

Corrigé TD n°2 – Réseaux Mobiles

1. Handover GPRS

Les handovers en GPRS répondent à la même philosophie que celles du GSM : les utilisateurs remontent régulièrement des mesures de qualité du signal (à l'intérieur de blocs MAC/RLC de contrôle). C'est le réseau qui prend les décisions de handover (instant de déclenchement, cellule cible). En termes de signalisation, les procédures sont du même type et la technique est celle du hard handover (« break before make »). Contrairement au GSM où la contrainte prépondérante pour le plan utilisateur (ie. la voix) était le délai de mise en œuvre du handover alors que les échantillons de voix étaient supprimés sans perte de qualité globale de la communication téléphonique, il en va tout autrement pour la transmission de données du GPRS où cette fois, la métrique primordiale pour le plan de données sera la fiabilité et le délai sera moins important.

On aurait pu retenir la même philosophie que celle du GSM qui consiste à supprimer toutes les trames/paquets en transit entre le GGSN et le terminal au moment du handover. L'idée serait la suivante dans un contexte de transmission de paquet IP : si l'application a fait le choix d'UDP, c'est qu'elle peut tolérer de telles pertes et fera les retransmissions si elle le souhaite ; si elle a fait le choix de TCP, TCP s'en chargera. Au moins 80% des flux utilisent TCP et malheureusement TCP est très sensible à ces disparitions de segment. Il va sur-interpréter ces pertes par handover en les considérant comme des congestions en réduisant son débit.

Il faut maintenant distinguer deux cas de figure dans les handovers :

- ceux qui ne concernent que le réseau d'accès (changement de station de base et/ou de contrôleur de station de base) ;
- ceux qui concernent aussi le réseau de collecte de l'opérateur mobile – changement de SGSN.

Remarquons qu'il n'y a pas de changement de GGSN en cours de communication (et que même quand on se raccorde au GPRS, le GGSN est une passerelle de son opérateur). Comme le réseau de collecte est le même en 2G et en 3G, les remarques et les suivantes sont également en 3G.

Quand le handover ne concerne que le réseau d'accès GERAN, le choix qui a été fait a consisté à supprimer les trames en transit dans les buffers des stations de base et des contrôleurs de station de base – ce sera la couche LLC qui s'occupera des retransmissions. Il aurait été beaucoup plus compliqué de faire remonter les trames dans l'arbre pour les refaire descendre à l'utilisateur. Dans le sens montant, c'est aussi le plus raisonnable car sinon risque de déséquence...

Attention si le choix s'est porté sur un fonctionnement avec connexion à ce niveau ; si le choix s'est porté sur LLC sans connexion et sans fiabilité, le problème est renvoyé aux couches supérieures, c'est le cas dans le plan de contrôle – suffisamment de couches de fiabilisation ou dans le plan de données typiquement flux UDP cf. précédemment). Les principes sont les principes classiques d'HDLC (réception correcte de trames portant un mauvais numéro et/ou temporisations).

Quand le handover concerne aussi le réseau de collecte (changement de SGSN en cours de communication). On aura plus d'opérations à mener. Il faut tout d'abord commencer par vider le tunnel entre l'ancien SGSN et le GGSN : dans le sens SGSN vers GGSN, pas de souci, les « paquets » terminent d'être envoyés. Dans le sens descendant, on les laisse arriver jusqu'à l'ancien SGSN qui les fait suivre faire le nouveau SGSN. On crée un

nouveau tunnel entre le GGSN et le nouvel SGSN. Une fois que le tunnel est purgé, on utilise le nouveau tunnel. C'est le protocole GTP qui est utilisé pour cela.

Vu des paquets IP que l'on transporte (on ne parle pas ici des paquets IP utilisés dans les tunnels GTP), il n'y a qu'un bond entre le GGSN et le terminal utilisateur. Comme on ne change pas de GGSN en cours de communication, on ne change pas d'adresse IP en cours de communication. La seule adresse IP qui peut changer est celle du SGSN courant. La réponse est rigoureusement la même en 3G et en grande partie dans LTE (sauf si l'on fait un handover avec changement de technologie).

2. Qualité de service dans le plan de données dans le GPRS

La qualité de service dans le plan de données du GPRS est surtout caractérisée par la fiabilité. Les mécanismes présents sont situés dans les couches RLC et LLC qui procéderont aux retransmissions éventuelles. Si le flux n'en a pas besoin, on choisira des versions sans connexion et sans fiabilité pour LLC et avec connexion et sans fiabilité pour RLC. Attention pour RLC on a besoin de signalisation quand même !

Le taux de codage est choisi en fonction de la qualité du lien.

Sinon pas grand chose : le relaiage de trames ne permet pas de faire de la qualité de service différenciée ; les communications entre la station de base et son contrôleur se déroulent en mode circuit ; les ordonnanceurs sont simples dans toutes ces configurations (allocation de bloc ; Frame Relay, mode circuit).

Entre le SGSN et le GGSN, ce n'était pas encore à l'ordre du jour (cf. cours UMTS avec apparition de la différenciation de qualité de service et MPLS).

Ces mécanismes sont donc extrêmement légers et ne répondent pas à des objectifs de qualité de service différenciés. C'était en grande partie lié à la nature des flux échangés.

3. Différences plan de données, plan de contrôle dans le réseau d'accès GPRS

Si l'on compare au GSM, les différences entre le plan de données et le plan de contrôle s'estompent largement en GPRS – et ce sera bien sûr aussi le cas dans tous les réseaux suivants. Dans le GSM, pour la voix, on se concentre sur le délai et l'on a un mode circuit entre tous les équipements du réseau. Dans le GPRS, on a des piles de protocoles qui sont sensiblement identiques dans le plan de données et dans le plan de contrôle. Tout est commun sur les couches basses : LLC, RLC/MAC et PHY. La différence se déroule au-dessus de la couche LLC. Des points d'accès au service séparés sont présents (2 dans le plan de contrôle et 4 dans le plan de données). Pour le plan de contrôle c'est pour les SMS et pour GMM (Gestion de la mobilité et du nomadisme). Le plan de contrôle ne passe pas par SNDP qui fait de la compression (ce sera la même chose en 3G mais plus en 4G).

Comme les protocoles d'envoi des SMS ont déjà leur propre fiabilisation (cf. cours GSM), on les fait passer par des flux LLC sans connexion – vu leur taille, cela se serait traduit par une signalisation LLC plus grande que l'envoi du SMS lui-même.

On séparera au niveau du SGSN la signalisation qui partira encore dans le réseau sémaphore (d'où les interfaces entre SGSN et MSC/VLR cf. support de cours).

4. LLC

Le protocole sert à faire la fiabilisation entre le terminal utilisateur et le SGSN. La mécanique est à la mode HDLC avec simplement de la retransmission sélective permettant de retransmettre plusieurs trames manquantes/erronées.

Attention LLC propose aussi des possibilités de transmission non fiabilisées sans connexion (suppression des trames erronées ou pas).

C'est donc aussi le protocole qui sert à traiter les retransmissions dans les contexte de transfert intercellulaire.

Faire aller IP jusqu'au contrôleur de station de base.

On aurait pu envisager de faire aller le tunnel du GGSN au contrôleur de station de base et pas au SGSN. Cela revient à redéfinir les limites du réseau d'accès et du réseau de collecte. Ce n'est pas très simple à gérer dans le plan de contrôle par exemple (mais pourquoi pas tant qu'on y est à tout chambouler). L'autre souci va être la gestion des transferts intercellulaires. En effet, cf. question 1, il faut mettre en place une procédure assez compliquée dans le cas où l'extrémité du tunnel change. Changer de SGSN en cours de communication n'est pas très fréquent... le changement de contrôleur de station de base si !

Une autre façon de voir les choses aurait été d'avoir un premier tunnel entre le GGSN et le SGSN puis un second entre le SGSN et le contrôleur de station de base. Attention c'est bien la solution de l'UMTS (Interface Iu-PS) et du LTE. Cela limite les méfaits du problème précédent car là on n'a qu'un saut entre le SGSN (ou SGW en LTE) et le contrôleur de station de base. Cela permet de faire la fiabilisation entre ces équipements lors des handovers avec une philosophie similaire à celle de ce que l'on a exposé dans la question 1 (mais du coup plus rapide que quand on doit traverser un réseau de collecte à l'échelle d'un pays).

Ce n'était pas l'objectif du GPRS où le choix de fiabilisation avait porté sur le protocole LLC entre le terminal et le SGSN.

Ces deux solutions n'ont aucun impact sur les adresses IP (mais sont tout de même assez lourde). En effet, dans toutes les solutions présentées jusque là, vu des paquets IP, il n'y a pas de fonction de routage (le routage est géré de façon sous-jacente). Au niveau du SGSN, on ne fait que récupérer les paquets IP en sortie du tunnel et à les envoyer sur la communication LLC (où tous les choix ont déjà été faits).

Les autres solutions pourraient consister à faire des SGSN et/ou les Contrôleurs de Station de Base des routeurs IP. Cela enlèverait toute la lourdeur de gestion des tunnels... mais attention, si l'on met des fonctions de routage, il faut prendre en compte le fait que les utilisateurs bougent ; du coup leur adresse devrait changer en cours de communication ce qui n'est pas très simple à gérer et il faudrait de toute façon penser à des mécanismes de fiabilisation des communications lors de ces phases (cf. cours de 3A parcours TSFOC).

5. Principes de la méthode d'accès du GPRS

Le problème principal des réseaux sans fil et mobiles est celui du partage du support radio entre plusieurs terminaux. Les communications dans les réseaux mobiles (si l'on excepte le Device-to-Device (D2D) du LTE qui est standardisé depuis 2013 et toujours

pas déployé) se font des terminaux vers (le contrôleur de) la station de base ou de (du contrôleur de) la station de base vers les utilisateurs (attention, c'est aussi le mode le plus commun en WiFi).

Dans la suite, j'indique station de base mais toute l'intelligence est dans le contrôleur.

On a donc deux problèmes distincts à traiter : sens montant et sens descendant.

Les choix qui sont systématiquement présents dans les réseaux télécoms consistent à éviter au maximum les collisions qui conduisent à gaspiller des ressources radio (et les opérateurs payent pour l'utilisation de ces fréquences).

Un premier problème simple concerne les collisions entre le sens montant et descendant. Cela peut se régler simplement en faisant du FDD (Full Division Duplex) on n'utilise pas les mêmes ressources fréquentielles entre le sens montant et descendant ou le TDD (Time Division Duplex), on sépare temporellement les moments où l'on utilise les bandes de fréquences dans les sens montants et descendants.

GSM/GPRS : FDD ; UMTS/LTE : FDD ou TDD.

Dans le GPRS, il y a un premier découpage temporel et fréquentiel : MF-TDMA qui consiste à considérer des canaux de communications physiques (un slot sur une fréquence porteuse donnée).

Du coup dans le sens descendant, on n'a pas de risque de collision. Un seul émetteur et plusieurs destinataires. On répartit les flux sur les différents canaux GPRS (jusqu'à concurrence de 6). On a un problème d'ordonnancement - ordre dans lequel on va envoyer les trames vers les différents utilisateurs. Attention dans ces trames, il y a des trames de données dans le sens descendant mais aussi des trames de contrôle liées aux échanges de données dans le sens montant. L'optimisation de ces problèmes d'ordonnancement est un problème NP-complet (en particulier si l'on y incorpore le choix du ou des canaux sur lesquels on positionne les flux).

Au vu de ce que l'on a décrit dans la partie qualité de service, on va simplement utiliser du Round Robin sur les flux actifs.

Dans le sens montant, le problème est plus dur car la station de base ne sait pas *a priori* quand les terminaux voudront communiquer. Une première partie concerne le rattachement au réseau GPRS (la procédure ressemble à celle du réseau GSM avec forcément un début par un accès aléatoire). Mais cette partie ne suffit pas car les flux vont apparaître et se terminer sans que pour autant on veuille désassocier l'utilisateur (la procédure initiale est longue – c'est une des questions importantes par exemple pour les services d'IoT).

Donc quand l'utilisateur voudra transmettre, il est nécessaire de mettre en œuvre une nouvelle procédure. On n'a pas voulu d'accès aléatoire pour envoyer des données, ce sera donc la demande de ressources dans le sens montant qui se fera en accès aléatoire. On envoie un message d'ouverture de flux sur un canal en accès aléatoire (RACH ou PRACH) avec de l'Aloha Discrétisé (absence de retour, on recommencera) ; en retour la station de base indique le canal sur lequel l'utilisateur parlera en attribuant un bloc dans le sens montant pour qu'il puisse donner le volume à transmettre.

La station de base détermine le taux de codage à utiliser (et la modulation en EDGE) en déduit le nombre de blocs nécessaires et détermine les numéros de blocs qu'elle attribue à l'utilisateur dans le sens montant. Il y a donc de nouveau un algorithme d'ordonnancement à mettre en œuvre (choisir initialement le canal GPRS puis numéro des slots) au niveau de la station de base.

Les erreurs de transmission dans le sens montant se traduiront le cas échéant par des retransmissions mais le problème est simple cette fois car la station de base sait ce qu'elle n'a pas reçu correctement ; idem pour les messages de contrôle dans le sens montant pour les flux descendants – la station de base fera du polling pour donner explicitement des ressources (planifiées) pour ces remontées.

Le dernier problème en suspens est la transmission de nouvelles données dans le sens montant alors que le flux n'est pas fini. Le choix retenu consiste à mettre en jeu des blocs en accès aléatoires pour que les utilisateurs puissent indiquer leur besoin.

Les autres solutions qui auraient été possibles sont les suivantes :

- accès aléatoire pour les données (peu performant et en particulier quand on a beaucoup d'utilisateurs ; c'est moins le cas dans le contexte WiFi par exemple) ; attention les terminaux ne sont pas censés s'entendre -> Aloha discrétisé – efficacité maximale 0.36
- pas de technique distribuée de type token ring/token bus (passer le jeton repasse par la station de base)
- polling – les problèmes initiaux ne sont pas résolus : entrée dans le réseau, ouverture du flux. Le polling est potentiellement coûteux pour les flux qui n'ont rien de neuf à dire.

La vraie amélioration que l'on aurait pu faire aurait été de « piggybacké » la requête pour la transmission de nouvelles trames dans les trames de données dans le sens montant (si l'on plus rien de neuf à transmettre, on ouvre un nouveau flux) ou bien encore de faire du polling des flux actifs pour savoir s'il y a du neuf ou bien encore donner des informations sur l'état des files d'attente. C'est le genre d'améliorations qui ont été introduites par la suite (LTE). On a vu aussi des mécanismes équivalents dans des contextes non connectés de type FTTH par exemple.

6. Ordonnancement en GPRS/EDGE

Comme on l'a indiqué les algorithmes classiques du GPRS/EDGE sont simples de type Round Robin.

- Tenir compte de la qualité de service des flux : pourquoi pas mais pas vraiment d'actualité. Les flux sont homogènes ;
- tenir compte de l'état instantané du support : l'idée serait de favoriser les utilisateurs qui ont des conditions de réceptions très bonnes pour optimiser l'efficacité spectrale. Cette technique est assez inéquitable si elle est utilisée seule. Son instanciation en GPRS n'est pas faisable car on choisit le taux de codage à l'établissement du flux. C'est faisable en EDGE car on a choisi un codage/modulation adaptatif. On peut donc favoriser sur le court terme les flux dans les meilleures conditions. Un grand classique (depuis HSDPA) est de favoriser les terminaux dont le rapport entre les conditions instantanées et les conditions moyennes sont les plus favorables (ce n'était pas encore à l'ordre du jour en EDGE) ;
- Équité : Round Robin est équitable (attention selon le taux de codage, tout le monde ne reçoit pas le même débit).

7. Streaming

Les choix protocolaires RTSP/UDP ou HTTP/TCP

Les questions des choix protocolaires portent sur la configuration de LLC et de RLC. La logique veut UDP : LLC sans connexion ni protection des données (ARQ), RLC avec connexion et pas non plus de fiabilisation (ARQ). Tous ces mécanismes ralentissent le trafic. Si l'on prend UDP, c'est que l'on veut privilégier le délai et la gigue

Pour HTTP/TCP, c'est plutôt l'inverse : LLC avec connexion et fiabilisation et RLC idem.

On pourrait être tenté de dire l'inverse : UDP n'apporte rien donc autant fiabiliser en-dessous et TCP c'est l'inverse. Attention TCP est certes fiable mais comme indiqué à plusieurs reprises, si les couches inférieures ne sont pas fiabilisées, il risque de mal réagir (baisse de débit intempestive).

Attention aussi, en général pour le streaming, on utilise HTTPS : on intercale le protocole TLS entre HTTP et TCP ; cela donne encore une bonne lourdeur supplémentaire ! En effet au handshake TCP (3 phases) s'ajoute le protocole TLS (4 phases) et ensuite seulement, on passe au GET de HTTP.

L'IETF travaille sur un HTTP3 qui utilise un nouveau protocole QUIC, lui-même sur UDP mais qui y ajoute de la fiabilité mais aussi remplit le rôle de TLS pour le chiffrement – on réduit alors sensiblement la lourdeur du HTTPS.

8. Illustration protocolaire :

1- HTTP demande l'ouverture de la connexion TCP (on suppose la résolution d'adresse faite) ;

2- TCP demande l'ouverture de la connexion LLC (SABM) – dans les faits on est passé par IP et SNDCP (on néglige les échanges SNDCP ; un contexte de transmission de données = un contexte SNDCP) ;

3- LLC demande l'ouverture de la connexion RLC – attention on est dans le sens montant – Accès RACH ; réponse AGCH puis envoi du volume (4 messages en tout)

4- On envoie la demande de connexion LLC – fiabilisation – fermeture du flux RLC.

5- L'acceptation de la demande LLC revient du SGSN ;

6- On ouvre la connexion RLC dans le sens descendant (plus simple 1 message) ;

7- On envoie l'acceptation de la demande LLC ;

8- on ferme le flux RLC dans le sens descendant ;

9- on veut envoyer la demande de connexion TCP (SYN > IP > SNDCP > I)

10- on ouvre le flux RLC montant (4 messages pour l'ouverture)

11- on envoie le bloc qui contient la trame I ci-dessus + fiabilisation RLC

12- on ferme le flux RLC

13- LLC est fiable ; la trame RR LLC arrive du SGSN vers le terminal

14- ouverture flux RLC descendant

15- envoi du bloc qui contient la trame RR + fiabilisation RLC

16- fermeture flux RLC descendant

17- Le SYN-ACK revient ; encapsulation par le SGSN > IP > SNDCP > I

18- Ouverture flux RLC descendant = 14

19 = 15
20 = 16

21-24 : trame RR LLC identique 13-16

25 : renvoi de l'ACK de TCP

26-29 : idem pour envoi cet ACK > IP > I

30-33 : trame RR de LLC

34 : envoi du GET de http > segment de données TCP > IP > SNDCP > I > RLC
(là probablement besoin de plusieurs blocs pour transmettre le message GET)

No comment... (pensez à TLS en plus, au partage de ressources entre deux flux et aux retransmissions potentielles)

9. Gestion des flux RLC

Comme vu précédemment, on n'arrête pas d'ouvrir et de fermer des flux RLC. Avantage : on ne monopolise pas de ressources pour des flux qui n'ont rien à transmettre (par exemple nombre de flux limité à 6 par canal physique GPRS) ; inconvénient lourdeur de la signalisation et perte de temps.

Solution (non retenue par l'ETSI) – temporisation à la fin de la transmission des blocs.

10. SMS en GPRS

Dans le GPRS, les SMS passent par le plan de contrôle. Ils sont au-dessus de la couche LLC. Du coup, arrivés au SGSN, on les renverra vers le MSC et le réseau sémaphore. Ce sera exactement pareil en UMTS. C'est encore une fois plus simple que de les faire passer dans le plan de données (ils ne gagnent rien à passer par SNDCP et mettre cette pile de protocoles en plus dans le plan de données ne facilite pas la tâche). On en reparlera avec LTE.

11. Pile de protocoles des SMS en GPRS

SM-AL

SM-AP

SM-RP

LLC

RLC

MAC

PHY

RLC

MAC

PHY

BSSGP

FR

PHY2

SM-RP

LLC

BSSGP

FR

PHY2

BSSGP+

SCCP

MTP3

MTP2

MTP1

BSSG+

SCCP

MTP3

MTP2

MTP1

Terminal

BSS

SGSN

MSC/VLR

Au-delà c'est pareil que sur le slide 27 du cours de GSM