

Sous la direction de Guy Pujolle

LTE et les réseaux 4G

Yannick Bouguen

Éric Hardouin

François-Xavier Wolff

Préface d'Alain Maloberti

© Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8

EYROLLES



La mobilité en mode connecté

Sommaire : *Les principaux mécanismes de mobilité en mode connecté – Le handover en LTE – La mobilité intersystème ou comment assurer la continuité de service entre des systèmes différents – Les mécanismes CS Fallback et SR-VCC*

Ce chapitre a pour objectif d'apporter au lecteur les éléments essentiels de la mobilité en mode connecté, au sein du système LTE d'une part, et entre le LTE et les autres systèmes 3GPP d'autre part.

Au cours d'un appel sur un réseau mobile, l'utilisateur peut être amené à se déplacer hors de la cellule sur laquelle l'appel a été établi. Cette mobilité ne doit pas conduire à la coupure de l'appel. Pour assurer cette continuité de service, le réseau mobile met en œuvre des mécanismes basculant l'UE vers la meilleure cellule qui peut l'accueillir. Ces mécanismes reposent généralement sur des mesures radio effectuées par l'UE sur la cellule serveuse et des cellules voisines. Le réseau choisit alors, essentiellement en fonction de ces mesures, la cellule cible et la façon de faire basculer l'UE vers cette cellule.

Trois types de mécanismes peuvent être distingués pour la mobilité en mode connecté.

- La *resélection*, qui repose sur les mêmes principes que ceux utilisés en mode veille, est employée par exemple en GPRS et en UMTS dans des états transitoires ou *dormants*. L'UE envoie ou reçoit peu de données (faible activité) et les périodes d'inactivité lui permettent alors de réaliser des mesures sur des cellules voisines. Lors d'une resélection, le réseau n'effectue aucune préparation sur la cellule cible.
- La *redirection* consiste à envoyer l'UE vers une cellule cible, sans dialogue préalable entre la station de base d'origine et celle de destination. Cette cellule cible peut se trouver sur une autre fréquence ou appartenir à un autre système. Aucune ressource radio, logique ou de transmission n'est réservée sur la cellule ou sur le système cible. Cela réduit donc la probabilité de succès de l'opération. Par ailleurs, la procédure de bascule peut être longue et conduire à des pertes de données, donc à une dégradation de la qualité de service perçue par l'utilisateur. En revanche, elle est simple pour le réseau et n'entraîne pas de charge de signalisation entre les nœuds source et cible.

- Le *handover* se distingue de la redirection par une phase de préparation de la station de base de destination et par une bascule du flux de données plus rapide et souvent plus fiable (car plus proche de l'interface radio) : il suit le principe désigné en anglais *make before break*, c'est-à-dire de préparer l'environnement radio cible avant de relâcher l'existant.

La redirection comme le handover peuvent être déclenchés à la suite de mesures sur des cellules voisines (du même système ou d'un système différent), ou de façon *aveugle*, c'est-à-dire sans aucune mesure préalable sur ces cellules candidates. On parle dans ce dernier cas de *blind handover* ou *blind redirection*. Ce mode présente l'inconvénient d'un risque plus élevé d'échec, puisqu'on ne vérifie pas que le niveau de signal reçu par l'UE sur la cellule cible est suffisant pour maintenir la connexion radio, et donc l'appel en cours.

La redirection est par exemple utilisée pour basculer un appel paquet (PS) de l'UMTS vers le GSM/GPRS et elle est alors souvent réalisée en combinaison avec des mesures sur les cellules voisines GSM/GPRS.

Le mécanisme de handover est largement utilisé sur les réseaux mobiles, en particulier au sein d'un même système, car dans ce cas le dialogue entre stations de base est simplifié. Il est par exemple mis en œuvre pour la mobilité en appel au sein des systèmes GSM et UMTS, de même qu'entre ces deux systèmes pour la continuité des appels voix.

Ce chapitre présente ainsi :

- les différents types de handover ;
- les phases du handover ;
- le handover au sein du système LTE ;
- les mécanismes de mobilité entre le LTE et les autres systèmes 3GPP ;
- les mécanismes CS Fallback et SR-VCC ;
- le rétablissement d'appel en LTE.

Les différents types de handover

On peut caractériser un handover à partir des critères suivants :

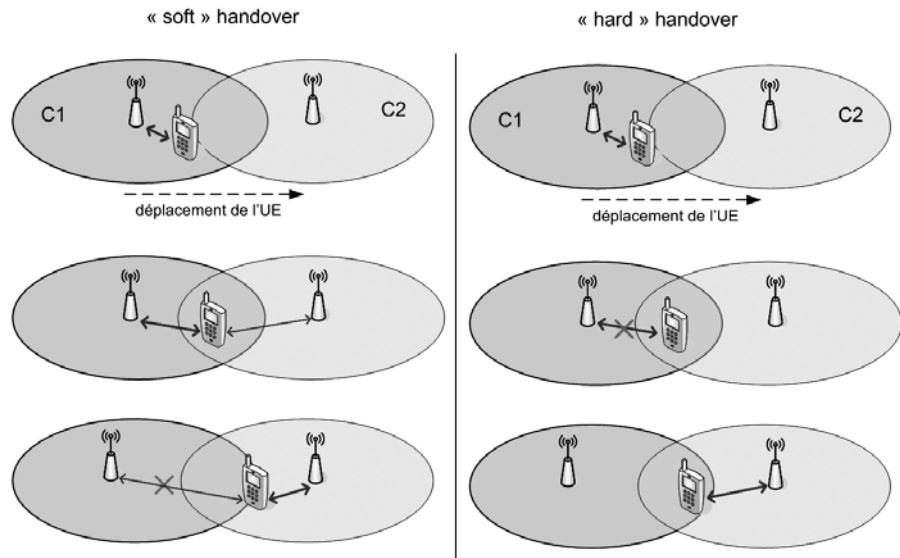
- la technologie d'accès radio (RAT) et/ou la fréquence respective des cellules source et cible ;
- l'interruption ou non du lien radio lors de la bascule.

Ainsi, un handover entre deux cellules du même système sera dit *intrafréquence* si les cellules sont portées par la même fréquence radio et *interfréquence* dans le cas contraire. On parle de handover *inter-RAT* ou *intersystème* lorsque les deux cellules appartiennent à deux systèmes différents. Les fréquences sont alors nécessairement différentes.

Le second critère est moins évident. Si le lien radio sur la cellule source est relâché avant l'établissement du lien radio sur la cellule cible, la bascule est réalisée avec une interruption de la transmission sur l'interface radio entre l'UE et le réseau. C'est le type de handover utilisé en GSM, ou en

UMTS pour les handover interféquences. Pour rappel, en GSM un handover est nécessairement interférence puisque les cellules voisines sont portées sur des fréquences différentes. Au contraire, si le second lien radio est établi entre la cellule cible et l'UE alors que le lien sur la cellule source est toujours actif, la transmission radio ne sera pas interrompue. L'UE a alors deux liens radio actifs, qui portent les mêmes données depuis et vers l'UE, et qui lui offrent un gain de diversité : les deux liens empruntent des chemins radio différents et ne sont donc pas soumis aux mêmes perturbations. La station de base peut alors réduire sa puissance d'émission vers l'UE, ou la maintenir pour améliorer la réception de l'UE. Le lien initial peut donc être conservé au-delà de cet ajout et être supprimé par exemple lorsque sa qualité deviendra trop faible pour apporter une information utile à l'UE (voir la figure suivante). Le terme *soft handover* a été choisi pour désigner cette bascule opérée sans interruption du lien radio entre l'UE et le réseau. Par opposition, on a alors consacré la dénomination *hard handover* au type de handover précédent, illustré sur la partie droite de la figure suivante : le lien radio sur la cellule C1 est relâché avant l'établissement du lien sur la cellule C2.

Figure 19-1
Principes du soft
handover et du hard
handover



Le principe du soft handover a été en premier lieu utilisé dans les systèmes CDMA de seconde génération. Il a été repris dans le système UMTS (qui repose également sur un accès à répartition par les codes, ou CDMA) comme principal mécanisme de mobilité intrafréquence. Le soft handover n'a en revanche pas été défini dans la première version (Release 8 3GPP) du système LTE.

Le tableau suivant présente les mécanismes de mobilité couramment utilisés en mode connecté, sur les systèmes GSM, GPRS/EDGE et UMTS, pour les différents types de mobilité (intrafréquence, interférence et inter-RAT).

Mécanismes de mobilité en mode connecté couramment utilisés

Système considéré	Type de mobilité		
	Intrafréquence	Interfréquence	Inter-RAT
GSM (voix)	non applicable	hard handover	hard handover
GPRS/EDGE (données)	non applicable	resélection et/ou hard handover *	resélection et/ou hard handover *
UMTS (voix et données)	soft handover et/ou hard handover *	hard handover	voix : hard handover données : resélection (et/ou hard handover *)

* suivant la configuration du réseau et les choix de l'opérateur

Les phases du handover

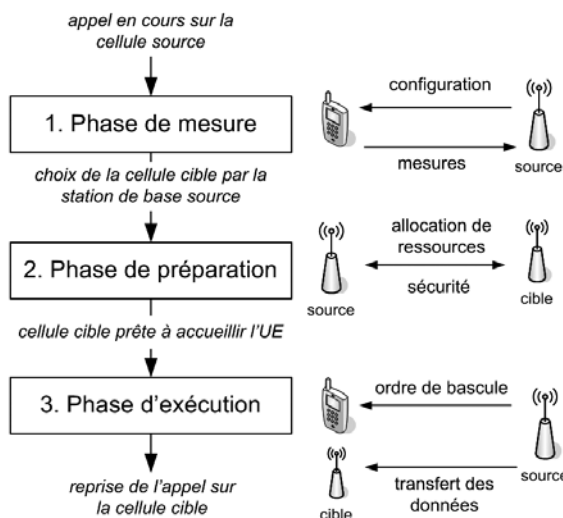
Cette section présente les étapes de la réalisation d'un handover de façon générale, c'est-à-dire sans aborder les spécificités propres au système LTE. Celles-ci seront décrites à la section « Le handover au sein du système LTE », p. 399.

On peut distinguer trois phases dans la réalisation d'un handover :

1. la phase de *mesure* sur la cellule serveuse et sur les cellules voisines ;
2. la phase de *préparation* de la cellule cible, qui met en jeu des échanges entre les contrôleurs de stations de base source et destination, ainsi qu'entre ces contrôleurs et le réseau cœur ;
3. la phase d'*exécution*, c'est-à-dire la bascule de l'UE et des flux de données, puis la relâche des ressources dans la cellule d'origine.

Le schéma suivant montre le séquençement de ces phases, les nœuds impliqués et les principales actions réalisées.

Figure 19-2
Les trois phases du
handover



La phase de mesure est toujours optionnelle. Dans le cas de la redirection, la phase de préparation n'existe pas. Dans la suite, les explications données décrivent la procédure de handover, sauf indication explicite.

La phase de mesure

Cette phase précède la décision de handover prise par le contrôleur de station de base source et donc le déclenchement effectif de ce handover. Les critères de décision sont essentiellement basés sur la qualité et/ou le niveau de signal des cellules voisines, mesurés par l'UE. La station de base informe au préalable l'UE des éléments suivants, dans un message de configuration :

- les mesures attendues : par exemple le niveau ou la qualité de signal, la puissance reçue ;
- l'objet à mesurer : cellule, fréquence porteuse ;
- le mode de remontée : périodique ou sur événement.

La réalisation des mesures par l'UE peut en outre nécessiter des aménagements dans la trame radio, en particulier des périodes dédiées à la mesure d'une autre fréquence ou d'un autre système, grâce auxquels l'UE ne manque pas les données transmises sur la cellule serveuse alors qu'il effectue ces mesures.

De façon générale, le temps que prend l'UE pour mesurer les cellules voisines et l'exactitude de ces mesures sont des points cruciaux pour le succès du handover et la continuité de l'appel. Ils dépendent notamment des performances radio intrinsèques de l'UE, de ses algorithmes de moyennage et de la configuration judicieuse des mesures par l'opérateur. Les exigences de performance de l'UE pour le handover seront abordées à la section du même nom, p. 428.

En UMTS par exemple, l'UE effectue ses mesures sur les cellules intrafréquences sans modification de la trame radio sur la cellule serveuse : il est capable de maintenir sa connexion radio avec cette cellule et de réaliser de façon simultanée des mesures sur les cellules intrafréquences.

Pour les cellules UMTS portées par une autre fréquence ou un autre système (donc nécessairement sur une fréquence porteuse différente), il peut être nécessaire de ménager des intervalles de temps vides sur la trame en émission et réception. Ces intervalles, appelés *trous*, ou *gaps* en anglais, permettent à l'UE d'ajuster son récepteur sur la fréquence à mesurer pendant une durée déterminée. À la fin de cette période, l'UE bascule à nouveau sur la fréquence d'origine et la cellule source. Ce mécanisme, appelé *mode compressé* (ou *Compressed Mode*) impose d'une part des coupures très courtes pour éviter la désynchronisation entre l'UE et la station de base, et engendre d'autre part des interférences supplémentaires liées au fait que la même quantité de données doit être transmise sur la trame radio, mais dans un délai réduit par les trous. Son utilisation est souvent nécessaire pour que l'UE effectue des mesures sur des fréquences différentes (en particulier lorsque l'UE n'a qu'une seule chaîne de réception radio UMTS/GSM). En effet, en UMTS l'UE a un lien radio dédié avec le NodeB et reçoit de celui-ci une trame continue, notamment pour le maintien d'un contrôle de puissance précis.

Le contrôleur de station de base intègre les mesures remontées par l'UE dans son algorithme de décision. Si les critères de déclenchement sont vérifiés, elle entame la phase de préparation décrite ci-après. La décision repose par exemple sur les critères suivants :

- Le niveau de signal d'une cellule voisine mesurée par l'UE est supérieur à un seuil prédéfini et la qualité de la cellule serveuse est inférieure à un autre seuil (pour un handover intersystème par exemple).

- Le niveau ou la qualité du signal d'une cellule voisine est meilleur(e) que celui/celle de la cellule serveuse (pour un handover intra ou interférence par exemple).

On comprend que, pour que cette phase de mesure soit possible, l'opérateur doit paramétrer les cellules intra et intersystèmes voisines de la cellule serveuse, et ce pour toutes les cellules du réseau, ce qui représente un effort conséquent. Il doit également définir les seuils d'activation des mesures et de déclenchement du handover. Par exemple en UMTS, le mode compressé et les mesures intersystèmes peuvent n'être activés que lorsque le signal de la cellule serveuse est dégradé, afin de limiter la consommation du terminal et les interférences engendrées sur la cellule serveuse. Les seuils mis en jeu peuvent varier suivant la topologie du réseau. Un travail d'optimisation est donc souvent nécessaire.

La phase de préparation

L'objectif premier de cette phase est de maximiser les chances de succès de la procédure de handover, par l'échange d'informations entre les contrôleurs de stations de base source et cible, en préalable à la réalisation de la bascule proprement dite. La préparation commence dès lors que le contrôleur source a pris la décision de réaliser un handover de l'UE, sur la base des mesures remontées par celui-ci et de ses critères de déclenchement.

Elle consiste en un simple échange de messages visant à :

- interroger le contrôleur de la station de base gérant la cellule cible sur la possibilité de réaliser ce handover ;
- obtenir de sa part les informations et paramètres grâce auxquels l'UE accèdera rapidement et de façon fiable aux ressources de la cellule, par exemple la configuration des canaux logiques et de transport.

Cet échange peut avoir lieu directement entre deux contrôleurs du même système, s'il existe une interface entre ces nœuds, ou par l'intermédiaire d'un ou plusieurs nœud(s) du réseau cœur. En effet, dans le cas d'un handover intersystème, chaque contrôleur de station de base communique avec le nœud de son réseau cœur (SGSN ou MSC en GSM/GPRS et UMTS, MME en LTE), nœuds qui relaient ensuite les informations entre système source et système cible. On notera cependant que le MME et le SGSN peuvent être physiquement intégrés dans un même équipement.

La phase de préparation doit être exécutée rapidement, puisqu'il s'agit de la période pendant laquelle les conditions radio se dégradent pour l'UE sur la cellule source. Cependant, cet échange est généralement bref, dans la mesure où il s'effectue sur les interfaces *terrestres* du réseau, sur lesquelles la latence et le taux d'erreur sont souvent très faibles.

À l'issue de cet échange, le contrôleur source peut commencer le transfert des données reçues du réseau cœur vers le contrôleur cible. On parle de *data forwarding*. Ces données sont stockées en mémoire par le contrôleur cible, avant l'arrivée de l'UE. Ce transfert de données doit veiller à maintenir le séquençement des paquets tel que reçu du réseau cœur.

La phase d'exécution

Pour l'exécution du handover, le contrôleur source envoie un ordre de bascule à l'UE. Cette commande est typiquement un message RRC, indiquant à l'UE la cellule cible (fréquence, identi-

fiant...) et des informations sur sa configuration, afin de permettre un accès rapide et fiable de l'UE aux ressources qui lui sont réservées ou qui sont partagées au sein de la cellule entre les UE.

Dès la réception de cette commande, l'UE procède à la recherche de la cellule cible, s'il ne reçoit pas déjà son signal de façon simultanée à celui de la cellule source. Si la cellule cible est portée par une fréquence différente, l'UE ajuste par exemple la fréquence de son récepteur pour démoduler le signal sur cette nouvelle fréquence.

Une fois la cellule cible détectée, l'UE doit accéder aux ressources radio de la voie montante afin de transmettre au contrôleur de la station de base cible un message signalant sa présence et le succès de la bascule radio. Ce message déclenche l'envoi par ce contrôleur d'une notification au réseau cœur lui indiquant que le chemin de données peut être basculé. À l'issue de cette bascule du flux de données, celles-ci ne transitent alors plus par le contrôleur source, mais sont acheminées directement du réseau cœur au contrôleur cible.

Dans le cas d'un handover inter-RAT, la bascule radio est gouvernée par une temporisation déclenchée par l'UE à la réception de la commande de handover : si cette temporisation s'écoule avant que l'UE n'ait pu accéder à la nouvelle cellule, la procédure échoue et l'UE retourne sur la cellule d'origine.

Rôle de l'UE

Le rôle de l'UE dans la procédure de handover est crucial à deux égards :

- pour réaliser des mesures fiables sur son environnement et les remonter au contrôleur de la station de base ;
- pour la bascule proprement dite sur la cellule cible.

La performance radio de l'UE (justesse et délai des mesures, délai pour basculer sur la cellule cible) est donc un élément clé du succès de cette procédure. Pour l'opérateur, il est primordial de s'assurer que les UE utilisés sur son réseau sont capables de réaliser cette procédure radio dans un délai minimal, afin de limiter le temps d'interruption du service. Cet aspect de performance sera traité à la section « Les performances de l'UE en handover », p. 428.

Le handover au sein du système LTE

Cette section décrit la procédure de handover au sein du LTE (handover intra-LTE). Il s'agit de la seule procédure définie pour la mobilité en mode connecté au sein du système LTE. Le handover intra-LTE est de type hard handover.

Les aspects suivants sont décrits dans cette section :

- les mesures ;
- la préparation du handover ;
- l'exécution du handover ;
- la procédure en cas d'échec ;
- et enfin, le délai du handover<XREF>.

La phase de mesures

Nous avons expliqué dans le chapitre 18 que l'UE est capable, en mode veille, de détecter les cellules voisines intra et interféquences sur la seule indication de leur fréquence porteuse, évitant ainsi la nécessité d'indiquer sur la cellule serveuse une liste complète de cellules voisines LTE.

En mode connecté, il faut considérer deux contraintes.

- Les informations dont l'UE a besoin pour détecter une cellule voisine. Ici, les capacités de l'UE sont identiques au mode veille : l'indication de la fréquence porteuse lui suffit pour détecter les cellules présentes sur cette fréquence dans le voisinage de la cellule serveuse.
- Le besoin ou non d'intervalles de mesures aménagés spécifiquement par l'eNodeB pour l'UE dans la trame radio (trous). Cette question ne se pose pas en mode veille puisque l'UE ne reçoit pas de données en continu de l'eNodeB.

La détection des cellules voisines LTE

L'UE n'a pas besoin de recevoir une liste de cellules voisines LTE pour les détecter. Cette détection met en jeu les signaux de synchronisation émis par chaque cellule et décrits au chapitre 7. Par ailleurs, l'eNodeB peut signaler une *liste noire* (ou *blacklist*) de cellules que l'UE ne doit pas mesurer. Signaler cette liste à l'UE pour les mesures limite sa consommation. En effet, même si, in fine, l'eNodeB décide de ne pas réaliser le handover vers une cellule cible faisant partie de la liste noire, l'UE détectera et mesurera inutilement ces cellules si elles ne lui sont pas interdites.

Par ailleurs, pour la mesure proprement dite, l'UE n'a pas besoin d'intervalles de mesure (*gaps*) pour les cellules intrafréquences : il est capable de mesurer ces cellules tout en continuant de recevoir des données sur la cellule serveuse, de façon simultanée.

Pour les cellules interféquences en revanche, ces intervalles de mesure peuvent être nécessaires à l'UE, suivant ses capacités : seul un UE pourvu de deux chaînes de réception radio LTE peut simultanément réaliser des mesures interféquences et poursuivre la réception de données sur la cellule serveuse. Une telle configuration matérielle implique un coût accru du terminal.

Mesures intrafréquences et interféquences

En LTE, une cellule se caractérise dans le domaine fréquentiel par sa fréquence centrale f_c et sa largeur de bande. Deux cellules voisines peuvent donc avoir la même fréquence centrale mais une largeur de bande différente, ou une fréquence centrale différente avec la même largeur de bande. Le terme intrafréquence est réservé au cas de cellules partageant la même fréquence centrale, quelle que soit leur largeur de bande respective (scénarios 1, 2 et 3 sur la figure 19-3). Au contraire, si cette fréquence est différente, on parlera de cellules *interfréquences* (scénarios 4, 5 et 6).

L'UE effectue les mesures des cellules voisines sur une bande de fréquence dont la largeur est indiquée par la cellule serveuse dans ses Informations Système.

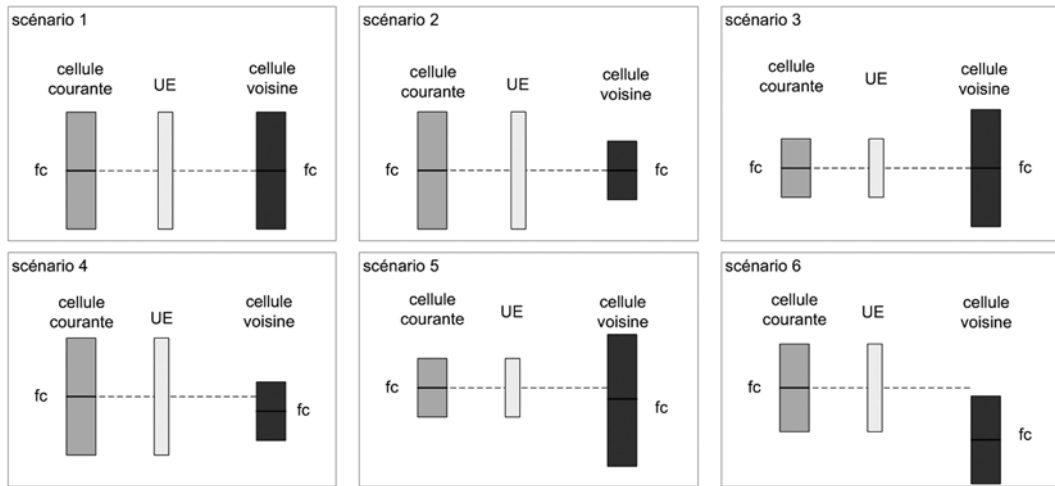


Figure 19-3

Deux cellules intrafréquences ont la même fréquence centrale

Configuration et remontée des mesures

Lors de la configuration d'une mesure, l'eNodeB associe un objet, c'est-à-dire l'élément sur lequel porte la mesure, à une configuration de remontée, c'est-à-dire la façon dont la mesure doit être remontée à l'eNodeB. L'objet de mesure peut être la fréquence LTE courante ou une autre fréquence LTE. L'UE mesure pour chaque cellule détectée le niveau de signal qu'il reçoit de la cellule. Cette mesure s'effectue à l'aide des signaux de référence communs à la cellule (CRS, voir le chapitre 7) et est appelée RSRP (*Reference Signal Received Power*).

L'UE réalise un filtrage sur les mesures de RSRP fournies par la couche physique et remonte cette valeur filtrée à l'eNodeB ou la compare au seuil configuré pour l'événement.

Ensuite, la remontée des mesures suit un des schémas suivants.

- Sur événement (dit *event-triggered* en anglais) : dans ce cas, l'UE informe l'eNodeB lorsque l'événement survient. Ce dernier est au préalable configuré par l'eNodeB au moyen du protocole RRC, qui indique notamment le ou les seuil(s) radio associé(s) au critère de déclenchement et la durée T pendant laquelle ce critère doit être vérifié (appelée *time-to-trigger*). L'événement suivant peut par exemple être utilisé pour déclencher un handover intrafréquence : « une cellule voisine mesurée devient meilleure de 6 dB que la cellule courante et le reste pendant T secondes ».
- De façon périodique : l'UE envoie régulièrement à l'eNodeB des rapports de mesures, conformément au format et à la fréquence définis par l'eNodeB lors de la configuration des mesures.
- De façon périodique après un événement : il s'agit d'une combinaison des deux modes précédents. Une fois que le critère associé à l'événement configuré est atteint, l'UE envoie des rapports de mesures de façon périodique, dans la limite d'un nombre prédéterminé de rapports.

La remontée périodique permet à l'eNodeB de suivre l'évolution de l'UE vis-à-vis de l'objet mesuré et, par exemple, de déclencher un handover lorsque la mesure remontée se dégrade de façon continue. En revanche, elle implique plus de signalisation qu'une remontée sur événement et peut donc induire une charge radio plus importante sur la voie montante. Il faut bien noter cependant que la périodicité avec laquelle l'UE réalise les mesures ne dépend pas de ce mode de remontée.

En général, les mesures intrafréquences LTE sont configurées dès l'établissement de la connexion RRC, puisqu'elles sont indispensables au réseau pour assurer la mobilité sur une plaque de cellules LTE. Les mesures interféquences peuvent être configurées également à ce moment ; cependant, si le terminal ne dispose pas de deux récepteurs radio LTE, elles ne pourront être réalisées sans intervalles de mesure aménagés à cet effet dans la trame. Cette configuration d'intervalles est typiquement réalisée par l'eNodeB lorsque l'UE remonte un événement comme « la cellule serveuse est inférieure au seuil absolu X » et que la cellule serveuse se trouve dans une zone avec plusieurs fréquences LTE.

On notera également qu'en LTE, et cela constitue une différence importante avec l'UMTS, l'eNodeB peut configurer en mode connecté un seuil de niveau de signal radio au-dessus duquel l'UE n'est pas obligé de réaliser des mesures sur les fréquences LTE voisines ou sur les autres systèmes, et cela même si les intervalles permettant ces mesures sont activés. Ce seuil est appelé *s-Measure*, comme pour le mode veille. L'intérêt de ce seuil pour l'opérateur est de limiter la consommation des UE tout en simplifiant la configuration des mesures : celles-ci peuvent être configurées dès l'établissement de la connexion RRC, mais activées par l'UE uniquement lorsqu'il mesure sur la cellule serveuse un RSRP inférieur au seuil *s-Measure*. La valeur de *s-Measure* peut aussi être adaptée à l'activité de l'UE. Un UE actif aura besoin de bonnes conditions radio pour une qualité de service satisfaisante et une bonne continuité de service ; on pourra donc positionner *s-Measure* prudemment pour cet UE. En revanche, une valeur plus faible pourra être utilisée pour un UE peu ou pas actif pour lequel la consommation de batterie doit être minimisée (UE en mode DRX par exemple).

Il est important d'avoir à l'esprit que ce seuil ne s'applique qu'aux mesures effectuées par l'UE sur les cellules voisines, et non sur la cellule serveuse, que l'UE évalue de façon continue.

Ce séquençement configuration - remontée de mesures est illustré à la figure de la section « La phase de préparation », p. 403.

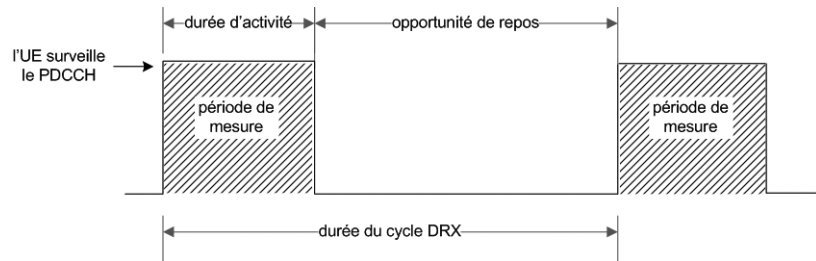
Mesures en mode DRX

Lorsque le DRX est utilisé en mode connecté, la période de mesure est limitée à la durée d'activité, comme illustré à la figure suivante. De ce fait, les exigences sur la précision des mesures et la rapidité de détection de nouvelles cellules voisines sont relâchées et elles dépendent de la durée du cycle DRX. Maintenir les mêmes exigences de performances avec et sans DRX impliquerait une activité de mesure et de remontée identique et réduirait donc notablement le gain apporté par ce mécanisme.

Le mode DRX a été présenté en détail dans le chapitre 14.

Figure 19-4

Les mesures en mode DRX ne peuvent être réalisées que pendant les périodes d'éveil



La phase de préparation

La préparation peut être réalisée entre les deux eNodeB via l'interface X2 si elle existe, ou, à défaut, par l'intermédiaire du MME via l'interface S1. Dans les deux cas cependant, la procédure sur l'interface radio est identique. L'utilisation de l'interface S1 pour le handover est nécessaire lorsque l'opérateur ne peut mettre en œuvre d'interface X2 entre certains eNodeB. Cependant, les délais de préparation et de transfert des données peuvent être plus longs puisque les messages transitent par le MME et traversent ainsi deux interfaces S1 (entre eNodeB source et MME, puis entre MME et eNodeB cible). Si la cellule cible appartient au même eNodeB, celui-ci n'engage aucune procédure de préparation.

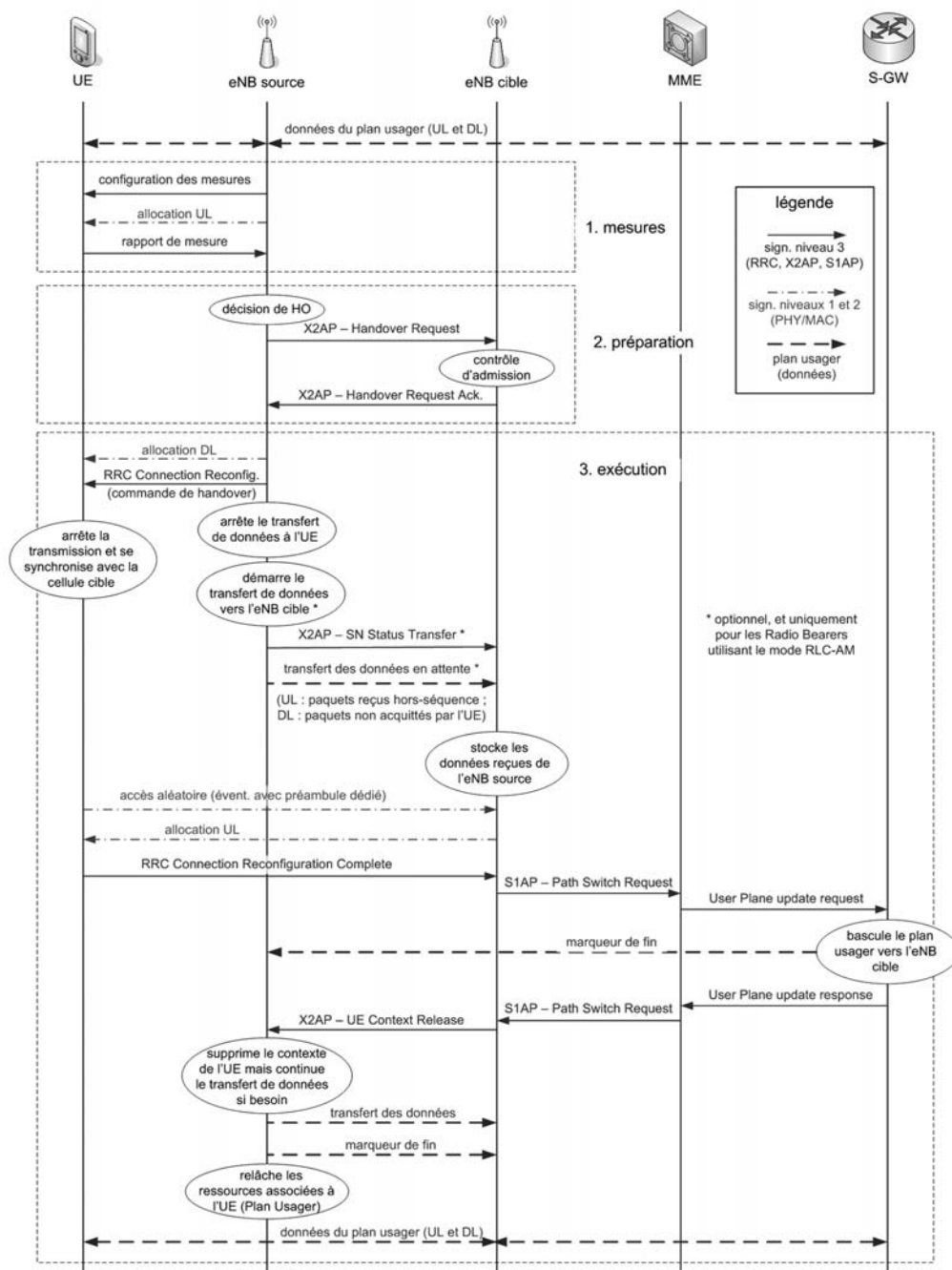
La figure suivante représente la cinématique des flux de signalisation dans le cas d'une procédure de handover via l'interface X2.

Lors de la préparation, l'eNodeB source fournit, entre autres, les informations suivantes à l'eNodeB cible :

- l'identifiant global de la cellule cible EGCI, permettant d'identifier la cellule cible sans ambiguïté ;
- la cause du handover (par exemple les conditions radio, la réduction de la charge, l'optimisation des ressources) ;
- des paramètres de sécurité, comme les algorithmes implémentés, la clé K_{eNB*} , l'identifiant short MAC-I (voir le chapitre sur la sécurité) ;
- la liste et la description des E-RAB à configurer ;
- le contexte RRC de l'UE, qui décrit notamment la configuration radio de la connexion RRC sur la cellule source, les paramètres du cycle DRX si utilisé ;
- des informations sur l'historique de mobilité de l'UE, informant l'eNodeB cible de la liste des 16 dernières cellules visitées par l'UE, et, par exemple, de déplacements récurrents entre des cellules (« ping-pong »).

L'eNodeB cible, à la réception du message X2AP *Handover Request*, effectue le contrôle d'admission : il vérifie qu'il dispose des ressources radio et système pour accueillir l'UE et, en particulier, des E-RAB actifs sur la cellule source. S'il est capable d'établir au moins l'un de ces E-RAB, l'eNodeB doit répondre positivement à l'eNodeB source en lui indiquant le ou les E-RAB qui peuvent être maintenu(s). Il inclut dans sa réponse le message RRC destiné à l'UE et qui sera envoyé par l'eNodeB source lors de la commande du handover. Ce message contient la configuration que

Figure 19-5
Diagramme
de flux
du handover
LTE via
l'interface X2



L'UE devra appliquer lors de son accès à la cellule cible, notamment les radio bearers associés aux E-RAB qui sont maintenus. L'eNodeB cible retourne également à l'eNodeB source, pour chaque E-RAB, le point de terminaison du tunnel GTP entre les deux eNodeB, si un transfert de l'eNodeB source à l'eNodeB cible des données descendantes (reçues par l'eNodeB source de la S-GW) a été demandé par l'eNodeB source dans le message *Handover Request*.

La phase d'exécution

Après la réception du message de réponse au *Handover Request*, l'eNodeB source déclenche le handover par l'envoi à l'UE du message *RRC Connection Reconfiguration*, qui lui indique notamment :

- la cellule cible (sa fréquence, si différente, et son PCI) ;
- son identifiant C-RNTI dans cette cellule ;
- des paramètres de sécurité (par exemple l'algorithme, s'il doit changer) lui permettant de dériver les nouvelles clés de chiffrement et d'intégrité RRC.

Lorsqu'il reçoit ce message, l'UE doit immédiatement tenter de basculer sur la cellule cible, même s'il n'a pu acquitter la réception du message RRC (acquittements HARQ ou ARQ/RLC). Il réinitialise sa couche MAC et procède au rétablissement de ses couches RLC et PDCP. La couche RRC configure alors les couches PHY, MAC, RLC et PDCP suivant les paramètres fournis par l'eNodeB cible et transmis par l'eNodeB source dans le message *RRC Connection Reconfiguration*.

L'UE dérive ensuite la nouvelle clé K_{eNB*} , soit à partir de la clé K_{ASME} actuelle (c'est-à-dire celle utilisée pour le calcul de la clé K_{eNodeB} courante), soit à partir de la nouvelle clé K_{ASME} si une procédure NAS de sécurité a été réalisée. L'eNodeB indique à l'UE lequel des deux mécanismes utiliser pour cette dérivation.

L'UE procède alors à l'accès aléatoire sur le canal RACH de la cellule cible et, en cas de succès, transmet à l'eNodeB le message *RRC Connection Reconfiguration Complete*, qui termine la procédure de signalisation. L'accès au canal RACH peut être réalisé avec un préambule dédié, si la cellule cible l'a fourni à la cellule source lors de la phase de préparation. Ce mode présente l'avantage d'écarter un risque de collision avec des préambules d'autres UE, ce qui augmente donc les chances de succès de la procédure et tend à réduire son délai global (voir le chapitre 14 pour la description de la procédure d'accès aléatoire).

Enfin, l'UE arrête les remontées périodiques de mesures activées sur la cellule source et supprime la configuration des intervalles de mesures utilisés pour les mesures interférences ou intersystèmes. Cependant, dans le cas d'un handover interférence, l'UE conserve les événements préalablement configurés sur la cellule source, en intervertissant simplement les fréquences source et cible dans la configuration de mesure.

La gestion du plan usager

Lors d'un handover, la bascule de l'UE de la cellule source vers la cellule cible s'accompagne d'une interruption de la connexion radio et, par conséquent, le transfert des données dans les sens montant et descendant est temporairement suspendu.

Le transfert de données descendantes vers l'eNodeB cible

Sans mécanisme de transfert des données entre eNodeB, les unités de données reçues de la S-GW par l'eNodeB source après le déclenchement de la bascule de l'UE sont perdues. La réémission de ces données échoit alors aux couches supérieures, si celles-ci mettent en œuvre une transmission fiable à l'aide de mécanismes de retransmission (par exemple lorsque le protocole TCP est utilisé). Cependant, ces retransmissions sont de fait plus lentes, puisque réalisées entre entités distantes (par exemple de type client/serveur), et peuvent induire une diminution du débit par les couches supérieures (mécanisme *TCP slow start* par exemple). L'expérience de l'utilisateur est alors dégradée. Pour éviter ces pertes, un transfert des unités de données PDCP (SDU PDCP) est possible de l'eNodeB source vers l'eNodeB cible.

La couche PDCP est utilisée, car la numérotation des SDU PDCP est maintenue entre les deux eNodeB pour les radio bearers utilisant le mode RLC acquitté (RLC-AM), alors que la couche RLC est toujours réinitialisée lors du handover (le numéro de séquence RLC est donc remis à zéro). Cette continuité dans la numérotation PDCP permet ainsi, pour ce type de radio bearer, de délivrer en séquence les unités de données à la couche supérieure (paquets IP typiquement) et d'éviter de renvoyer sur la cellule cible une unité de donnée déjà reçue par l'UE sur la cellule source.

Pour les radio bearers utilisant le mode RLC transparent (RLC-TM) ou non acquitté (RLC-UM), le transfert des données à l'eNodeB cible réduit l'interruption du service mais ne peut garantir l'absence de perte de paquets ni la remise en séquence à la couche supérieure, la numérotation des SDU PDCP n'étant pas maintenue.

Pendant la bascule radio effectuée par l'UE et décrite précédemment, l'eNodeB source peut commencer à transférer des données du plan usager à l'eNodeB cible, si un tel transfert doit être appliqué pour l'un des radio bearers basculés sur la cellule cible.

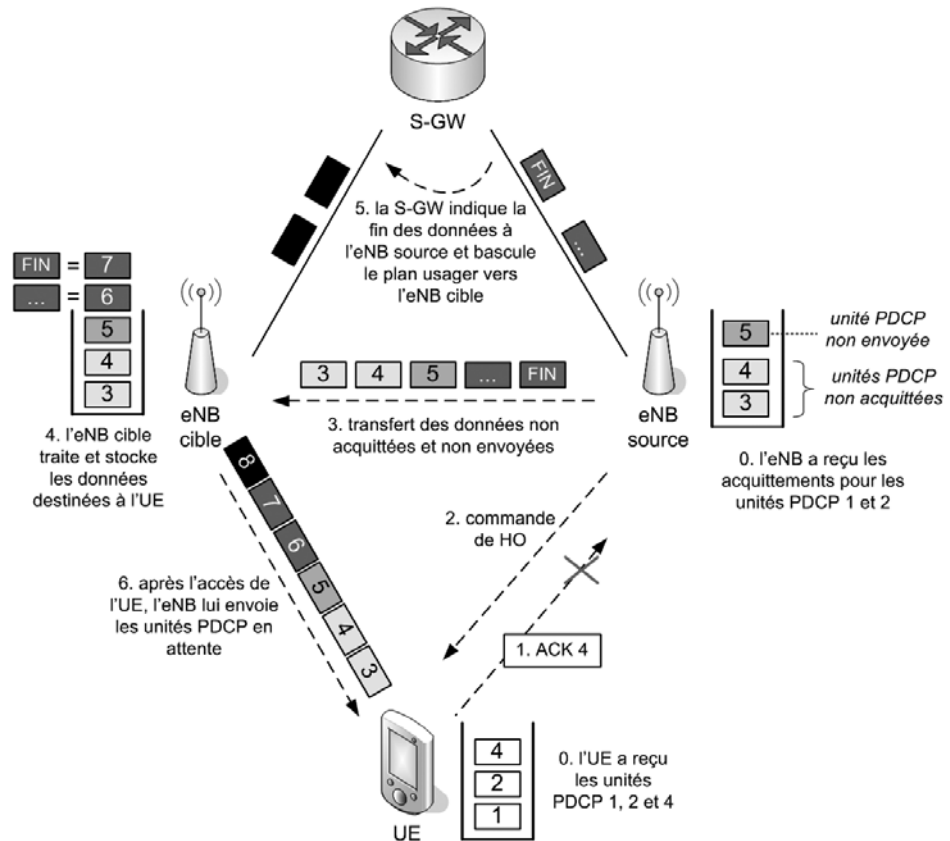
Pour un radio bearer utilisant le mode RLC-AM, l'eNodeB source indique à l'eNodeB cible le prochain numéro de séquence à attribuer dans le sens descendant à un paquet de données n'ayant pas encore de numéro de séquence PDCP. L'eNodeB source transmet également les unités de données suivantes :

- les SDU PDCP qui n'ont pas été intégralement transmises à l'UE ;
- les SDU PDCP dont les unités RLC n'ont pas toutes été acquittées par l'UE ;
- les nouvelles unités de données reçues de la S-GW, qui n'ont pas été traitées par la couche PDCP.

Les SDU PDCP complètes reçues de l'UE sont quant à elles transférées par l'eNodeB source à la S-GW. Deux tunnels différents sont utilisés entre l'eNodeB source et l'eNodeB cible pour transférer les données du sens montant et celles du sens descendant.

Le transfert des SDU PDCP permet de réaliser un handover sans perte de données. Il doit être conjugué à l'utilisation des rapports de réception décrits à la section suivante, pour réaliser un handover sans doublon.

Figure 19-6
Gestion du plan
usager lors du
handover en
LTE



La figure illustre par un exemple la gestion du plan usager lors d'un handover avec transfert des données PDCP de l'eNodeB source à l'eNodeB cible :

0. Lors de l'appel en cours sur la cellule source, l'eNodeB a pu envoyer à l'UE les SDU PDCP 1 à 4. Cependant, l'eNodeB source n'a pas reçu d'ackuitement pour les SDU 3 et 4. Il les conserve donc dans son buffer de transmission, de même que la SDU 5 qui n'a pas été transmise à l'UE. Ce dernier a correctement reçu les SDU 1, 2 et 4, et les a acquittées. En revanche, il n'a pas reçu la SDU 3 ; il a donc besoin de sa retransmission par l'eNodeB.
1. L'ackuitement de la SDU 4 n'arrive pas à l'eNodeB source, le lien radio entre l'UE et l'eNodeB source étant déjà dégradé.
2. L'eNodeB source envoie à l'UE l'ordre de bascule.
3. L'eNodeB source commence alors le transfert des SDU PDCP vers l'eNodeB cible, en indiquant leur numéro de séquence. Simultanément, il continue de recevoir de la S-GW des unités de données à destination de l'UE, qu'il transférera également à l'eNodeB cible après le transfert de toutes les SDU PDCP en attente. L'eNodeB cible leur attribuera alors des numéros de séquence PDCP.

4. L'eNodeB cible stocke les SDU reçues, jusqu'à l'arrivée de l'UE sur la cellule. Il attribue un numéro de séquence à chaque unité de données reçue de l'eNodeB source sans numéro de séquence (SDU 6 par exemple, transmise dès réception de la S-GW par l'eNodeB source).
5. Lors de l'accès de l'UE, l'eNodeB cible informe la S-GW, qui bascule alors le plan de données vers l'eNodeB cible. Celle-ci envoie à l'eNodeB source un indicateur de fin de trafic.
6. L'eNodeB cible transmet à l'UE les données PDCP en attente, ainsi que de nouvelles unités de données reçues de la S-GW (SDU 7 et 8). On voit que l'UE va recevoir une seconde fois la SDU 4, ce qui constitue donc un doublon et une utilisation non optimale de l'interface radio.

Les rapports de réception

Un mécanisme de rapport de réception évite en LTE la transmission sur la cellule cible de SDU PDCP déjà reçues par l'UE ou par l'eNodeB (*doublons*). Ce mécanisme ne peut être utilisé que pour les radio bearers utilisant le mode RLC-AM, pour lesquels la numérotation des SDU PDCP est continue entre la cellule source et la cellule cible, comme nous l'avons expliqué précédemment.

Si l'eNodeB source choisit d'utiliser ce mécanisme pour un ou plusieurs E-RAB actif(s) de l'UE, il indique à l'UE dans le message de commande du handover les E-RAB pour lesquels l'UE devra envoyer un rapport de réception PDCP à l'eNodeB cible une fois la bascule effectuée. L'UE doit alors transmettre sur la cellule cible une unité de contrôle PDCP, appelée *PDCP Status Report*, donnant l'état des réceptions des SDU PDCP pour ces radio bearers. Ce rapport n'est donc pas systématique pour un radio bearer RLC-AM. Cependant, s'il est demandé, l'UE doit l'envoyer avant toute transmission de données sur la cellule cible. Il sert à l'eNodeB cible pour déterminer quelles SDU PDCP doivent être renvoyées à l'UE.

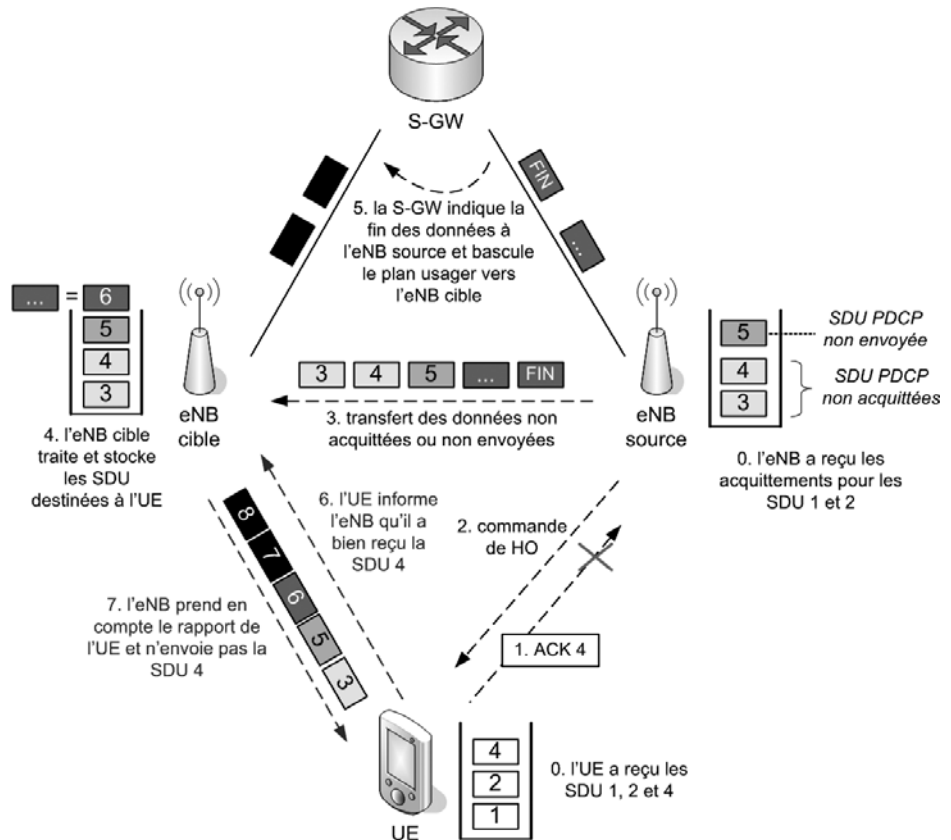
Lors du transfert des données à l'eNodeB cible, l'eNodeB source envoie également un état d'envoi/réception indiquant, pour chacun de ces E-RAB :

- pour le sens descendant : le dernier numéro de séquence PDCP alloué, indiquant à l'eNodeB cible quel numéro attribuer à la première SDU PDCP qui n'en a pas encore ;
- pour le sens montant : le numéro de séquence SN1 de la dernière SDU PDCP reçue en séquence, informant l'eNodeB cible qu'il ne doit pas transmettre à la S-GW de SDU PDCP reçue de l'UE avec un numéro de séquence inférieur ou égal. La SDU SN2 est donc la première SDU non reçue par l'eNodeB source ;
- pour le sens montant : les numéros de séquence des autres SDU PDCP reçues de l'UE après cette SDU SN1, qui n'ont donc pas besoin d'être renvoyées par l'UE sur la cellule cible.

Les deux dernières informations servent à l'eNodeB cible pour préparer un PDCP Status Report à destination de l'UE, pour qu'il ne renvoie que les SDU manquantes. L'eNodeB source peut envoyer cet état d'envoi/réception à l'eNodeB cible directement via l'interface X2 (dans le cas d'un handover via X2), ou par l'intermédiaire du MME (handover via S1).

Avec ces deux rapports PDCP fournis par l'eNodeB source et par l'UE lors de son accès, l'eNodeB cible sait donc quelles SDU PDCP renvoyer et lesquelles attendre de l'UE.

Figure 19-7
Rapport de
réception par l'UE
pour éviter les
doublons PDCP



Cette figure reprend l'exemple précédent, mais ici l'UE envoie un rapport de réception lors de son accès à la cellule cible. Cela informe l'eNodeB qu'il a reçu la SDU 4 et donc qu'il doit la supprimer du buffer d'envoi. On évite ainsi un doublon sur l'interface radio.

En synthèse :

- Un handover peut être réalisé sans perte de données sur un radio bearer si, d'une part, un transfert de données est opéré par l'eNodeB source pour ce radio bearer et, d'autre part, le radio bearer utilise le mode RLC-AM.
- Le mécanisme de rapport de réception limite le renvoi sur l'interface radio de données déjà transmises (évite les doublons) et améliore ainsi l'efficacité radio du handover.

En cas d'échec : la procédure de rétablissement

Lors de la réception du message *RRC Connection Reconfiguration* commandant le handover, l'UE démarre la temporisation du handover. Celle-ci est arrêtée par l'UE lorsque la procédure d'accès aléa-

toire sur le canal RACH de la cellule cible aboutit. Si cette temporisation expire avant la fin de cette procédure, l'UE considère que le handover a échoué et lance alors une procédure de rétablissement de connexion RRC. L'UE reprend alors la configuration RRC et PDCP utilisée dans la cellule source et supprime les configurations des couches physique et MAC établies pour la cellule cible.

La perte du lien radio et le rétablissement de connexion en LTE

Lors de l'appel, la position de l'UE au sein de la cellule peut évoluer et conduire à une dégradation du lien radio avec l'eNodeB. L'objectif de l'opérateur est d'éviter que cette dégradation ne conduise à la perte de la connexion RRC et d'assurer une continuité de l'appel à l'aide des procédures de mobilité. Toutefois, différents facteurs, comme la charge du réseau, un déplacement rapide et soudain de l'UE ou des perturbations liées à l'environnement (interférences, obstacle mobile...) peuvent provoquer une dégradation brutale des conditions et une rupture du lien radio avant que l'eNodeB ait pu déclencher un handover. Enfin, le paramétrage du réseau (seuils de handover notamment) est une opération délicate qui peut nécessiter sur certains sites une période d'observation et d'optimisation après le déploiement, période pendant laquelle l'UE peut être exposé à des pertes de couverture en fonction de son déplacement.

Il est donc primordial de pouvoir rétablir une connexion RRC si celle-ci est provisoirement rompue du fait d'une dégradation sévère du lien radio. Une procédure a donc été définie, comme dans les systèmes GSM et UMTS, pour que l'UE recouvre cette connexion avec une cellule.

Nous décrivons dans cette section les différentes étapes de ce mécanisme, à savoir :

1. la détection d'un problème sur le lien radio ;
2. la procédure de rétablissement elle-même.

Dans la suite, nous supposons que l'UE a établi un bearer EPS avec le réseau. Une connexion RRC est donc établie et la procédure de sécurité a été effectuée.

La détection de la perte de lien radio

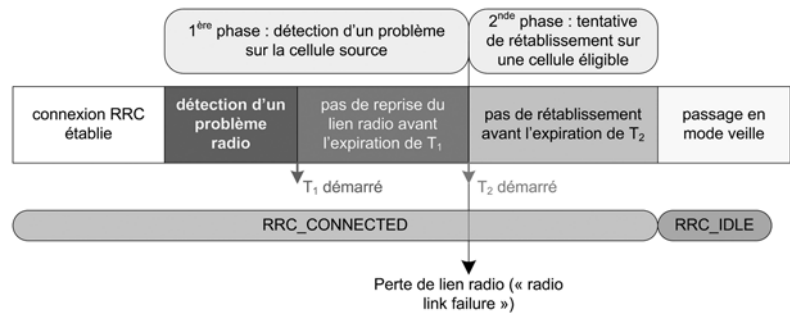
Lorsqu'une connexion radio est établie avec l'eNodeB, l'UE en surveille la qualité à l'aide de mesures effectuées par la couche physique et remontées à la couche RRC après application d'un filtre.

La couche RRC de l'UE détecte un problème sur la couche physique lorsqu'elle reçoit de celle-ci N indications successives de perte de synchronisation. Une temporisation RRC (que nous appellerons ici T_1) est alors démarrée et n'est arrêtée que si la couche physique remonte M indications consécutives de synchronisation avant que cette temporisation expire. Dans ce cas de figure, la couche RRC considère que la synchronisation est rétablie et ne lance aucune procédure particulière. En revanche, si la temporisation expire, ou si le nombre maximal de retransmissions RLC a été atteint, la couche RRC de l'UE considère que le lien radio est défaillant et démarre alors la procédure de rétablissement de connexion RRC. Elle lance alors la temporisation T_2 . Si le rétablissement aboutit avant l'expiration de T_2 , cette temporisation est arrêtée. Sinon, l'UE passe en mode veille et le rétablissement de la session est alors du ressort des couches supérieures, voire de l'utilisateur.

Les valeurs N , M , T_1 et T_2 sont configurées par l'opérateur et diffusées sur les Informations Système de chaque cellule.

Figure 19-8

Les étapes dans la perte du lien radio



Le rétablissement de la connexion RRC

L'objet de cette procédure est de rétablir la connexion RRC. Ceci implique d'abord la reprise du radio bearer de signalisation SRB1, portant les messages RRC avant la procédure de sécurité RRC et, ensuite, la réactivation de la sécurité RRC. On notera que cette procédure est prévue pour permettre un rétablissement de la connexion radio sur la cellule source ou la cellule cible du handover, après un échec lors de l'accès initial de l'UE à la cellule cible. Cette procédure ne peut en effet aboutir que lorsque la cellule sélectionnée par l'UE a été préalablement *préparée* par l'eNodeB d'origine, c'est-à-dire qu'elle a reçu de celui-ci un ensemble d'informations sur l'UE en préparation à un handover.

Cette procédure est décrite dans la suite de cette section et illustrée par la figure 19-9. Ici, une interface X2 existe entre les deux eNodeB et le handover est donc préparé via cette interface.

Nous supposons que la temporisation T_1 a expiré (perte du lien radio) et que l'UE n'a pas reçu la commande de handover. L'UE déclenche la temporisation de rétablissement T_2 et procède à la sélection de cellule. Lorsqu'une cellule E-UTRAN éligible est sélectionnée, l'UE arrête T_2 et prépare le message *RRC Connection Reestablishment Request*. Si en revanche aucune cellule éligible E-UTRAN n'est trouvée, ou si l'UE sélectionne une cellule d'une autre technologie d'accès (GSM ou UMTS), il passe alors en mode veille et relâche tous les radio bearers établis en LTE.

Dans le message *RRC Connection Reestablishment Request*, l'UE indique notamment :

- son identifiant C-RNTI utilisé dans la cellule d'origine ;
- l'identifiant physique de la cellule d'origine (PCI) ;
- un code d'identification appelé *Short MAC-I*.

Les deux premiers paramètres permettent à l'eNodeB contrôlant la cellule accédée de retrouver le contexte de l'UE. Le cas échéant, l'eNodeB vérifie que le code d'identification Short MAC-I fourni par l'UE correspond à celui reçu de l'eNodeB d'origine avec le contexte de l'UE, lors de la préparation du handover.

En effet, lors de cette préparation, l'eNodeB d'origine ne fournit pas les clés RRC de l'UE utilisées pour la protection de l'intégrité et le chiffrement des messages RRC, mais uniquement le paramètre Short MAC-I qu'il a calculé à l'aide de ces clés (voir le chapitre 20). L'UE procède au même calcul

au moment d'accéder à la cellule. Le message *RRC Connection Reestablishment Request* n'est donc pas protégé en intégrité, ni même chiffré, et l'identification fiable n'est rendue possible que par la vérification de ce code. Sans cette identification sécurisée, un UE malveillant pourrait mettre fin à l'appel de l'UE auquel le CRNTI est attribué, en initiant une procédure de rétablissement sur une cellule voisine.

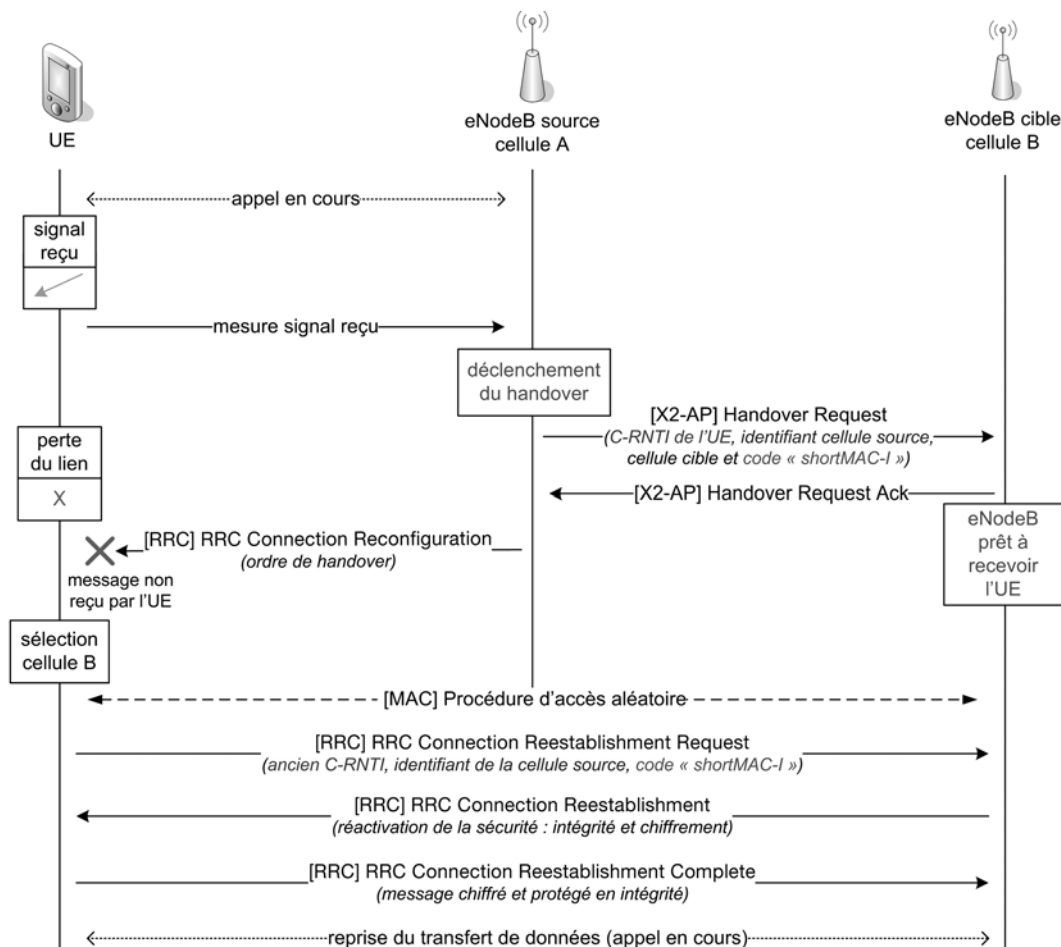


Figure 19-9

Cinématique pour le rétablissement de la connexion RRC

Ce message est alors transmis à la couche MAC de l'UE, qui démarre une procédure d'accès aléatoire pour l'envoyer à l'eNodeB, comme dans le cas d'une procédure d'établissement de connexion RRC.

Lors de cette procédure d'accès aléatoire, un nouveau C-RNTI est alloué à l'UE par la cellule d'arrivée. L'UE reçoit en retour le message *RRC Connection Reestablishment*, à l'aide duquel il dérive les nouvelles clés de chiffrement et d'intégrité RRC. Tous les messages suivants sont alors protégés en intégrité et chiffrés à l'aide de ces clés, avec les algorithmes de chiffrement et d'intégrité utilisés dans la cellule d'origine. La clé de chiffrement du plan usager est également calculée par l'UE à la réception de ce message. À partir de ce moment, la sécurité entre l'UE et l'eNodeB est donc rétablie. Ce dernier peut maintenant procéder au rétablissement des radio bearers de données, via la procédure de reconfiguration de la connexion RRC. Le basculement du plan usager vers l'eNodeB cible est alors demandé par l'eNodeB source au MME et suit le même mécanisme que pour un handover.

Vitesse de déplacement et mobilité

En mode connecté, un ajustement peut être effectué en fonction de la vitesse de l'UE sur la rapidité de détection d'un événement particulier. Dans ce cas, l'UE modifie la durée de validation du critère associé à l'événement, appelée *time-to-trigger*, selon sa vitesse de déplacement.

Il évalue sa vitesse en comptant le nombre de handovers réalisés dans un intervalle de temps donné et, selon le résultat et la configuration indiquée par l'eNodeB, il considère qu'il évolue à une vitesse faible, moyenne ou élevée. Il ajuste alors le paramètre *time-to-trigger* d'un coefficient associé à cette vitesse et fourni par l'eNodeB. Le mécanisme est donc identique à celui utilisé en mode veille (voir le chapitre 18), la seule différence portant sur le paramètre affecté, *time-to-trigger* étant l'équivalent en mode connecté de $T_{\text{reselection}}$. Les paramètres nécessaires à la détection de la vitesse de déplacement (durée d'évaluation, nombre de handovers pour chaque niveau de vitesse) et à l'adaptation du *time-to-trigger* (coefficient pour chaque niveau de vitesse) sont indiqués par l'eNodeB dans le message *RRC Connection Reconfiguration*, typiquement lors de la configuration des événements de mesure. Cependant, ce mécanisme est optionnel pour l'eNodeB et l'opérateur peut faire le choix de ne pas l'utiliser.

La mobilité intersystème en appel

Principes généraux

De façon générale, la mobilité intersystème peut suivre les mêmes schémas que la mobilité intra-système, c'est-à-dire handover (avec ou sans mesures), redirection et resélection. Cependant, en cas de handover, ce dernier sera toujours effectué avec une rupture du lien radio. En effet, le mécanisme de soft handover n'est défini qu'en UMTS et est possible uniquement entre stations de base de la même technologie radio. Par ailleurs, un principe général adopté par le 3GPP pour la définition des procédures de handover en appel est que le système source s'adapte au système cible : cela signifie par exemple que, lors d'un handover LTE vers UMTS, les messages échangés entre les nœuds des deux systèmes suivent la syntaxe et le protocole du système UMTS.

Ce principe est essentiel dans la perspective du déploiement d'une nouvelle technologie de réseau mobile. En effet, le déploiement d'un tel réseau se faisant progressivement, les zones couvertes par

ce nouveau système sont habituellement limitées aux grands centres urbains dans un premier temps et à des surfaces géographiques limitées de façon générale. Cela implique, pour une technologie dite mobile, de mettre en place dès le début des mécanismes de continuité de service depuis le nouveau réseau vers le réseau existant, a minima pour les services interactifs ou conversationnels (appels voix et vidéo, streaming par exemple). Les opérateurs cherchent alors à éviter des modifications sur la technologie de réseau existante pour limiter les investissements sur une technologie non pérenne. Ainsi, il est primordial que la continuité de service vers le réseau existant soit assurée sans faire évoluer ce dernier de façon significative. C'est une condition déterminante pour l'acceptation de la nouvelle technologie.

De façon similaire, l'intérêt des opérateurs est que la mobilité vers le nouveau système, qui suit aussi le principe énoncé ci-dessus, soit conçue de façon à ce que les changements sur le système existant, inévitables, soient limités et simples. Par exemple, les modifications sur la partie UMTS de l'UE pour permettre le handover vers le LTE doivent être minimales.

Un autre point important dans le handover intersystème est que le système source transmet les capacités de l'UE au système cible. Elles sont en effet utilisées par ce dernier pour préparer une configuration adaptée à ces capacités (configuration radio, de sécurité, de mesure...) avant l'arrivée de l'UE sur la cellule.

Mécanismes utilisés en LTE

Rappelons que le système LTE/EPC a été conçu pour utiliser l'architecture de service IMS, entièrement basée sur le protocole IP : cela signifie que tous les services, y compris ceux de type conversationnel (voix, visiophonie), sont destinés à être portés de bout-en-bout par ce protocole (VoIP pour la voix). Le handover en mode paquet est donc la procédure adéquate pour basculer un appel VoIP entre les systèmes LTE et UMTS tout en le maintenant sur l'IMS pour la signalisation.

Cependant, lors de la définition des systèmes LTE/EPC, certains opérateurs ont souhaité permettre une mobilité vers le mode circuit de l'UMTS, afin de ne pas avoir à déployer une infrastructure IMS dès le déploiement de leur réseau LTE/EPC. Cela a conduit à la définition de la procédure CS Fallback, qui transfère un appel VoIP en LTE vers la technologie la plus utilisée en UMTS ou en GSM/GPRS pour la voix : le mode circuit (CS).

Plusieurs mécanismes de mobilité en mode connecté ont été définis pour couvrir différents cas d'usages (voix, données) et de déploiement.

- Handover en mode paquet (*PS handover*, pour *Packet-Switched handover*), similaire au mécanisme existant entre 3G et 2G pour la continuité des sessions de données, qui peut être utilisé pour la mobilité entre le LTE et le domaine PS des technologies 3G et 2G.
- Handover de type paquet vers circuit (SR-VCC pour *Single Radio Voice Call Continuity*), transférant un appel VoIP en LTE vers le domaine CS de la 3G ou de la 2G.
- Resélection commandée par la station de base (*Cell Change Order*). Elle peut être utilisée dans certaines configurations, entre LTE et GPRS notamment, lors de sessions de données, à la place du PS handover, dont la mise en œuvre est plus complexe (voir la section « Cell Change Order et redirection », p. 427). Comme le handover, elle peut être précédée de mesures sur la RAT cible.

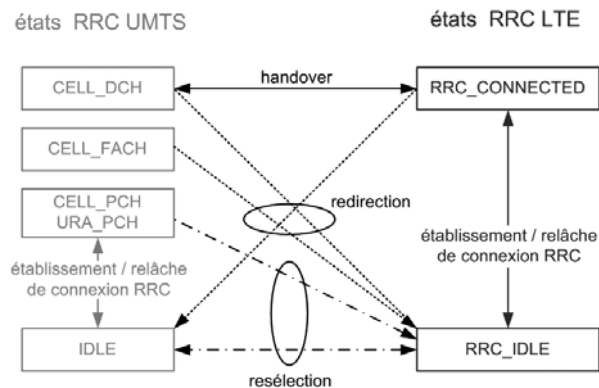
- Redirection lors de l'établissement ou de la relâche de la connexion RRC, similaire à la redirection existant en UMTS. Ce mécanisme peut être utilisé en LTE par exemple lors d'une procédure de CS Fallback (voir la section « Le mécanisme CS Fallback », p. 432) pour renvoyer l'UE en 3G ou en 2G afin qu'il puisse y établir un appel voix sur le domaine CS.

L'intérêt et la mise en œuvre effective de tel ou tel mécanisme dépend de la configuration du réseau existant de l'opérateur (par exemple en fonction de l'existence et la couverture du réseau UMTS et/ou des services proposés sur le réseau GSM/GPRS) et de sa stratégie (selon son choix ou non d'investir dans le réseau GSM/GPRS, la nature des premiers terminaux LTE etc.).

Mobilité entre les systèmes LTE et UMTS

Les mécanismes de mobilité existant entre l'UMTS et le LTE sont résumés par le schéma suivant. On voit que seul le handover permet de rester dans l'état connecté sur le système cible, tandis que la redirection est possible, dans un sens comme dans l'autre. Ces mécanismes sont décrits dans la suite de ce chapitre, tandis que la resélection a été décrite dans le chapitre 18.

Figure 19-10
États RRC et mobilité entre les systèmes
UMTS et LTE



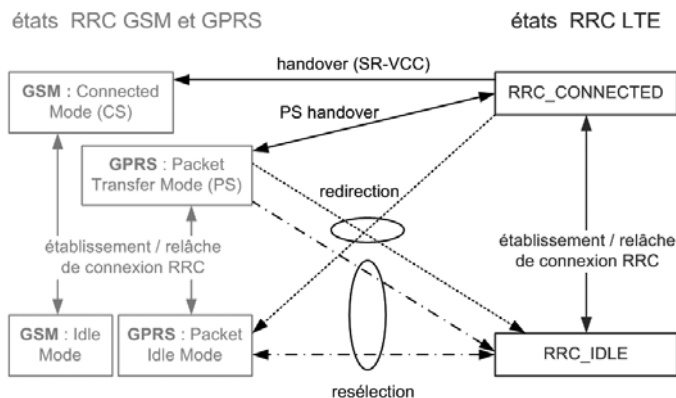
Mobilité entre les systèmes LTE et GSM/GPRS

Les mécanismes de mobilité en mode connecté définis en Release 8 entre les systèmes LTE et GSM/GPRS sont :

- pour la mobilité du LTE vers le GSM/GPRS :
 - PS Handover ;
 - SR-VCC (appel voix) ;
 - redirection de type *Cell Change Order*.
- pour la mobilité du GPRS vers le LTE :
 - PS Handover ;
 - resélection autonome en mode connecté GPRS (*Packet Transfer Mode*) ;
 - redirection de type *Cell Changer Order*.

La figure suivante représente les mécanismes et les transitions d'états associées entre LTE et GSM/GPRS.

Figure 19-11
États RRC et mobilité
entre les systèmes GSM/GPRS
et LTE



Handover LTE vers UMTS

Cette section décrit la procédure de handover en mode paquet depuis le système LTE vers le système UMTS. En particulier, les étapes suivantes sont présentées :

- les mesures ;
- la préparation <XREF> du handover ;
- l'exécution du handover ;
- l'échec du handover : sur quel critère et quel comportement de l'UE.

Comme nous l'avons évoqué plus haut, ce handover en mode paquet est essentiel pour assurer une véritable continuité de service lors du déploiement d'un réseau LTE, puisqu'il s'agit du seul mécanisme de mobilité comprenant une phase de préparation.

La prise en charge de cette procédure par l'UE est optionnelle et est indiquée dans les capacités que l'UE communique au réseau lors de son attachement (voir le chapitre 16).

Au cours de cette procédure, le plan usager bascule de la configuration 1 à la configuration 2 ci-après, définies en termes d'équipements mis en jeu :

1. en LTE : P-GW – S-GW – eNodeB – UE ;
2. en UMTS : P-GW – S-GW – SGSN (si le *Direct Tunnel* n'est pas utilisé, voir la section « Mécanismes de Direct Forwarding et de Direct Tunnel », p. 421) – RNC – UE.

De même, le plan de contrôle entre l'UE et le réseau évolue :

1. en LTE : MME – eNodeB – UE ;
2. en UMTS : SGSN – RNC – UE.

L'eNodeB n'est pas mentionné dans les chaînes UMTS, car son rôle est identique vis-à-vis des plan de contrôle et plan usager UE – réseau.

Mesures

Une liste des cellules voisines UMTS et GSM

Si l'UE n'a pas besoin de recevoir de liste de cellules pour réaliser des mesures sur les cellules voisines LTE, il n'en est pas de même pour les mesures intersystèmes. En effet, la norme 3GPP prévoit que l'UE reçoit de l'eNodeB une liste complète de cellules voisines UMTS et/ou GSM et qu'il peut effectuer des mesures uniquement sur ces cellules. La principale raison de cette différence entre les cas intra et intersystèmes est que la détection autonome de cellule, prévue dans les spécifications UMTS, n'a pas ou très peu été utilisée en UMTS et par conséquent n'a été que peu testée voire peu mise en œuvre au sein des terminaux. Constructeurs et opérateurs étant soucieux de réutiliser au maximum l'implémentation UMTS existante pour la partie UMTS des terminaux LTE, afin d'accélérer l'arrivée de ces terminaux et de limiter leur coût, il a été décidé de conserver le mode de mesure existant, basée sur une liste de cellules voisines fournie par le réseau.

Activation et remontée des mesures

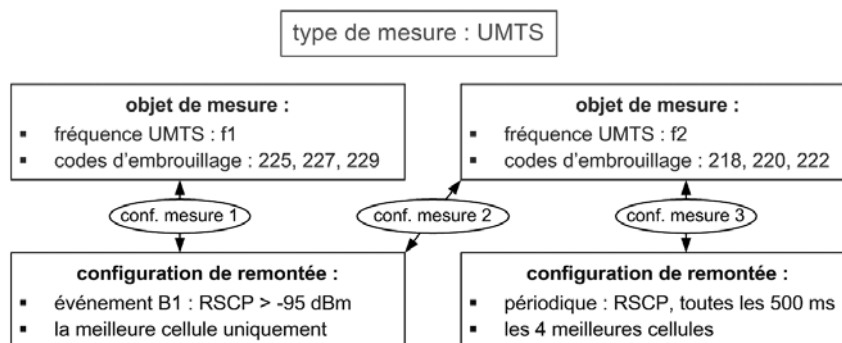
La configuration des mesures intersystèmes et des intervalles de mesure éventuels est décidée par l'eNodeB, le plus souvent sur un critère de niveau de signal (RSRP) remonté par l'UE. En effet, lorsque l'UE n'a plus dans son voisinage de cellule LTE suffisamment bonne pour y basculer, le niveau du signal radio reçu par l'UE sur la cellule serveuse peut continuer à se dégrader sans que l'eNodeB puisse déclencher de handover intra-LTE, jusqu'à la rupture du lien. Un seuil absolu de ce niveau RSRP est de ce fait associé à un événement déclenchant la configuration de mesures intersystèmes. Si l'UE remonte des mesures périodiques, ce seuil est configuré au sein de l'eNodeB. On notera que si l'UE a besoin d'intervalles de mesure pour réaliser des mesures inter-RAT, il n'effectuera pas ces mesures tant que ces intervalles ne seront pas configurés par l'eNodeB, même si les mesures sont configurées et si le RSRP est inférieur au seuil s-Measure. Ce mécanisme est similaire à celui décrit à la section « Configuration et remontée des mesures » (p. 401) pour le déclenchement des mesures interférences. L'événement de type « le RSRP de la cellule serveuse est inférieur à un seuil » (appelé événement A2 dans [3GPP TS 36.331]) peut par exemple être utilisé.

La configuration des mesures et des intervalles peut être réalisée dans la même procédure, par l'envoi du message *RRC Connection Reconfiguration*, qui indique notamment à l'UE l'objet de la mesure inter-RAT (c'est-à-dire la liste des cellules UMTS dans le cas présent), le mode de remontée (sur événement, périodique) et enfin la quantité mesurée sur ces cellules UMTS (soit le RSCP, équivalent du RSRP, soit le rapport signal sur bruit E_c/N_0 du canal pilote).

Un exemple de configuration est donné sur la figure suivante. Deux fréquences porteuses UMTS sont indiquées comme objet de mesure, portant chacune trois cellules identifiées par leur *code d'embrouillage* (*Scrambling Code* en anglais). Par ailleurs, deux configurations de remontée sont fournies à l'UE (périodique et sur événement). Dans le message RRC de configuration, l'eNodeB indique à l'UE trois configurations de mesures, correspondant chacune à un couple {objet de mesure, configuration de remontée}. On voit que pour la fréquence porteuse UMTS f_2 , deux configurations de mesures existent : l'une avec une configuration de remontée sur événement, l'autre avec une remontée périodique.

Figure 19-12

Exemple de configuration
de mesures sur la RAT
UMTS en LTE



On notera cependant que l'eNodeB peut utiliser plusieurs critères pour décider du déclenchement du handover, l'algorithme de décision étant du ressort de l'implémentation de la partie RRM (voir le chapitre 2). Il n'est en effet pas défini dans les spécifications 3GPP, qui fournissent des outils associés aux interfaces normalisées (comme les éléments ci-dessus) et il constitue un élément clé de différenciation pour les constructeurs.

Intervalles de mesure et capacités de l'UE

Le mode compressé mis en œuvre en UMTS n'est pas nécessaire en LTE, puisque les UE sont multiplexés par l'eNodeB dans le domaine temporel (et fréquentiel) : l'eNodeB peut donc s'arranger pour ne pas envoyer de données pendant des intervalles de temps que l'UE utilise pour réaliser les mesures attendues sur les cellules voisines UMTS. La réalisation des mesures intersystèmes implique donc, pour l'UE ne disposant pas de deux chaînes complètes de réception, une interaction avec les opérations de scheduling (voir le chapitre 10). L'eNodeB doit donc aménager des intervalles de temps suffisants pour que l'UE puisse mesurer les cellules indiquées en respectant les exigences de performance définies par le 3GPP, mais pas trop longs pour limiter l'effet sur l'expérience de l'utilisateur (débit utile et latence notamment).

Un avantage notable de ces intervalles de mesure par rapport au mode compressé de l'UMTS est qu'ils n'engendrent pas directement d'interférences sur la cellule, dans les sens montant et descendant.

L'UE indique dans ses capacités radio (*UE radio access capabilities*) s'il a besoin d'intervalles pour mesurer des cellules UMTS, pour chaque combinaison de bande LTE et UMTS. Par exemple, si l'UE gère les bandes I (2,1 GHz) et VIII (900 MHz) en UMTS, ainsi que les bandes VII (2,6 GHz) et XX (800 MHz) en LTE, il devra ainsi préciser dans ses *UE radio access capabilities* s'il a besoin d'intervalles aménagés pour mesurer :

- des cellules UMTS sur la bande I, alors qu'il est en LTE sur la bande VII ;
- des cellules UMTS sur la bande VIII, alors qu'il est en LTE sur la bande VII ;
- des cellules UMTS sur la bande I, alors qu'il est en LTE sur la bande XX ;
- des cellules UMTS sur la bande VIII, alors qu'il est en LTE sur la bande XX.

Ce besoin d'intervalles est intimement lié à l'implémentation de la chaîne de réception radio de l'UE et en particulier aux duplexeurs utilisés pour séparer en réception les signaux des différentes bandes de fréquences.

Préparation du handover

Cette section décrit en détail la phase de préparation du handover, sur décision de l'eNodeB lorsque les critères de déclenchement sont vérifiés. Dans la plupart des cas, ce handover est démarré suite à la réception d'un événement spécifique (voir la section précédente) et/ou de mesures remontées par l'UE. Cependant, d'autres facteurs peuvent déclencher un tel mécanisme, par exemple un état de congestion sur la cellule LTE serveuse et ses voisines immédiates.

Cette phase de préparation implique l'UE, l'eNodeB, le RNC cible et le cœur de réseau LTE et UMTS, à la fois pour la gestion du plan de contrôle (signalisation) et pour celle du plan usager (données). À l'issue de cette phase, le RNC et le SGSN sont informés de l'arrivée de l'UE et préparés à le recevoir.

Les étapes de cette phase sont décrites ci-après, les numéros correspondant à ceux indiqués sur la figure suivante.

1. En premier lieu, l'eNodeB décide de déclencher un handover vers une cellule UMTS. Un plan usager existe dans les sens montant et descendant pour le transfert de données, qui implique l'existence des éléments suivants : radio bearer(s) entre l'UE et l'eNodeB, tunnels GTP entre l'eNodeB, la S-GW et la P-GW.
2. L'eNodeB envoie le message *S1-AP Handover Required* au MME pour qu'il demande des ressources au RNC cible, au SGSN et à la S-GW cible, si celle-ci change.

Ce message indique notamment :

- le type de handover, "LTE-to-UTRAN" ici, permettant au MME de savoir quel protocole suivre pour la formation du message suivant (vers le SGSN dans le cas présent) ;
- la cause de cette procédure, qui indiquera « Handover desirable for radio reasons » dans le cas d'un handover déclenché par les conditions radio ;
- l'identifiant *Target ID* de la cible, qui contient l'identifiant du RNC, de la zone de localisation (LAI) et de la zone de routage (RAI), et que le MME transmettra ensuite au SGSN ;
- l'indication si un chemin est disponible pour effectuer du *Direct Forwarding* (voir la section « Mécanismes de Direct Forwarding et de Direct Tunnel », p. 421) vers le RNC ;
- le bloc transparent *Source to Target RNC Transparent Container*. Ce bloc suit le protocole UMTS RANAP (entre RNC et réseau cœur) et est formaté comme s'il s'agissait d'un handover entre deux RNC, l'eNodeB jouant ainsi le rôle du RNC source, conformément au principe énoncé plus haut « la source s'adapte à la cible ». En outre, il est *transparent* pour le réseau cœur, c'est-à-dire qu'il n'est pas interprété par le MME ou le SGSN, mais est inséré par ces nœuds dans les messages ultérieurs pour être transmis tel quel au RNC cible. Il fournit notamment l'identifiant de la cellule cible et un conteneur RRC, destiné à la couche RRC du RNC et qui contient les capacités radio de l'UE pour les deux systèmes (UMTS et LTE). Les capacités LTE sont utiles dans la perspective d'un handover ultérieur vers le LTE ; elles seront alors fournies à l'eNodeB par le RNC de façon similaire.

Les éléments de sécurité (clés et algorithmes) seront fournis au RNC par le SGSN, après dérivation des clés UMTS CK et IK par le MME (voir les étapes 3 et 4).

3. Le MME associe à chaque contexte de bearer EPS un contexte PDP (équivalent en UMTS) ainsi que des paramètres de QoS : les paramètres de QoS EPC sont traduits en paramètres de QoS UMTS selon la correspondance définie par [3GPP TS 23.401]. Le MME envoie alors un message *Forward Relocation Request* au SGSN, contenant notamment l'IMSI de l'abonné, le ou les contexte(s) PDP, l'identifiant *Target ID* fourni par l'eNodeB, le bloc *Source RNC to Target RNC Transparent Container*, les clés CK/IK et ses propres coordonnées (adresse et point de terminaison) pour l'échange de signalisation avec le SGSN. Le MME peut déterminer le SGSN cible à partir de la zone de routage du domaine paquet (RA) incluse dans le paramètre *Target ID*. Le MME informe également le SGSN dans ce message si le *Direct Forwarding* est utilisé pour le transfert de données. On notera que, si l'UE a un bearer dédié actif, celui-ci sera décliné en UMTS sous la forme d'un contexte PDP secondaire (*Secondary PDP Context*), équivalent du contexte EPS dédié défini en LTE. Le maintien de ce bearer dédié lors d'une mobilité vers l'UMTS implique donc la prise en charge de la fonctionnalité *Secondary PDP Context* par le réseau UMTS et par l'UE.

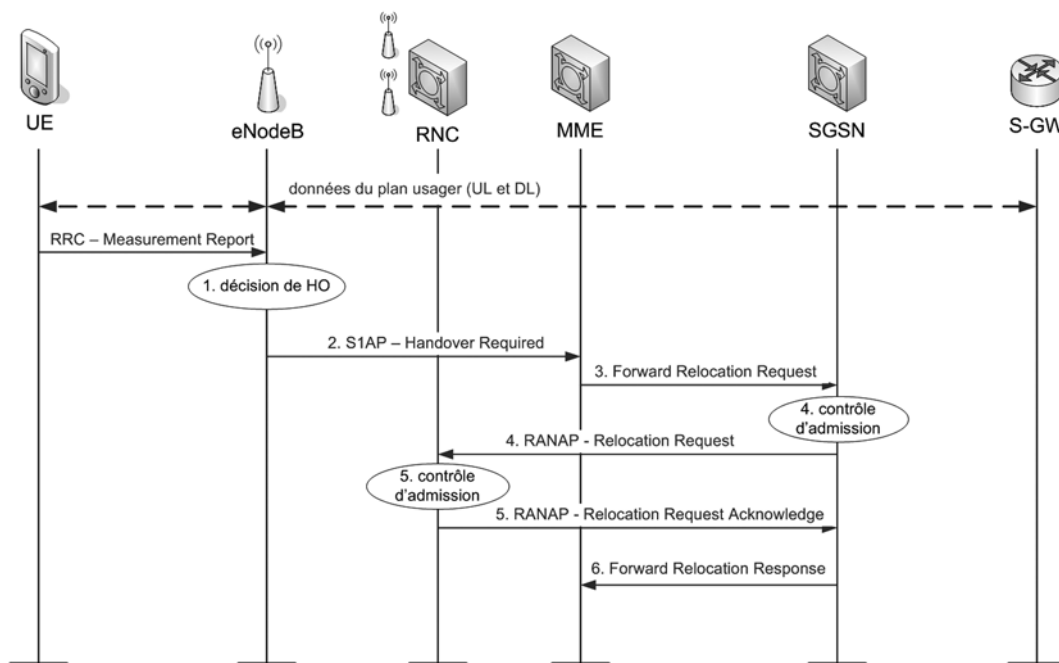


Figure 19-13

Cinématique pour la phase de préparation du handover LTE vers UMTS (pas de changement de S-GW)

4. Le SGSN détermine si une S-GW différente doit être utilisée (par exemple en cas de changement de PLMN). Nous supposons ici que la même S-GW est utilisée. On notera que même si

la S-GW change, elle reste le point d'ancrage du plan usager pour l'UE. Le SGSN vérifie qu'il peut accueillir le ou les RAB demandé(s) (contrôle d'admission). Le cas échéant, il demande à son tour au RNC cible d'établir les ressources pour les *Radio Acces Bearers* correspondant aux contextes PDP qui doivent être maintenus en UMTS, par l'envoi du message RANAP *Relocation Request*. Ce dernier contient notamment les données de sécurité, les paramètres du ou des RAB (un RAB par contexte PDP), le bloc *Source RNC to Target RNC Transparent Container* et l'identifiant de l'abonné (IMSI). On notera que le SGSN peut réduire la QoS associée à un RAB par rapport à celle indiquée par le MME, en fonction de ses capacités propres et de sa charge. L'envoi des clés de sécurité UMTS au RNC par le SGSN évite d'effectuer une authentification UMTS AKA à l'arrivée de l'UE sur la cellule UMTS et donc accélère la reprise du transfert de données.

5. Le RNC alloue les ressources logiques, radio et réseau pour les RAB et radio bearers qu'il peut établir, à l'issue du contrôle d'admission. Il retourne alors au SGSN dans le message RANAP *Relocation Request Acknowledge* la liste de ces RAB qui peuvent être maintenus. En outre, il insère dans ce message le bloc *Target RNC to Source RNC Transparent Container*, destiné à l'eNodeB (qui opère comme le RNC source ici) et qui n'est ensuite modifié ni par le SGSN ni par le MME. Ce bloc contient en fait le message RRC *Handover to UTRAN Command*, destiné à l'UE, qui précise l'algorithme de chiffrement UMTS choisi, la configuration de la connexion RRC et les paramètres des radio bearers établis par le RNC, dont l'UE a besoin lors de son accès à la cellule UMTS. À partir de ce moment, le RNC doit être prêt à recevoir des paquets de données à destination de l'UE.
6. Le SGSN traite ce message du RNC et transmet au MME le message *Forward Relocation Response*, qui contient le bloc transparent fourni par le RNC. Si le mode *Direct Forwarding* n'est pas utilisé, le SGSN indique également dans ce message les coordonnées du tunnel GTP avec la S-GW (adresse IP et point de terminaison GTP) : si le mode *Direct Tunnel* est employé, ces coordonnées correspondent à une terminaison de tunnel sur le RNC, sinon, sur le SGSN.

Nous supposons que le mécanisme *Direct Forwarding* est utilisé pour le transfert des données entre l'eNodeB et le RNC. Si ce n'est pas le cas, le MME indique à la S-GW, sur réception de la réponse du SGSN, les coordonnées communiquées par ce dernier pour le tunnel GTP et les identifiants des bearers EPS concernés afin de permettre à la S-GW de transférer les données au SGSN.

Mécanismes de Direct Forwarding et de Direct Tunnel

Deux mécanismes complémentaires peuvent être utilisés pour accélérer l'envoi des données du plan usager au RNC :

- l'un pour le transfert des données déjà reçues, de l'eNodeB vers le RNC lors du handover uniquement (*Direct Forwarding*) ;
- le second, plus général, pour la transmission directe des données depuis le SGSN ou la S-GW au RNC (*Direct Tunnel*), dès qu'un service implique un transfert de données vers l'UE.

Ces mécanismes sont illustrés par la figure suivante.

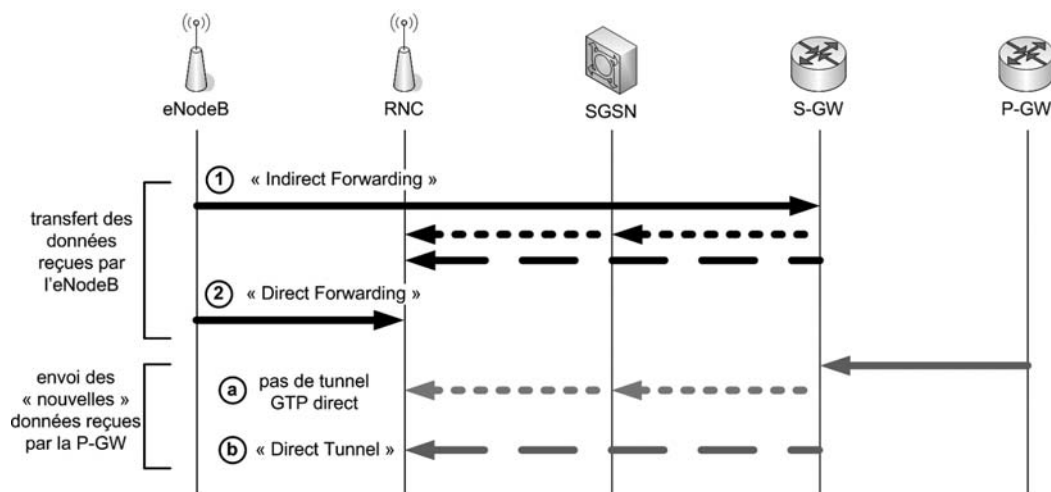


Figure 19-14

Mécanismes Direct Forwarding et Direct Tunnel

Le mécanisme *Direct Forwarding* désigne ainsi le transfert de données du plan usager pendant le handover, directement de l'eNodeB vers le RNC cible, sans transiter par la ou les S-GW. Dans le cas contraire (*Indirect Forwarding*), ces données sont d'abord envoyées par l'eNodeB à la S-GW. Ensuite, cette dernière transmet les données soit au SGSN, qui les envoie lui-même au RNC, soit directement au RNC si le mécanisme *Direct Tunnel* est utilisé, via un tunnel GTP entre la S-GW et le RNC. Ce mécanisme peut déjà être mis en œuvre en UMTS, entre le GGSN et le RNC, afin de réduire la latence des données et de diminuer la charge du SGSN. Ce tunnel, s'il est utilisé, est maintenu pour la suite de l'appel et jusqu'à sa relâche.

En LTE, la séparation des plans de données et de contrôle dans le réseau cœur implique que les données sont toujours transmises par la S-GW à l'eNodeB et inversement, sans jamais transiter par le MME.

On voit sur la figure que le tunnel (direct ou indirect) sert toujours à délivrer au RNC les données issues de la P-GW, mais qu'il peut être utilisé également pour transmettre les données envoyées par l'eNodeB à la S-GW dans le cas d'un mode *Indirect Forwarding* (flèche noire en pointillés longs).

Exécution du handover

À ce moment de la procédure, l'eNodeB continue de recevoir des unités de données sur le plan usager, de la part de la S-GW (sens descendant) et de la part de l'UE (sens montant). Le transfert de données vers le RNC n'a pas commencé et l'eNodeB n'a pas encore commandé à l'UE de basculer sur la cellule cible : il attend pour cela la réponse du RNC cible, qui est transmise par le MME. Celle-ci indiquera à l'eNodeB si le handover est possible et déclenchera l'envoi par l'eNodeB à l'UE de la commande de bascule. Dès qu'il aura donné cet ordre à l'UE, l'eNodeB pourra démarrer le transfert vers le RNC des données reçues de la S-GW et non transmises à l'UE, suivant le schéma

de transfert permis par le réseau. Les données de l'UE reçues par l'eNodeB seront quant à elles toujours transmises à la S-GW.

L'accès de l'UE à la cellule cible déclenchera d'abord le basculement effectif du plan de données sur le réseau UMTS (la S-GW envoie alors les données au SGSN, ou directement au RNC), ainsi que la relâche des ressources et de la session dans le réseau LTE (eNodeB, MME, S-GW). Le handover s'achève lorsque l'eNodeB a transféré toutes les données qu'il a en mémoire.

Dans cette phase d'exécution, l'étape la plus critique est la bascule radio de l'UE, du fait du risque d'échec et de l'effet de sa durée sur la qualité de l'expérience utilisateur. D'une part, il est possible que l'UE ne reçoive pas le message de commande, du fait d'une dégradation (ou d'une rupture) du lien radio sur la cellule LTE. Si le lien continue de se dégrader, l'appel en cours est interrompu. D'autre part, la réception par l'UE de la cellule UMTS a pu elle aussi évoluer, rendant plus difficile l'accès de l'UE aux ressources de la cellule. Ces deux phénomènes peuvent simplement être provoqués par le déplacement de l'utilisateur (par exemple le passage d'un angle de rue), ou par l'évolution de son environnement (cas d'obstacles mobiles). Par ailleurs, le service en cours est interrompu pendant une durée au moins égale à celle de cette bascule, d'où l'importance de sa durée. Selon le service utilisé, l'effet sur l'expérience de l'utilisateur sera plus ou moins important : il peut être imperceptible entre deux messages de *chat* par exemple. Le transfert des données de l'eNodeB au RNC pendant cette période vise à réduire l'interruption du service, en permettant au RNC d'envoyer des données à l'UE dès son accès sur la cellule UMTS.

Les différentes étapes de la phase d'exécution du handover sont décrites plus en détail, les numéros des étapes correspondant à ceux indiqués sur la figure 19-15.

1. Le MME envoie à l'eNodeB le message *S1-AP Handover Command*, qui contient essentiellement le message RRC envoyé par le RNC (*Handover to UTRAN*, voir la phase de préparation).
2. Sur réception de ce message, l'eNodeB envoie à l'UE le message RRC *Mobility from E-UTRAN Command*, dans lequel il insère le message RRC du RNC et indique à l'UE la cellule UMTS cible. L'eNodeB peut dès lors démarrer le transfert des données au RNC. Nous supposons ici que le *Direct Forwarding* est utilisé.

On notera que, à la différence du handover intra-LTE, la couche PDCP est ici réinitialisée et, par conséquent, les numéros de séquence éventuellement attribués par l'eNodeB aux unités de données PDCP ne sont pas conservés. Ceci implique que le RNC et l'UE ne peuvent envoyer l'un à l'autre de rapport de réception PDCP. En outre, la couche PDCP délivre à la couche supérieure, dès la commande de bascule, les SDU PDCP reçues sur la cellule LTE, même si la remise en séquence ne peut être assurée (SDU intermédiaire non reçue).

Pour le sens descendant, l'eNodeB peut transmettre au RNC les SDU PDCP qu'il n'a pas encore envoyées à l'UE, ou que ce dernier n'a pas acquittées (pour le mode RLC-AM uniquement), afin de limiter les pertes de données lors du handover. Ainsi, ces unités de données seront retransmises à l'UE par le RNC. Du fait de l'absence de rapport de réception PDCP, il est possible en mode RLC-AM que l'UE reçoive et délivre deux fois le même paquet à la couche IP (une fois sur la cellule LTE et une autre fois sur la cellule UMTS). On peut donc avoir des doublons dans le sens descendant, mais les pertes de données peuvent être évitées grâce au transfert des données de l'eNodeB au RNC.

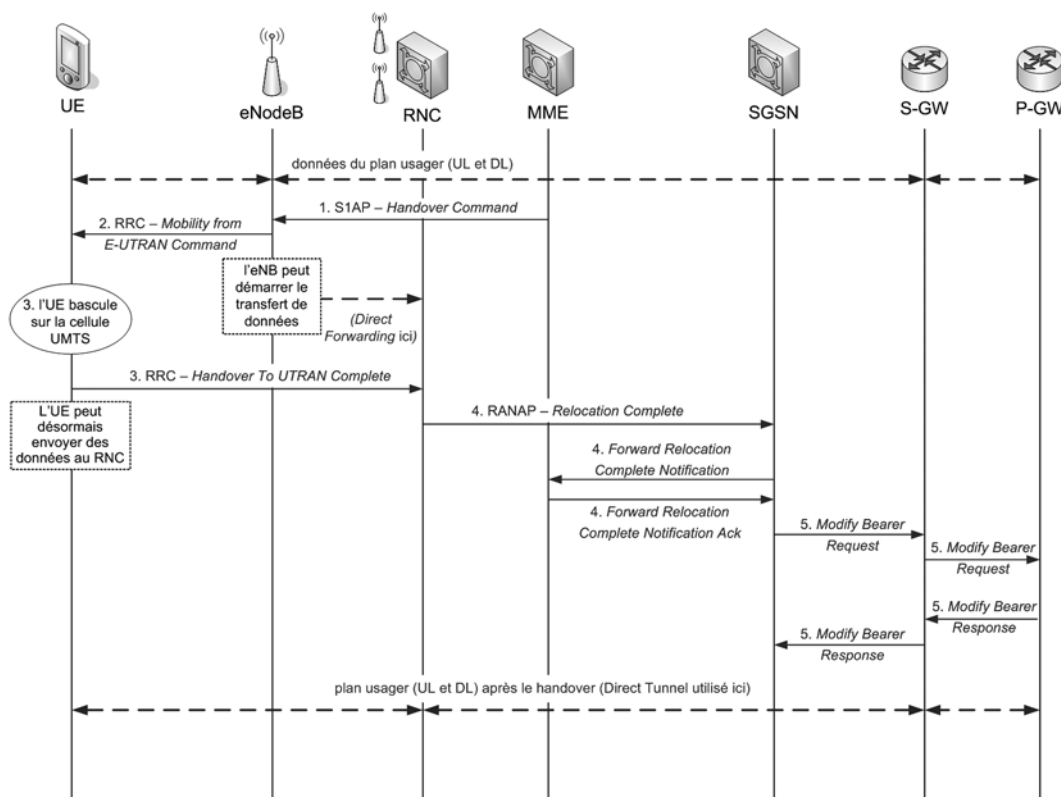


Figure 19-15

Cinématique de la phase d'exécution du handover LTE vers UMTS (pas de changement de S-GW)

Pour le sens montant, l'UE considère les unités de données PDCP déjà transmises comme reçues par l'eNodeB. Cela constitue donc une différence avec le comportement de l'eNodeB, qui peut transférer au RNC les données non acquittées. De ce fait, des pertes de données peuvent survenir dans le sens montant. Il sera du ressort des couches supérieures de les corriger si besoin. En revanche, ce comportement évite des doublons dans le sens montant.

Ainsi, des doublons et des pertes de paquets peuvent avoir lieu lors du handover LTE vers UMTS, alors qu'ils sont évités lors d'un handover intra-LTE.

3. L'UE suspend le transfert de données sur la cellule LTE et bascule sur la cellule indiquée, sans acquitter la réception des unités RLC à l'eNodeB. L'UE recherche la cellule UMTS, récupère les Informations Système diffusées par la cellule et nécessaires à son accès, puis transmet au RNC le message RRC *Handover To UTRAN Complete* sur les ressources de la cellule qui lui ont été allouées. Ce message signale au RNC que l'UE a réussi à accéder à ces ressources et que le plan usager dans le réseau peut être à son tour basculé vers la cellule UMTS, afin de délivrer à l'UE les nouvelles données reçues par la S-GW. Le RNC peut alors commencer à envoyer des données à l'UE, même si le transfert des données par l'eNodeB n'est pas terminé.

De même, l'UE peut à son tour transmettre des données sur le ou les radio bearer(s) établi(s), en commençant par le premier paquet IP qui n'a pas encore été transmis.

4. Le RNC informe alors le SGSN de l'arrivée de l'UE par le message *RANAP Relocation Complete*. À partir de ce moment, le SGSN doit accepter les données envoyées par le RNC pour cet UE (sens montant) et les transmettre immédiatement à la S-GW. Le SGSN informe le MME du succès de la procédure, ce qui conduira à la relâche des ressources associées à l'UE dans le MME et l'eNodeB.
5. Le SGSN contacte ensuite la S-GW pour lui demander de basculer le flux de données : celles-ci ne doivent plus être envoyées à l'eNodeB mais au RNC si le mécanisme *Direct Tunnel* est utilisé, au SGSN sinon. Dans le cas d'un tunnel direct, le SGSN indique l'adresse IP et le point de terminaison sur le RNC pour chaque bearer maintenu. Sur réception de ce message, la S-GW met à jour sa table de routage et oriente les données destinées à l'UE vers le RNC. La S-GW peut informer la P-GW du changement de RAT, en envoyant le message *Modify Bearer Request*.

Après l'étape 5, le plan usager est basculé et implique l'UE, l'UTRAN, la S-GW, la P-GW et éventuellement le SGSN si un tunnel direct n'est pas employé.

Échec du handover

Si l'UE ne parvient pas à établir la connexion RRC sur la cellule UMTS, il doit revenir sur la cellule LTE et appliquer la configuration utilisée avant l'ordre de handover, à l'exception de la configuration des couches PHY et MAC, et entamer une procédure de rétablissement RRC (voir la section « Les performances de l'UE en handover », p. 428).

Cependant, le handover LTE vers UMTS n'est pas gouverné par une temporisation, à la différence du handover intra-LTE : l'UE ne démarre aucune temporisation à la réception de la commande de handover par l'eNodeB. Par conséquent, le délai d'accès à la cellule UMTS que s'autorise l'UE peut varier d'une implémentation à l'autre. Lorsque l'eNodeB détecte le retour de l'UE, il annule la procédure de handover en cours dans le réseau par l'envoi au MME du message *S1-AP Handover Cancel*.

Handover du LTE vers le GSM/GPRS

Cette section présente le mécanisme de handover PS du système LTE vers le système GSM/GPRS, qui vise à assurer une continuité de service de données entre les deux systèmes, par exemple lorsque l'utilisateur quitte la zone de couverture LTE et que l'opérateur ne détient pas de réseau UMTS.

Si l'opérateur détient un réseau GSM/GPRS et UMTS, il peut choisir de privilégier le handover vers l'UMTS afin de maintenir un débit et une expérience meilleurs pour l'utilisateur, mais aussi pour conserver un appel voix en VoIP si son réseau UMTS en est capable et éviter ainsi une procédure de transfert vers le domaine circuit (SR-VCC, voir la section « Le transfert d'appel VoIP vers le domaine CS : SR-VCC », p. 435). Dans ce cas, et si la couverture UMTS est satisfaisante, le handover vers le système GSM/GPRS peut n'être que très rarement utilisé. L'opérateur fait parfois le choix de ne pas l'activer, ce qui limite les mesures intersystèmes en LTE à des cellules UMTS uniquement. Il est cependant possible que l'opérateur ne dispose pas d'un réseau UMTS dans la zone où évolue l'utilisateur et ait alors besoin d'utiliser ce handover localement.

Ce handover est très semblable dans son déroulement et les messages échangés à celui du LTE vers l'UMTS. Les principales différences avec celui-ci sont :

- les cellules voisines GSM sont désignées par leur fréquence porteuse uniquement ;
- l'utilisation de conteneurs transparents échangés entre stations de base, qui suivent le formalisme GSM (« la source s'adapte à la cible ») ;
- la gestion des données du plan usager ;
- le mode d'accès de l'UE à la cellule cible, qui suit la norme du système GSM/GPRS.

Mesures

Pour évaluer une cellule GSM, l'UE mesure le niveau de signal reçu sur la fréquence porteuse GSM signalée par l'eNodeB (une porteuse par cellule). Cette grandeur, appelée RSSI pour *Received Signal Strength Indication*, indique la puissance mesurée par le récepteur radio du terminal sur l'ensemble de cette fréquence GSM. Il faut rappeler que la planification cellulaire en GSM repose sur des fréquences distinctes entre cellules voisines : une cellule GSM utilise une fréquence porteuse qui ne peut être utilisée par ses voisines immédiates. Ainsi, cette mesure de RSSI sur une fréquence porteuse est bien la mesure d'une cellule, à un endroit donné du réseau GSM.

Signalisation réseau et conteneurs

La phase de préparation suit les mêmes étapes que pour le handover du LTE vers l'UMTS. Les principales différences résident dans le fait que l'eNodeB et le MME doivent utiliser le formalisme du GSM/GPRS. En particulier, le conteneur fourni par l'eNodeB au BSS est codé suivant le format utilisé entre deux BSS pour un handover GSM. De même, le message RRC envoyé par le BSS à l'eNodeB et à destination de l'UE est un message GSM, inséré dans la commande de handover et interprété par la couche RRC GSM de l'UE avant l'accès à la cellule cible.

Ce message contient également des informations NAS insérées à la volée par le SGSN lorsqu'il reçoit la réponse du BSS dans la phase de préparation et qui indiquent notamment l'algorithme de chiffrement choisi. En effet, en GPRS le chiffrement est réalisé par la couche LLC entre l'UE et le SGSN, et non entre l'UE et la station de base, comme c'est le cas en UMTS et en LTE.

Gestion du plan usager

À la différence du RNC en UMTS, le BSS n'utilise pas le protocole GTP pour le transfert des données du plan usager avec le SGSN. De ce fait, la notion de tunnel direct entre GGSN (ou P-GW en LTE/EPC) et BSS n'existe pas : ces données transitent nécessairement par le SGSN. Il en est donc de même pour le transfert des données de l'eNodeB vers le BSS : en cas de transfert direct côté LTE (*Direct Forwarding*), les données transitent quand même par le SGSN avant d'atteindre le BSS ; pour le transfert indirect, elles passent en outre par la S-GW.

Accès au réseau GSM/GPRS

L'accès de l'UE à la cellule GSM/GPRS est suivi immédiatement d'un échange de messages de la couche LLC entre l'UE et le SGSN, notamment pour l'activation du chiffrement et la négociation

des paramètres de la liaison LLC (*Logical Link Control*, niveau 2). Comme en UMTS, cet échange peut être suivi d'une procédure de mise à jour de localisation (*Routing Area Update*) entre l'UE et le SGSN, après laquelle l'échange de données peut reprendre.

Cell Change Order et redirection

L'eNodeB envoie parfois l'UE vers une cellule GSM/GPRS à l'aide d'un mécanisme appelé *Cell Change Order*. Ce mécanisme s'apparente à une redirection, à la différence que l'UE reste en mode connecté lors de la bascule. L'UE accède alors à la cellule GSM/GPRS comme lors d'une resélection. Cette bascule est déclenchée par l'envoi d'un message *Mobility from E-UTRAN Command* de l'eNodeB à l'UE, qui indique le mécanisme *Cell Change Order*, ainsi que la fréquence et l'identifiant physique de la cellule GSM. Pour accélérer l'accès de l'UE à la cellule GSM, l'eNodeB peut fournir une partie des Informations Système de cette cellule, ce qui évite à l'UE d'avoir à les décoder avant d'engager la connexion RRC avec le BSS. Il s'agit de la principale différence avec la redirection par relâche de la connexion RRC, présentée ci-après.

Le principe de la redirection est en effet très voisin du *Cell Change Order*. L'eNodeB relâche ici la connexion RRC avec l'UE en lui indiquant la cellule GSM ou UMTS cible. L'UE passe alors en mode veille et effectue une sélection initiale de la cellule cible GSM ou UMTS. Ce mécanisme est typiquement utilisé pour la procédure de CS Fallback (voir la section « Le mécanisme CS Fallback », p. 432). La redirection peut ainsi être déclenchée vers une cellule GSM ou une cellule UMTS, tandis que le *Cell Change Order* n'est possible que vers une cellule GSM.

La figure suivante illustre les étapes de ces deux mécanismes.

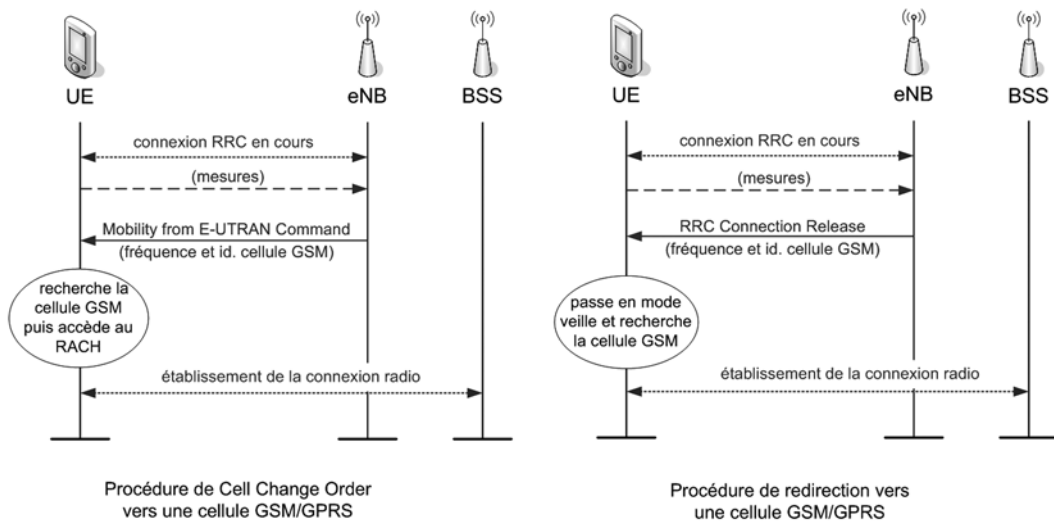


Figure 19-16

Mécanismes de *Cell Change Order* et de redirection vers une cellule GSM/GPRS

Les performances de l'UE en handover

Cette section est dédiée aux performances de l'UE pour le handover. Les performances de l'UE pour la resélection ont été abordées dans le chapitre 18.

Comme nous l'avons vu, la procédure de handover est contrôlée par le réseau et l'algorithme de décision réside dans l'eNodeB. On peut donc s'attendre à ce que la différence de comportement et les écarts de performance entre des UE de constructeurs différents soient nettement moins marqués que pour la resélection. L'UE réalise toujours des mesures, et donc leur justesse reste un point important, mais ces mesures sont éventuellement moyennées et corrigées par l'eNodeB dans son traitement. En revanche, le délai effectif de bascule radio est un point crucial, surtout dans un environnement radio perturbé, et dépend entièrement de l'UE pour une configuration donnée du réseau.

Pour le handover intra-LTE, les exigences de performance sur le délai de bascule varient entre 20 et 130 ms, suivant le fait que l'UE connaît ou non la cellule cible. Par exemple, si l'UE a mesuré la cellule cible avant de recevoir l'ordre de bascule, l'exigence de délai sera de l'ordre de 20 à 50 ms. En revanche, pour un handover en aveugle (*blind handover*), l'exigence est relâchée à plus de 100 ms car l'UE doit rechercher cette cellule avant d'y accéder.

Pour le handover intersystème, les exigences sur le délai de bascule dépendent beaucoup de la configuration de la cellule cible. Par exemple, pour le handover vers l'UMTS ce délai maximal varie de 90 à plus de 500 ms et cette plage est liée à la périodicité des canaux logiques configurés pour l'UE. Ce délai est minimisé lorsque tous ces canaux logiques (données et signalisation) sont portés par le HSPA. Ainsi, pour une mobilité de type SR-VCC, on comprend qu'il sera préférable d'utiliser sur la cellule cible les canaux de transport HSPA aux canaux DCH de la Release 99, afin de réduire ce délai de bascule (via l'utilisation de la fonction *CS over HSPA*, voir [CS over HSPA]).

La performance globale de l'UE pour réaliser les handovers est cependant issue d'un compromis entre le coût final du produit, qui dépend notamment de la chaîne de réception radio, et son autonomie : un algorithme plus complexe demande plus d'opérations élémentaires, des mesures plus nombreuses impliquent que la chaîne de réception sera plus souvent allumée.

La mobilité vers le système LTE

Les mécanismes de mobilité de l'UMTS vers le LTE

Le handover UMTS vers LTE

Le handover UMTS vers LTE peut être réalisé pour les appels sur le domaine PS de l'UMTS, pour que l'utilisateur bénéficie d'un débit supérieur et d'une latence réduite en LTE. Les appels voix établis sur le domaine circuit (CS) ne peuvent être basculés sur le système LTE, d'abord parce qu'il n'existe pas de tel domaine en LTE/EPC et ensuite parce que la procédure de transfert d'appel CS vers VoIP n'est pas définie en Release 8.

Cela étant, si le réseau LTE/EPC ne permet pas de réaliser des appels VoIP, par choix de l'opérateur cette fois (pas d'infrastructure IMS déployée par exemple), les appels VoIP établis en UMTS ne devront pas non plus être envoyés sur le système LTE. On comprend qu'il est important que le

système UMTS sache s'il peut basculer ou non un RAB vers le système LTE. C'est le rôle de l'indicateur *E-UTRAN Service Handover*, grâce auquel le réseau cœur indique au RNC que le RAB ne doit pas être basculé. Ce paramètre est par exemple signalé lors de l'établissement d'un RAB CS pour un appel voix, que l'opérateur souhaite maintenir en UMTS.

Le handover peut être utilisé lorsque l'UE est dans l'état *Cell_DCH* (un des états RRC du mode connecté en UMTS). Dans les états *Cell_PCH* et *URA_PCH*, l'UE utilise la resélection de cellule, comme en mode veille. Dans l'état *Cell_FACH*, l'UTRAN doit faire passer l'UE à l'état *Cell_DCH* avant d'effectuer le handover. Ces états UMTS sont définis dans [3GPP TS 25.331].

Mesures LTE et mode compressé

Comme pour les mesures en mode veille, les cellules voisines LTE ne sont pas indiquées individuellement à l'UE lorsque le RNC lui demande de remonter des mesures de cellules LTE. Seule la fréquence est fournie à l'UE, qui se débrouille ensuite pour détecter les cellules présentes sur cette fréquence dans l'environnement de la cellule UMTS. Ce fonctionnement est donc identique au cas des mesures effectuées en LTE sur des cellules voisines LTE.

Les UE LTE auront probablement besoin du mode compressé pour effectuer des mesures sur des cellules LTE alors qu'ils sont connectés à l'UMTS. Cette adaptation de la trame radio est déjà utilisée aujourd'hui par la grande majorité des UE UMTS pour réaliser les mesures GSM ou UMTS interférences en appel. Il s'agit donc surtout pour le RNC de s'assurer que la durée et la fréquence des intervalles sont suffisantes à l'UE pour détecter des cellules LTE et les mesurer.

On peut s'attendre à ce que ces mesures LTE soient demandées à l'UE dès qu'il a une connexion RRC active sur une cellule UMTS en zone de couverture LTE. Le RNC peut en effet prendre comme critères pour faire cette demande la déclaration comme voisines d'une ou plusieurs fréquences LTE d'une part, et une priorité supérieure associée à la RAT LTE d'autre part. Ainsi, l'UTRAN peut activer ces mesures dès l'établissement de la connexion RRC ou d'un radio bearer de données, afin de basculer l'UE sur la RAT LTE dès que le signal radio d'une cellule est suffisant.

Préparation

Pour la préparation du handover, le RNC contacte le SGSN en lui indiquant l'identifiant de l'eNodeB cible, ce qui lui permet de relayer la demande de handover au MME gérant cet eNodeB. Pour rappel, le MME et le SGSN peuvent être un seul et même nœud physique. Ce message du RNC contient notamment un conteneur destiné à l'eNodeB cible (*Source eNodeB to Target eNodeB Transparent Container*). Comme les autres conteneurs, il est transmis de façon transparente par les équipements du réseau cœur (SGSN et MME ici) et indique en particulier à l'eNodeB la cellule cible ainsi que les capacités radio de l'UE pour le LTE. Celles-ci servent par exemple à l'eNodeB pour adapter la configuration des mesures ou le scheduling des envois de données.

Le MME sollicite ensuite l'eNodeB cible, qui retourne alors un message S1AP incluant le conteneur *Target eNodeB to Source eNodeB Transparent Container*, lequel contient en fait le message RRC destiné à l'UE pour la bascule vers la cellule cible. Ce message lui indique la configuration radio à appliquer lors de son accès à la cellule LTE, ainsi que les paramètres de sécurité LTE nécessaires pour la dérivation des nouvelles clés.

Le RNC, recevant ce message RRC dans la réponse du SGSN, ne l'interprète pas ; il n'en est d'ailleurs pas capable a priori, s'agissant du protocole RRC LTE. Il l'intègre à la commande de bascule qu'il envoie à l'UE (message RRC *Handover From UTRAN Command*).

Plan usager

Le RNC est autorisé à démarrer le transfert à l'eNodeB des données reçues du SGSN dès qu'il a envoyé l'ordre de bascule à l'UE. Comme pour le sens LTE vers UMTS, les données peuvent être transférées directement de la station de base source (RNC) à l'eNodeB cible sans transiter par le SGSN et la Serving-GW, à l'aide du mécanisme *Direct Forwarding*. En cas de transfert indirect, les données transitent nécessairement par la S-GW et éventuellement par le SGSN, si le mécanisme *Direct Tunnel* n'est pas non plus utilisé. Comme nous l'avons évoqué plus haut, il est possible que des RAB actifs de l'UE ne puissent pas être basculés en LTE. Si l'UE a un appel voix CS et une session de données en cours, le handover ne pourra être déclenché, l'appel voix CS ne pouvant être basculé en LTE. Le RNC indique à l'UE dans la commande de handover le ou les RAB maintenu(s). L'UE doit alors désactiver localement les autres RAB. Le MME peut également refuser un ou plusieurs RAB, en cas de congestion par exemple sur l'eNodeB ou sur le réseau cœur.

Échec du handover

Si l'UE ne parvient pas à accéder aux ressources de la cellule LTE, il doit revenir à la cellule UMTS et à la configuration précédemment utilisée, puis envoyer un message RRC au RNC afin de l'informer de cet échec. On précisera cependant que la norme n'indique pas de critère temporel et l'UE ne déclenche pas de temporisation à la réception de l'ordre de bascule. Le délai au bout duquel l'UE revient sur la cellule UMTS est lié en fait au mécanisme d'accès aléatoire du LTE, l'UE effectuant plusieurs tentatives sur la cellule LTE (voir le chapitre 14).

La redirection UMTS vers LTE

En UMTS, la redirection vers le système LTE peut se faire de deux façons différentes :

- lors de l'établissement de la connexion RRC, le RNC rejetant la demande de l'UE et lui indiquant la cellule LTE à resélectionner ;
- à la relâche de la connexion RRC, par exemple à la fin d'un appel ou lorsque l'UE est inactif.

Tout comme le handover, la redirection est toujours décidée par le RNC et l'ordre est signalé explicitement dans un message RRC.

Dans le premier mode, le RNC prend sa décision sur la base de la cause de connexion indiquée par l'UE dans le message *RRC Connection Request* et du paramétrage de l'opérateur. Il peut par exemple rediriger vers le LTE les demandes de connexion pour des sessions de données et maintenir en UMTS les appels voix si le réseau LTE de l'opérateur ne permet pas de passer ce type d'appels. C'est le cas par exemple si l'opérateur n'a pas déployé de solution VoIP en LTE et souhaite donc que les terminaux de type smartphones, dont la voix demeure un usage majeur, établissent leurs appels voix en UMTS plutôt qu'en LTE. Il attribuera alors typiquement à l'UMTS une priorité de resélection supérieure à celle du LTE. Cependant, il devra envoyer en LTE les appels de données, qui peuvent bénéficier du débit élevé et de la latence réduite de ce système. Ce

mécanisme de redirection peut alors être utilisé et fait l'économie d'un handover de l'UMTS vers le LTE une fois la session de données établie.

Pour cette redirection, le RNC indique à l'UE dans le message de rejet (*RRC Connection Reject*) la ou les cellules LTE qu'il peut resélectionner ainsi qu'une durée pendant laquelle l'UE ne devra pas resélectionner de cellule UMTS. Cette durée d'inhibition vise à éviter un phénomène de ping-pong entre les couches LTE et UMTS, en particulier si la couche UMTS a une priorité de resélection supérieure à celle de la fréquence LTE utilisée. Le RNC peut également fournir à l'UE une liste de cellules interdites pour chaque fréquence LTE indiquée.

Dans le second mode de redirection, le RNC indique à l'UE une ou plusieurs cellules LTE cible(s) lors de la relâche de la connexion RRC. Cette redirection peut être utilisée dans le scénario évoqué précédemment : pour les UE centrés sur un usage de type modem, l'opérateur aura plutôt intérêt à les faire rester sur des cellules LTE pour qu'ils bénéficient d'un accès immédiat aux débits élevés offerts par le LTE. Si ces terminaux sont également capables de passer des appels voix de façon accessoire, le mécanisme CS Fallback pourra être utilisé.

Ces deux redirections ne doivent être déclenchées par le RNC que si la cellule UMTS est sous couverture de cellules LTE, ce que le RNC détermine grâce à des mesures remontées par l'UE avant la relâche (dans le second mode), ou par la configuration de l'opérateur (si des cellules LTE sont déclarées comme voisines de la cellule UMTS).

La mobilité entrante GSM/GPRS vers LTE

Le handover GSM/GPRS vers LTE

Lorsque l'UE a une session de données en cours, le BSS peut effectuer un handover vers le LTE, s'il supporte la procédure de *PS handover*. Comme pour l'UMTS, ce handover est précédé ou non de mesures préalables de l'UE sur des cellules LTE. Ces dernières doivent alors être indiquées explicitement à l'UE lors de la configuration des mesures LTE. La préparation du handover suit le même principe que pour le handover de l'UMTS vers le LTE. Par ailleurs, comme pour le handover LTE vers GPRS, les données du plan usager transitent par le SGSN et la S-GW avant d'arriver à l'eNodeB gérant la cellule cible. L'UE bascule sur la cellule cible LTE lorsqu'il reçoit le message de l'eNodeB *RRC Connection Reconfiguration*, inclus par le BSS dans l'ordre de handover (message *PS Handover Command*).

La redirection GSM/GPRS vers LTE

La redirection GPRS vers LTE est utilisée typiquement lorsque le handover n'est pas implémenté dans le réseau, ou que l'UE ne le permet pas. Elle est éventuellement précédée de mesures sur des cellules LTE et est déclenchée par le BSS. Celui-ci envoie pour cela le message *Packet Cell Change Order* indiquant la cellule cible LTE et éventuellement des priorités de resélection dédiées pour l'UE (voir le chapitre 18).

Cette redirection de type *Cell Change Order* s'effectue en *Packet Transfer Mode*, c'est-à-dire lorsque l'UE a une session de données en cours. Elle peut être utilisée dans le but de transférer tout appel de données vers le LTE, dès lors que l'UE est sous la couverture d'une cellule LTE.

La resélection GPRS vers LTE en mode connecté

En GPRS, l'UE peut effectuer des résélections de façon autonome en mode connecté (*Packet Transfer Mode*), les mesures étant réalisées dans les intervalles de temps où il n'est pas servi par le scheduler.

Cette resélection en mode connecté peut être faite vers une cellule GPRS, UMTS ou LTE suivant les mesures de l'UE et le paramétrage indiqué par le BSS (cellules voisines, seuils et offsets). Les priorités de resélection, si elles sont diffusées sur la cellule, sont appliquées par l'UE comme pour la resélection en mode veille (*Packet Idle Mode*).

Le mécanisme CS Fallback

Origine et principe

Le système LTE/EPC est entièrement basé sur la commutation de paquets et ne comporte pas de domaine à commutation de circuits, contrairement au GSM/GPRS et à l'UMTS. Il a en outre vocation à être associé à l'architecture de services IMS, définie par le 3GPP, pour l'accès aux services multimédias. En effet, l'IMS propose une architecture fonctionnelle de services élémentaires (présence, carnet d'adresses, appel voix/vidéo, échange de données client-à-client...), qui peuvent ensuite être utilisés et mutualisés par différents services multimédias évolués. Cependant, lors de l'élaboration de la Release 8 3GPP, plusieurs opérateurs souhaitaient pouvoir fournir un service voix via les terminaux mobiles LTE dès l'ouverture de leur réseau LTE, sans avoir à déployer dans le même temps une architecture IMS, complexe et coûteuse.

Pour cette raison, un mécanisme a été défini pour basculer l'UE, dès qu'un appel voix est lancé, vers une technologie d'accès traitant la voix en commutation de circuits (appelée aussi *voix CS* par opposition à la VoIP). Ce mécanisme, appelé CS Fallback, permet de renvoyer un appel voix lancé par l'UE ou à destination de celui-ci vers le domaine CS du GSM ou de l'UMTS.

Procédure : appel voix CS entrant en LTE

La figure 19-17 illustre la procédure CS Fallback dans le cas d'un appel voix entrant. Les numéros indiqués renvoient aux étapes décrites dans la suite de cette section.

1. Dans le cas d'un appel entrant, le MME reçoit du MSC un message de notification d'appel CS pour l'UE.
2. Le MME transmet alors un message de paging à tous les eNodeB inclus dans la zone de localisation de l'UE (Tracking Area, ou liste de TA).
3. Chaque eNodeB envoie un paging sur les canaux radio communs des cellules associées à la zone de localisation de l'UE. L'eNodeB indique dans chaque paging le S-TMSI de l'UE pour qu'il sache que le message lui est destiné. Ce message indique également que la notification provient du domaine CS, ce qui permet à l'UE de déduire qu'il s'agit d'une procédure CS Fallback.
4. Sur réception de cette notification, l'UE établit une connexion RRC et contacte le MME avec le message EMM *Extended Service Request*, dédié au CS Fallback et encapsulé successivement dans la signalisation RRC puis dans un message S1-AP.

5. Le MME demande alors à l'eNodeB de faire basculer l'UE, en lui indiquant qu'il s'agit d'un CS Fallback dans le message *S1AP UE Context Setup*. De façon simultanée, le MME envoie le message *Service Request* au MSC, via l'interface SGs définie pour le CS Fallback.
6. L'eNodeB peut alors rediriger l'UE vers la cellule cible prédéfinie, sans préparation préalable. Cette redirection s'effectue soit via une procédure de type *Cell Change Order*, soit via la relâche de la connexion RRC. Dans les deux cas de figure, l'eNodeB peut éventuellement demander à l'UE d'effectuer des mesures sur une ou plusieurs cellule(s) de la technologie cible avant de lui envoyer la commande de bascule. Cette phase, si elle augmente les chances de succès de la procédure, conduit néanmoins à un délai plus long avant l'établissement effectif de l'appel voix.
7. L'UE tente alors d'accéder à la cellule cible et procède comme pour l'établissement d'un appel voix CS sur le système GSM ou UMTS, après avoir réalisé une mise à jour de localisation si la zone de localisation CS (*Location Area*) ou PS (*Routing Area*) a changé.

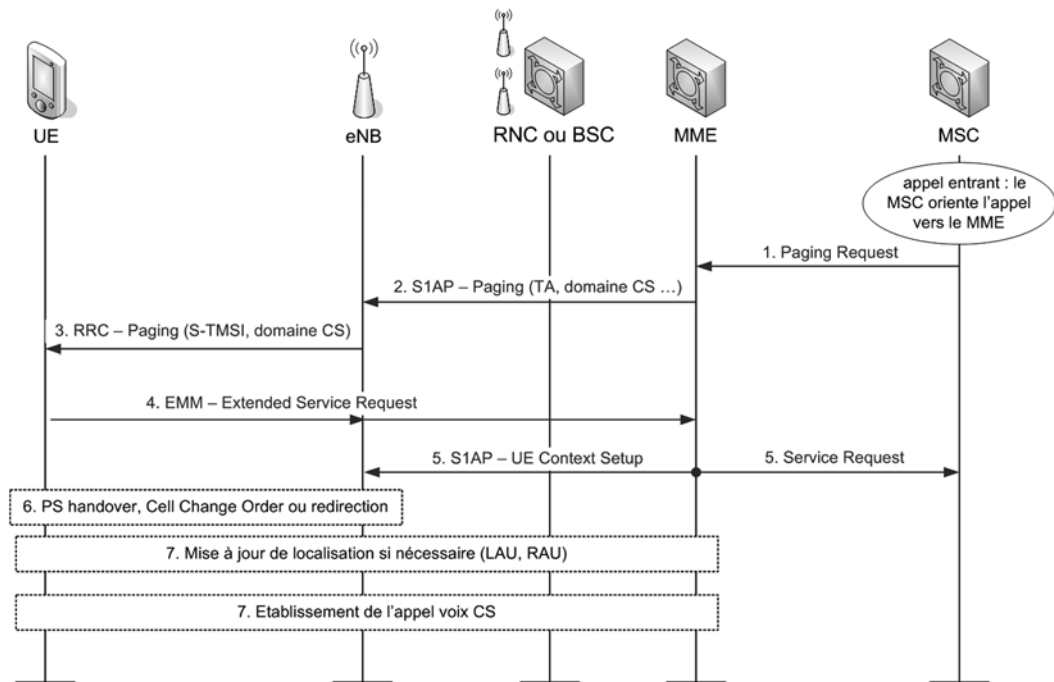


Figure 19-17

Procédure de CS Fallback déclenchée par un appel voix entrant en LTE

Dans le cas d'un appel voix lancé par l'UE, les étapes 1 à 3 n'ont pas lieu et l'envoi du message *Extended Service Request* est déclenché par l'action de l'utilisateur et non par la réception du message de paging. Le reste de la procédure est identique.

On notera également que l'appel entrant ou sortant peut survenir n'importe quand, y compris lorsque l'UE a une connexion active avec le réseau LTE et échange des données avec celui-ci.

(service en cours). Dans ce cas, l'opérateur a plusieurs possibilités en fonction des capacités de son réseau et de sa stratégie :

- réaliser un handover PS vers une cellule GSM ou UMTS pour maintenir le ou les service(s) en cours, si le réseau, l'UE et la cellule cible le permettent ;
- réaliser une redirection vers une cellule GSM, ce qui a pour effet de suspendre la session de données en cours jusqu'à l'accès de l'UE à la cellule GSM si l'UE et le système GSM/GPRS implémentent le *Dual Transfer Mode* (qui permet d'établir un appel voix et une session de données simultanément), jusqu'à la fin de l'appel voix sinon ;
- réaliser une redirection vers une cellule UMTS. La session de données en cours sera suspendue jusqu'à l'accès de l'UE à la cellule, la combinaison d'appels CS et PS simultanés étant prise en charge nativement en UMTS.

Conséquences sur l'UE et le MME

Le préalable à cette procédure est que l'UE s'attache au domaine circuit en même temps qu'il s'enregistre à l'EPS. Sans cela, le MSC recevant la notification d'appel ou le SMS à destination de l'UE ne saura router le message vers le bon MME. On parle alors d'enregistrement combiné EPS/CS. La réalisation de cette procédure nécessite donc la prise en charge de fonctions spécifiques, principalement sur l'UE, le MME et le MSC. En particulier, le MME et le MSC doivent tous deux mettre en œuvre une nouvelle interface (SGs), semblable à l'interface Gs définie entre SGSN et MSC, pour l'enregistrement combiné, l'envoi de la notification d'appel, le transfert du message EMM et l'envoi ou la réception de SMS. Le MME doit par ailleurs indiquer à l'eNodeB la nécessité de basculer l'UE. L'UE doit quant à lui être capable de réaliser un enregistrement combiné, d'implémenter les procédures CS Fallback pour les appels voix entrants et sortants, et la fonctionnalité ISR (voir le chapitre 18). L'eNodeB doit pour sa part être capable de déclencher la procédure RRC adéquate lorsqu'il reçoit l'indication « CS Fallback » du MME lors de l'établissement ou de la modification du contexte de l'UE.

Lorsque l'UE réalise un enregistrement combiné EPS/CS, le réseau LTE/EPC en déduit qu'il implémente les mécanismes de CS Fallback. L'UE n'a donc pas à signaler une information de type « CS Fallback implémenté ».

Autres services

Si le CS Fallback a été défini en premier lieu pour établir des appels voix CS lorsque que l'UE a sélectionné une cellule LTE, son périmètre est plus étendu et recouvre d'autres services initialement portés en GSM et UMTS sur le domaine CS (par exemple services de localisation et services supplémentaires, voir [3GPP TS 23.272]). Cependant, tous ne donnent pas lieu à une bascule vers le GSM ou l'UMTS. Ainsi, l'UE peut envoyer et recevoir des SMS insérés dans la signalisation NAS sans utiliser l'IMS, mais sans être non plus envoyé sur une cellule GSM ou UMTS. On réutilise donc ici simplement le mode classique de transmission des SMS, employé dans tous les réseaux GSM et UMTS.

On notera que ce mécanisme CS Fallback, s'il est utilisé, doit aussi permettre de basculer dans le domaine CS des appels d'urgence déclenchés sur le réseau LTE. L'UE en informe le MME dans le

message EMM *Extended Service Request* en indiquant *appel d'urgence* comme service demandé. Le MME transmet à son tour l'information à l'eNodeB dans le message S1-AP *Initial UE Context Setup Request*. L'eNodeB peut, comme pour la bascule d'un appel normal, demander à l'UE de faire des mesures préalables, ou bien déclencher la bascule dès la réception du message S1-AP vers une cellule prédéfinie.

Le transfert d'appel VoIP vers le domaine CS : SR-VCC

Principe

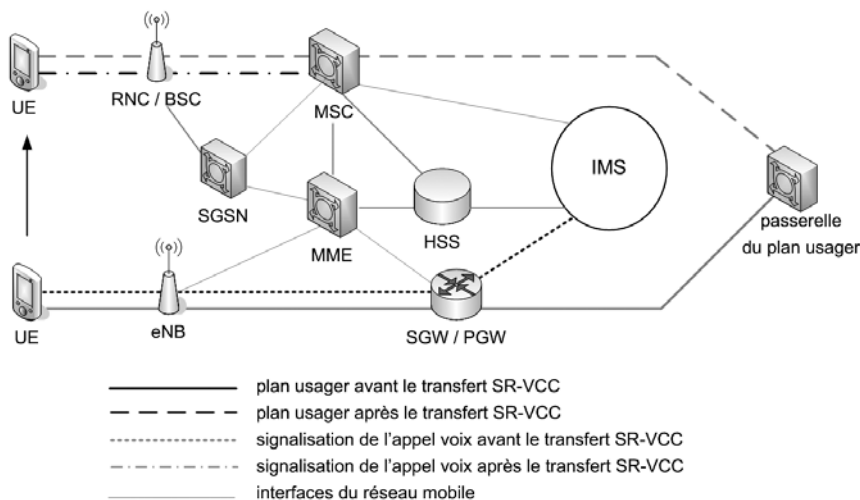
Comme nous l'avons évoqué dans la section précédente, le système LTE/EPC a été bâti sur le mode de transfert de données par paquets et n'intègre pas de commutation de circuits, à la différence du GSM/GPRS et de l'UMTS. Ainsi, un appel voix porté par ce système utilise nécessairement la voix sur IP (VoIP), typiquement à l'aide d'une infrastructure IMS pour l'établissement et le contrôle des appels. Les réseaux GSM/GPRS et UMTS peuvent également être interconnectés à une infrastructure IMS et permettre des appels VoIP, si les équipements du réseau et les terminaux mettent en œuvre des fonctionnalités spécifiques, définies dans les évolutions 3GPP de ces deux systèmes. Cependant, presque tous les réseaux GSM/GPRS et UMTS actuels utilisent principalement, voire exclusivement, la voix à commutation de circuits.

Cet état de fait a conduit à envisager un mécanisme garantissant une continuité de service d'un appel VoIP vers un appel voix CS, lorsque l'utilisateur sort de la zone de couverture du réseau LTE. Ce mécanisme ne peut se limiter à un simple handover intersystème puisque la gestion entière de l'appel est différente entre ces deux modes : outre le fait que l'appel VoIP est porté par le domaine paquet, il implique aussi l'utilisation d'une signalisation (SIP, pour *Session Initiation Protocol*, entre l'UE et l'IMS), de protocoles de données (par exemple UDP/RTP) et de codecs différents. Ainsi, la bascule vers un mode de voix circuit doit réaliser le transfert complet du chemin de données de l'UE au point de sortie du réseau, et pas uniquement entre l'UE et le réseau d'accès. La signalisation d'appel est également modifiée, passant de SIP au protocole NAS *Call Control* (voir le chapitre 15). Le principe de cette bascule est illustré à la figure 19-18 : on peut voir que la signalisation de l'appel comme le plan usager sont modifiés par le transfert SR-VCC. On peut remarquer que la signalisation de l'appel VoIP en LTE transite par la S-GW et non par le MME : cette signalisation SIP se termine dans l'IMS, elle est portée par un bearer EPS et n'utilise pas les protocoles NAS du LTE entre l'UE et le MME.

La procédure définie par le 3GPP pour ce transfert est nommée *Single Radio Voice Call Continuity*, abrégée en SR-VCC. Les termes *Single Radio* ont été ajoutés pour préciser que l'UE ne peut recevoir simultanément des messages ou des données sur deux systèmes d'accès radio différents (LTE et UMTS par exemple). En effet, les premières procédures VCC ont été définies pour permettre la bascule d'un appel VoIP sur un accès WiFi vers le domaine circuit du réseau mobile (GSM ou UMTS). Cette mobilité est alors basée sur la capacité de l'UE à émettre et recevoir simultanément sur ces deux accès radio qui ne sont pas coordonnés et qui ne sont pas capables d'échanger de la signalisation ni des données. Dans le cas du SR-VCC, l'UE échange des données et de la signalisation avec un seul réseau d'accès à un instant donné et le réseau se charge du transfert des informations nécessaires au système cible (contexte de l'UE, paramètres de l'appel etc.).

Figure 19-18

Transfert du plan usager
et de la signalisation
d'appel lors d'un transfert
SR-VCC



Procédure de transfert d'appel voix LTE-IMS vers le domaine CS

En Release 8, seule la procédure de transfert du LTE (ou du HSPA) vers le domaine CS de l'UMTS ou du GSM/GPRS est définie. C'est la plus importante pour la continuité de service puisqu'elle permet de maintenir l'appel voix au-delà de la couverture VoIP.

Elle est illustrée par la figure 19-19 et décrite dans la suite de cette section.

L'UE remonte une mesure sur une cellule voisine UMTS ou GSM, qui déclenche la décision de handover par l'eNodeB. L'eNodeB demande alors au MME d'effectuer le handover des bearers EPS de l'UE (via le message S1-AP *Handover Required*). Le MME détermine qu'au moins un des bearers EPS est un bearer de voix, par exemple à l'aide du QCI (typiquement égal à 1 dans ce cas). Il le traite alors séparément des autres bearers EPS actifs pour cet UE. Pour le bearer voix, il contacte le MSC Serveur afin d'effectuer le transfert de l'appel voix vers le domaine CS. Pour les autres bearers, il déclenche une préparation de handover dans le domaine PS (voir les sections précédentes). Le message envoyé au MSC Serveur par le MME indique notamment le MSISDN de l'abonné (numéro de téléphone), son IMSI, la cellule GSM cible ou l'identifiant du RNC pour un transfert vers l'UMTS, un conteneur transparent destiné au BSS ou au RNC et le contexte NAS de l'UE qui inclut entre autres la ou les clé(s) de sécurité (par exemple CK et IK pour un transfert vers l'UMTS).

Le MSC Serveur déclenche alors un handover inter-MSC vers le MSC cible, déterminé à partir de la zone de localisation LA de la cellule cible. Une fois ce handover vers le BSS ou RNC cible effectué, le MSC Serveur contacte l'IMS pour demander le transfert de l'appel (message SIP *INVITE* avec le MSISDN de l'abonné).

Enfin, le MME informe l'eNodeB qu'il est autorisé à poursuivre le handover. Ce dernier peut alors déclencher la bascule vers la cellule cible ou attendre la réponse du SGSN pour le handover des autres bearers, s'il ne l'a pas encore reçue.

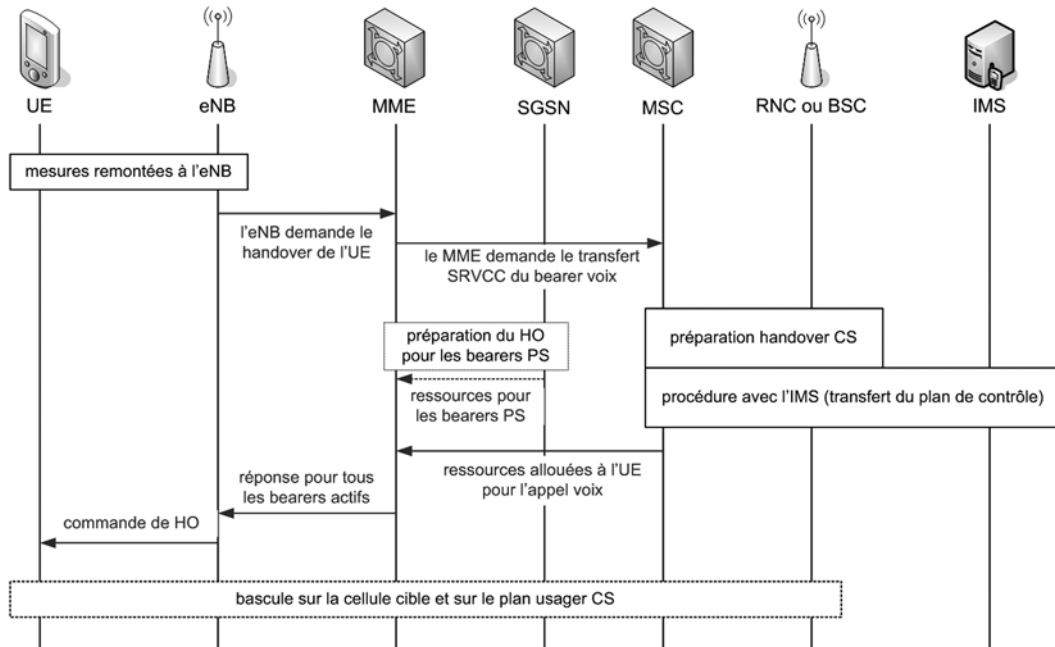


Figure 19-19

Principales phases de la procédure de transfert SR-VCC

Lors de son accès à la cellule cible, l'UE dispose d'un contexte NAS (MM, CC) identique à celui qu'il aurait eu s'il avait établi son appel voix dans le domaine CS.

Conséquences sur les équipements

La procédure SR-VCC requiert des fonctionnalités spécifiques de la part des différents équipements impliqués.

Le MME doit être capable de :

- réaliser la séparation du bearer voix et des autres bearers ;
- déclencher la procédure de SR-VCC et éventuellement celle de PS handover si d'autres bearers sont actifs ;
- coordonner ces deux procédures lorsqu'elles sont toutes deux effectuées.

Le MSC Serveur doit quant à lui :

- demander le transfert de session auprès de l'IMS ;
- coordonner ce transfert et la procédure de handover dans le domaine circuit.

Enfin, l'UE doit être capable de réaliser cette procédure, et en particulier la bascule d'un mode utilisant la signalisation SIP et un codec VoIP vers le mode circuit (signalisation NAS Call Control et codecs AMR).

Il n'existe pas dans la norme LTE/EPC de champ permettant à l'UE d'indiquer explicitement qu'il est capable de SR-VCC. Cependant, il doit nécessairement proposer au moins une des deux technologies d'accès GSM/GPRS et/ou UMTS pour réaliser la procédure de SR-VCC. Ainsi, le réseau considère que l'UE est capable de SR-VCC dès lors qu'il a établi un appel VoIP via l'IMS et qu'il indique la prise en charge du GSM/GPRS et/ou de l'UMTS.

Synthèse

Le tableau suivant présente une synthèse des mécanismes de mobilité qui sont utilisés à l'établissement ou en cours d'appel, au sein d'un même système ou entre deux technologies d'accès différentes.

À l'exception du soft handover de l'UMTS, tous les autres handovers indiqués dans ce tableau sont du type hard handover et conduisent donc à une rupture du lien radio lors de la bascule. Le sigle PS HO désigne un handover sur le domaine PS, impliquant un ou plusieurs réseau(x) d'accès et un ou plusieurs réseau(x) cœur, tandis que CS HO désigne un handover sur le domaine CS du réseau cœur. Ainsi, même si les procédures sont différentes, les PS HO utilisés par exemple pour les cas LTE vers UMTS et UMTS vers GPRS suivent les mêmes principes (voir les sections précédentes de ce chapitre).

Principaux mécanismes de mobilité intra et intersystème en appel ou à l'établissement d'appel

Type de service	de \ vers	LTE	UMTS	GSM/GPRS/EDGE
Voix	LTE	LTE HO	PS HO (VoIP?VoIP) SR-VCC (VoIP?CS) redirection CS Fallback	SR-VCC (VoIP?CS) PS HO (VoIP?VoIP) redirection CS Fallback
	UMTS	PS HO (VoIP?VoIP)	soft HO (intrafréq.) hard HO (intra/interfréq.)	CS HO
	GSM	PS HO (VoIP?VoIP)	CS HO	GSM HO
Données	LTE	LTE HO	PS HO redirection	PS HO redirection Cell Change Order
	UMTS	PS HO redirection	soft HO (intrafréq.) hard HO (intra/interfréq.)	PS HO Cell Change Order
	GPRS/EDGE	PS HO redirection resélection	PS HO redirection resélection	GPRS HO resélection

Nous avons indiqué en italique les mécanismes dont l'utilisation avec un réseau LTE nous semble peu probable et ceux, pour les technologies UMTS et GSM/GPRS, qui sont peu utilisés dans les réseaux existants. Il s'agit des mécanismes de PS HO entre le LTE et le GSM d'une part, et entre l'UMTS et le GSM d'autre part.

Références

- [3GPP TS 36.331] Spécification technique 3GPP TS 36.331, *E-UTRA, Radio Resource Control (RRC), Protocol specification*, v8.16.0, décembre 2011.
- [3GPP TS 23.401] Spécification technique 3GPP TS 23.401, *General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for E-UTRAN access*, v8.16.0, mars 2012.
- [CS over HSPA] *Circuit-Switched Voice Services over HSPA*, Qualcomm Incorporated, 2009.
- [3GPP TS 25.331] Spécification technique 3GPP TS 25.331, *UTRA, Radio Resource Control (RRC), Protocol specification*, v8.18.0, mars 2012.
- [3GPP TS 23.272] Spécification technique 3GPP TS 23.272, *Circuit Switched (CS) fallback in Evolved Packet System (EPS), Stage 2*, v8.11.0, octobre 2010.