

ROAMING 2G, 3G et 4G : Principes, Architecture et Service

EFORT

<http://www.efort.com>

1 Introduction

La mobilité est la clé du succès des réseaux mobiles. Le roaming a étendu la définition de la mobilité au delà de la technologie, des réseaux et des frontières des pays. N'est-il pas fascinant de pouvoir établir et recevoir des appels, émettre et recevoir des SMS et accéder à Internet depuis n'importe quelle partie du monde en utilisant le même mobile et la même identité? Avec le déploiement généralisé des technologies GSM et GPRS et maintenant 3G/3G+, les usagers ont la flexibilité d'utiliser leurs services voix, données et SMS dans plus de 700 réseaux. Avec l'arrivée de la LTE, les services de données seront disponibles en situation de roaming à très grande vitesse. Par ailleurs, des accords de roaming CSFB (Circuit Switched Fall Back) et VoLTE permettront à un client LTE d'accéder aux services voix et SMS depuis des réseaux LTE visités. Le but de ce tutoriel est de présenter le roaming mobile 2G, 3G et 4G.

2 Roaming : Définition et type d'accord

Le service de roaming ou itinérance proposé par les opérateurs de télécommunications mobiles permet à leurs clients de pouvoir appeler et être appelés, envoyer et recevoir des SMS, accéder à leurs services USSD et leurs services à valeur ajoutée (e.g., prépaid, réseau privé virtuel voix), accéder à leurs services Internet/Intranet en étant pris en charge par un autre opérateur. Pour ce faire, l'opérateur nominal doit avoir un accord de roaming avec l'opérateur visité.

Ce service est évidemment payant et les tarifs des communications sont très variables d'un opérateur à l'autre. Plusieurs accords de roaming doivent être signés entre l'opérateur nominal et l'opérateur visité afin de permettre au client d'accéder à l'ensemble de ses services.

- L'accord de roaming GSM permet à un client d'accéder à ses services de téléphonie (service de base et services complémentaires) depuis un réseau visité.
- L'accord de roaming GPRS permet à un client d'accéder à ses services Internet et/ou Intranet depuis un réseau visité
- L'accord de roaming CAMEL permet à un client d'accéder à ses services à valeur ajoutée tels que les services prepaid et VPN (réseau privé virtuel voix) et certaines numéros courts comme celui de la boîte vocale depuis un réseau visité
- L'accord de roaming SMS permet à un client d'émettre et de recevoir des SMS depuis un réseau visité
- L'accord de roaming MMS permet à un client d'émettre et de recevoir des MMS depuis un réseau visité
- L'accord de roaming LTE permet à un client d'accéder à ses services Internet et/ou Intranet depuis un réseau visité LTE et donc à disposer d'un très haut débit.
- L'accord de roaming CSFB (Circuit Switched FallBack) permet à un client LTE d'accéder via le domaine circuit 2G/3G à ses services de téléphonie, service SMS et service USSD depuis un réseau visité LTE.

- L'accord de roaming VoLTE permet à un client LTE d'accéder à ses services de téléphonie, service SMS et service USSD depuis un réseau visité LTE grâce à l'architecture IMS (IP Multimedia Subsystem).

3 Structure pour le roaming 2G/3G

Afin de permettre le roaming 2G/3G, la structure suivante doit être mise en œuvre :

1. **Connectivité entre réseaux mobiles 2G/3G** qui consiste en (Figure 1) :
 - 1.1. A. Des liens de signalisation SS7 ou SIGTRAN pour le trafic MAP entre le réseau visité et le réseau nominal. Ces liens sont nécessaires pour l'échange de signalisation entre le MSC Server/VLR ainsi que le SGSN du réseau visité et le HLR du réseau nominal.
 - 1.2. B. Des liens d'interconnexion pour le transport de la voix et des données du domaine circuit entre le réseau visité et le réseau nominal.
 - 1.3. C. Des liens d'interconnexion pour le transport des paquets IP du domaine paquet entre le réseau visité et le réseau nominal. Il s'agit du GRX (GPRS Roaming Exchange) avec 25 opérateurs le constituant.

Le roaming GSM requiert des interconnexions de type A. et B.

Le roaming GPRS requiert des interconnexions de type A. et C.

Le roaming 3G requiert tous les types d'interconnexion.

2. **Accord.** Afin de permettre à un usager l'itinérance et l'usage de ses services depuis le réseau visité, les deux réseaux (visité et nominal) doivent signer un accord de roaming. L'accord de roaming peut être un accord bilatéral entre deux partenaires de roaming ou peut être une relation indirecte en utilisant un broker de roaming (roaming hub). L'accord de roaming couvre différents aspects opérationnels et de négoce incluant l'interconnexion, la résolution des problèmes, les tarifs/prix (tarif d'une communication voix à la minute ou de communication de données au Megabyte ; prix de l'envoi d'un SMS), le format des données d'usage et le mécanisme d'échange de ces données d'usage.
3. **Facturation.** Le réseau visité génère des tickets d'usage pour tous les services utilisés par un roamer depuis le réseau visité. Il valorise les tickets d'usage et génère la facture pour le réseau nominal du roamer selon les termes et conditions spécifiés dans l'accord de roaming. Le réseau visité transfère aussi les tickets d'usage détaillés pour chaque roamer à son réseau nominal dans un format spécifié. Le réseau nominal règle les factures du réseau visité et facture son propre client pour les services utilisés en roaming. Le processus de billing et settlement entre deux opérateurs peut être direct ou via une clearinghouse.
4. **Test.** Des tests d'interfonctionnement sont réalisés avant que le service de roaming soit ouvert commercialement. Ceci est requis pour assurer que l'utilisateur puisse accéder à tous les services fournis par l'accord de roaming. Des tests à la demande et périodiques sont aussi réalisés afin d'assurer la disponibilité du roaming.
5. **Services de Roaming.** Le service que le roamer accède depuis le réseau visité dépend de trois facteurs :
 - Les capacités de la station mobile (MS, Mobile Station)
 - La liste de services convenue dans l'accord de roaming
 - Le niveau de souscription

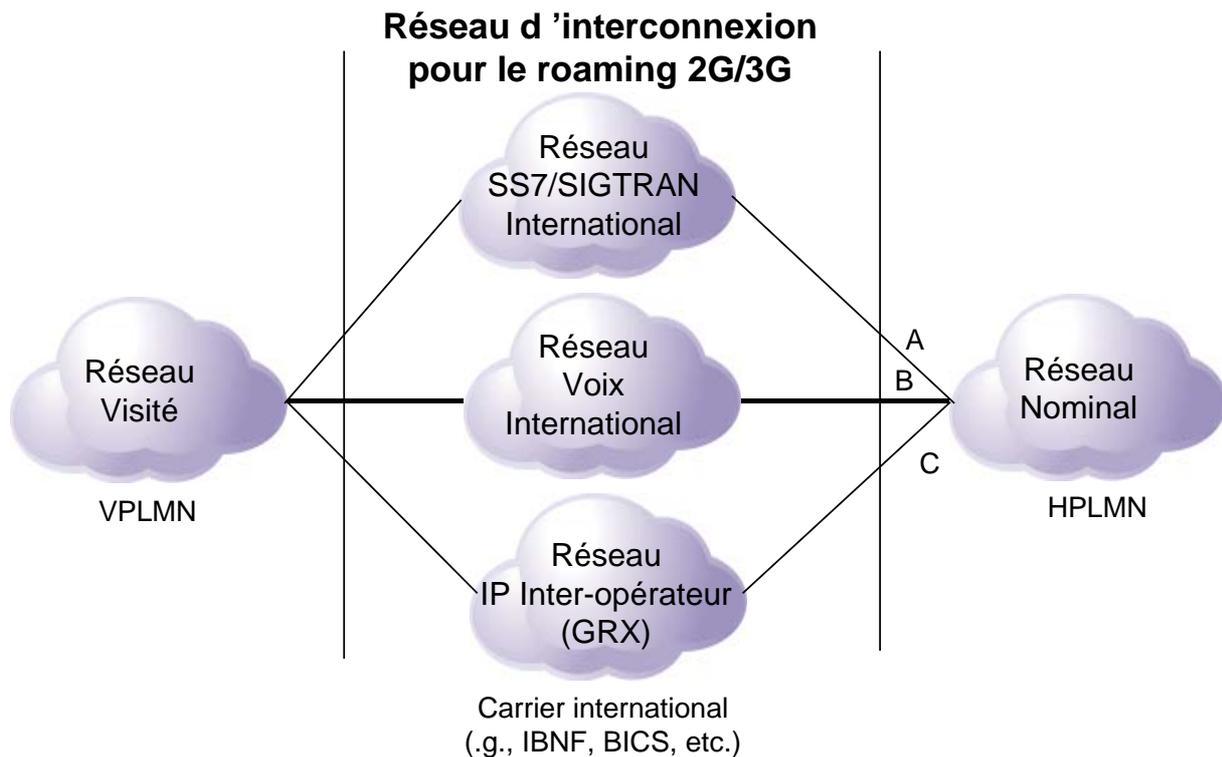


Figure 1 : Connectivité entre réseau visité et réseau nominal 2G/3G

4 Connectivité entre réseaux mobiles 2G/3G

4.1 Réseau de signalisation SS7/SIGTRAN

Le premier réseau d'interconnexion est le réseau de signalisation. Un réseau de signalisation international SS7/SIGTRAN doit permettre à un MSC Server ou un SGSN visité d'interagir avec le HLR nominal pour :

- Obtenir des vecteurs d'authentification pour authentifier l'UE. En 2G, l'UE s'authentifie au réseau. En 3G, l'authentification est mutuelle.
- Obtenir le profil de l'utilisateur. Le profil 2G/3G circuit contient la liste des services (services de base, services complémentaires, service à valeur ajoutée CAMEL) et leurs marques associées. Le profil 2G/3G paquet contient la liste des APNs (Access Point Name) autorisés pour un UE donné.
- Informer le HLR de la localisation de l'UE, c'est à dire l'adresse du MSC Serveur ou du SGSN qui prend en charge l'UE actuellement. L'adresse est un Global Title (GT).

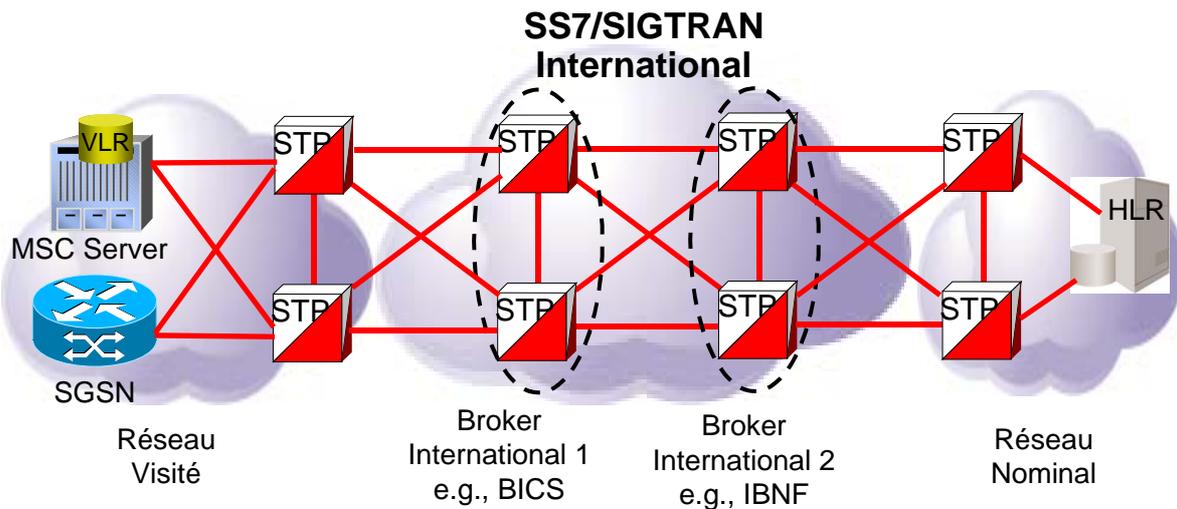


Figure 2 : Réseau SS7/SIGTRAN International pour le roaming

Comme montré à la figure 2, les réseaux SS7/SIGTRAN des réseaux visité et nominal sont interconnectés entre eux via un réseau SS7/SIGTRAN international. Différents brokers internationaux forment le réseau SS7/SIGTRAN international avec une topologie maillée entre eux. Deux d'entre eux sont montrés à la figure : BICS (Belgacom International Carrier Service) et IBNF (International and Backbone Network Factory). Dans l'exemple, le réseau visité a un accord d'interconnexion avec BICS. Quand au second, son accord est avec IBNF. Ainsi les messages de signalisation MAP échangés entre le MSC Server ou SGSN visité et le HLR nominal traversent les STPs (Signaling Transfer Point) du réseaux visité, des broker internationaux BICS et IBNF et enfin ceux du réseau nominal.

Dans le cas SS7, les messages de signalisation MAP sont transportés sur TCAP/SCCP/MTP3/MTP2/MTP1). Dans le cas SIGTRAN, les messages MAP sont transportés entre MSC Server ou SGSN et le STP sur TCAP/SCCP/M3UA/SCTP/IP et entre les STPs sur TCAP/SCCP/MTP3/M2PA/SCTP/IP.

4.2 Réseau IP d'interconnexion (GRX)

Pour établir le lien entre les réseaux GPRS/IP des différents opérateurs mobiles, plusieurs solutions existent : la connexion directe entre opérateurs mobiles ; la connexion indirecte par l'intermédiaire de l'Internet et la connexion indirecte par raccordement aux GRX (GPRS Roaming eXchange). Le GRX est une solution proposée par les opérateurs de backbone IP. Un GRX est un réseau de données dédié interconnectant les infrastructures des opérateurs mobiles GPRS.

Des arbitrages furent donc réalisés entre la qualité / sécurité et les coûts de mise en place conduisant à privilégier la solution GRX qui présente le meilleur rapport entre la qualité et le coût pour l'ensemble des solutions disponibles.

GRX (GPRS Roaming Exchange) est donc un réseau d'interconnexion pour le transport du trafic de données (trafic IP) entre réseaux GPRS. GRX est un réseau centralisé auquel se connectent l'ensemble des réseaux GPRS afin qu'ils disposent de connectivité entre eux. GRX correspond à un réseau privé virtuel IP (Virtual Private Network) (Figure 3).

Il existe 25 opérateurs de GRX qui s'interconnectent : Aicent Inc., Belgacom International Carrier Services (BICS), Cable & Wireless UK (C&W UK), CITIC Telecom International Limited, Comfone AG, Emirates Telecommunications Corporation (Etisalat) (GRX) France Telecom (IBNF), KPN Global Carrier Services B.V., MTT (CJSC Multiregional Transit Telecom), MTX Communications Ltd., Neustar, NTT Communications Corporation, OTE

International Solutions S.A., Portugal Telecom, Syniverse Technologies Inc., TATA Communications, TDC A/S, Tele2 Sverige AB, Telecom Italia Netherlands B.V., Telefonica Internacional Wholesale Services S.L., Telekom Austria, Telenor Global Services AS, TeliaSonera International Carrier Netherlands BV, Telstra Ltd et T-systems International GmbH GRX.

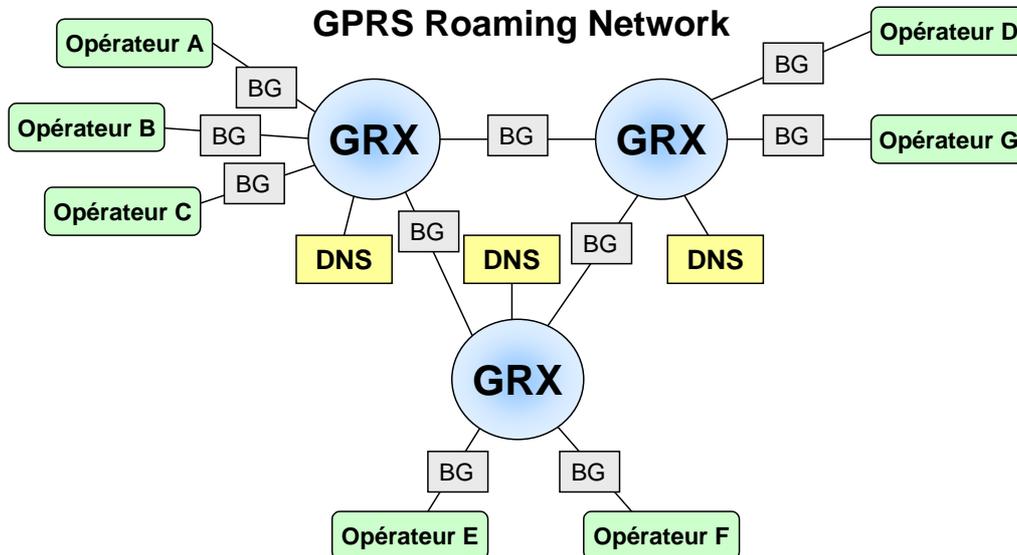


Figure 3 : Réseau GRX

4.2.1 Etablissement de contexte PDP depuis un réseau visité

Lorsque l'utilisateur est dans son réseau nominal, l'activation d'un contexte PDP conduit à la création d'un tunnel entre les nœuds SGSN et GGSN de ce réseau nominal. Le GGSN est identifié par le paramètre APN présent dans la demande d'établissement de contexte PDP.. Cet APN est traduit par le DNS en une adresse IP de GGSN.

Si l'utilisateur est dans un réseau visité, l'activation d'un contexte PDP induit la création d'un tunnel GTP entre le SGSN visité et le GGSN nominal. Le SGSN visité identifie le GGSN à l'aide de l'APN. Cette approche peut être perçue comme inefficace car elle crée un effet trombone, mais en fait, 80% du trafic d'un roamer typique est échangé avec des serveurs dans le pays d'origine. Le principal inconvénient de cette solution est le grand nombre de tunnels établis à travers le backbone inter-PLMN (GRX) et l'ajout de nouveaux nœuds, les BGs (Border Gateways). Toutefois elle permet aux deux opérateurs de connaître le nombre d'octets émis et reçus par l'UE depuis le réseau visité. Il est possible en théorie que le SGSN et le GGSN soient dans le réseau visité. En effet, le profil paquet de l'UE liste l'ensemble des APNs autorisés pour cet UE, et pour chaque APN une variable « VPLMN address Allowed » est présente pouvant être positionnée à « enabled » ou « disabled ». La valeur « enabled » signifie que le GGSN pour cet APN sera celui du réseau visité lorsque l'UE sera dans un réseau visité. En pratique cet variable est toujours positionnée à « disabled » pour forcer le trafic à être routé à un GGSN nominal.

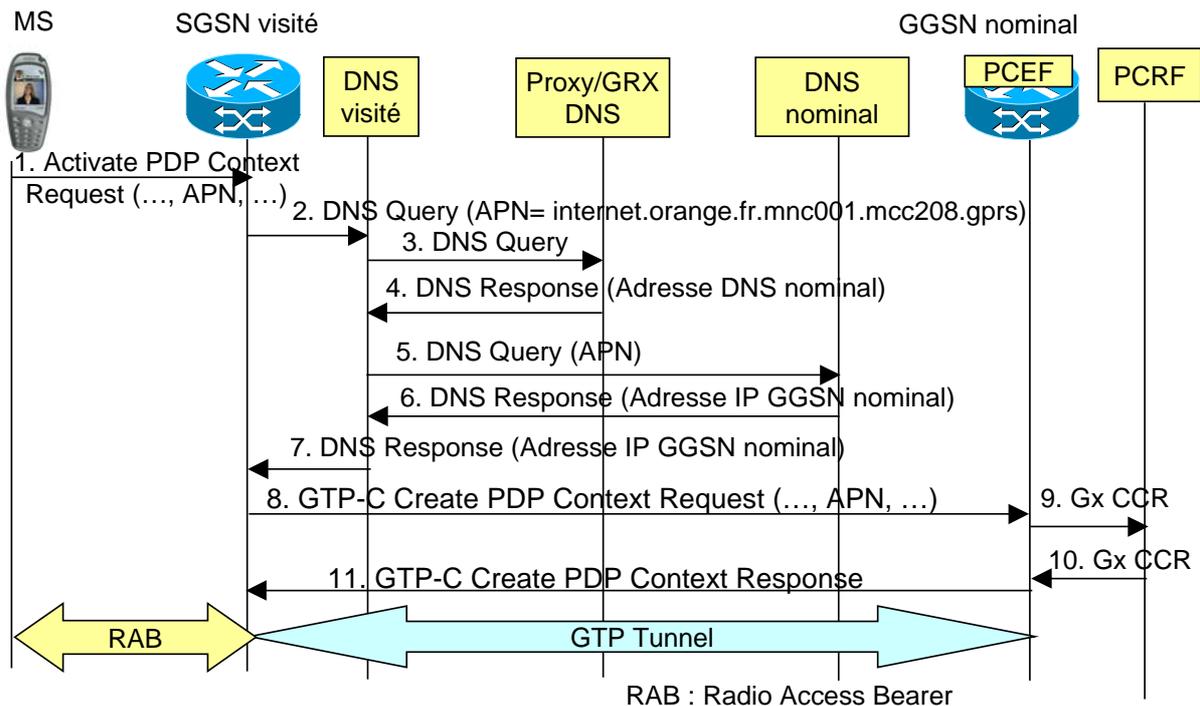


Figure 4 : Procédure d'établissement de Contexte PDP depuis un réseau visité

Dans ce scénario décrit à la figure 4, un roamer s'attache au SGSN d'un réseau visité et active un contexte PDP qui implique un GGSN présent dans le réseau nominal. Le SGSN visité doit apprendre l'adresse IP de ce GGSN nominal pour lui envoyer une requête GTP-C Create PDP Context Request.

Le SGSN visité utilise l'APN soumis par l'UE pour interroger le DNS. La figure ci-dessus décrit la procédure de résolution DNS en détail. Elle consiste en les étapes suivantes :

1. L'UE envoie une requête SM Activate PDP context Request au SGSN visité pour demander l'établissement du contexte PDP. Ce message contient l'APN du service que veut utiliser l'utilisateur, la QoS requise, etc.
 2. Le SGSN visité rajoute à l'APN l'identifiant du réseau nominal (e.g., mnc001.mcc208.gprs) et envoie une requête DNS à son DNS local.
 3. Le DNS local n'ayant pas la correspondance entre cet APN et l'adresse IP du GGSN nominal concerné, route la demande au DNS du GRX (root DNS).
 4. Le DNS du GRX répond en retournant l'adresse IP du DNS associé à l'opérateur mnc001.mcc208.gprs, à savoir Orange France.
 5. Le DNS visité interroge alors le DNS nominal pour obtenir la correspondance.
 6. Le DNS nominal retourne la ou les adresses IP du (des) GGSN concerné(s).
 7. Le DNS visité retourne cette information au SGSN visité.
 8. Le SGSN visité choisit une des adresses IP si plusieurs lui ont été retournées par son DNS visité et émet une requête GTP-C Create PDP Context Request au GGSN correspondant.
 9. Le PCEF du GGSN contacte le PCRF tous deux appartenant au réseau nominal, afin d'obtenir les règles PCC (Policy and Charging Control) notamment celles liées à l'anti-bill shock.
 10. Le PCRF retourne les règles au PCEF.
 11. La réponse GTP-C Create PDP Context Response du GGSN indique au SGSN qu'un tunnel réseau est établi entre SGSN et GGSN.
- Il reste au SGSN de demander au BSC ou RNC à l'accès de créer un RAB (Radio Access Bearer) qui correspond à une connectivité entre l'UE et le SGSN.

5 Accord de roaming 4G

Trois accords de roaming seront possibles pour la 4G :

1. **Accord de roaming LTE** pour permettre à un roamer 4G d'accéder à ses services de données depuis un réseau visité LTE/ePC
2. **Accord de roaming CSFB** (Circuit Switched FallBack) pour permettre à un roamer 4G d'accéder à ses services de téléphonie depuis un réseau visité LTE/ePC supportant la fonctionnalité CSFB.
3. **Accord de roaming VoLTE** (Voice over LTE) permettant à un roamer 4G d'accéder à ses services de téléphonie depuis un réseau visité LTE/ePC supportant la fonctionnalité VoLTE via l'architecture IMS.

Afin de permettre le roaming 4G, la structure suivante doit être mise en œuvre (Figure 5):

1. **Connectivité entre réseaux mobiles LTE/ePC** (roaming LTE) :
 - 1.1. A. Des liens de signalisation SCTP/IP pour le trafic DIAMETER entre le réseau visité et le réseau nominal. Ces liens sont nécessaires pour l'échange de signalisation entre le MME/S4-SGSN du réseau visité et le HSS du réseau nominal.
 - 1.2. B. Des liens d'interconnexion pour le transport des paquets IP du domaine paquet entre le réseau visité et le réseau nominal. Il s'agit de l'IPX (IP Exchange Network)
2. **Connectivité entre MME et MSC Server du réseau visité** (roaming CSFB)
3. **Connectivité entre réseaux IMS** (roaming VoLTE)
 - 3.1. A. Des liens de signalisation SIP pour le trafic SIP entre le réseau visité et le réseau nominal. Ces liens sont nécessaires pour l'échange de signalisation entre le P-CSCF du réseau visité et le S-CSCF du réseau nominal.
 - 3.2. B. Des liens d'interconnexion pour le transport des paquets IP du domaine paquet entre le réseau visité et le réseau nominal. Il s'agit de l'IPX (IP Exchange Network)

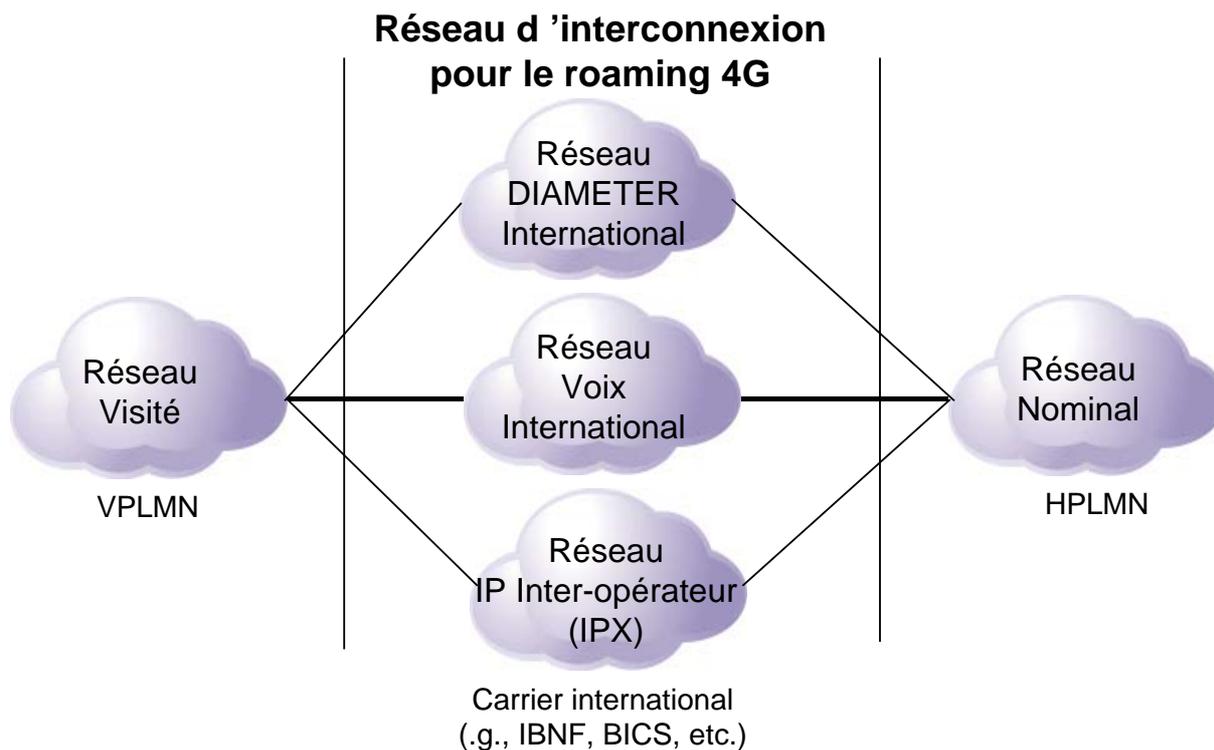


Figure 5 : Connectivité entre réseau visité et réseau nominal 4G

5.1 Connectivité entre réseaux mobiles 4G (LTE/ePC)

Réseau de signalisation DIAMETER

Le premier réseau d'interconnexion est le réseau de signalisation. Un réseau de signalisation international DIAMETER doit permettre à un MME visité d'interagir avec le HSS nominal pour :

- Obtenir des vecteurs d'authentification pour authentifier l'UE. En 4G, l'authentification est mutuelle.
- Obtenir le profil de l'utilisateur. Le profil 4G est uniquement un profil paquet et contient la liste des APNs autorisés pour un UE donné.
- Informer le HSS de la localisation de l'UE, c'est à dire l'adresse du MME qui prend en charge l'UE actuellement. L'adresse est un hostname.

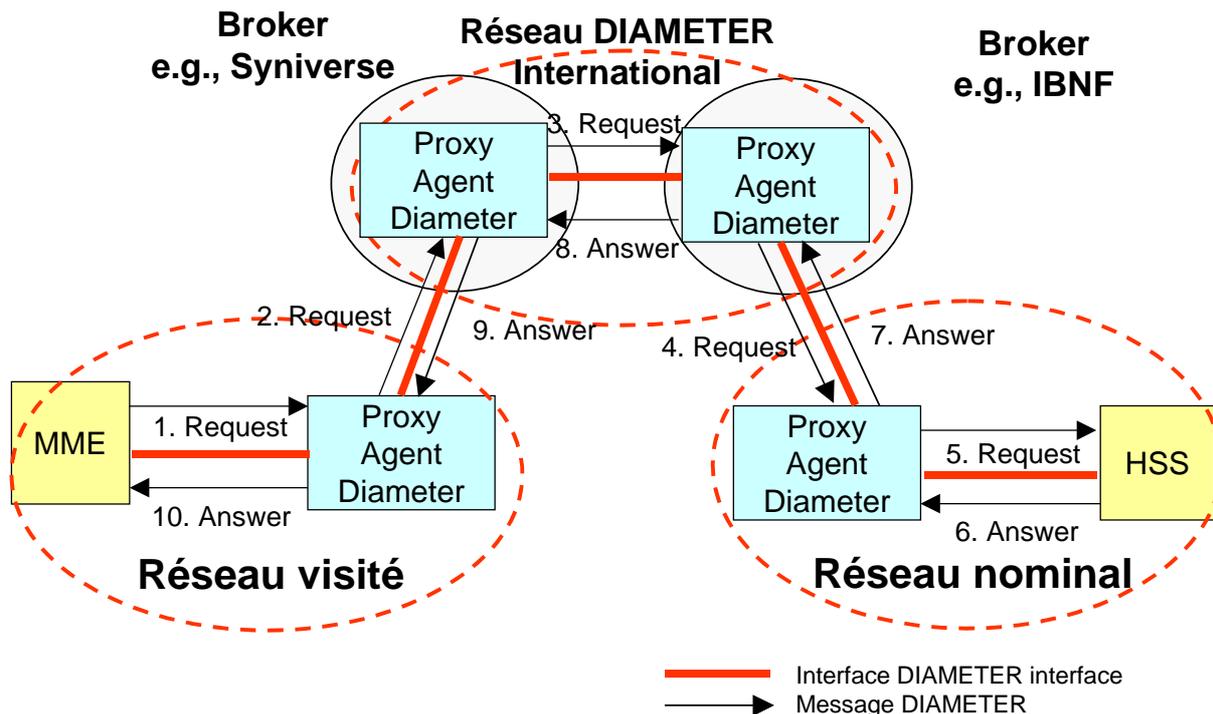


Figure 6 : Réseau DIAMETER International pour le roaming LTE

Comme montré à la figure 6, les réseaux de signalisation DIAMETER des réseaux visité et nominal sont interconnectés entre eux via un réseau DIAMETER international. Différents brokers internationaux forment le réseau DIAMETER international avec une topologie maillée entre eux. Parmi ces derniers, figures BICS, IBNF et Syniverse. Dans l'exemple, le réseau visité a un accord d'interconnexion avec Syniverse. Quand au second, son accord est avec IBNF.

Ainsi les messages de signalisation DIAMETER échangés entre le MME visité et le HSS nominal traversent les Agents DIAMETER du réseaux visité, des Broker/Hub internationaux Syniverse et IBNF et enfin ceux du réseau nominal.

5.2 Roaming CSFB

La fonctionnalité CSFB ou Circuit Switched Fall back (repli en circuit commuté) dans le réseau 4G est réalisée en utilisant l'interface SGs entre le MSC Server et le MME (Figure 7). L'interface SGs est basée sur les fonctionnalités de l'interface Gs définie entre le MSC/VLR et le SGSN, mais qui n'a jamais été implantée. L'interface SGs s'appuie sur un protocole SGsAP/SCTP/IP. Dans ce contexte, il est considéré que la LTE ne fournit qu'un accès data. Le réseau circuit 2G/3G existant est réutilisé pour fournir les services de téléphonie au client LTE.

L'UE n'utilise qu'une seule technologie radio à la fois. Lorsque l'UE est mis sous tension sous couverture LTE, il demande un attachement combiné CS+EPS au MME. EPS (Evolved Packet System) signifie réseau 4G. Le MME réalise la procédure d'enregistrement de l'UE à l'EPS incluant l'authentification, la mise à jour des informations de localisation du profil de l'utilisateur, l'obtention du profil auprès du HSS et l'établissement du premier default bearer pour l'UE. Le MME traduit la Tracking Area Identity de l'UE en sa Location Area pour identifier le MSC Server/VLR qui prend en charge la zone de couverture de l'UE. Le MME informe le MSC Server/VLR via l'interface SGs qu'il a reçu une demande d'attachement combiné CS+EPS de l'UE. Le MSC Server/VLR réalise la procédure d'enregistrement au

domaine circuit de l'UE. L'UE demande aussi un détachement combiné ainsi que la mise à jour combinée de sa TA et LA.

Lors d'un appel entrant ou sortant, l'UE est transféré de la technologie radio LTE à la technologie radio 2G ou 3G où il peut réaliser une procédure normale d'établissement d'appel via le MSC Server. Par contre, pour l'envoi et la réception de SMS, il n'est pas nécessaire de transférer l'UE vers la 2G ou 3G. L'UE peut échanger les SMS avec le MSC Server via le MME. Le MME relaye la signalisation contenant le SMS sur l'interface SGs au MSC Server.

L'accord de roaming CSCF suppose que le MME et le MSC Server du réseau visité disposent entre eux de l'interface SGs. Par ailleurs le MME visité est apte à supporter des UEs compatibles CSFB.

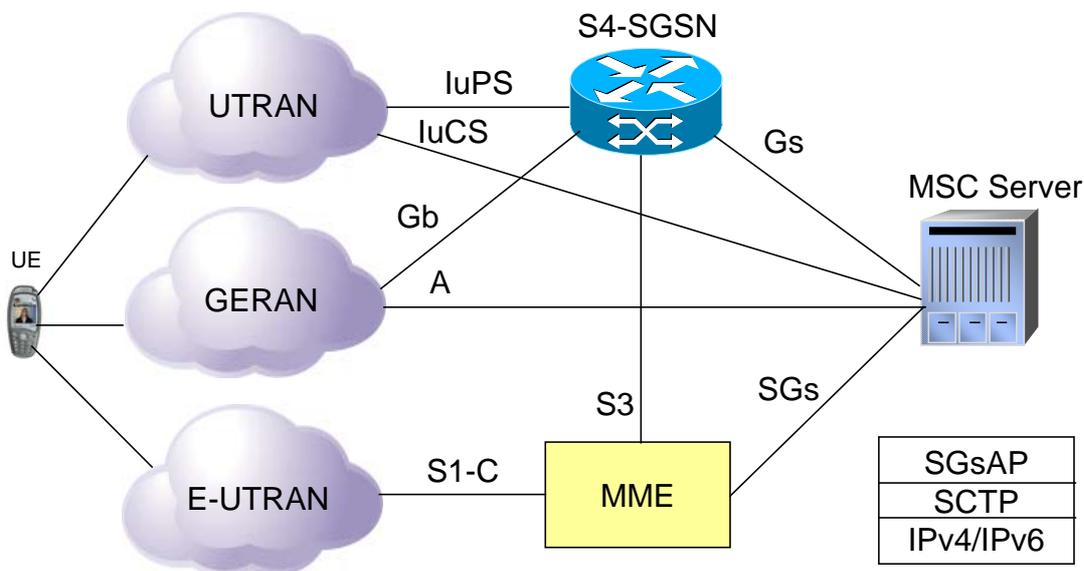


Figure 7 : Architecture CSFB

5.3 Roaming VoLTE

VoLTE (Voice Over LTE) est une approche basée sur l'IMS (IP Multimedia Subsystem). L'IMS supporte les serveurs d'application relatifs aux services de téléphonie, visiophonie, service SMS et services USSD.

En situation de roaming 3GPP spécifie que la connectivité IP peut se terminer dans le réseau nominal (home routed traffic) ou dans le réseau visité (local breakout). Dans les réseaux GPRS et les réseaux LTE n'offrant que le service d'accès à Internet/Intranet, la connectivité se termine dans le réseau nominal. Cela signifie que les entités MME/SGW appartiennent au réseau visité dans lequel se trouve l'utilisateur alors que le PGW est dans le réseau nominal de ce même utilisateur. Appliquer ce modèle à la VoLTE serait problématique car il impliquerait que le point d'entrée IMS soit localisé dans le réseau nominal. Les conséquences sont :

- Le réseau visité ne sera plus informé des sessions multimédia (e.g., Appels voix) et des messages courts initiés ou terminés par l'utilisateur et donc des revenus de roaming moindres pour les opérateurs mobiles visités.
- Les exigences réglementaires seront difficiles à respecter :
 - La signalisation SIP peut être chiffrée entre l'UE et le P-CSCF nominal et donc le réseau visité ne pourra pas réaliser l'interception légale

- L 'appel d 'urgence requiert l 'implication du P-CSCF visité.
- Par ailleurs le PGW dans le réseau nominal accroît le délai des paquets RTP/UDP/IP sur le plan usager.

C 'est la raison pour laquelle la GSMA dans son document de référence IR.65 (IMS Roaming & Interworking Guidelines) requiert les fonctions P-CSCF/PGW dans le réseau visité pour la voix et les services conversationnels IMS (Figure 8).

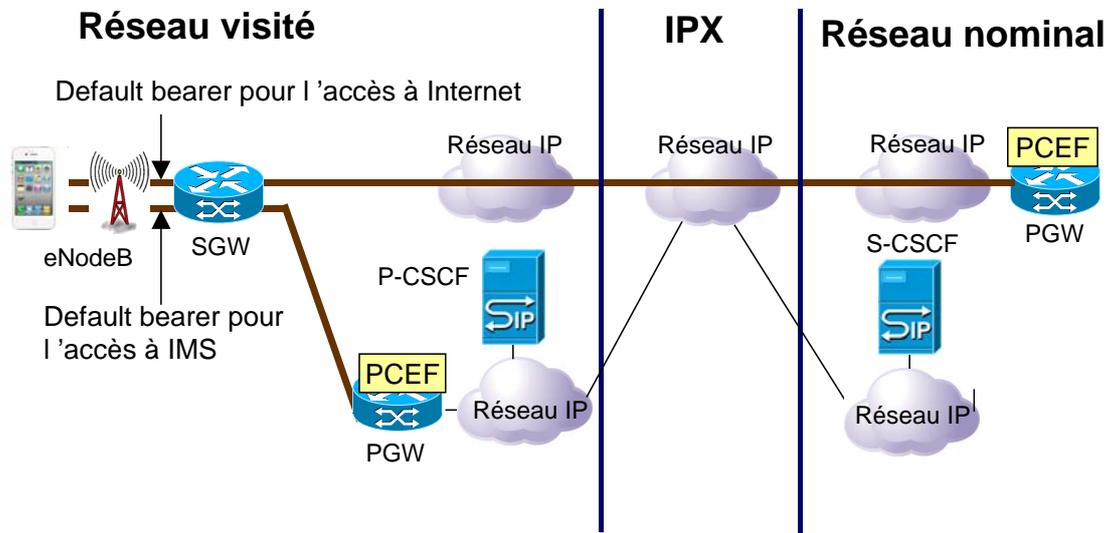


Figure 8 : Roaming VoLTE (IMS)

Références :

Shahid K. Siddiqui, « Roaming in Wireless Networks », McGraw-Hill, 2006.