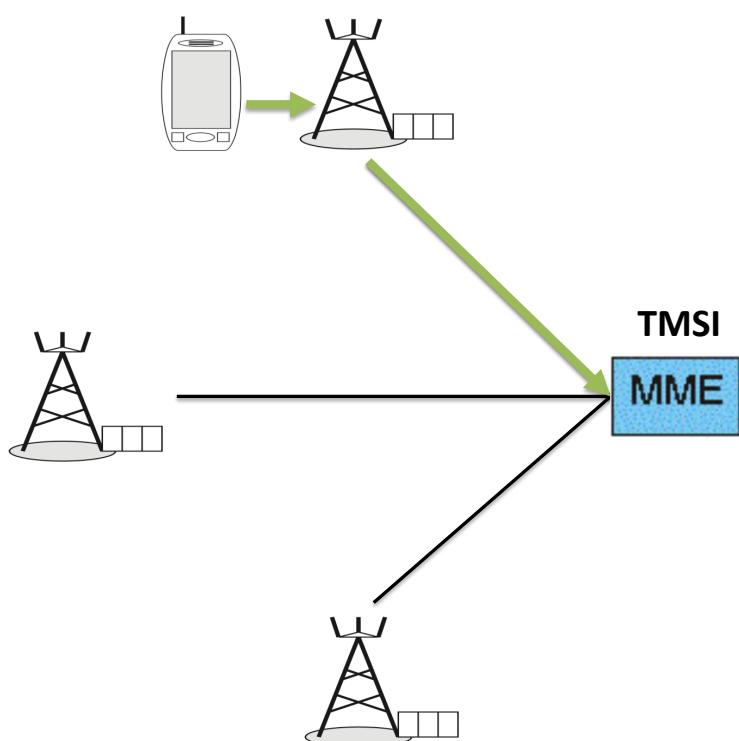




IMSI, contexte de sécurité



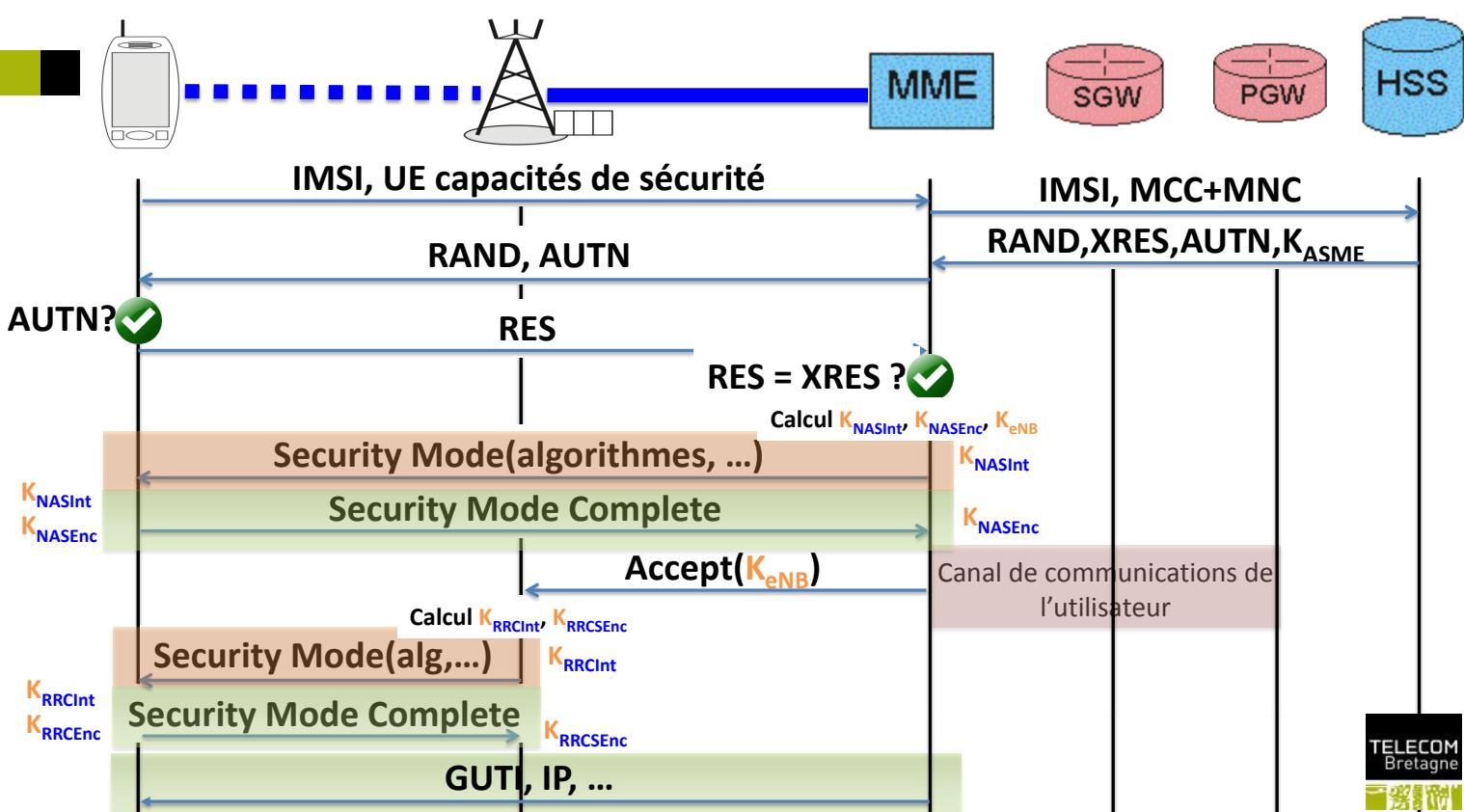
Institut Mines-Télécom

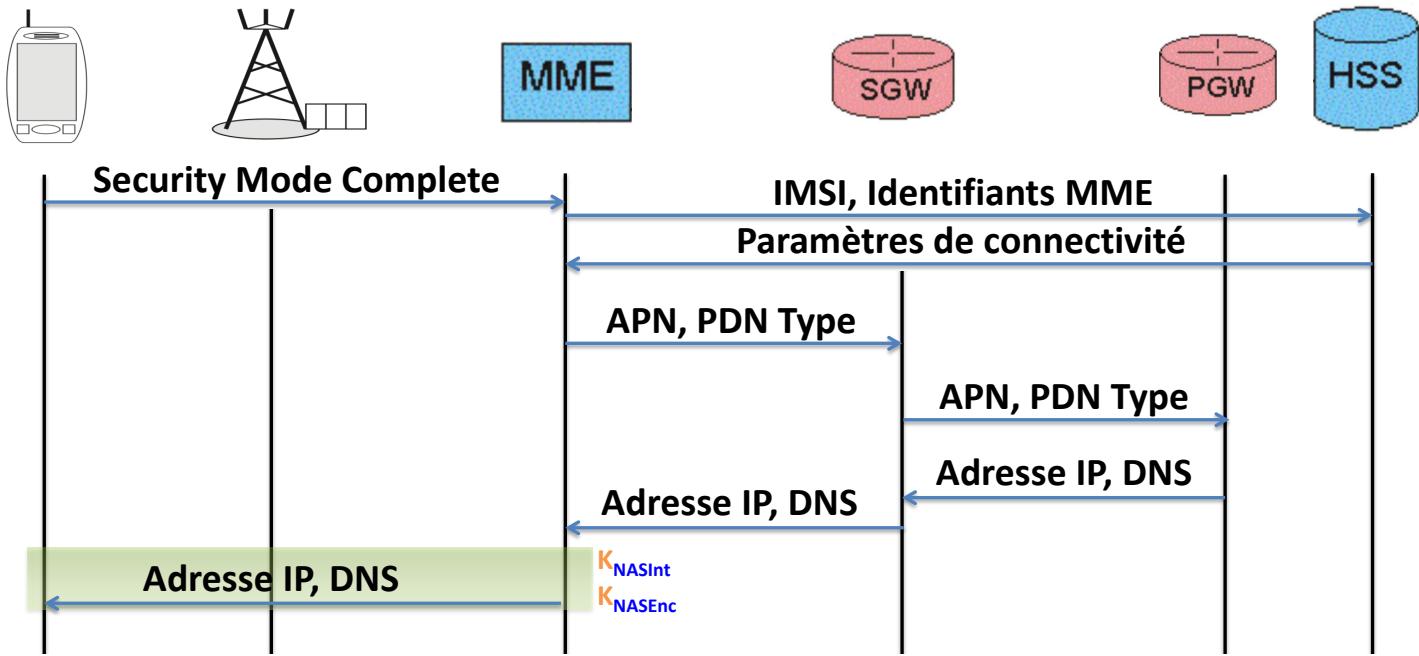


Institut Mines-Télécom



Attribution de l'adresse IP par défaut



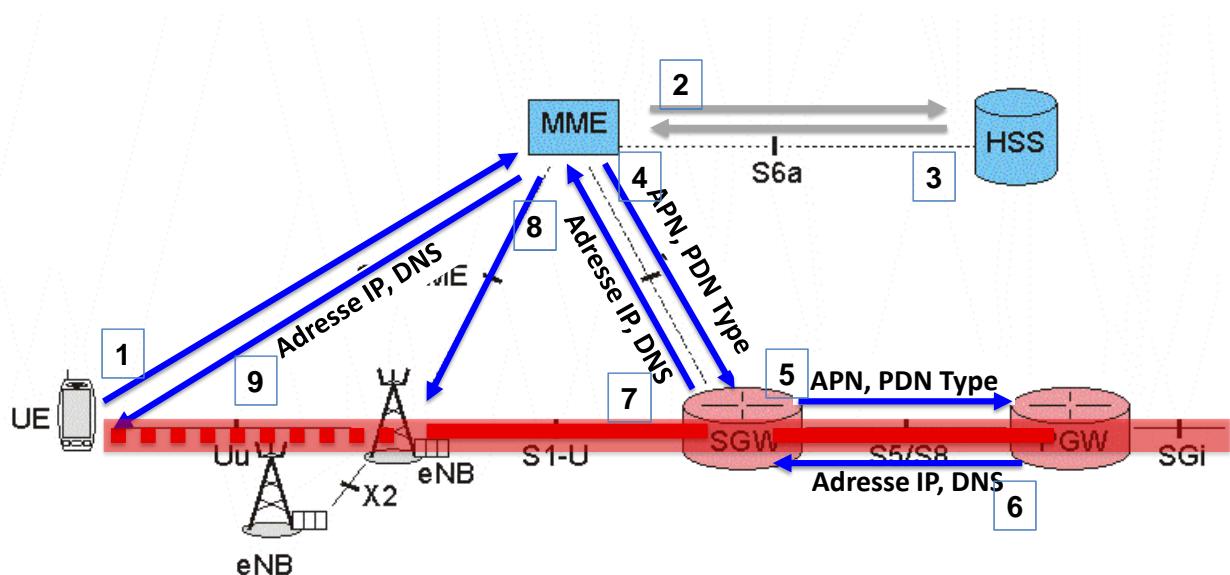


APN = Access Point Name

quel PGW utiliser

PDN Type = Packet Data Network Type

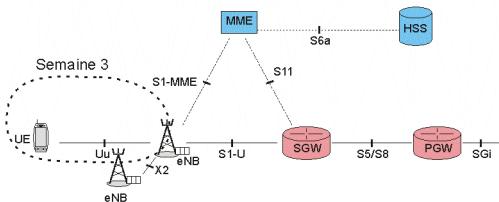
quel type d'IP utiliser (IPv6, IPv4, les deux)





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 ?



Vidéo 1 : Transmission radio

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

Notion de modulation



3

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Notion de modulation



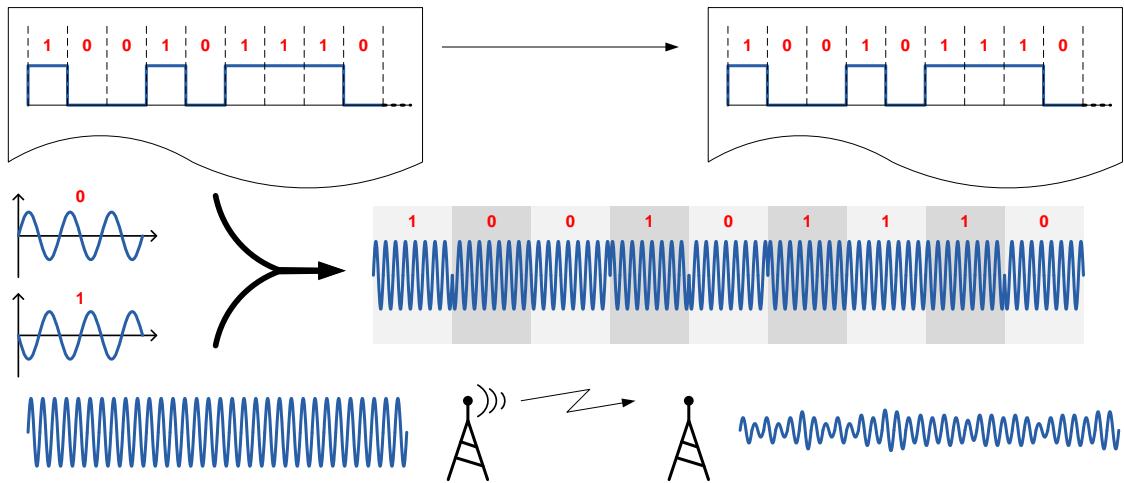
4

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Notion de modulation



5

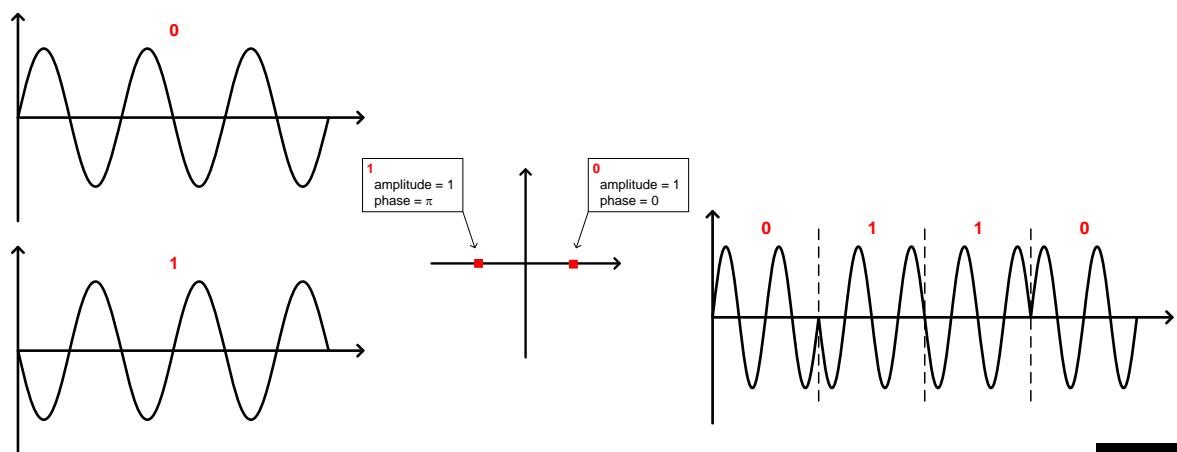
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Quelques techniques de modulation

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



6

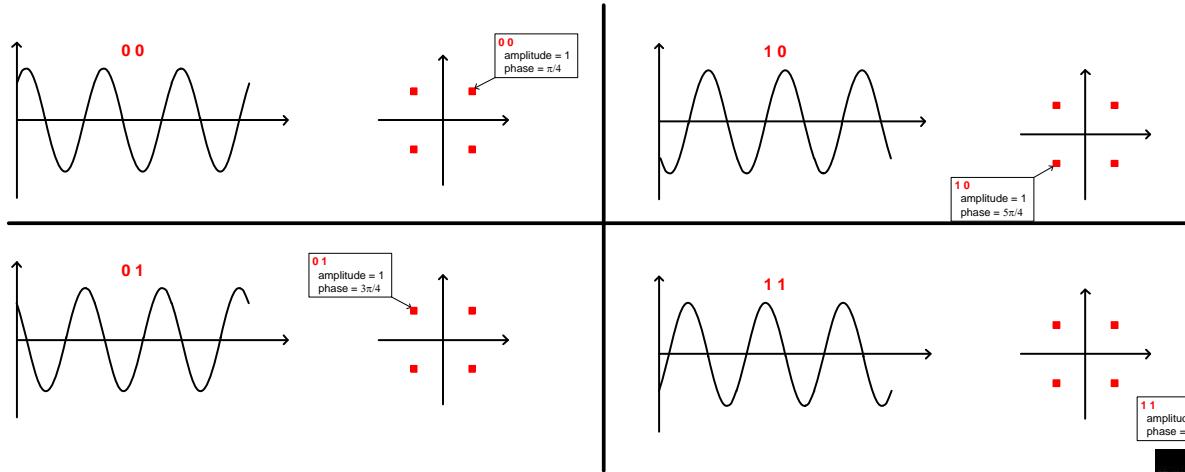
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Quelques techniques de modulation

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



7

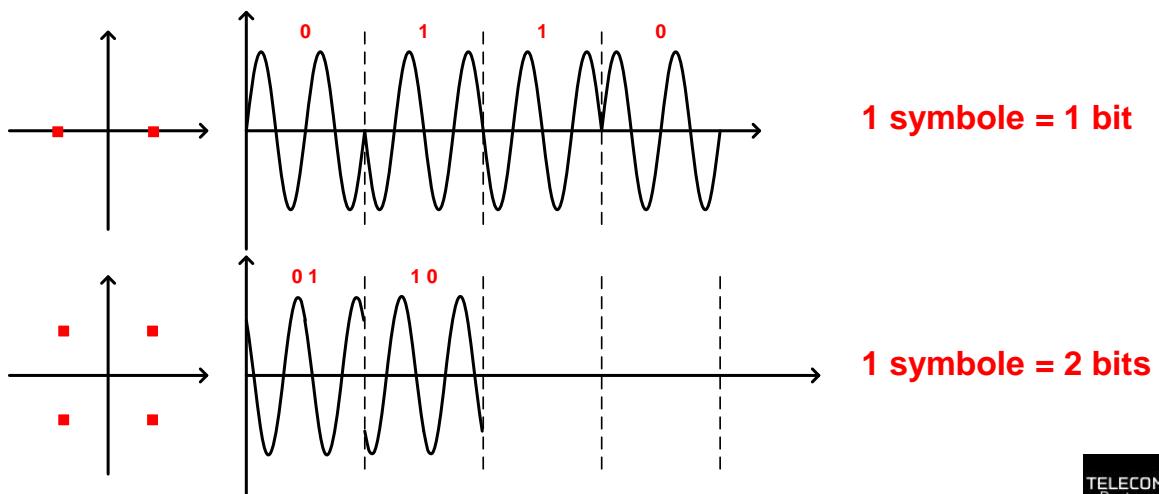
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Quelques techniques de modulation

■ Comparaison BPSK / QPSK :



8

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

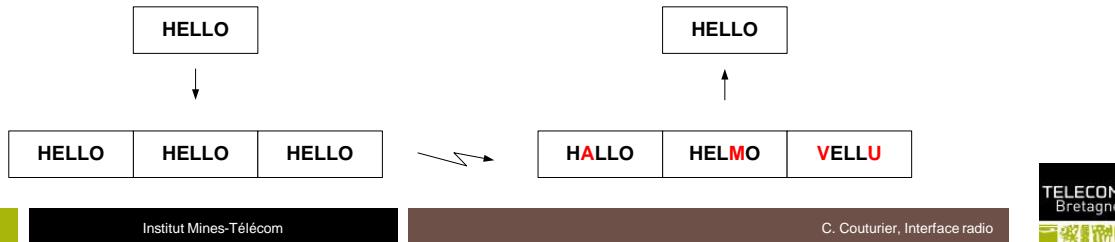


Comment fiabiliser la transmission

- 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 **déetecter** 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

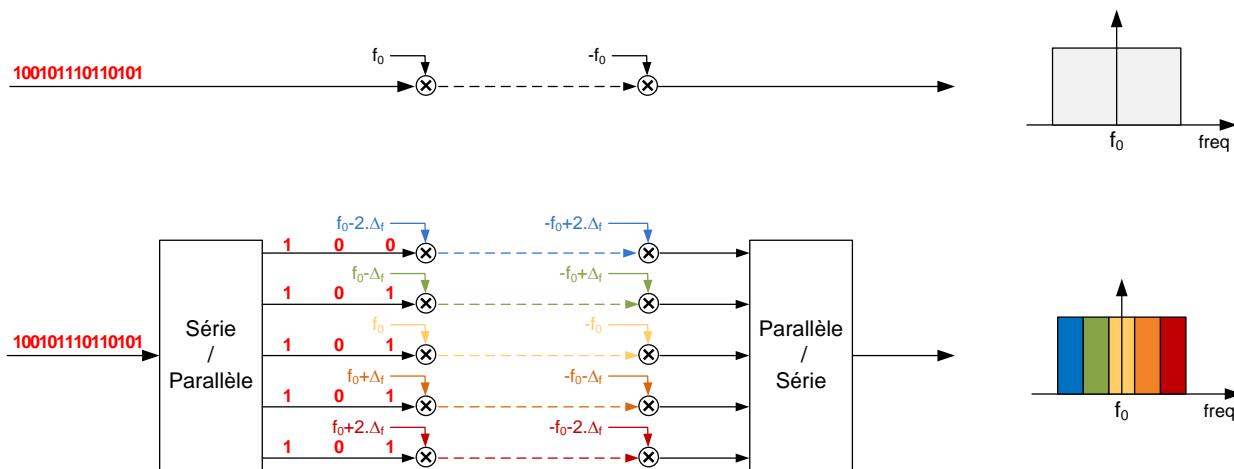
■ Transmission de type OFDM

- 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)

Transmission multi porteuses





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

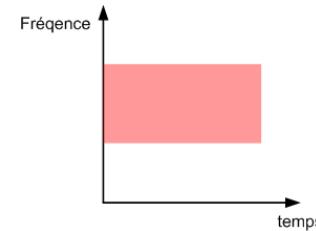
C. Couturier, Interface radio





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**



Principe

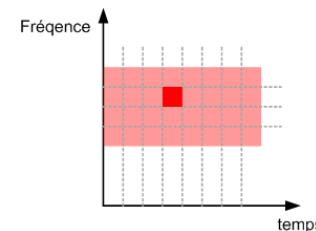
- **La ressource radio peut être partagée entre**
 - Plusieurs utilisateurs
 - Plusieurs usages (signalisation / données)
 - Uplink / Downlink (FDD uniquement dans le MOOC)
- **L'allocation de ces ressources doit être dynamique**

■ 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



Élément de ressource / Bloc de ressource

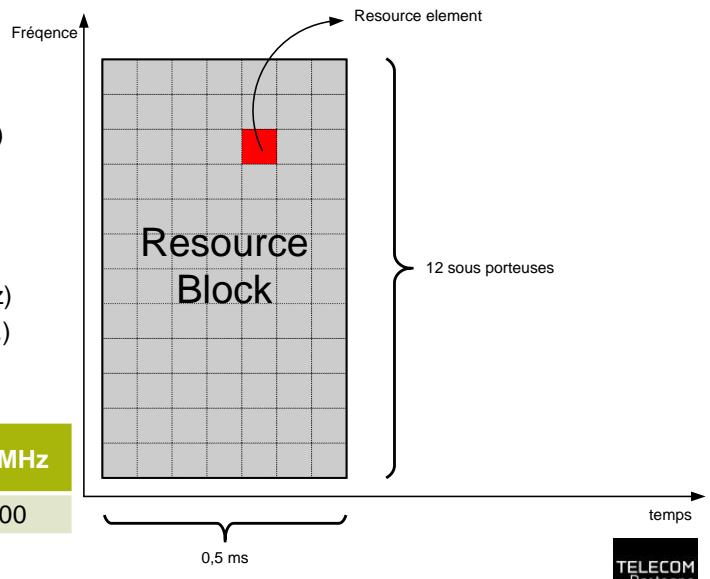
Resource Element (RE)

- 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)

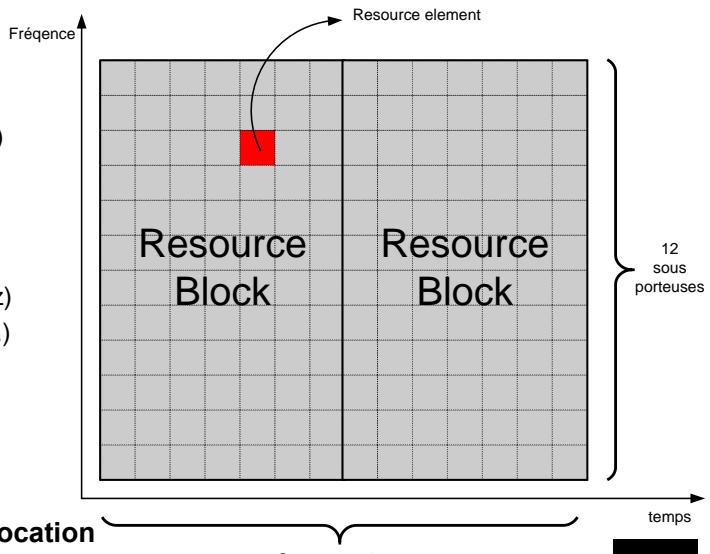
- Ressource élémentaire
- Une sous porteuse (15 kHz)
- Un symbole**

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**



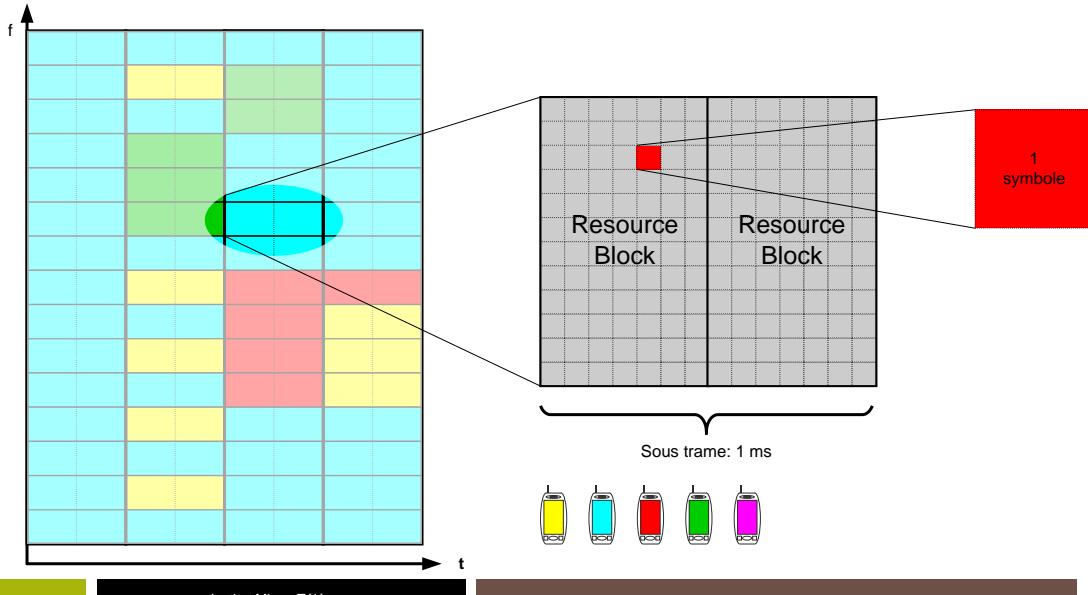
18

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Élément de ressource / Bloc de ressource / Sous trame



19

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

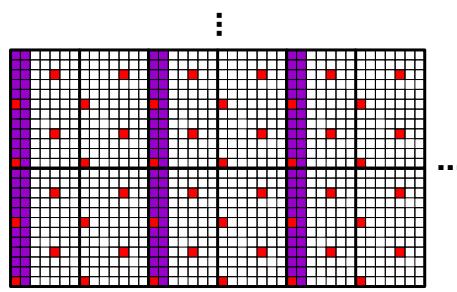


Éléments de ressources réservés

■ 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



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

Chaine de transmission (simplifiée)

Bloc de transport

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

Ajout de CRC

- Détection d'erreur

Codage

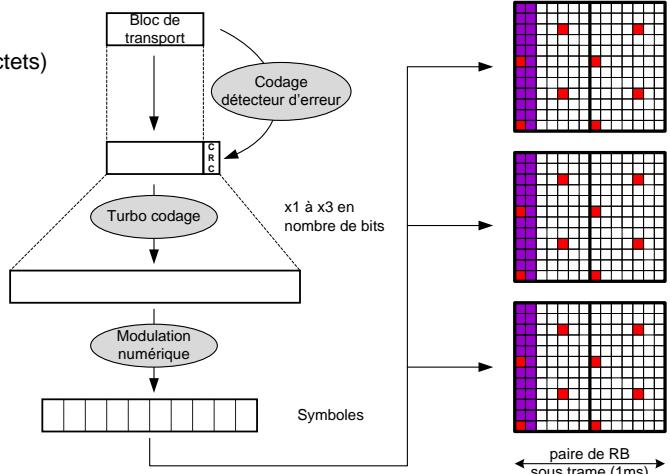
- Correction d'erreur

Modulation

- Symboles

Transmission sur une sous trame (1ms)

- Sur une ou plusieurs paires de RB



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

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

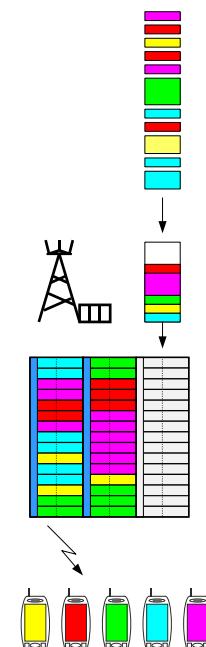
■ Voie descendante (DL: downlink)

- 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 0xFFFF (61 à 65535)
- Valeurs réservées pour broadcast, paging, accès aléatoire...

Allocation sur voie DL

Allocation des ressources par l'eNB

- Pas forcément adjacentes

Identification courte des UE

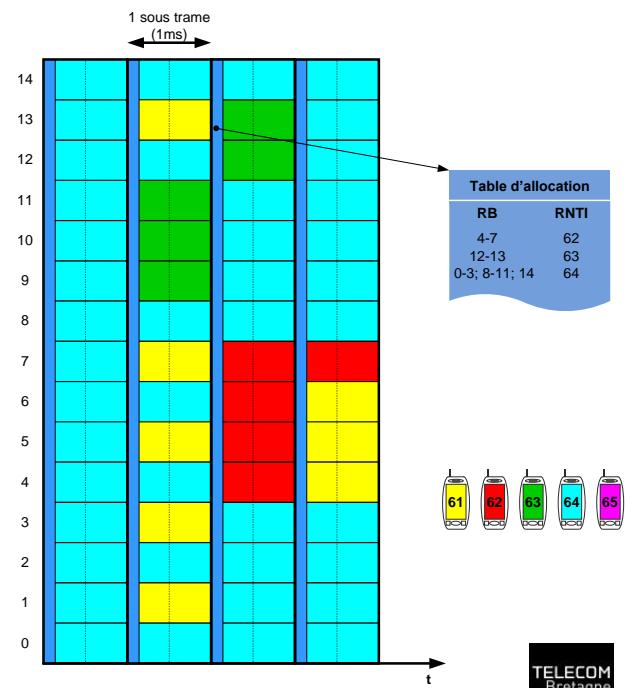
- RNTI: Radio Network Temporary Identifier
- Le RNTI ne fait pas partie du bloc de transport

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

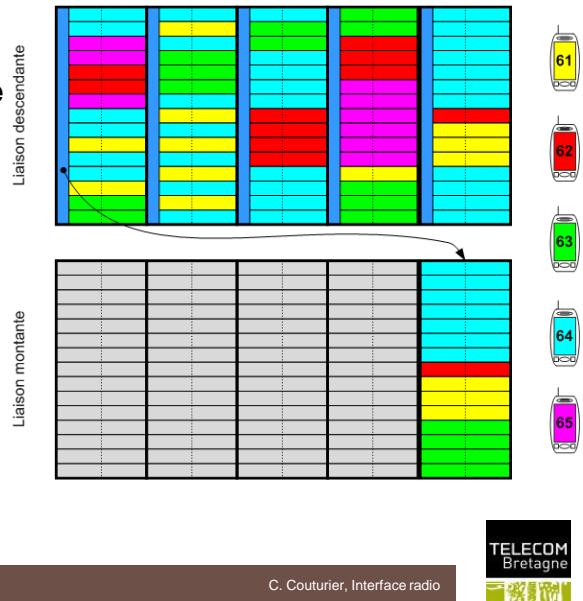
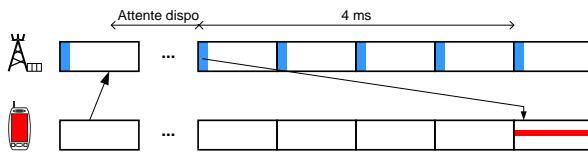
Décodage par les UE

- L'UE ne décide 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)



29

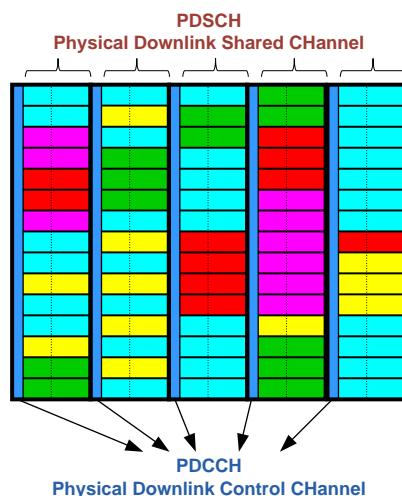
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

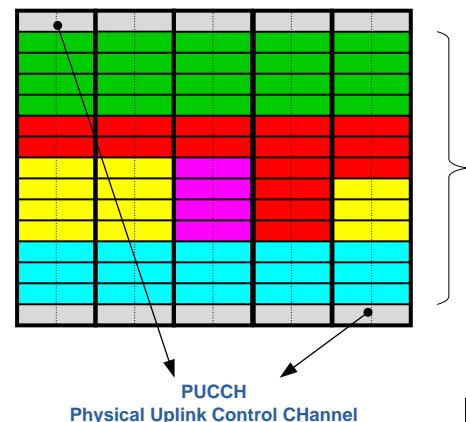


Canal de données / canal de contrôle

Liaison descendante



Liaison montante



Physical Uplink Shared CChannel
PUSCH

30

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio





Résumé

■ L'allocation

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

■ En voie montante

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



Vidéo 4 : Fiabilisation des transmissions sur la voie radio

Comment augmenter le niveau de fiabilité de la transmission ?

Principes de base: Automatic Repeat reQuest (ARQ)

■ Détection des erreurs à la réception

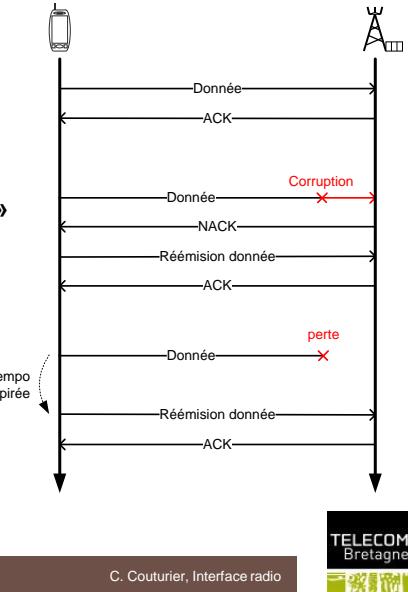
- Couche MAC (Media Access Control)
- Codes détecteurs d'erreur
(CRC: Cyclic Redundancy Check)

■ Acquittement de type « Send and Wait ARQ »

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

■ Si problème de transmission

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



33

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



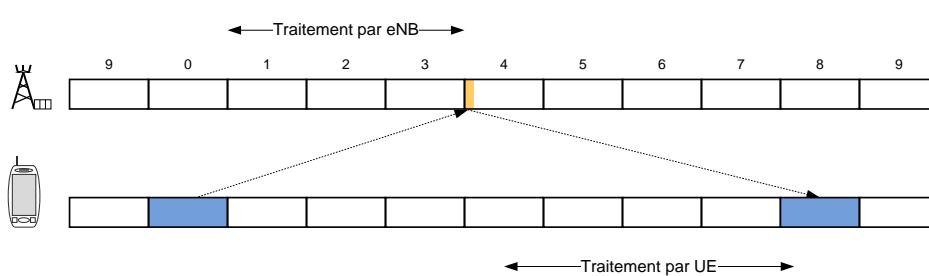
Acquittements parallèles

■ Temps de traitement: 8 sous trames pour un cycle

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

■ Délai fixe de 8ms (en FDD)

- 4 ms pour récepteur + 4 ms pour émetteur



34

Institut Mines-Télécom

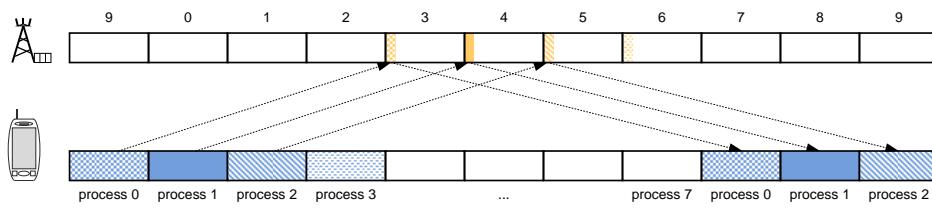
C. Couturier, Interface radio



Acquittements parallèles

■ Optimisation: « Send And Wait » parallélisé

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



35

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



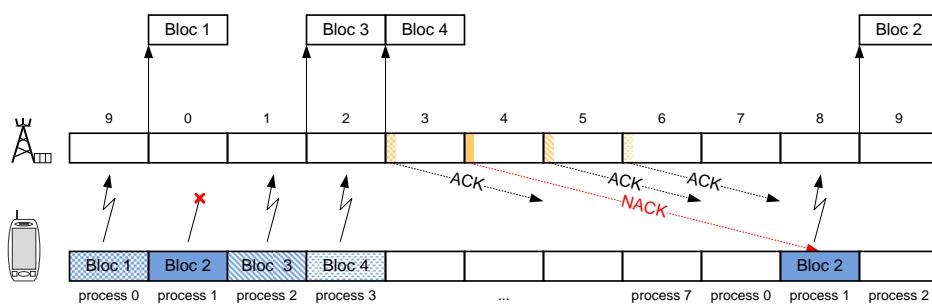
Acquittements parallèles

■ Dé-séquencement

- Les pertes sont indépendantes sur chaque processus //

■ Numérotation des blocs de transport

- Assuré par le protocole de niveau supérieur: RLC



36

Institut Mines-Télécom

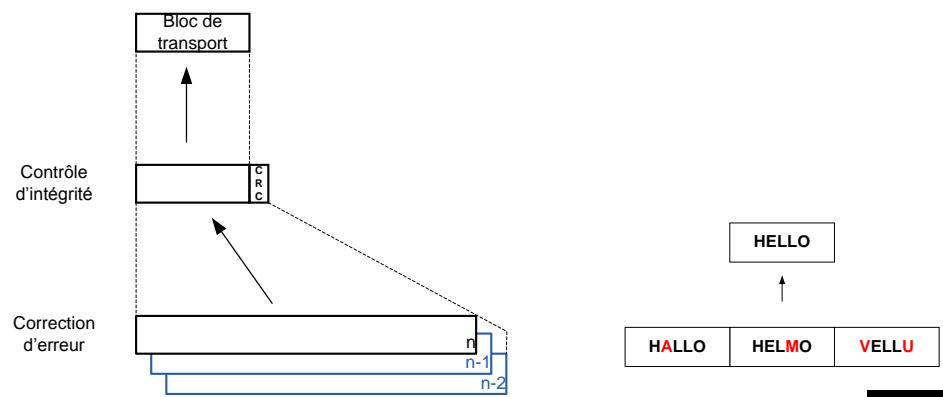
C. Couturier, Interface radio



HARQ: Hybrid ARQ

■ Retransmission = Redondance

- Redondance augmente les performances de la correction d'erreur



37

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



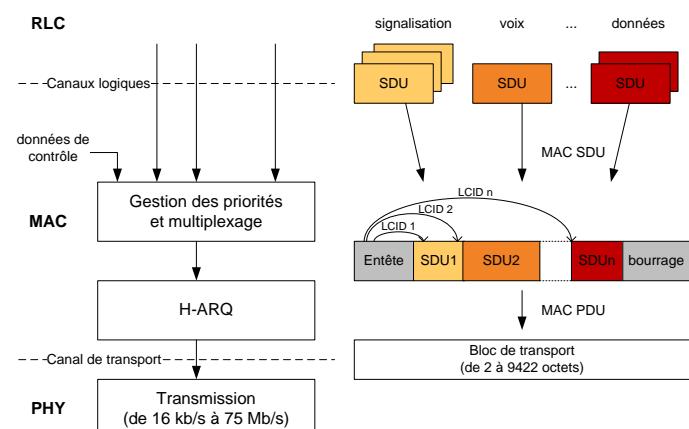
Multiplexage

■ MAC-SDU (Service Data Unit)

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

■ MAC-PDU (Protocol Data Unit)

- Sortie de la couche MAC
- => Transport Bloc



38

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio





Résumé

Fonctions de la couche MAC:

- **Allocation des ressources**
 - cf. vidéo précédente
- **Fiabilisation des transmissions par HARQ**
 - Retransmission des blocs de transport erronés
 - Plusieurs processus en //
- **Multiplexage**
 - Gestion des priorités entre les canaux logiques
 - Regroupement des données pour former les blocs de transport



39

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Vidéo 5 : Protocole RLC



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



40

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Notion de Qualité de Service (QoS)

■ Limites de la couche MAC

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

■ Qualité de service

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

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

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

41

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



RLC (Radio Link Control) – Modes de fonctionnement

■ Mode Transparent (TM: Transparent Mode)

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

■ Mode non acquitté (UM: Unacknowledged Mode)

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

■ Mode acquitté (AM: Acknowledged Mode)

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

■ Plusieurs instances peuvent fonctionner en //

42

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



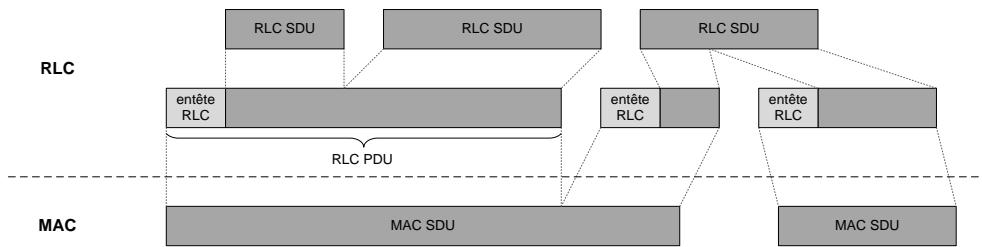
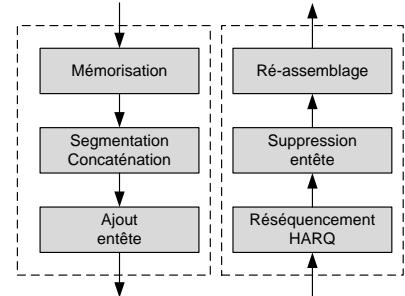
Mode non acquitté (UM)

■ Segmentation / concaténation

- Ajustement à la taille du MAC-SDU

■ Entête

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



Mode acquitté (AM)

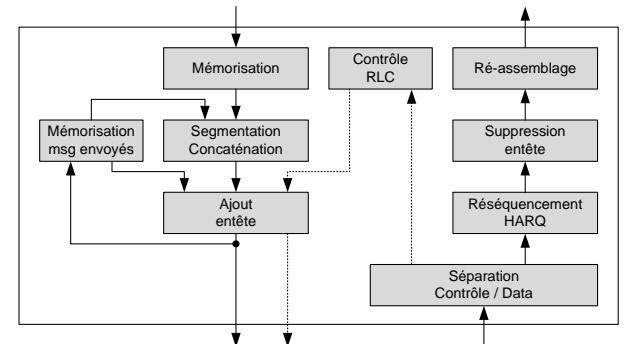
Même fonctions que UM plus:

■ Réémission des données perdues

- Mémorisation des messages émis

■ Protocole

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





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

■ Réservation

- Découpage en ressources élémentaires
- Allocation statique ou dynamique

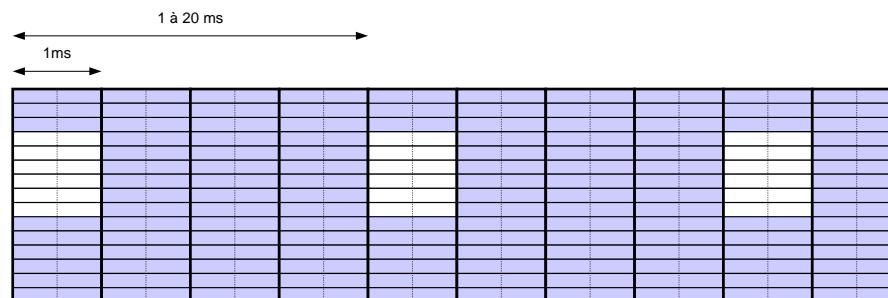
■ Problèmes en LTE

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

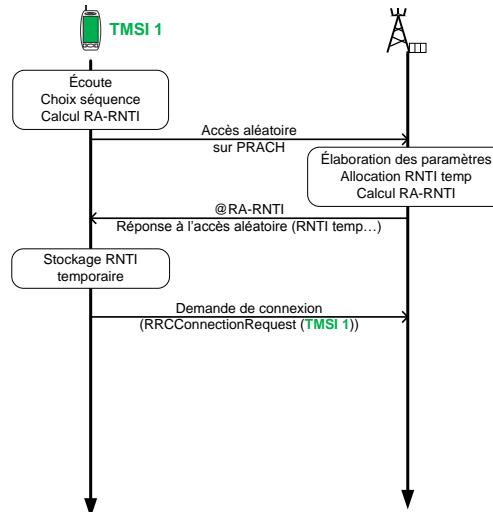
Canal d'accès en contention

■ 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



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



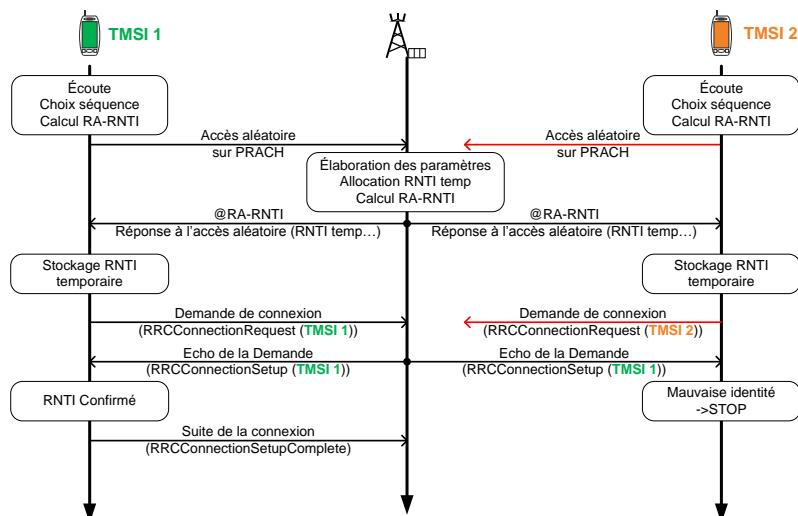
49

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



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



50

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio





Résumé

■ LTE est un protocole à réservation

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

■ Canal à accès aléatoire en UL (PRACH)

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

Vidéo 7 : PDCP et vision globale



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

Comment résumer cette semaine ?

Fonctionnalités PDCP

■ PDCP: Packet Data Convergence Protocol

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

■ Compression d'entêtes

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

■ Prévention des pertes dues aux Handovers

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

■ Sécurisation

- Chiffrement
- Détection d'erreur

53

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



Fonctionnalités PDCP

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

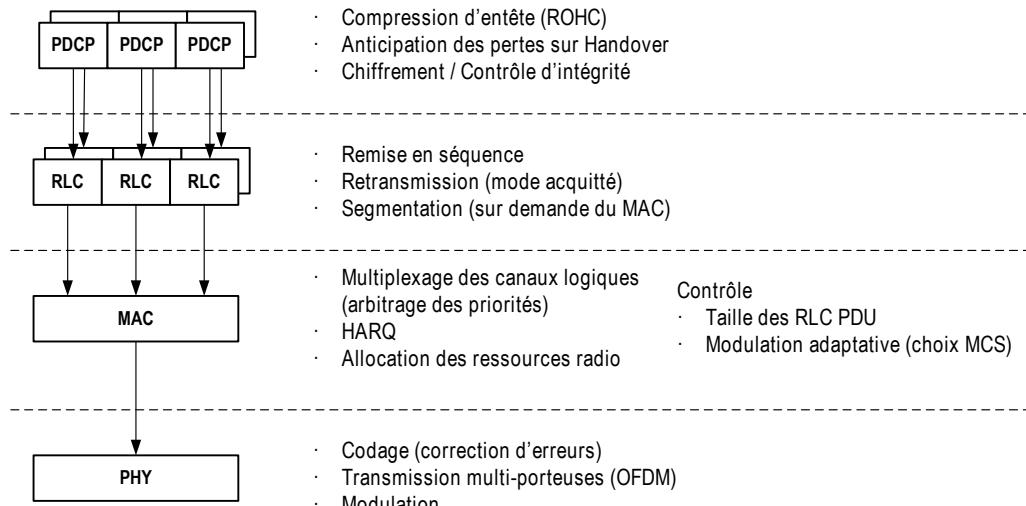
54

Institut Mines-Télécom

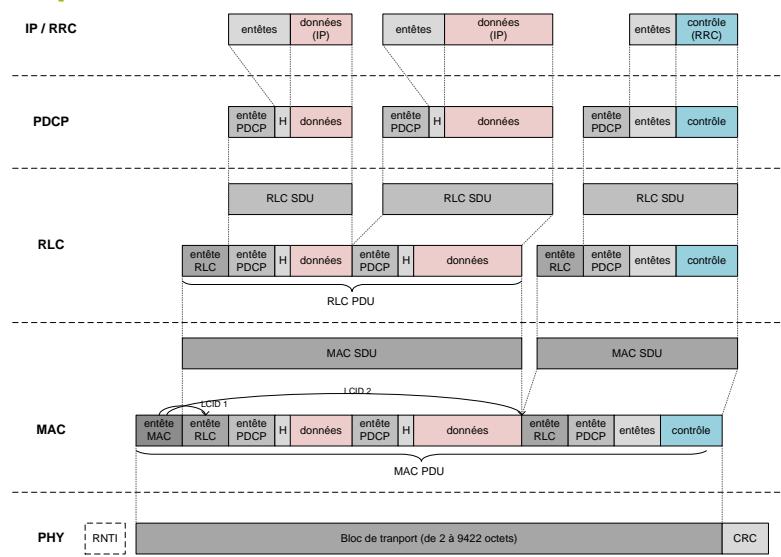
C. Couturier, Interface radio



Récapitulatif



Récapitulatif





Index des sigles

ARQ : Automatic Repeat reQuest
BPSK : Binary Phase Shift Keying
CRC : Cyclic Redundancy Check
HARQ : Hybrid ARQ
IETF : Internet Engineering Task Force
MAC : Media Access Control
MCS : Modulation Coding Scheme
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PDCP : Packet Data Convergence Protocol

PDU : Protocol Data Unit
QoS : Quality of Service
QPSK : Quaternary Phase Shift Keying
RB : Resource Block
RE : Resource Element
RLC : Radio Link Control
RNTI : Radio Network Temporary Identifier
ROHC : RObust Header Compression
SDU : Service Data Unit

Semaine 4, gestion des flux de données

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

Vidéo 2 : Présentation du protocole GTP

Vidéo 3 : Identification et gestion des tunnels (TEID)

Vidéo 4 : Transmission des paquets dans un tunnel

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

Vidéo 6 : Etablissement d'une connexion S1-AP

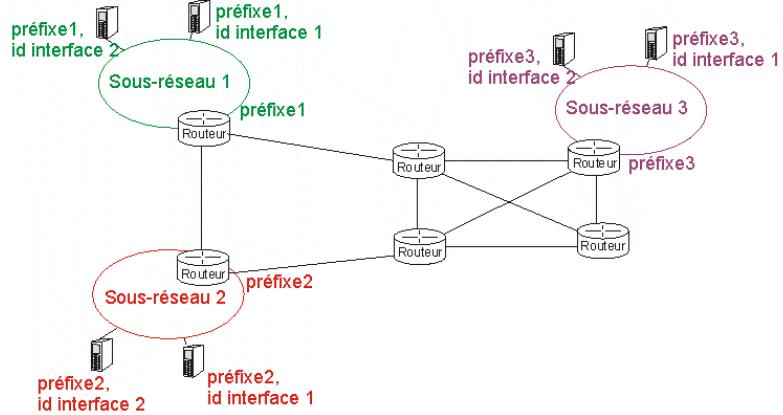
Vidéo 7 : Concept de strate de non accès (NAS) et vue globale des empilements protocolaires

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 ?

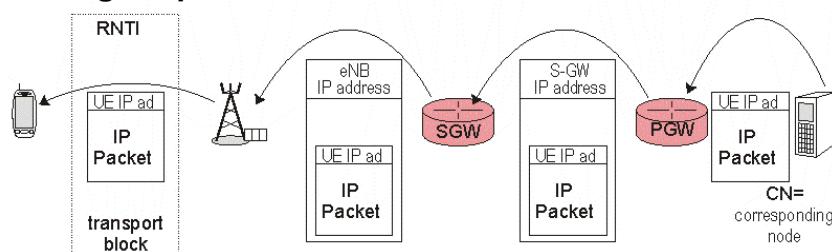
Cas du réseau fixe

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



Principe de l'encapsulation

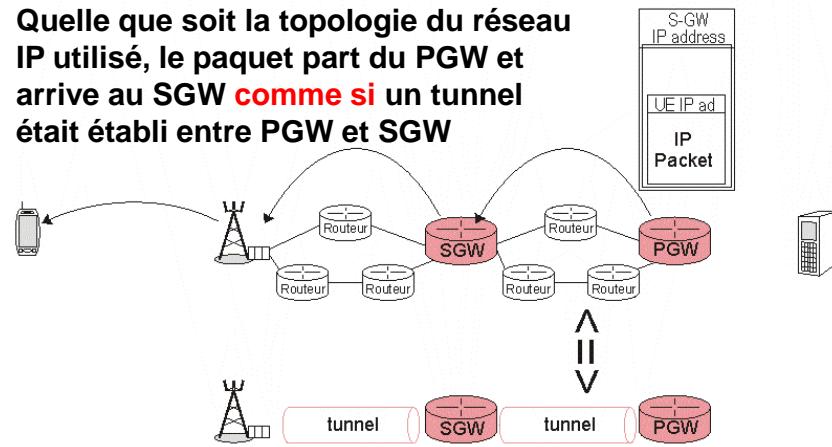
- Même préfixe pour tous les abonnés d'un réseau mobile
 - Routage depuis le réseau Internet vers le PGW



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

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

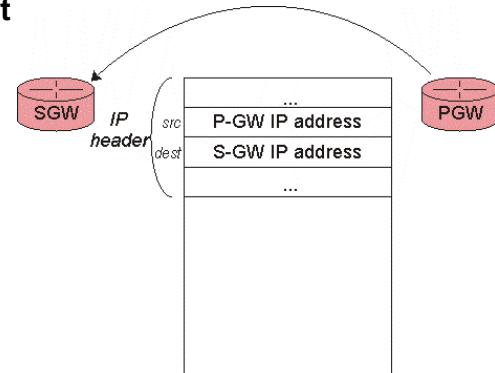
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données

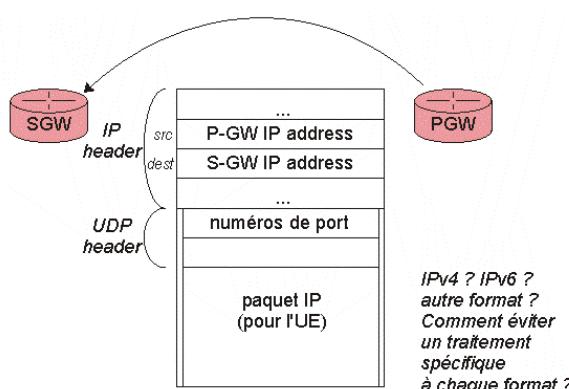


Besoin d'un protocole de niveau 4 entre nœuds intermédiaires

- 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

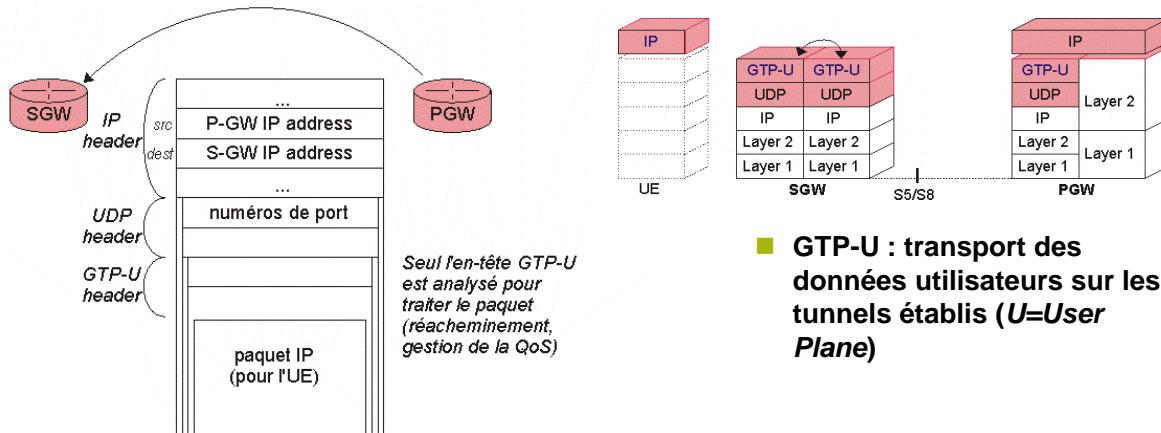


Comment uniformiser les traitements pour tout type de paquet transporté ?



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

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

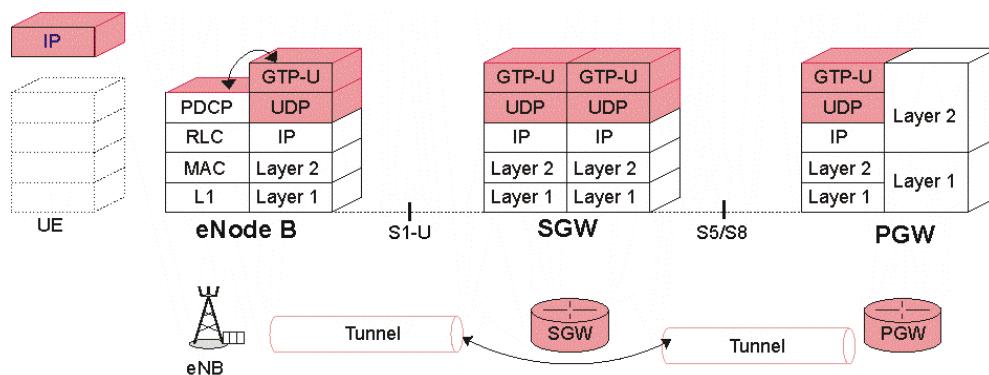
9

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



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



■ GTP-U

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

10

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Vidéo 3 : Identification des tunnels (TEID)



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

11

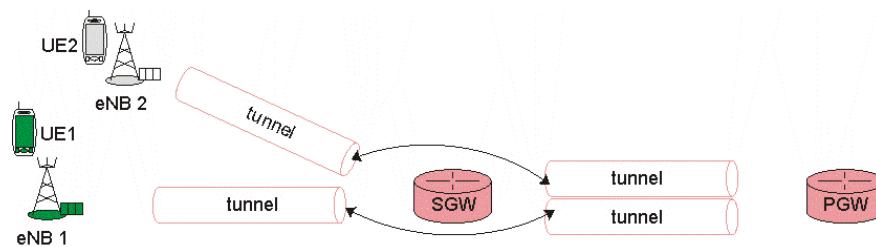
Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Gestion de multiples tunnels

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



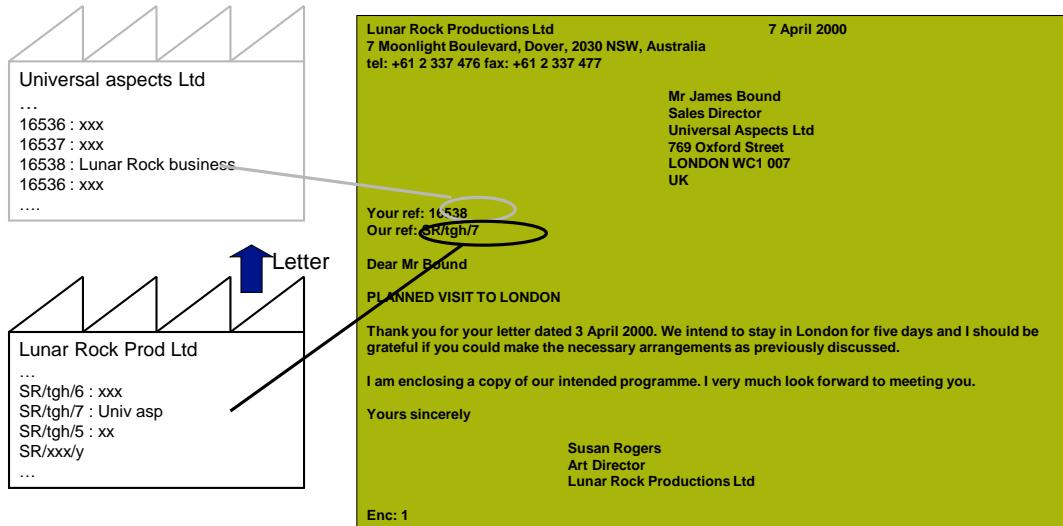
12

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Quittons le monde des télécommunications



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



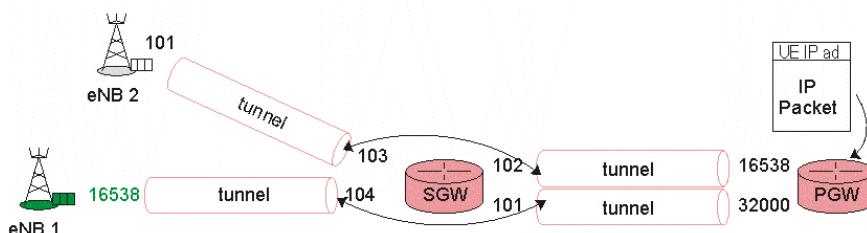
13

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)

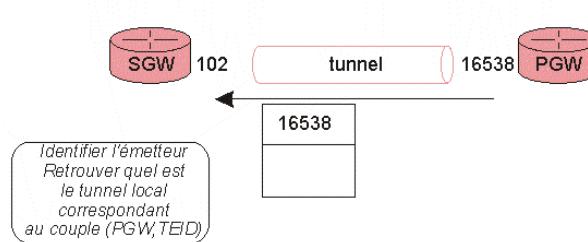


14

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**

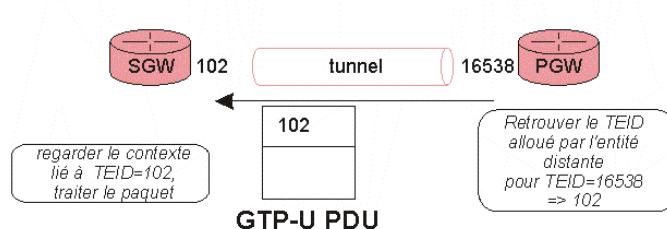
15

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 surcroit de complexité à l'émetteur
- Traitements nettement simplifiés dans le récepteur

Utilisé pour GTP

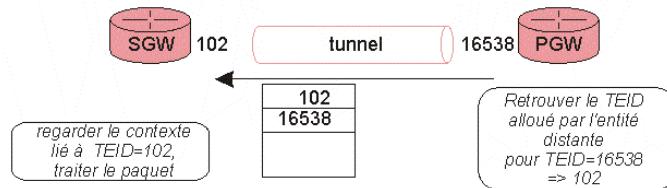
16

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Possibilité 3 : mettre les deux TEIDs !



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

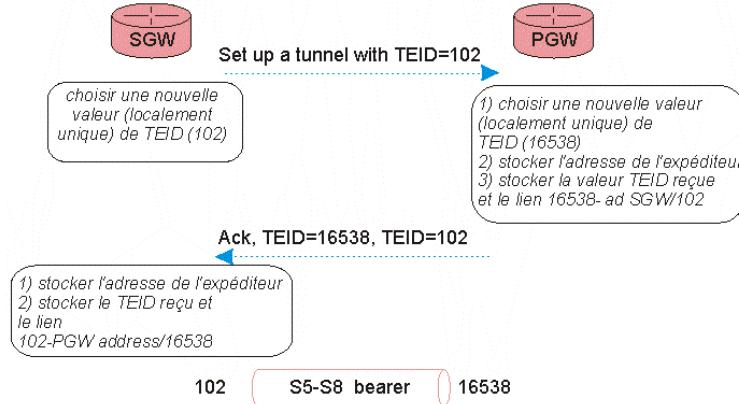


Vidéo 4 : Etablissement des tunnels et traitement des paquets placés dans un tunnel

Comment les équipements dialoguent pour établir un tunnel ?

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

Initialisation d'un tunnel



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

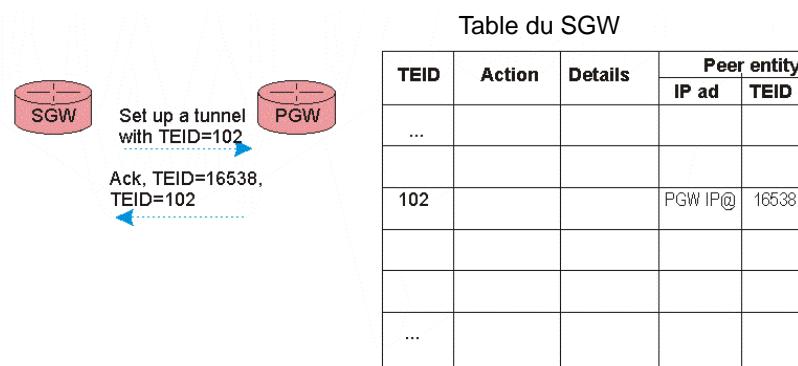
19

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Exemple de table de gestion de TEID



20

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données



Exemple de table de gestion de TEID

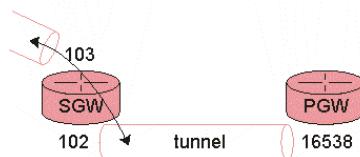


Table du SGW

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

Exemple de table de gestion de TEID

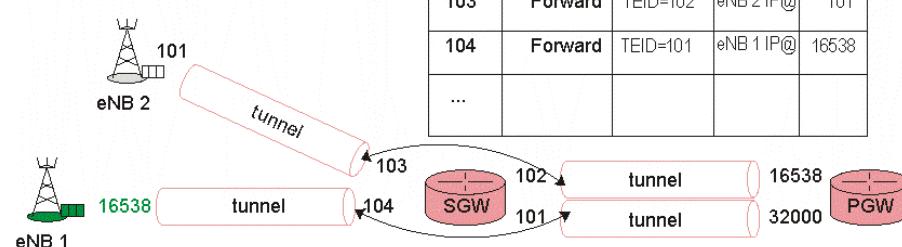


Table du SGW

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
...				
...				

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**

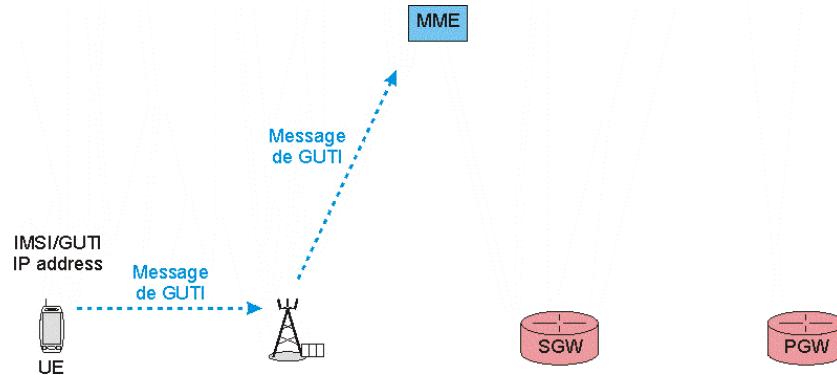
■ A chaque tunnel, une paire de TEID !



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 ?**

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 ?

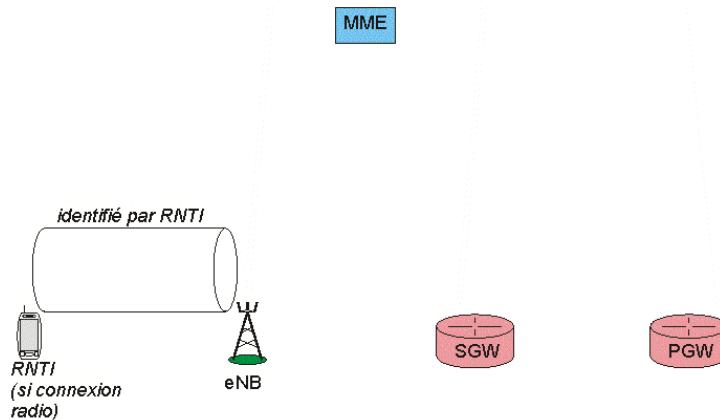
25

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)

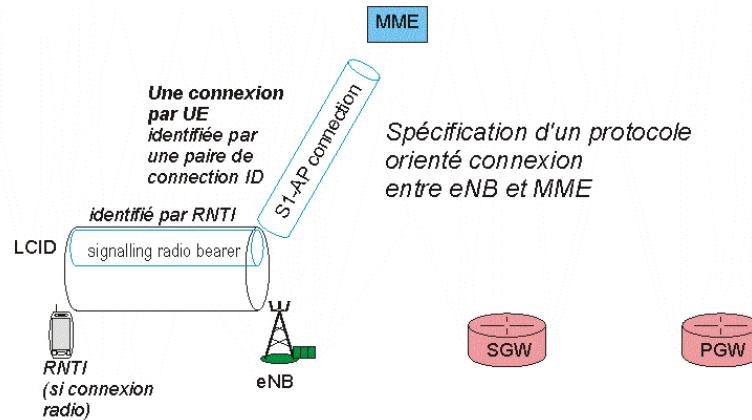
26

Institut Mines-Télécom

X. Lagrange, Gestion des flux de données

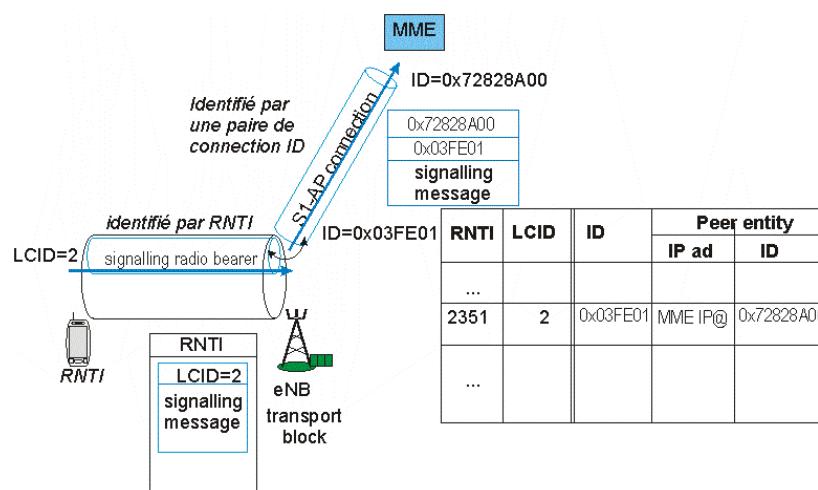


Présentation du protocole S1-AP



- **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

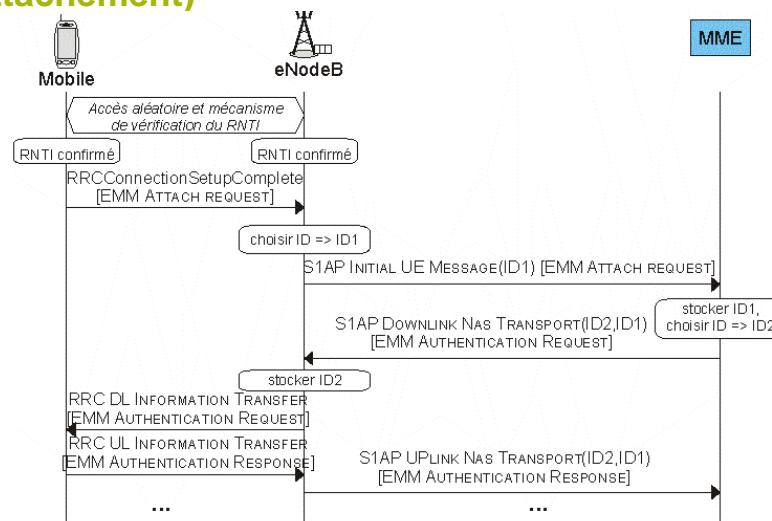


Vidéo 6 : Etablissement d'une connexion S1-AP



Comment une connexion S1-AP est-elle établie ?

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



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)



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 ?

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.

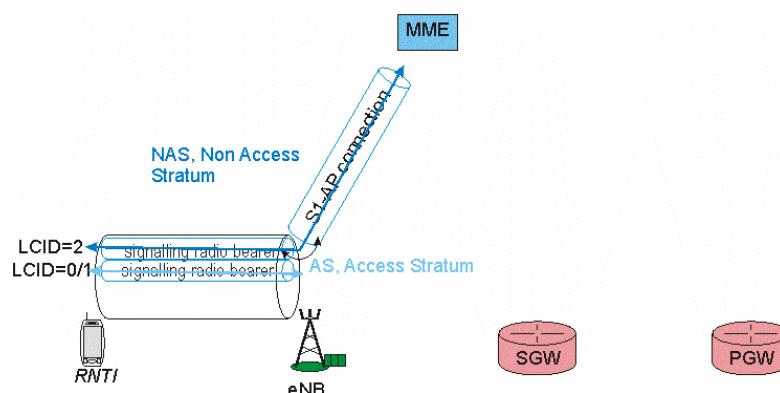
■ Dialogue entre UE et MME

- 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

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



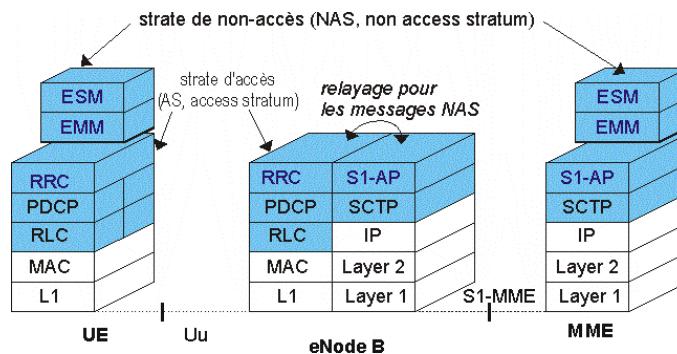
■ Les messages NAS sont échangés entre le terminal et le MME

- 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

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



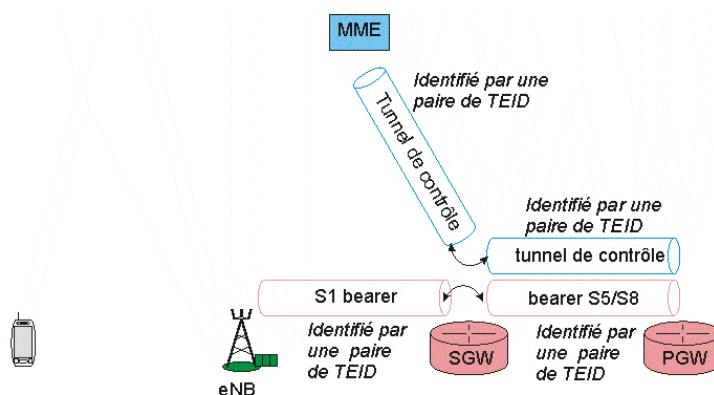
■ Protocole de transport SCTP, Stream Control Transmission Protocol

- 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

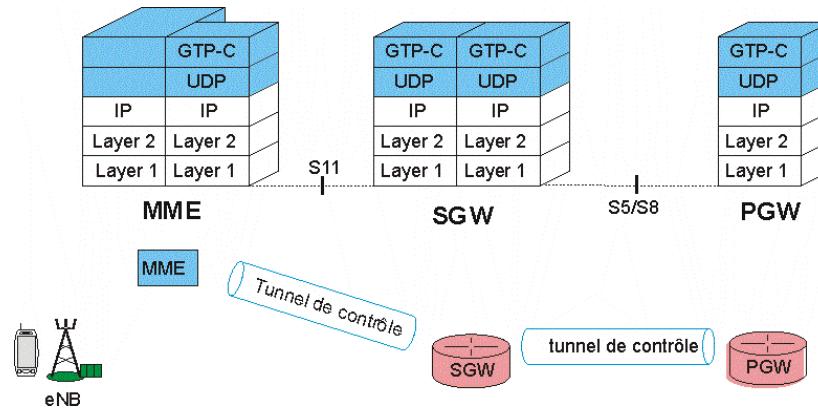
Tunnel de contrôle et bearers (tunnels de données)



■ 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)

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

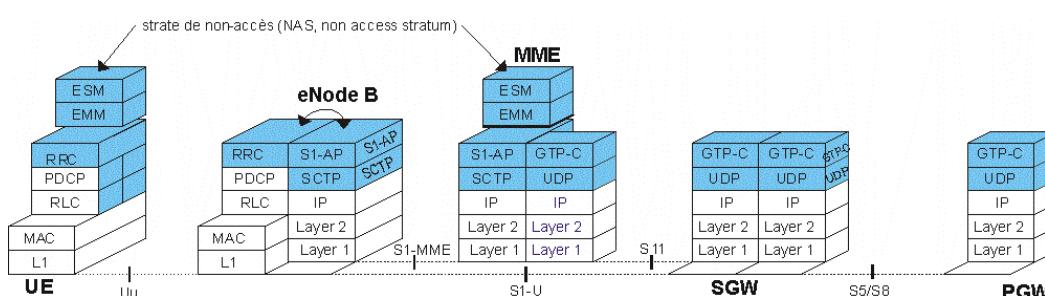


GTP Control = GTP-C

- 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

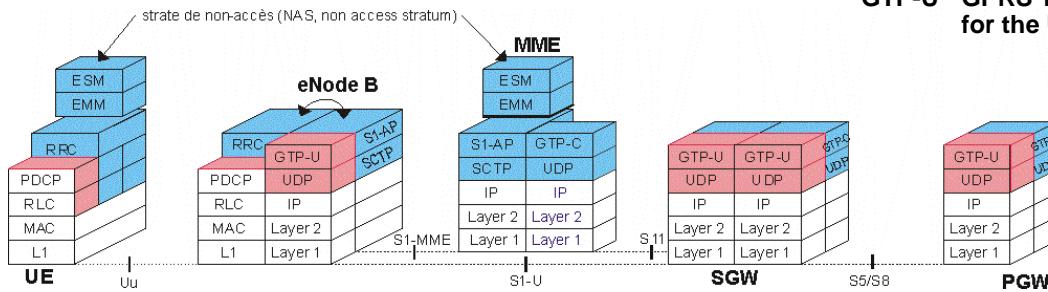


ESM Evolved Session Management
EMM Evolved Mobility Management
RRC Radio Resource Control
PDCP Packet Data Convergence Protocol

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



Vision d'ensemble des piles protocolaires



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)

1

Institut Mines-Télécom

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



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

2

Institut Mines-Télécom

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



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

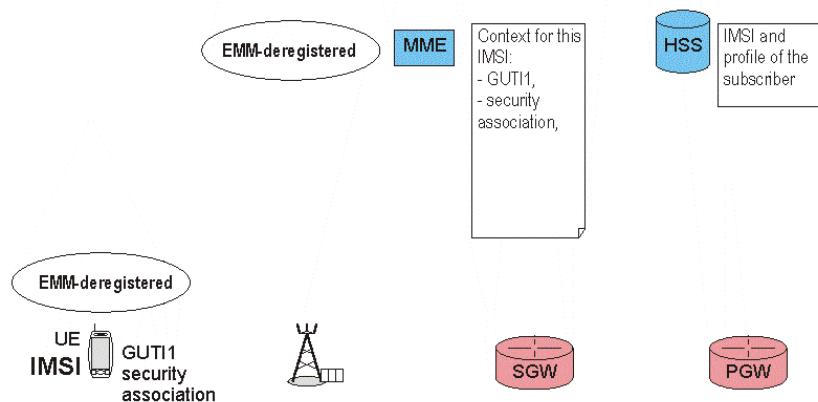
■ Quelle que soit l'activité du terminal, il y a un bearer établi

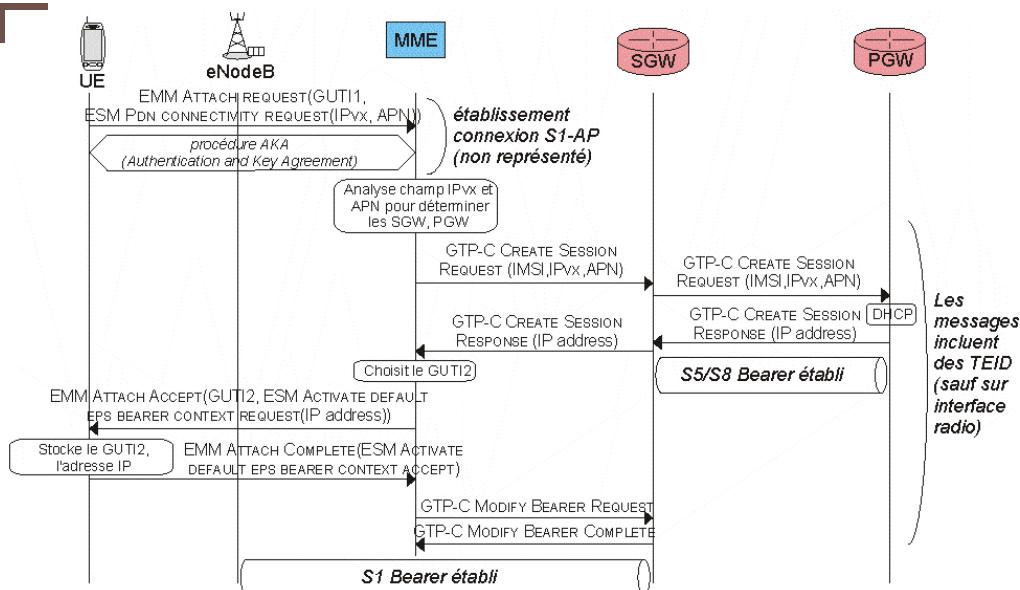
- Bearer par défaut

■ Procédure EPS Connectivity Request

- Message inclus dans le message d'attachement
- Attachement et établissement de la connectivité réalisés simultanément

Etat initial (UE mis sous tension, GUTI1 stocké dans la carte SIM)





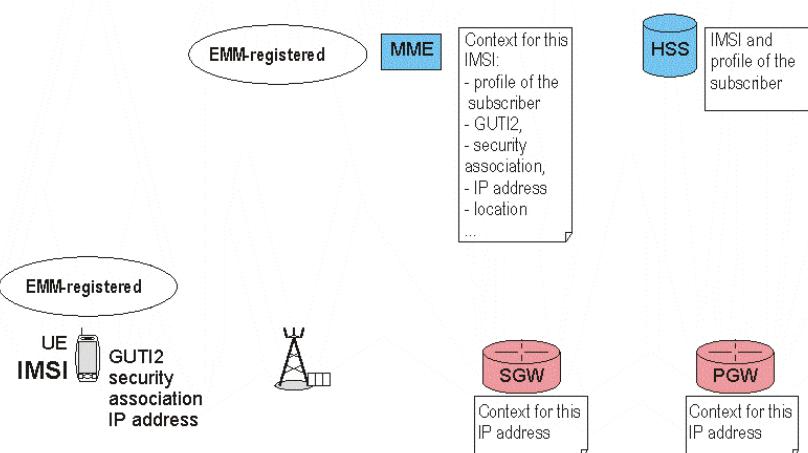
5

Institut Mines-Télécom

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



Contextes stockés dans les différents équipements (vue simplifiée)



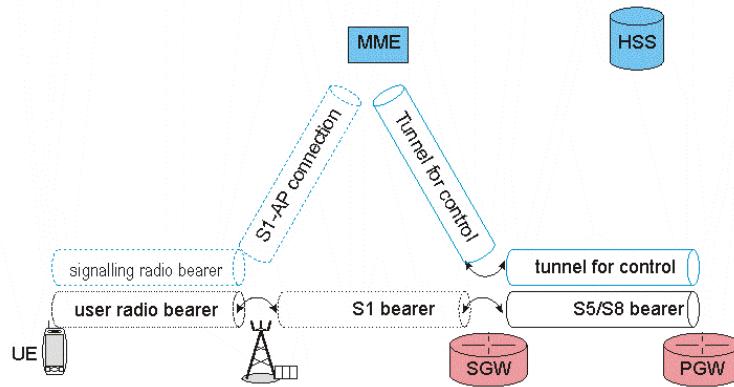
6

Institut Mines-Télécom

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



Tunnels et connexions établis



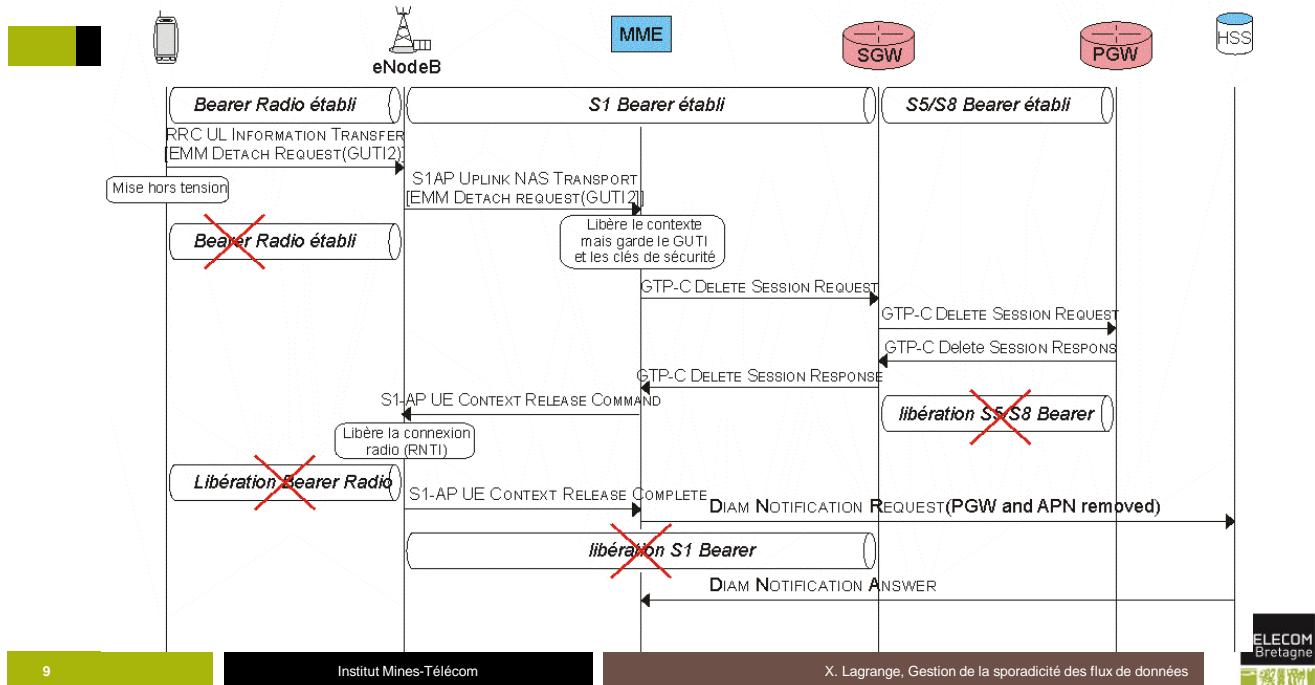
Procédure de détachement

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 (acquittement de niveau MAC)

Libération de toutes les connexions et les tunnels

Le MME garde le GUTI et les clés de sécurité



9

Institut Mines-Télécom

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



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

10

Institut Mines-Télécom

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



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)

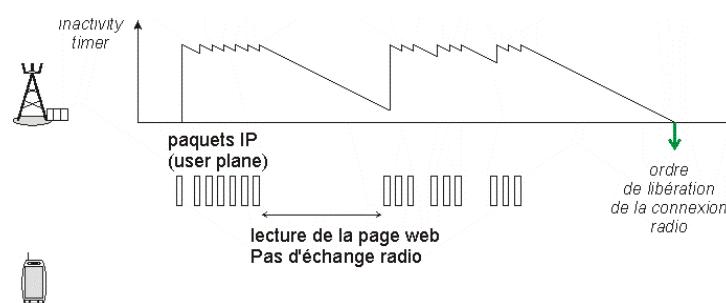
■ En cas d'utilisation du terminal (transmission ou réception de données par l'UE)

- 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

La temporisation d'inactivité radio



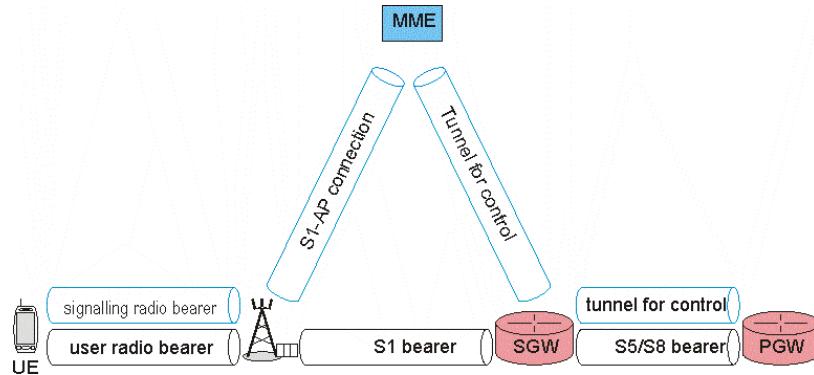
■ Temporisation (dans l'eNodeB) lancée à la fin d'un échange

- RRC inactivity timer

■ À échéance de la temporisation

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

Etat des tunnels et connexions en cas d'activité



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

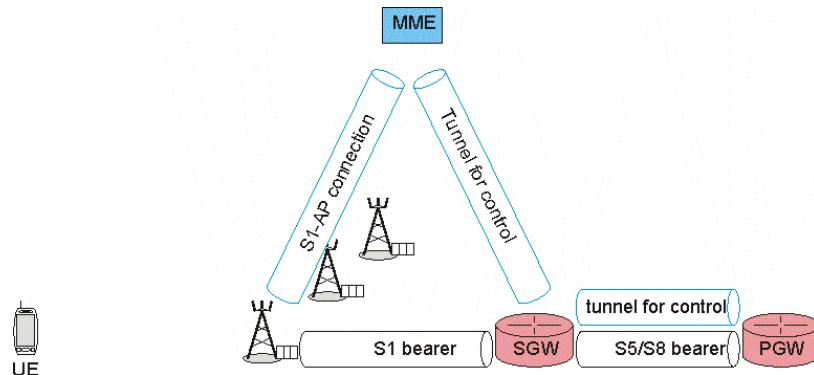
13

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)

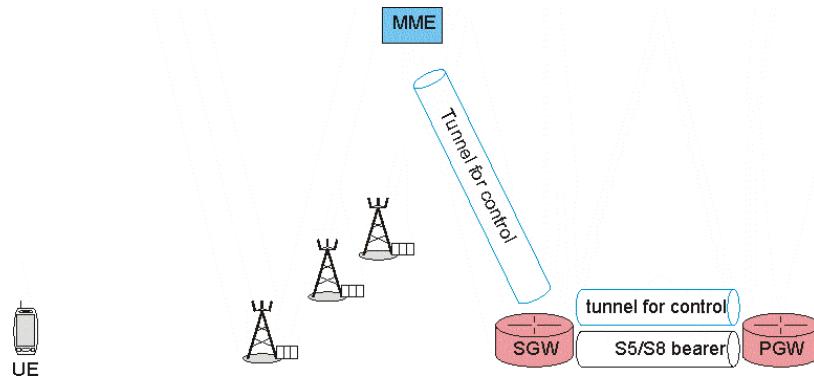
14

Institut Mines-Télécom

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



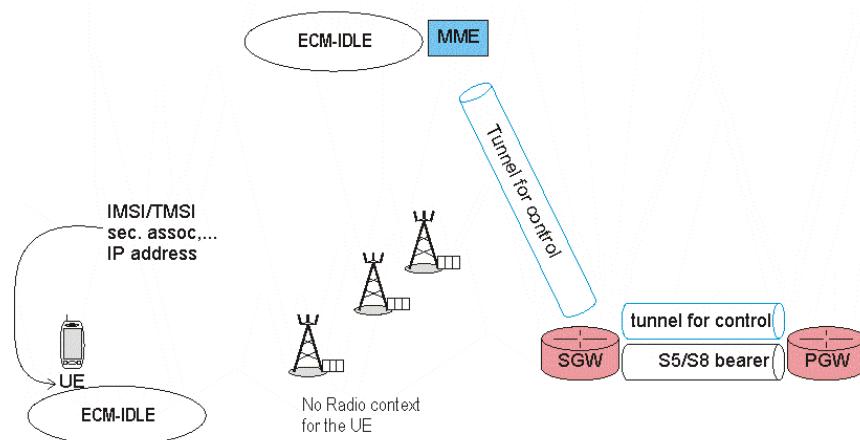
Libération de la connexion radio et des connexions S1



En même temps que la connexion radio est libérée

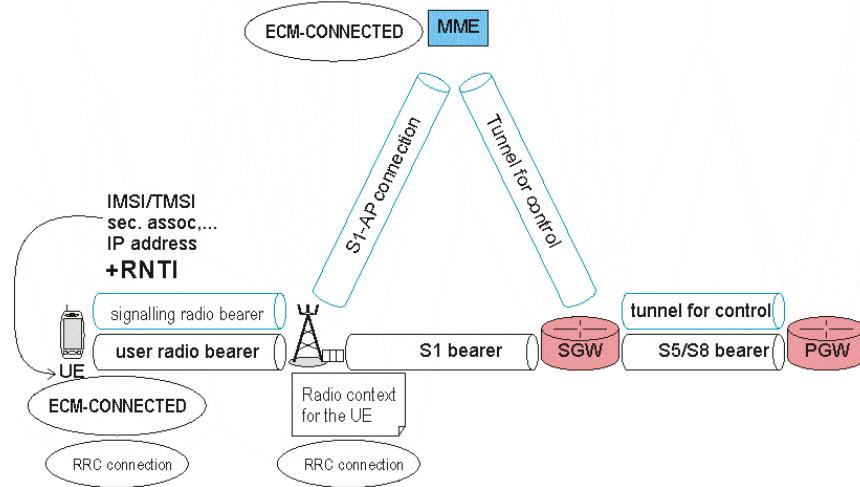
- Le tunnel pour les données entre l'eNodeB et le SGW est détruit (S1-U tunnel)
- La connexion S1-AP est détruite

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

Définition de l'état ECM-Connected



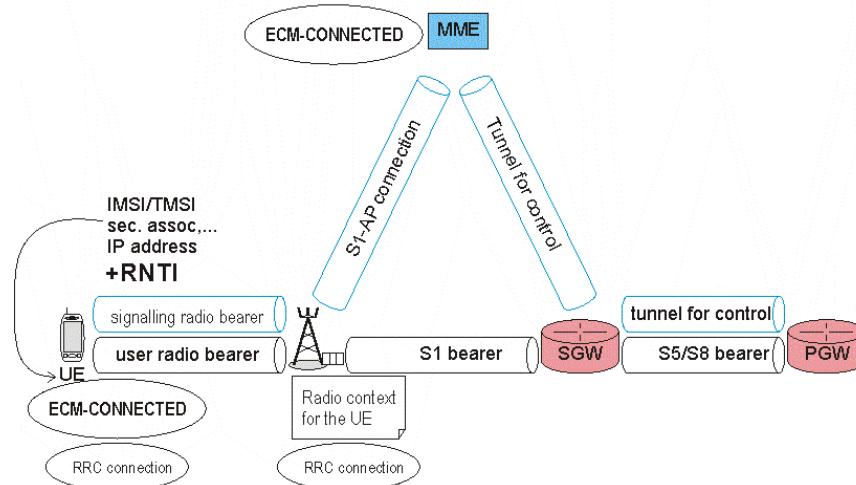
■ Dans l'état ECM_Connected, la connexion radio et tous les tunnels et connexions sont établis



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

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

Etat initial



Longue période d'inactivité

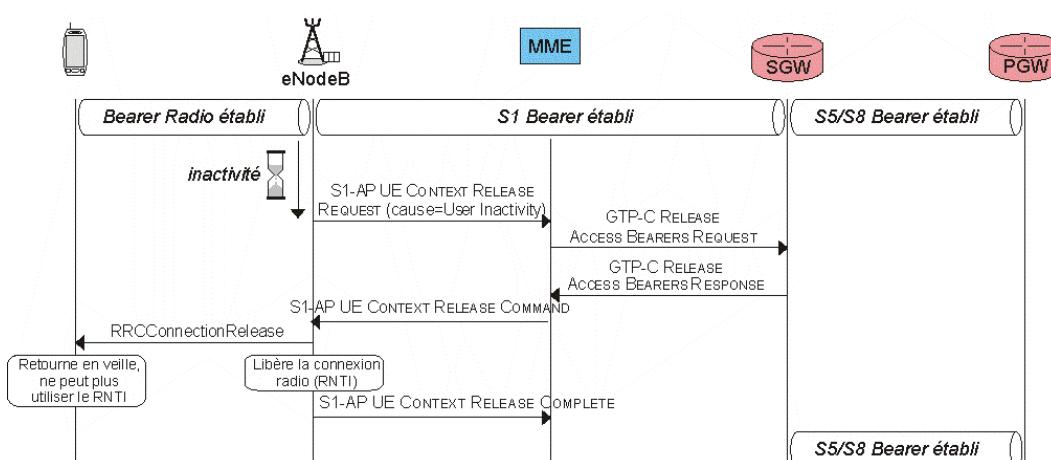
19

Institut Mines-Télécom

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



Procédure de libération d'une connexion radio sur inactivité



A la fin de la procédure, le terminal et le MME (pour ce terminal) sont dans l'état ECM_Idle (et EMM_Registered)

20

Institut Mines-Télécom

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



Conclusion sur les états ECM et EMM

■ EMM-deregistered (nécessairement ECM_idle)

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

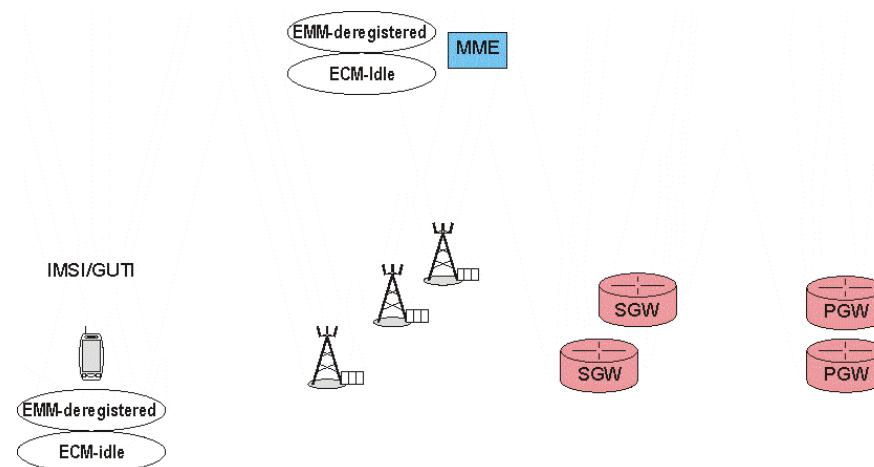
■ EMM-registered et ECM-connected

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

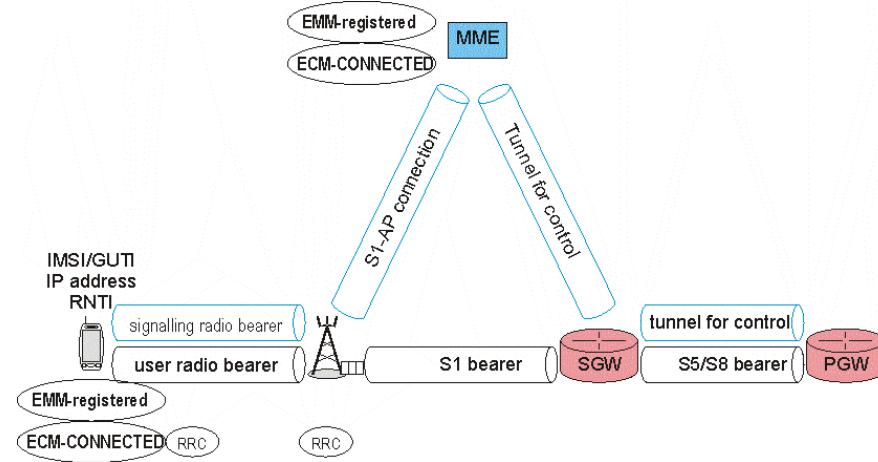
■ EMM-registered et ECM-idle

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

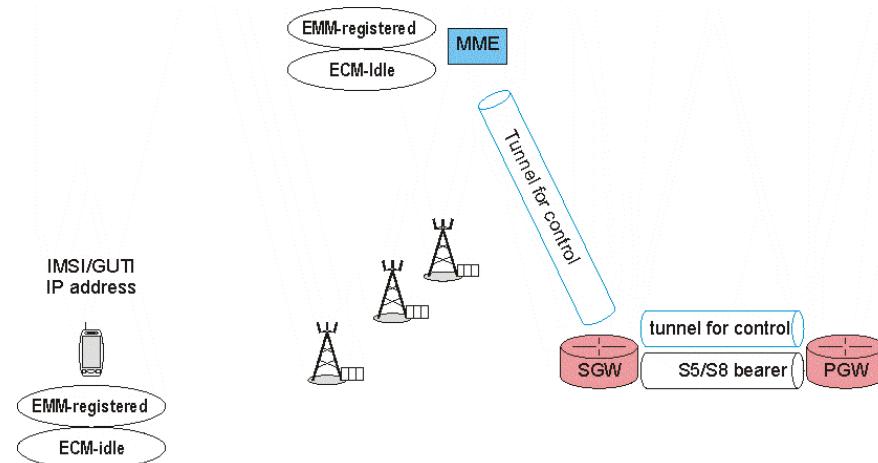
Evolution des états ECM-Idle et EMM-Connected



Evolution des états ECM-Idle et ECM-Connected



Evolution des états ECM-Idle et ECM-Connected





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

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

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

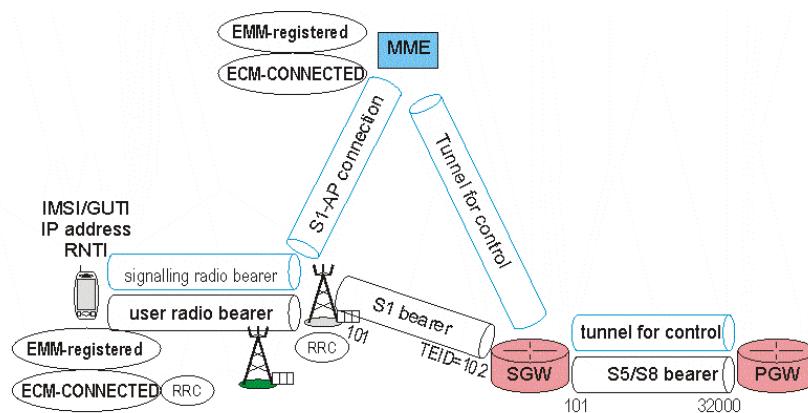
25

Institut Mines-Télécom

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



Hypothèses du scénario considéré



■ 1) UE attaché et actif sur une cellule

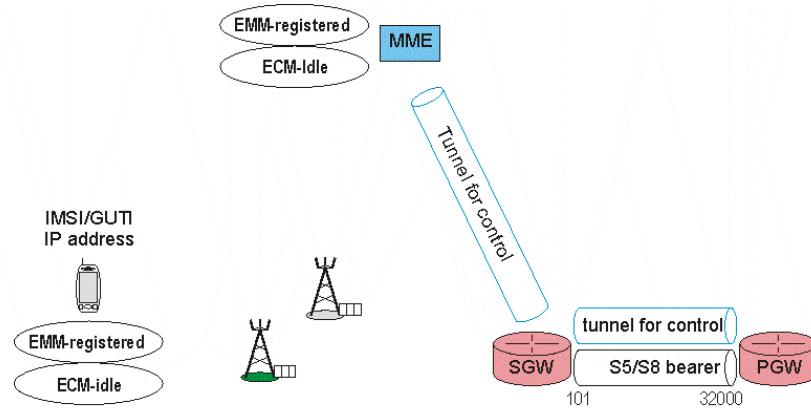
26

Institut Mines-Télécom

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



Hypothèses du scénario considéré



■ 2) Inactivité pendant quelques minutes

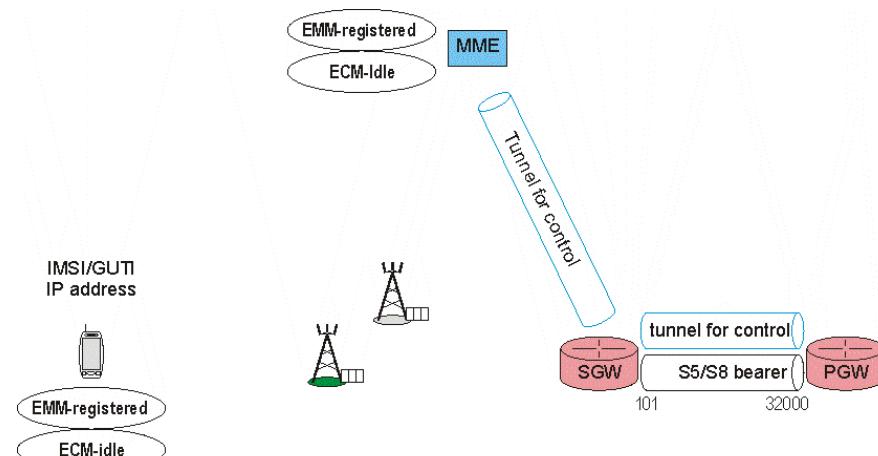
27

Institut Mines-Télécom

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



Hypothèses du scénario considéré



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

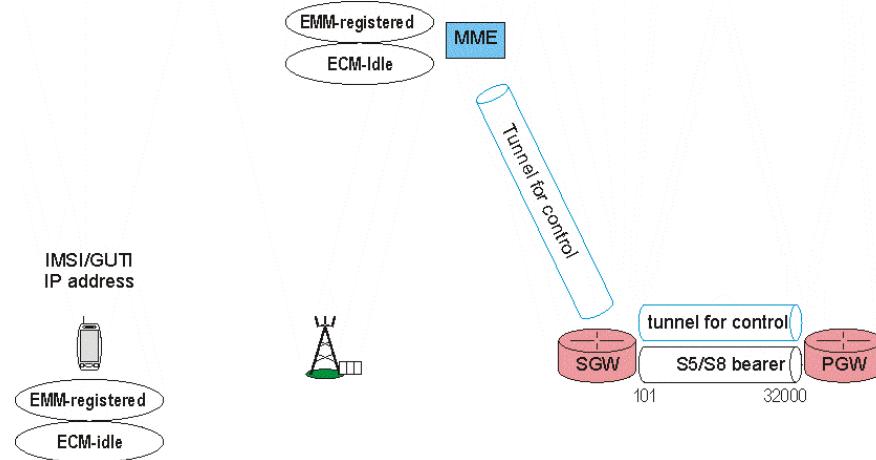
28

Institut Mines-Télécom

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



Hypothèses du scénario considéré



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

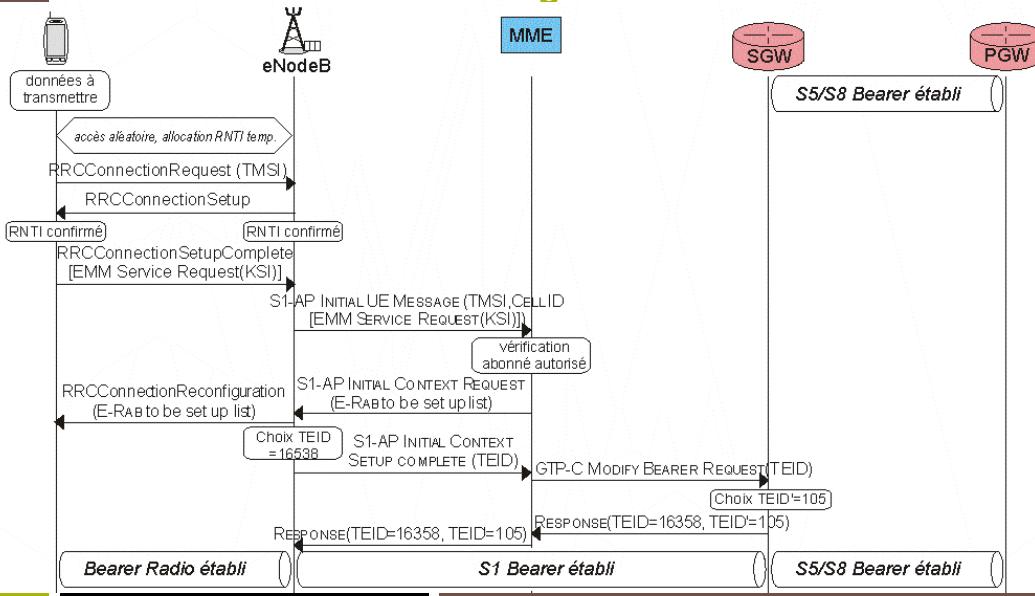
29

Institut Mines-Télécom

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



Etablissement du service : gestion naïve du tunnel S1



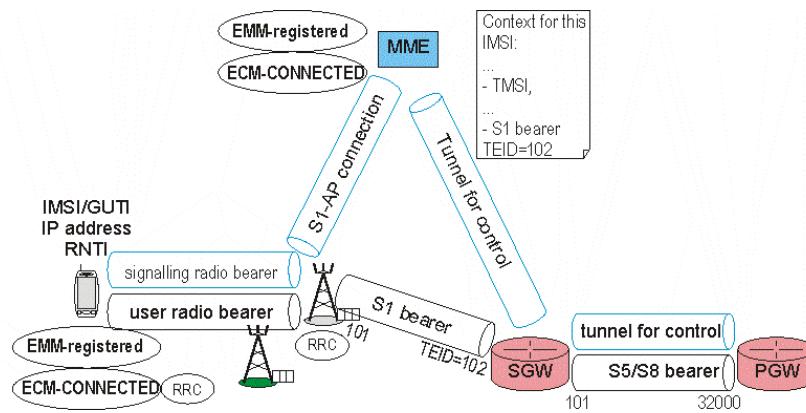
30

Institut Mines-Télécom

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



Utilité d'une libération partielle du tunnel S1



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

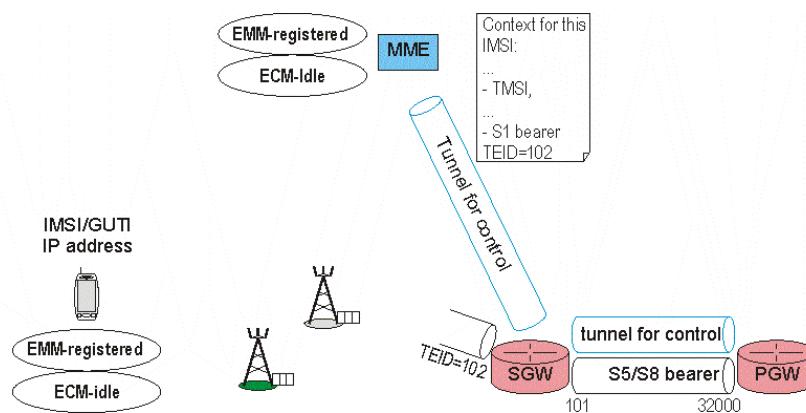
31

Institut Mines-Télécom

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



Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



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

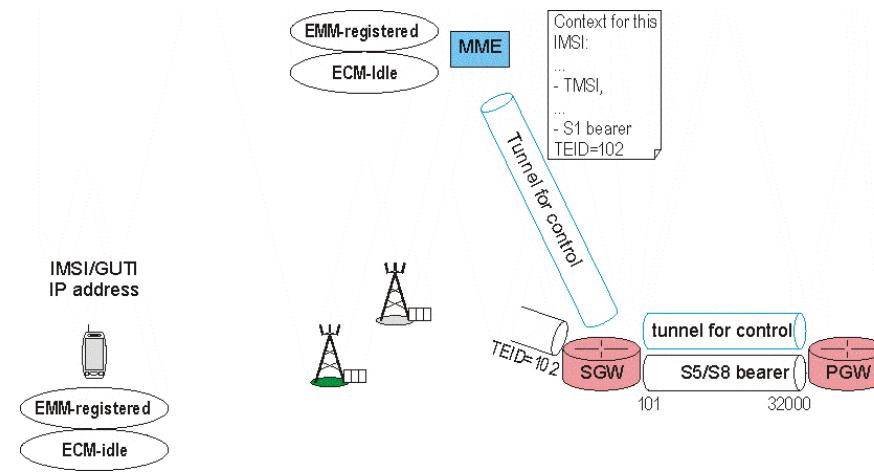
32

Institut Mines-Télécom

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



Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



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

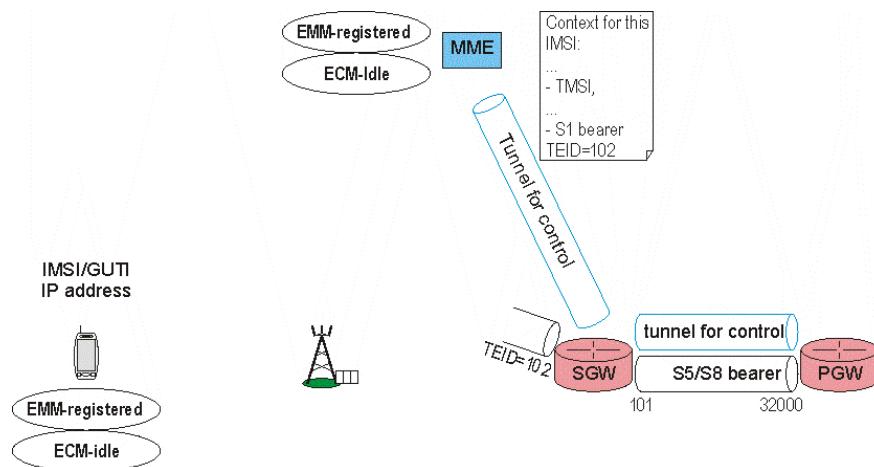
33

Institut Mines-Télécom

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



Utilité d'un libération partielle du tunnel S1



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

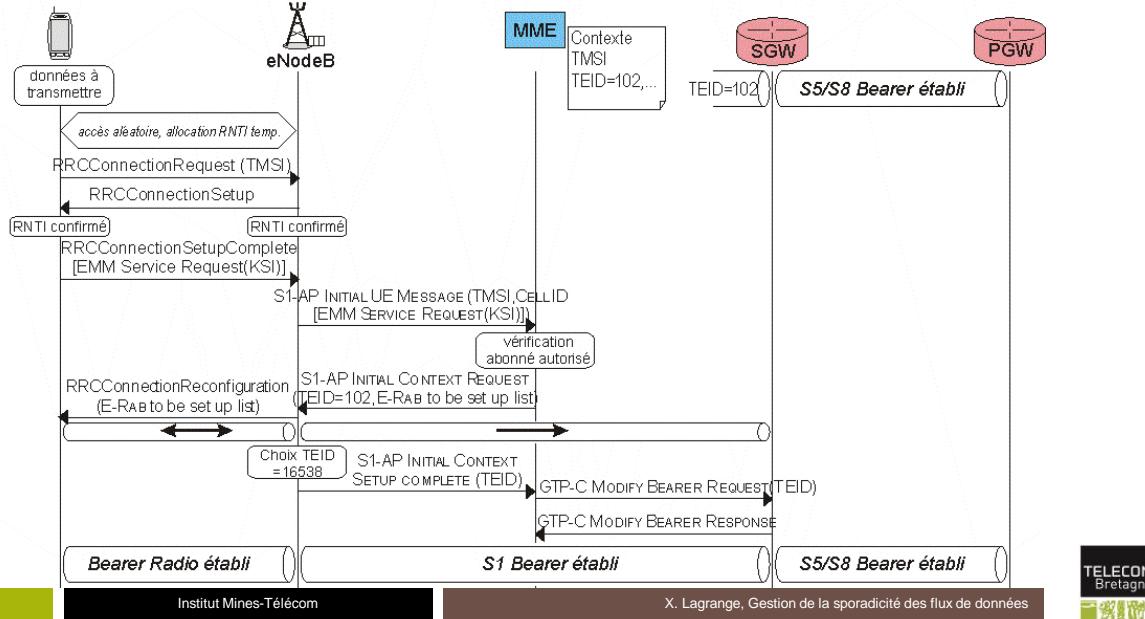
34

Institut Mines-Télécom

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



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



35

Institut Mines-Télécom

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



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

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

36

Institut Mines-Télécom

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



Les procédures de demande de service

■ Etat initial du mobile

- EMM registered et ECM-IDLE

■ UE Triggered Service Request

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

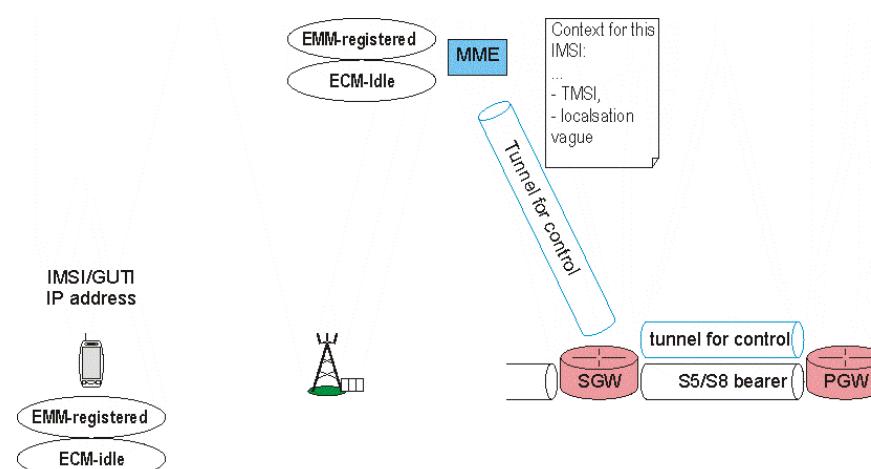
■ Network Triggered service Request

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

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

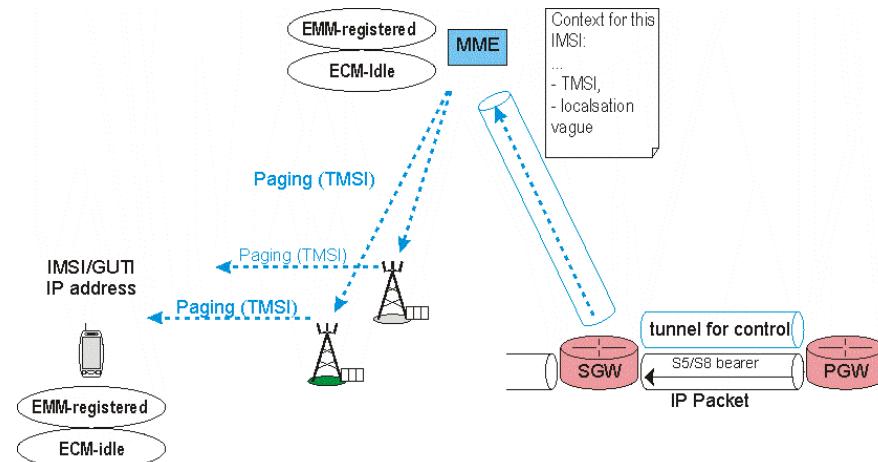
- Etats EMM-registered et ECM-CONNECTED

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

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



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

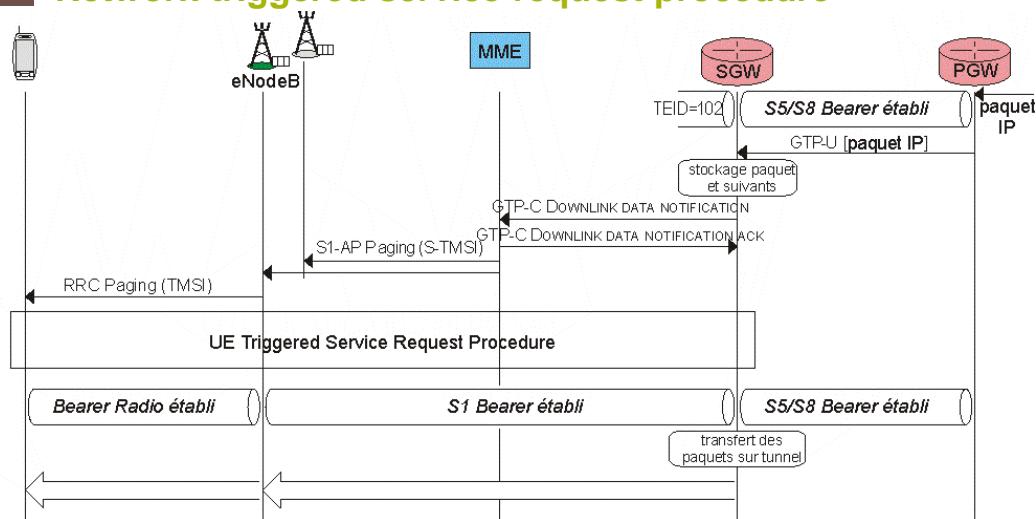
39

Institut Mines-Télécom

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



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



40

Institut Mines-Télécom

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



Vidéo 5 : Principes des bearers dédiés



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

41

Institut Mines-Télécom

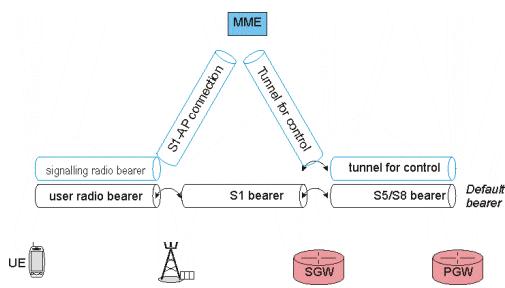
X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Limite du bearer par défaut

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

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



■ Nécessité de garantie de qualité de service

- Téléphonie sur IP (principalement)
- Applications critiques

42

Institut Mines-Télécom

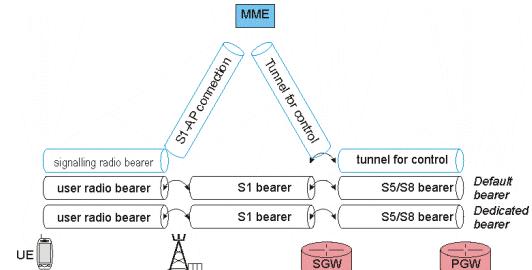
X. Lagrange, Gestion de la sporadicité des flux de données



Présentation générale des bearers dédiés

■ Possibilité d'établir un ou plusieurs bearers supplémentaires

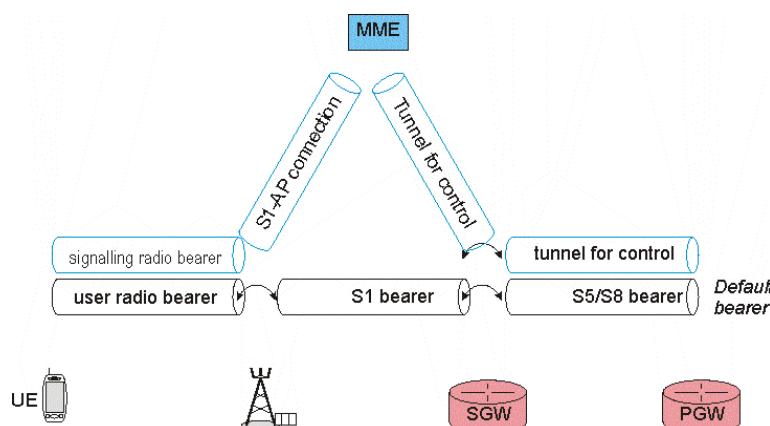
- Bearer dédié ou *Dedicated bearer*
 - Etablissement de tunnels supplémentaires
- Etablissement déclenchée par le réseau (le PGW)
- Demande faite par l'UE avec signalisation au niveau applicatif
 - Signalisation SIP transmise sur le bearer par défaut



■ Différents cas possibles

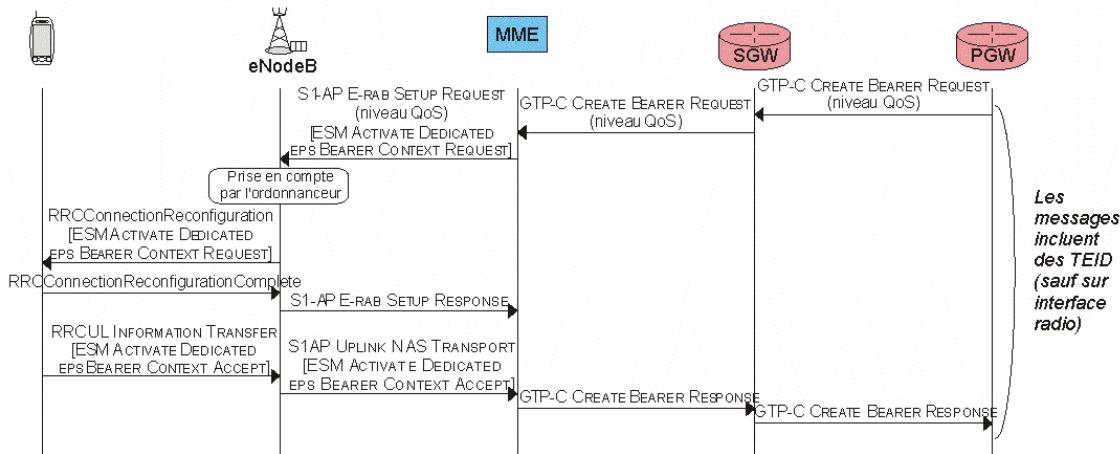
- Bearer dédié pour même contexte que le contexte du bearer par défaut (même APN et même adresse IP)
 - Cas traité dans le cours
- Etablissement d'un nouveau contexte (e.g. PGW différent)
 - Non vu dans le cours

Etat initial

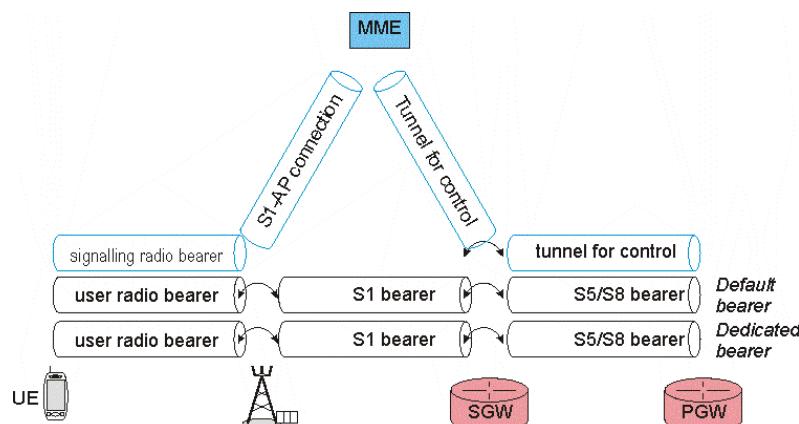


■ UE en état EMM-registered et ECM-connected

Procédure d'activation de bearer dédié

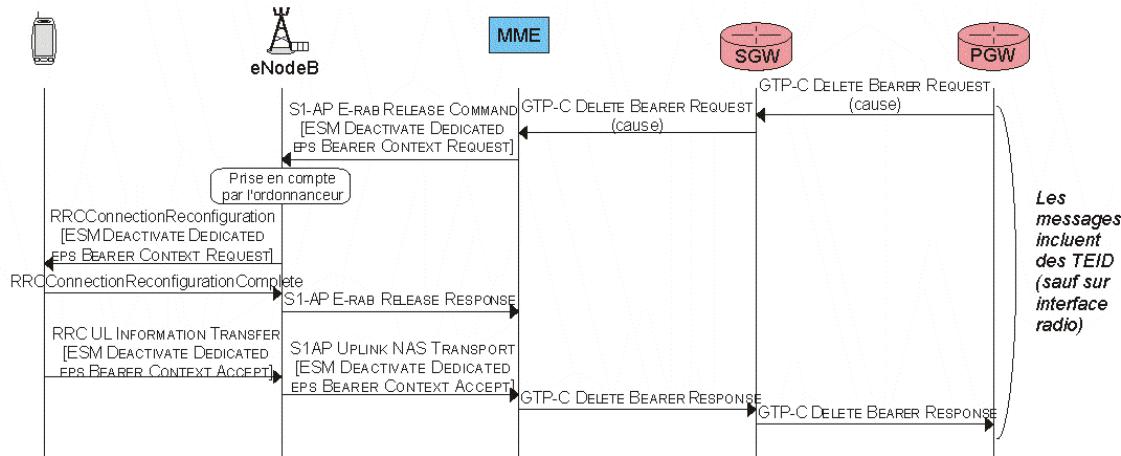


Bearers après l'activation d'un bearer dédié

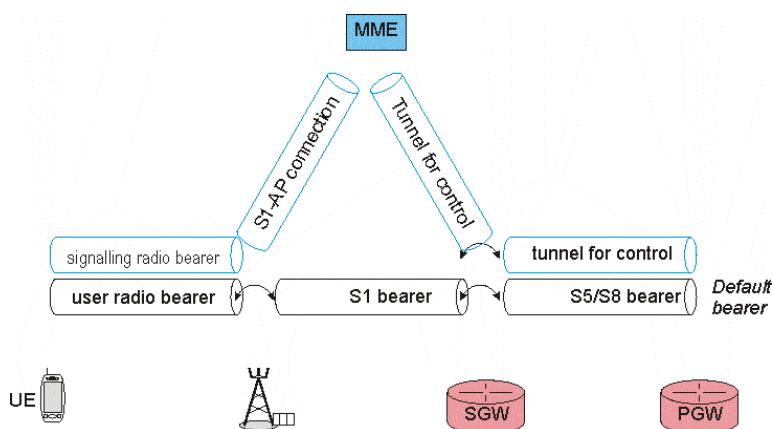


- Différents TEID pour les différents bearers d'un même usager

Désactivation d'un bearer dédié



Etat après la désactivation du bearer dédié



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

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

2

Institut Mines-Télécom

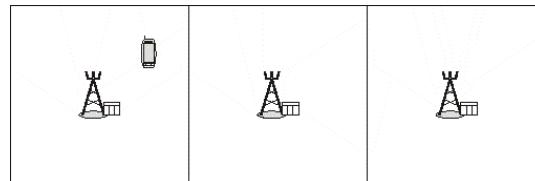
X. Lagrange, Gestion de la mobilité dans les réseaux 4G



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

Rappel sur le concept cellulaire

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



- Le terminal peut se trouver dans n'importe quelle cellule

- Comment le joindre ? Comment établir une liaison là où il se trouve ?

3

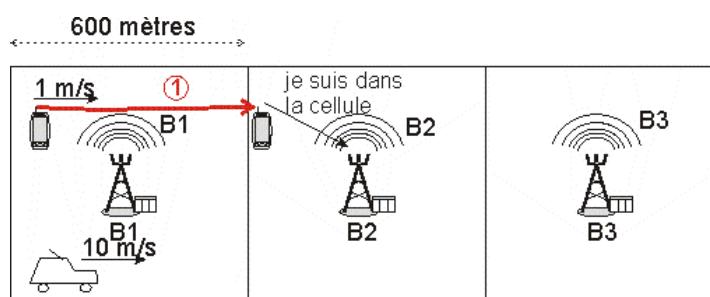
Institut Mines-Télécom

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



Nécessité d'une voie balise

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



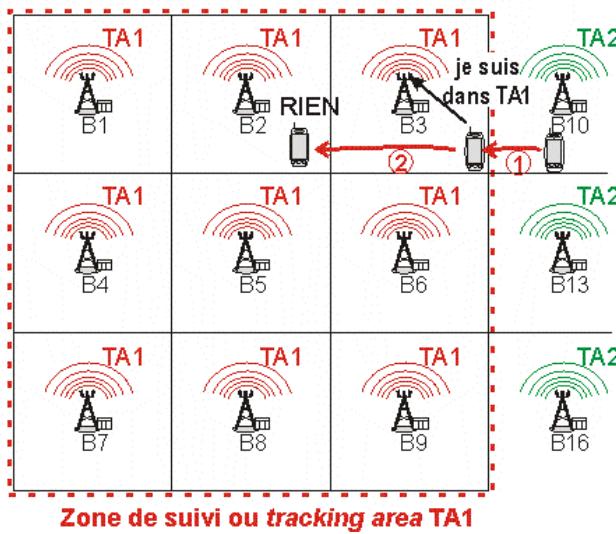
4

Institut Mines-Télécom

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



Concept de zone de suivi ou tracking area



- Identité d'une zone de suivi ou TAI,
Tracking Area Identity

- MCC, Code Pays
- MNC, Code Opérateur
- TAC, Tracking Area Code

- *L'identité TAI de la zone de suivi est régulièrement diffusée par chaque eNodeB*

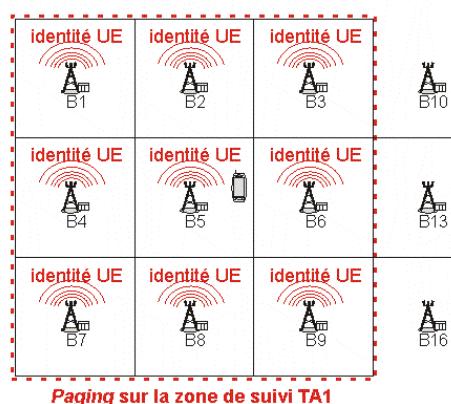
5

Institut Mines-Télécom

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



Principe du paging



- Le **paging** consiste à diffuser l'identité (TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity) sur toutes les cellules de la zone de suivi (TA)

- Raison : le réseau ne sait pas dans quelle cellule de la zone de suivi le terminal se trouve

6

Institut Mines-Télécom

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





Conclusion

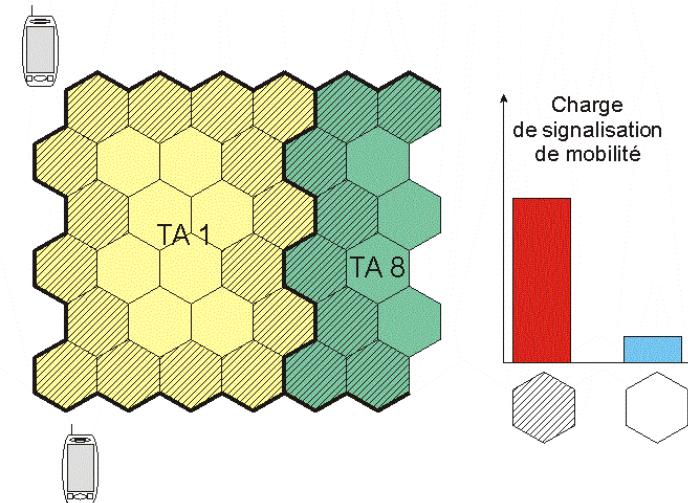
- **Une zone de suivi ou tracking area regroupe plusieurs cellules**
- **Plus la zone est grande**
 - Plus la fréquence avec laquelle un terminal fait une mise à jour de localisation est petite
 - Plus la charge de messages de paging est grande
- **En première approximation, une zone de suivi à N cellules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



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 ?

Charge de signalisation sur les cellules de bordures



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

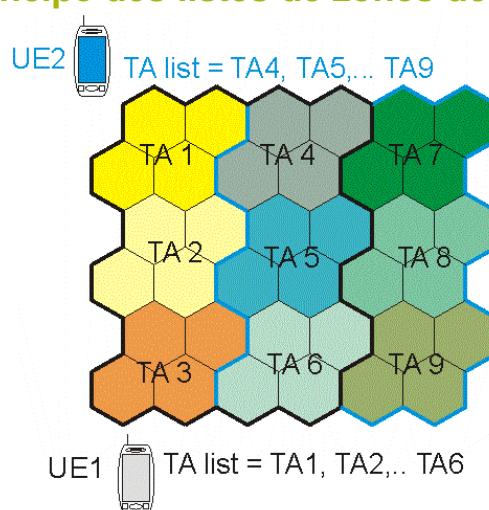
9

Institut Mines-Télécom

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



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



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

10

Institut Mines-Télécom

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





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

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

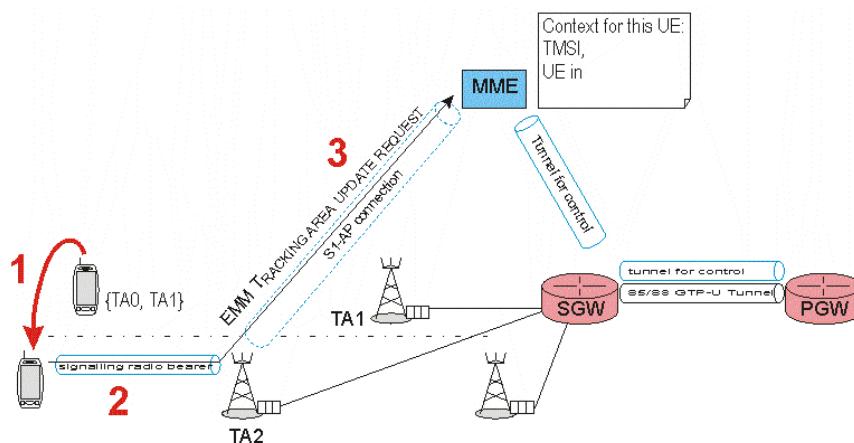
11

Institut Mines-Télécom

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



Exemple de mise à jour de localisation



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

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

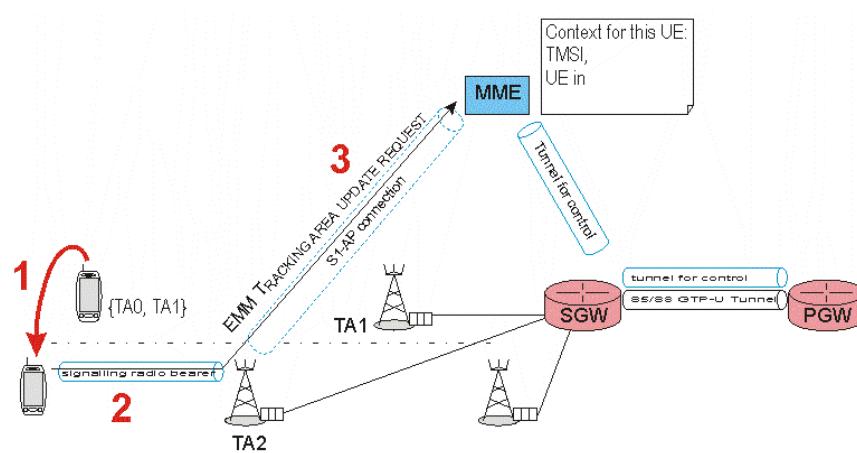
12

Institut Mines-Télécom

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



Exemple de mise à jour de localisation



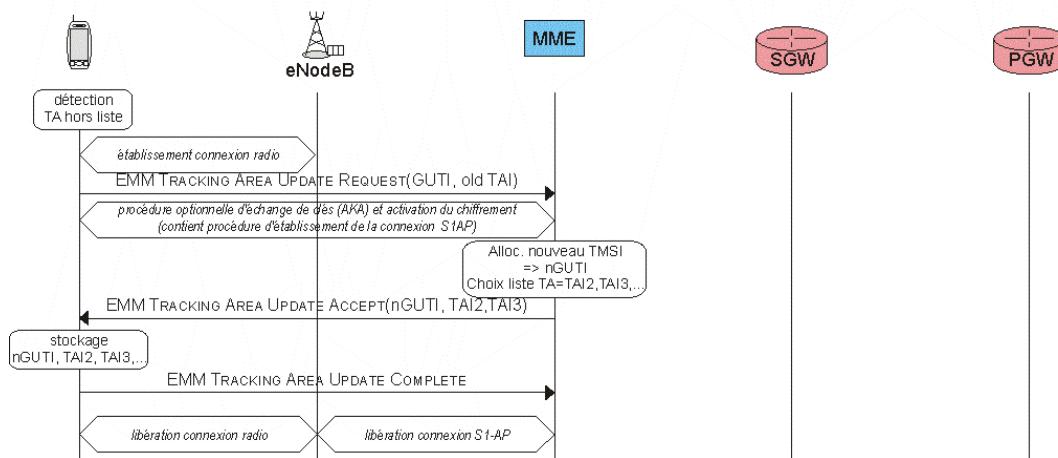
13

Institut Mines-Télécom

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



Chronogramme de la mise à jour de localisation



14

Institut Mines-Télécom

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

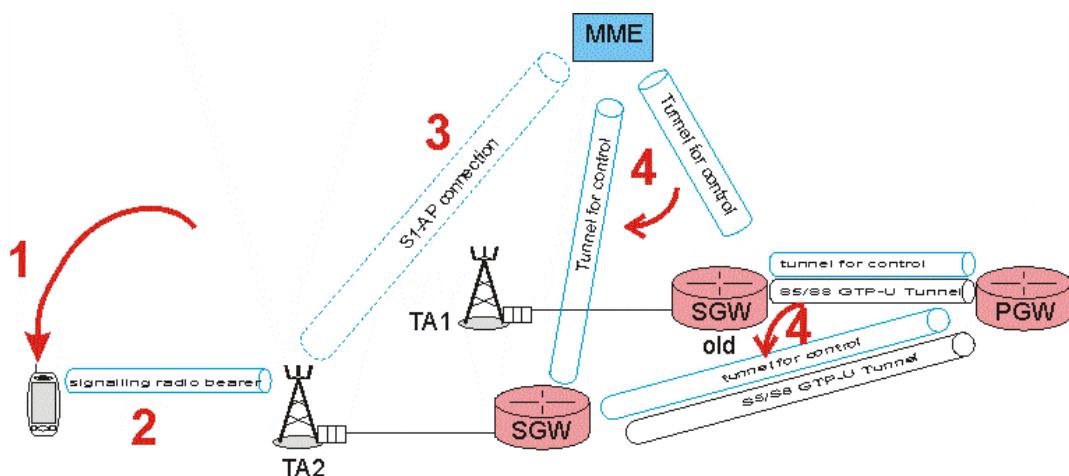




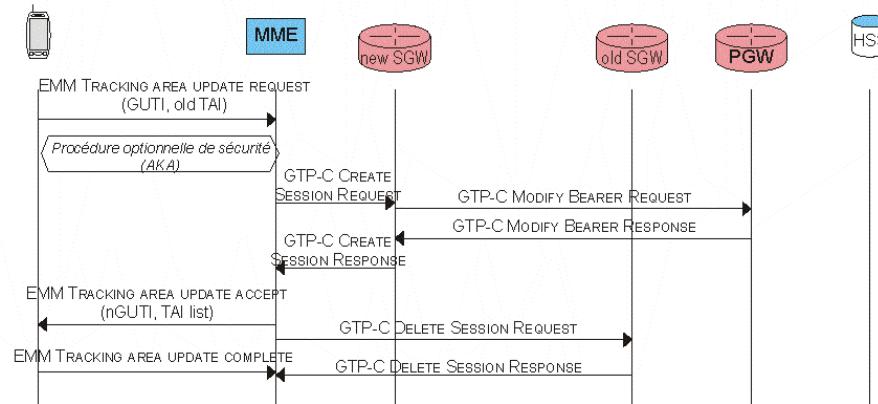
Vidéo 4 : Gestion de la mobilité d'un terminal en veille avec changement de SGW et MME

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

Exemple de mise à jour de localisation avec changement de SGW



Chronogramme du mise à jour avec changement de SGW



17

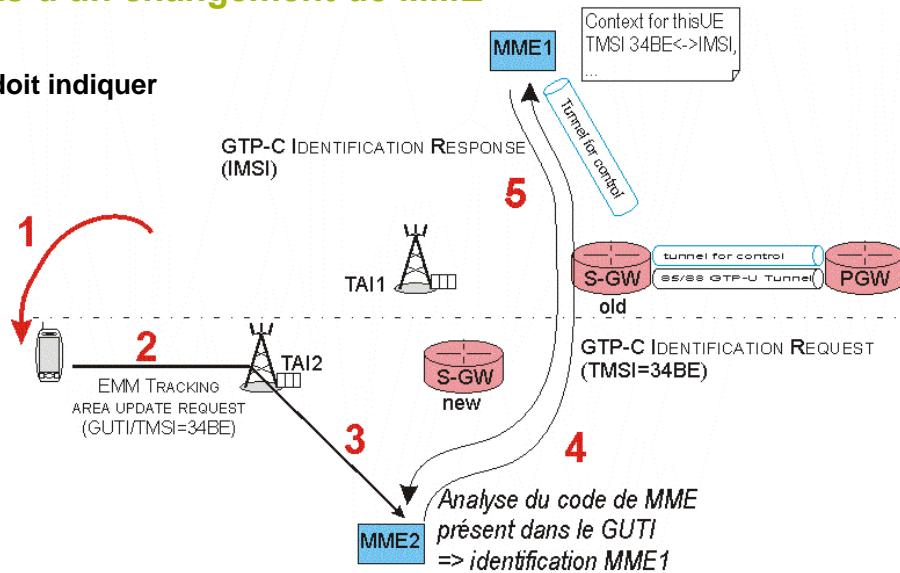
Institut Mines-Télécom

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



Cas d'un changement de MME

- Le terminal doit indiquer son GUTI



18

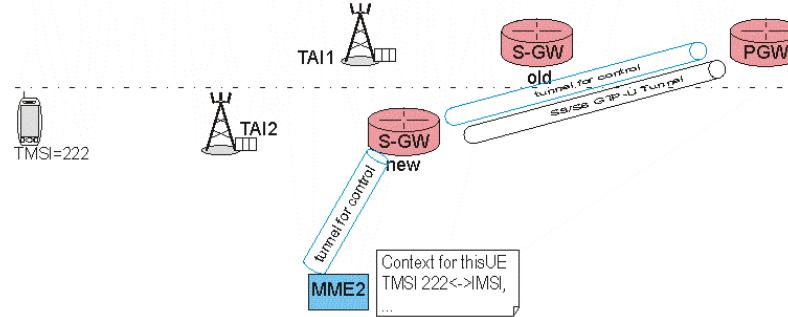
Institut Mines-Télécom

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



Cas d'un changement de MME

- Tunnels à l'issue de la procédure



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



Vidéo 5 : Présentation générale du handover

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

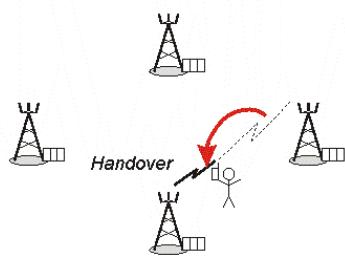
21

Institut Mines-Télécom

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



Nécessité et complexité du handover



- **Un utilisateur peut avoir une session active tout en se déplaçant**
 - Transmission du terminal vers l'eNodeB et de l'eNodeB vers le terminal
- **Plus l'utilisateur s'éloigne de l'eNodeB, plus le signal radio devient faible**
 - Baisse du débit, risque de perte de la connexion
 - Il faut transférer la connexion radio sur un autre eNodeB

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

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

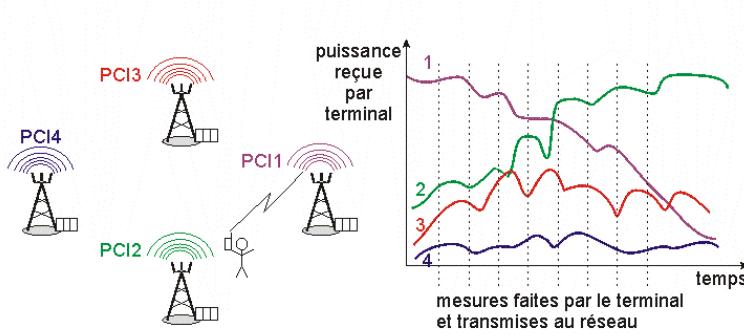
22

Institut Mines-Télécom

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



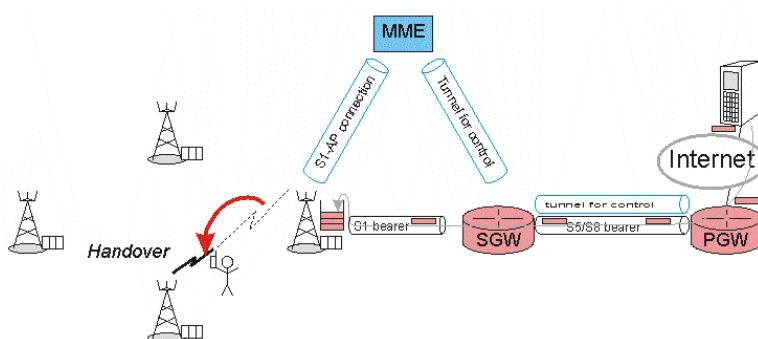
Nécessité et complexité du handover : identification de la ou des cellules cibles



- Transmission par chaque eNodeB d'un signal de référence spécifique (en lien avec une identité appelé PCI, Physical Cell Identity)
- Mesure par le terminal des niveaux de puissance reçue des (typiquement) 6 stations de base les mieux reçues

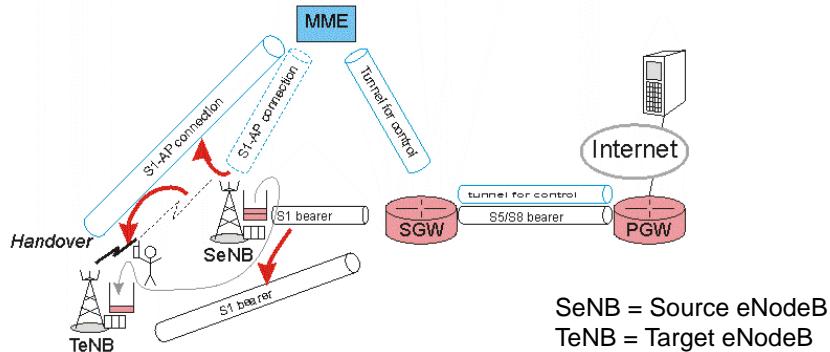
- Remontée régulière vers l'enodeB des mesures faites
 - UE-assisted Network-triggered Handover
 - Handover déclenchée par le réseau avec l'aide du terminal
- Identification par l'eNodeB de la cellule cible

Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau



- Bearer entre l'eNodeB et SGW
- Connexion S1-AP entre l'eNodeB et le MME
- Réseau à commutation de paquets
 - Buffer contenant des paquets dans les équipements 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

Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau



■ Handover, une opération complexe

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

25

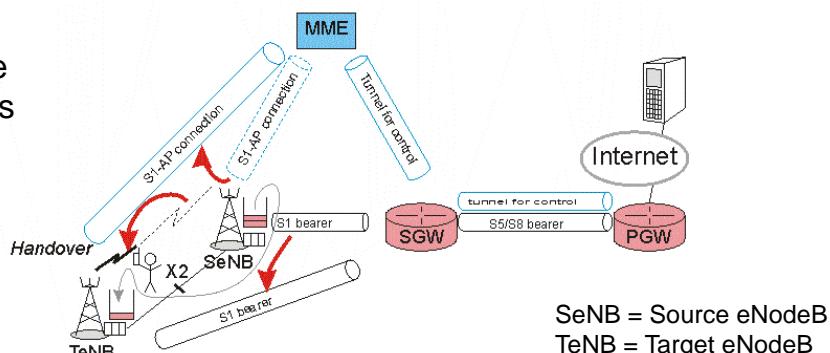
Institut Mines-Télécom

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



Nécessité et complexité du handover : actions dans le réseau

X2 = Interface entre eNodeBs



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

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

26

Institut Mines-Télécom

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





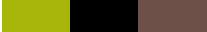
Phases du handover

■ Préalablement au handover

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

■ Handover en 3 phases

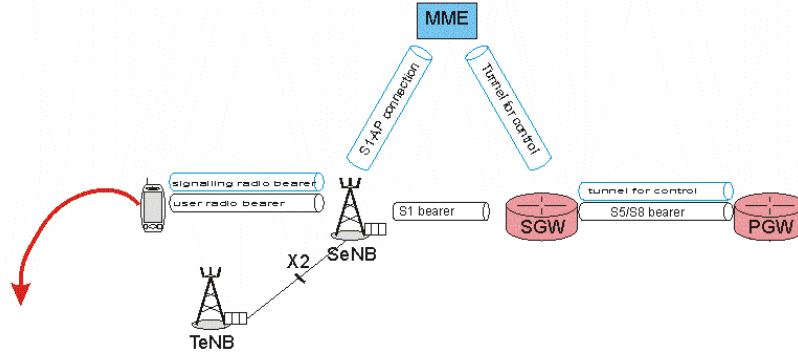
- Préparation du handover (*Handover Preparation*)
 - Réservation des ressources dans le réseau (eNodeB cible)
- Exécution du handover (*Handover Execution*)
 - Envoi de l'ordre de handover au terminal, rerouting des paquets, modification des tunnels et des connexions, établissement de la connexion radio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



Vidéo 6 : Déroulement du X2-Handover

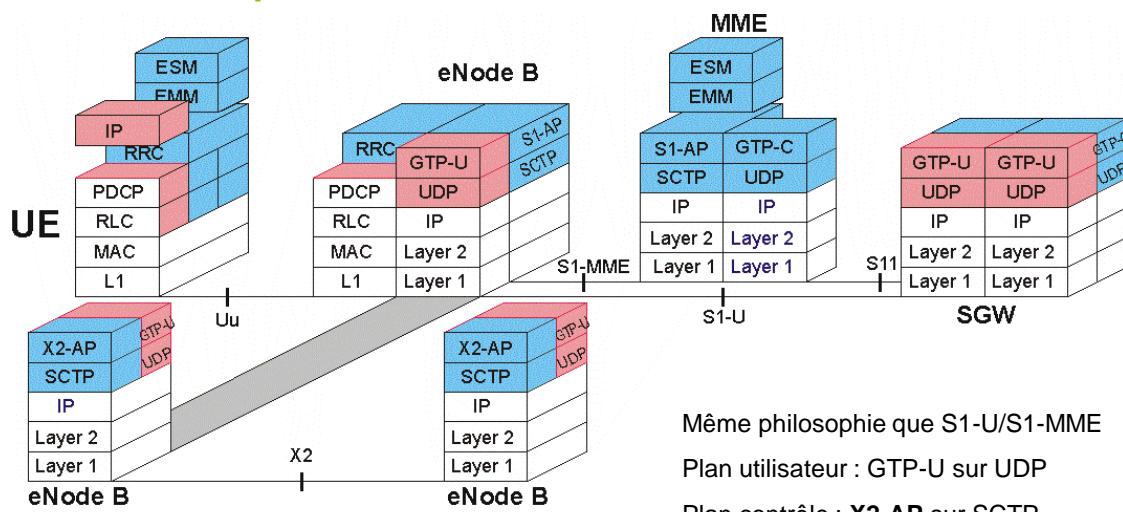
Finalement, comment marche vraiment le handover ?

Scénario du handover X2 considéré



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

Pile de protocole sur X2

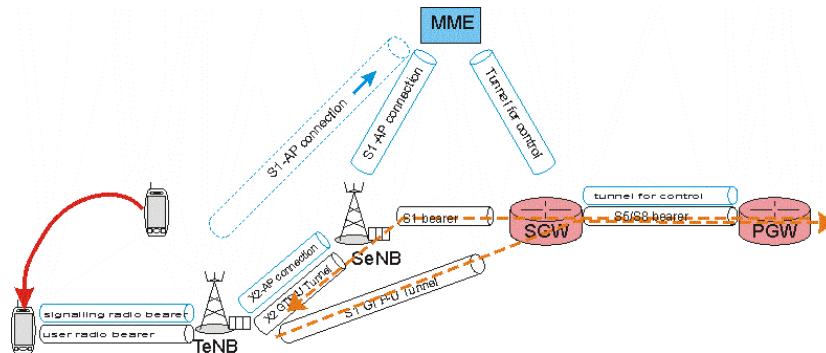


Même philosophie que S1-U/S1-MME

Plan utilisateur : GTP-U sur UDP

Plan contrôle : X2-AP sur SCTP

Handover basé sur X2



Connexion X2-AP

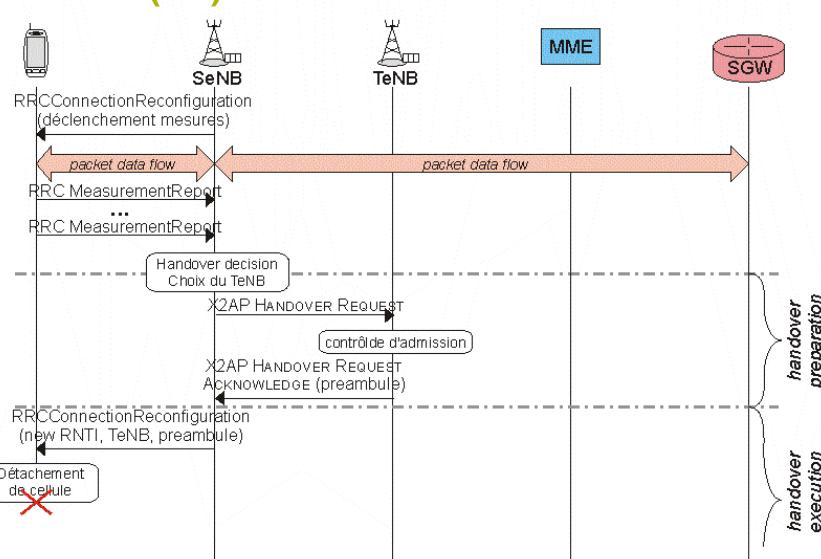
- Utilisée par le SeNB pour demander le TeNB d'accueillir le terminal

Tunnel GTP-U

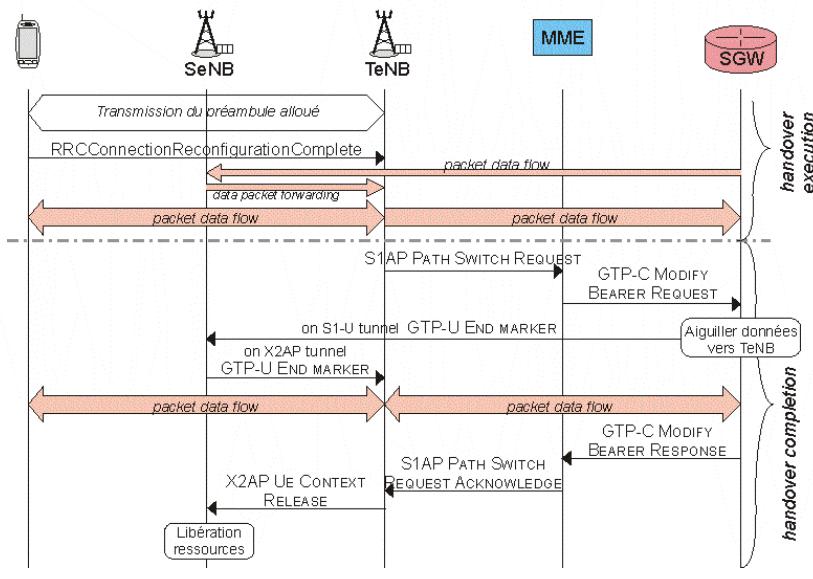
- Utilisé temporairement pour rerouter les paquets à destination du mobile

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



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



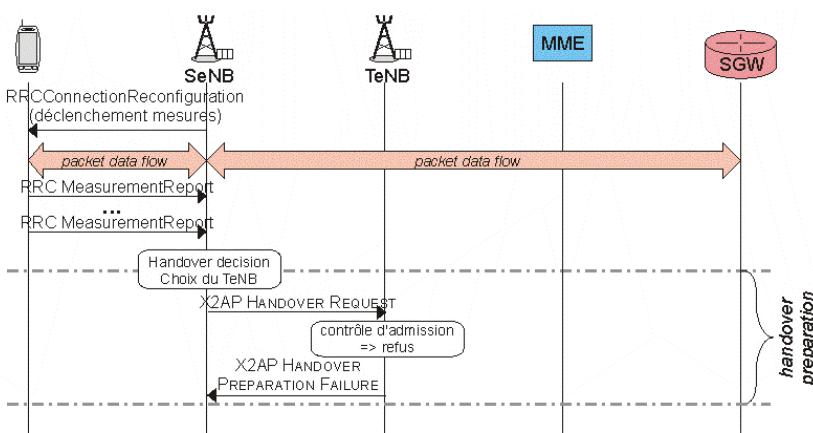
33

Institut Mines-Télécom

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



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



34

Institut Mines-Télécom

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

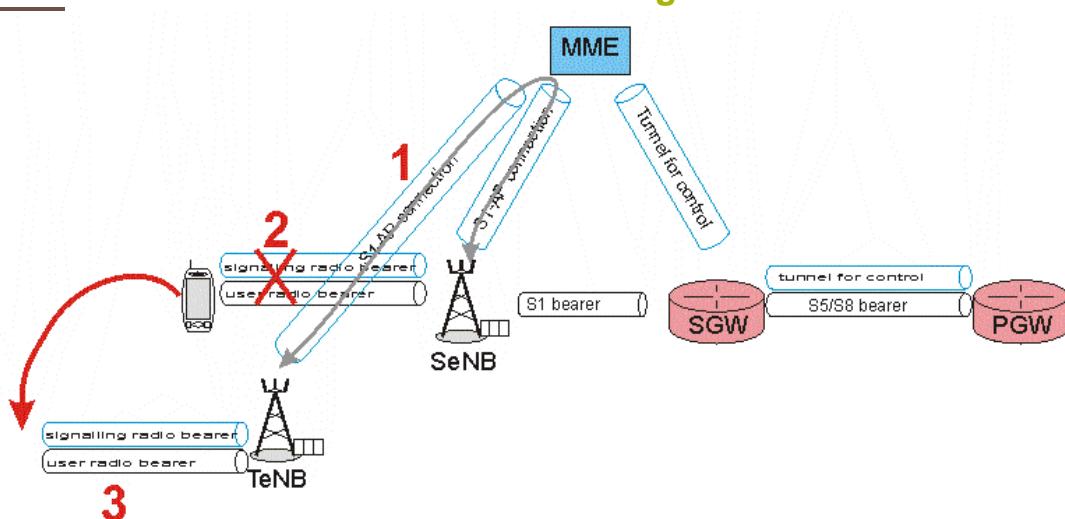


Vidéo 7 : Autres cas de handover

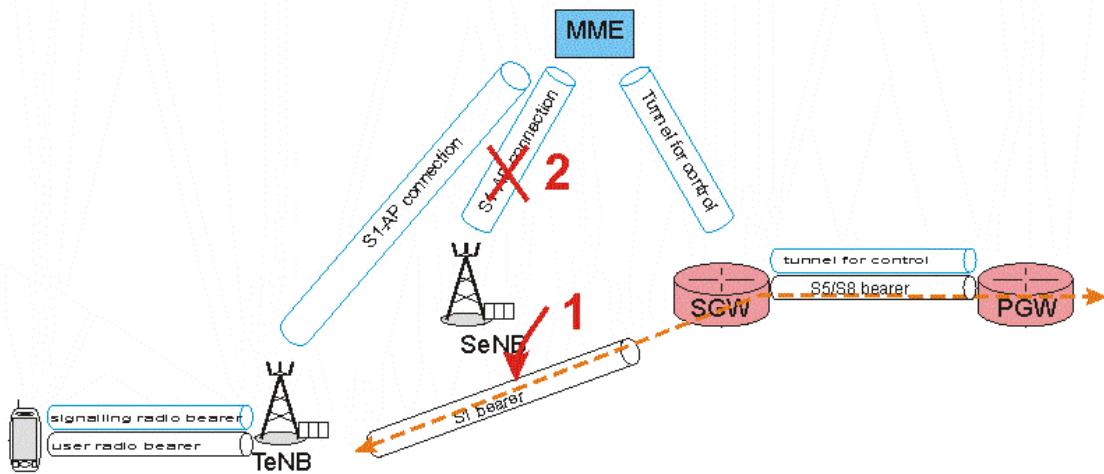


**Faut-il absolument une interface X2 pour que le handover fonctionne ?
Le handover est-il possible quand le terminal change de MME, de SGW ?**

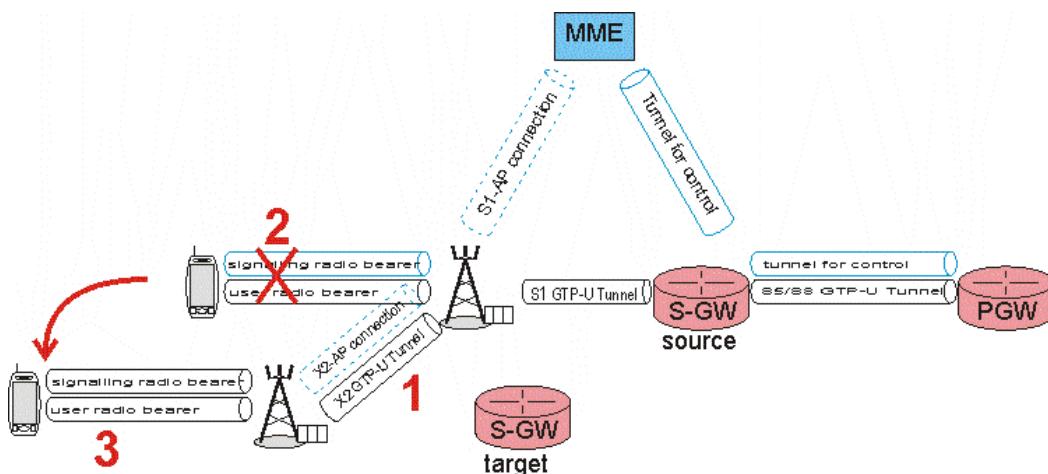
Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



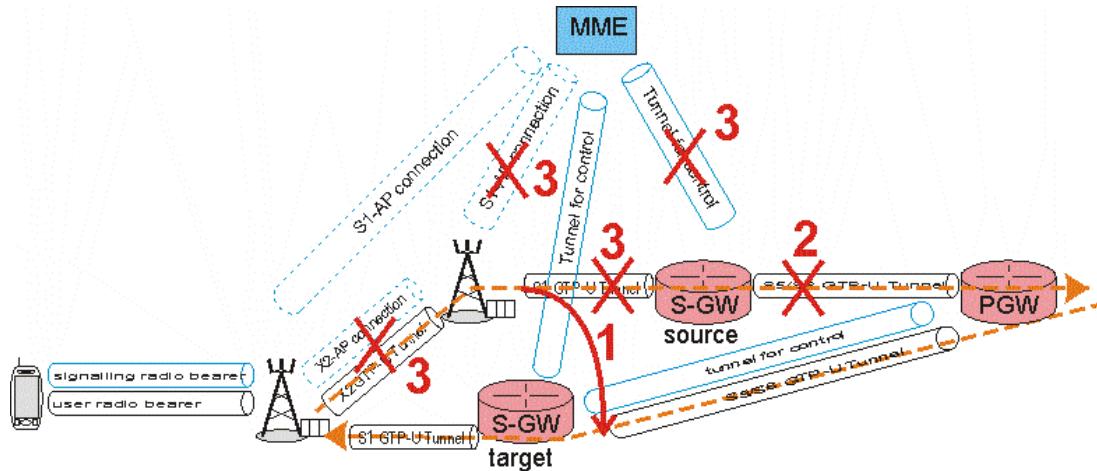
Handover basé sur S1 sans changement de SGW ni de MME



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

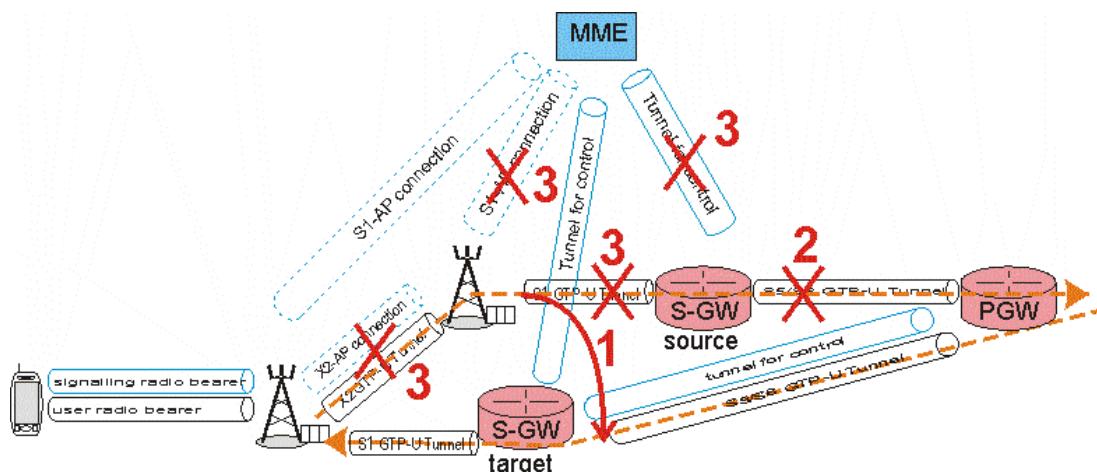


Handover basé sur X2 avec changement de SGW (2)



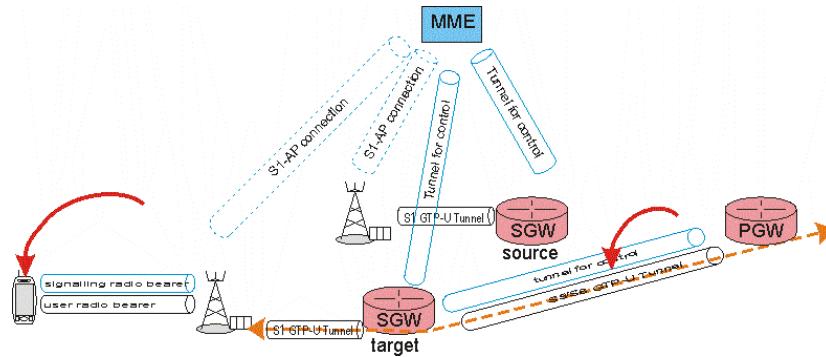
- Le handover basé sur X2 avec changement de MME n'est pas possible
 - => il faut faire un handover basé sur S1

Handover basé sur X2 avec changement de SGW



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

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

Glossaire

List of some LTE acronyms

A	3GP 3GPP	3GPP file format Third Generation Partnership Project	D	DFTS-OFDM DHCP diff-serv DLCI DNS DRoF DRX DS-CDMA DSCH DTX	Direct Fourier Transform Spread – OFDM Dynamic Host Configuration Protocol Differentiated services Data Link Connection Identifier Domain Name System Digital Radio Over the Fiber Discontinuous Reception Direct-Sequence Code Division Multiple Access Downlink Shared Channel Discontinuous Transmission
AAA	Authentication, Authorization and Accounting		E	EAP ECM EEA EIR EMM eNB eNodeB EPC EPS E-RAB ESM E-UTRA E-UTRAN	Extensible Authentication Protocol EPS Connection Management (also called ESM) EPS (Evolved Packet System) Encryption Algorithm Equipment Identity Register EPS Mobility Management Evolved Node B Evolved Node B Evolved Packet Core Evolved Packet System E-UTRAN Radio Access Bearer EPS Session Management (also called ECM) Evolved UTRA Evolved UTRAN
ACK	Acknowledgement		F	FDD FDMA FEC FER FFS FLUTE FMC FQDN FR	Frequency Division Duplex Frequency Division Multiple Access Forward Error Correction Frame Erasure Rate, For Further Study File deLivery over Unidirectional Transport Fixed Mobile Convergence Fully Qualified Domain Name Full Rate
AES	Advanced Encryption Standard		G	GBR GERAN GGSN GIF GMLC GMM GMSC GMSK GRE GSA GSM GSN GTP	Guaranteed Bit Rate GSM EDGE Radio Access Network Gateway GPRS Support Node Graphics Interchange Format Gateway Mobile Location Centre GPRS Mobility Management Gateway MSC Gaussian Minimum Shift Keying Generic Encapsulation Global mobile Suppliers Association Global System for Mobile communications GPRS Support Nodes GPRS Tunneling Protocol
AKA	Authentication and Key Agreement				
AM	Acknowledged Mode				
AMBR	Aggregate Maximum Bit Rate				
AMR	Adaptive Multi Rate				
AMR-WB	Adaptive Multi Rate Wide Band				
AN	Access Network				
ANDSF	Access Network Discovery and Selection Function				
ANDSF-SN	Access Network Discovery and Selection Function Server Name				
APN	Access Point Name				
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number				
ARP	Address Resolution Protocol				
ARQ	Automatic Repeat ReQuest				
AS	Access Stratum				
ASE	Application Service Element				
AUTN	Authentication token				
B					
BBU	Base-Band Unit (DRoF context)				
BCCH	Broadcast Control Channel (logical channel)				
BER	Bit Error Rate				
BPSK	Binary Phase Shift Keying				
BS	Base Station				
C					
CA	Carrier Aggregation				
CBR	Constant Bit Rate				
CCF	Call Control Function				
CDMA	Code Division Multiple Access				
CHAP	Challenge Handshake Authentication Protocol				
CN	Core Network				
COMP	Coordinated Multi-Point transmission and reception				
CP	Cyclic Prefix (OFDM major Parameter)				
CPRI	Common Public Radio Interface				
CQI	Channel Quality Indicator				
CRC	Cyclic Redundancy Check				
CRE	Call Ree-establishment procedure				
C-RNTI	Cell Radio Network Temporary Identity				
C-TEID	Common Tunnel Endpoint IDentifier				
CSG	Closed Subscriber Group				

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

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

u **Campus de Brest**
Technopôle Brest-Iroise
CS 83818
29238 Brest Cedex 3
France
Tél. : + 33 (0)2 29 00 11 11
Fax : + 33 (0)2 29 00 10 00

Campus de Rennes
2, rue de la Châtaigneraie
CS 17607
35576 Cesson Sévigné Cedex
France
Tél. : + 33 (0)2 99 12 70 00
Fax : + 33 (0)2 99 12 70 19

Campus de Toulouse
10, avenue Edouard Belin
BP 44004
31028 Toulouse Cedex 04
France
Tél. : +33 (0)5 61 33 83 65
Fax : +33 (0)5 61 33 83 75



www.telecom-bretagne.eu