

## TD Architecture Réseaux Mobiles - corrigés

**Exercice 1.** Le schéma (qui est extrait de la norme GSM) décrit la procédure de handover dans un réseau cellulaire. Sur le schéma, le point 1 désigne un handover normal (appelé handover inter-cellulaire en GSM), le point 2 désigne un handover intra-cellulaire (le mobile reste dans la même cellule, mais il change de porteuse) et le point 3 désigne un handover optionnel, laissé au choix de l'opérateur.

Les points qui posent en général de problèmes aux étudiants:

- cet algorithme se déroule sur le contrôleur de la station de base, dans le réseau. Souvent, les étudiants pensent que c'est sur le mobile.
- l'algorithme nécessite effectivement des mesures provenant du mobile, mais ces mesures sont remontées par des messages de contrôle sur la voie montante.
- la partie à droite sur le schéma correspond à une situation où le contact avec le mobile a été perdu (Power FAIL). Les informations utilisées pour calculer les différentes métriques sont les dernières remontées par le mobile.
- le paramètre Power Budget - PBGT(n) - indique en réalité une comparaison entre le gain de canal mobile - BS courante et mobile - BS voisine n. Plus PBGT(n) est important, plus le mobile gagnerait à passer sur la BS n.
- RXQUAL est un nom très trompeur (utilisé dans la norme). On a l'impression que ça parle de "qualité", quelque chose de positif, mais en réalité ça mesure le taux d'erreur binaire du lien. La comparaison sur RXQUAL est du coup souvent déroutante.
- il y a une différence entre RXLEV et RXLEV\_xx\_IH, qui n'est pas toujours détectée par les étudiants.
- la logique pour arriver sur le cas 2 (handover intra-cellulaire) n'est pas toujours évidente. Pratiquement, le mobile mesure une bonne puissance du signal, mais un taux d'erreur binaire élevé. Cette situation n'est pas intuitive et elle est due à des interférences provenant des cellules voisines. On mesure du coup la puissance du signal avec un deuxième seuil (RXLEV\_xx\_IH), encore plus élevé. Si la puissance mesurée est vraiment très bonne, il n'y a aucune raison de changer de BS, on change donc de porteuse dans la même BS.
- le fait d'avoir une distance maximale dans une cellule n'est pas toujours facile à comprendre. Le mobile mesure une bonne puissance, avec un taux d'erreur correct, ça peut paraître bizarre de devoir changer de BS. On aura un exercice plus tard qui explique clairement les raisons de cette taille maximale de cellule.

**Exercice 2.** Le paging et les LACs sont complémentaires. Dans un réseau sans LAC (ou, de manière équivalente, avec une seule zone de localisation), un message de paging est envoyé dans chaque cellule. Cela ne passe évidemment pas à l'échelle d'un pays ou d'une grande région.

Dans le cas contraire, si on veut éliminer le paging, un mobile doit mettre à jour sa localisation à chaque changement de cellule. De nouveau, cela ne passerait pas à l'échelle d'un point de vue consommation énergétique du mobile.

**Exercice 3.** Si toutes les cellules sont dans la même zone de localisation, il n'y a pas de message lors de la transition entre deux cellules. Par contre, les messages de paging sont diffusés sur toutes les cellules. Le nombre de messages par cellule est donc:

$$N1 = N2 = N3 = N4 = 9 + 6 + 8 + 6 = 29 \text{ messages}$$

Si chaque cellule est dans une zone de localisation différente, il y a un message de mise à jour de zone de localisation à chaque changement de cellule. Par contre, les messages de paging ne sortent pas de la cellule correspondante du mobile. Du coup:

$$N1 = 9 \text{ paging} + 2 + 3 \text{ mise à jour de localisation} = 14 \text{ messages}$$

$$N2 = 6 + 3 + 8 + 3 = 20 \text{ messages}$$

$$N3 = 8 + 2 + 8 + 4 = 22 \text{ messages}$$

$$N4 = 6 + 4 + 3 = 13 \text{ messages}$$

La conclusions est que, dans cet exemple, c'est plus intéressant d'avoir une zone de localisation par cellule que d'avoir une seule zone de localisation avec les 4 cellules. La charge dans chaque cellule diminue avec la deuxième stratégie.

La stratégie optimale pour l'exemple donné est:

- Zone 1 = Cell 1 avec  $9 + 2 + 3 = 14$  messages
- Zone 2 = Cell 2 + Cell 3. Dans ce cas, la cellule 2 récupère le paging de la cellule 3, mais enlève les messages de mobilité entre les deux cellules. On se retrouve avec  $6 + 8$  (paging) +  $3 + 3$  (localisation) = 20 messages dans la cellule 2 et avec  $6 + 8$  (paging) +  $2 + 4$  (localisation) = 20 messages dans la cellule 3.
- Zone 3 = Cell 4 avec  $6 + 4 + 3 = 13$  messages.

Par rapport à la deuxième stratégie ci-dessus, les cellules 1, 2 et 4 ont la même charge de trafic. La cellule 3 observe deux messages de moins.

Dans ce petit exemple, la recherche de la solution optimale peut se faire de manière exhaustive. De manière générale, le problème est NP complet et il faut imaginer des heuristiques pour le résoudre. L'approche la plus utilisée est de regrouper ensemble dans la même zone de localisation des cellules entre lesquelles il y a des flux de mobilité importants (l'exemple classique est celui des autoroutes, où les zones de localisation sont linéaires, le long des routes).

**Exercice 4.1.** Avant d'écouter le SCH, le mobile a déjà trouvé la bonne fréquence de transmission de la BS (plus précisément le FCH de la voie balise). Par contre, le mobile n'a aucune notion du temps et de la structure de la trame GSM. La séquence SCH est connue par tous les mobiles et elle a des bonnes propriétés d'auto-corrélation, ce qui permet une détection rapide au niveau du récepteur mobile.

**Exercice 4.2.** Une multitrame de trafic a 26 slots, dont 24 transportant du trafic, un pour le canal SACCH (le 13ème) et un slot idle (le 26ème). Le rôle des slots SACCH et idle sera discuté dans les exercices suivants.

T T T ..... T S T ..... T i

**Exercice 4.3.** Un slot SACCH apparaît une fois tous les 26 slots d'une multitrame de trafic. Physiquement, les slots d'une multitrame de trafic sont séparés de 8 slots (une trame GSM a 8 slots et chaque utilisateur occupe, avec sa multitrame, un de ces slots). Le canal SACCH transmet donc 114 bits tous les  $26 \times 8 = 208$  slots (120,56 ms). Cela donne un débit d'environ 945,59 bits/seconde.

**Exercice 4.4.** Dans un réseau cellulaire, le temps est donné par la station de base et tous les mobiles s'y calent. Mais le temps de propagation entre le BS et les mobiles n'est pas le même, et il dépend de la distance de chaque mobile à la BS. Deux propriétés importantes apparaissent: 1) les mobiles n'ont pas exactement le même horloge, car ils se trouvent à des distances différentes de la BS; 2) il y a un décalage d'un temps de propagation entre la BS et le mobile.

Si le mobile commence donc sa transmission au début du slot qui lui a été assigné, la BS va recevoir ce message avec un décalage de deux fois le temps de propagation: un temps de propagation de décalage d'horloge et un temps de propagation du message. Cela veut dire que, si le message occupe un slot complet, il va déborder sur le slot suivant, en produisant potentiellement des interférences avec la transmission d'un autre mobile. Pour cela, la BS annonce à chaque mobile une avancée temporelle (timing advance): pratique-

ment, chaque mobile commence sa transmission 2 temps de propagation avant le slot alloué (un intervalle de garde est aussi utilisé pour compenser une éventuelle mobilité). Mais le timing advance peut être envoyé uniquement aux clients connectés au réseau d'accès. Un client qui utilise le RACH n'est pas connecté, donc il ne possède pas de timing advance. Le mobile commence donc sa transmission RACH au début du slot, et non pas avant. Pour cela, le burst RACH est réduit, afin de ne pas déborder sur le slot suivant. Cela permet de calculer le temps maximal de propagation autorisé pour un mobile, donc la taille maximale de la cellule.

La durée d'un burst RACH est réduite de  $576,9 - 324,9 = 252$  microsecondes (la durée d'un slot est donnée dans l'exercice précédent, la valeur de 546,43 microseconde donnée ici tient compte de la valeur de l'intervalle de garde utilisé par défaut). Cela est équivalent à deux fois le temps maximal de propagation, donc temps de propagation de 126 microsecondes. En utilisant la vitesse de propagation donnée, cela fait une distance maximale de 37,8 km.

**Exercice 4.5.** La seule difficulté est que la valeur de 8 demi-bursts doit être comprise comme 4 bursts. C'est juste que techniquement les messages sont divisés en demi-bursts. Le reste est facile si on se rappelle les calculs de l'exercice 4.3. Un burst SACCH est envoyé tous les 120,56 ms, donc un message entier est envoyé tous les  $4 \times 120,56 = 482,24$  ms. Cela donne une fréquence de 2,07 messages/seconde. C'est intéressant de remettre aussi ça le contexte de l'exercice 1, car le canal SACCH est utilisé par le mobile pour transmettre ses mesures de qualité de lien au BS. Ça donne une idée de la fréquence d'exécution de l'algorithme de handover.

**Exercice 4.6.** Le mobile doit écouter son slot sur la voie descendante (DL) et transmettre ses données sur son slot de la voie montante (UL). Une différence de 3 slots existe entre la trame sur la voie montante et celle sur la voie descendante (par exemple slot 1 pour DL et slot 3 pour UL). Ça veut dire que le mobile a, de manière générale, 1 slot libre entre DL et UL et 5 slots libres entre UL et DL. Ces slots sont utilisés pour scruter d'autres fréquences, d'autres BS. On peut faire une parallèle avec l'exercice 1, où on voit que le mobile remonte des mesures sur les BS voisines. Ici on voit quand est-ce que ces mesures sont effectuées.

Le temps de scrutation d'un mobile est augmenté par l'utilisation d'un slot idle dans la multitrame de trafic. Pendant ce slot, le mobile n'écoute pas le DL et il ne transmet pas sur l'UL. Cela prolonge de 8 slots le temps de scrutation, on se retrouve donc avec une période maximale d'écoute de 13 slots.

**Exercice 5.** Les étudiants doivent avoir accès aux mappings nécessaires. Une voie balise, avec une multitrame de contrôle, doit obligatoirement être placée sur le slot 0 de la DL0. On peut placer une deuxième voie balise, soit sur DL0 (slot 2), soit sur DL1 (slot 0). Le reste des slots sont occupés par des utilisateurs. Dans l'exemple ci-dessous, on montre une voie balise et un utilisateur (en rose).

DL0	F							S									B							
DL1					T									T								T		
UL0		R								R							R							
UL1							T								T								T	
slot	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
trame	1							2							3									

DL0	B							B									B							
DL1					T									T								T		
UL0		R								R							R							
UL1							T								T								T	
slot	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
trame	4							5							6									

DL0	C							C									C							
DL1					T									T								T		
UL0		R								R							R							
UL1							T								T								T	
slot	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
trame	7							8							9									

DL0	C							F									S							
DL1					T									T								T		
UL0		R								R							R							
UL1							T								T								T	
slot	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
trame	10							11							12									

DL0	C							C									C							
DL1					A									T								T		
UL0		R								R							R							
UL1							A								T								T	
slot	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
trame	13							14							15									

DL0	C							C									C							
DL1					T									T								T		
UL0		R								R							R							
UL1							T								T								T	
slot	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
trame	16							17							18									

DL0	C							C									F							
DL1					T									T								T		
UL0		R								R							R							
UL1							T								T								T	
slot	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
trame	19							20							21									

**Exercice 6.** Dans le scénario donné, il n'y a pas de canal SDCCH, du coup on ne peut pas allouer de telles ressources. Une alternative est d'allouer directement un canal TCH et de faire ensuite du vol de capacité (canal FACCH). Cela coûte beaucoup en termes de ressources, par exemple il faut allouer un canal TCH même pour envoyer un SMS.

**Exercice 7.**

Solution 1: installer une nouvelle BS.

- Avantages: rajouter de la capacité.
- Désavantages: coût matériel, plus d'interférences.

Solution 2: ajouter une nouvelle porteuse (des fréquences supplémentaires) à la BS.

- Avantages: rajouter de la capacité.
- Désavantages: plus d'interférences.

Solution 3: changer le mapping des canaux logiques de contrôle sur la voie balise vers un mapping FCCH+SCH+BCCH+CCCH+SDCCH.

- Avantages: rajouter des ressources de contrôle (donc consommer moins de ressources de trafic pour du contrôle et pouvoir les allouer aux utilisateurs qui ont besoin).
- Désavantages: moins de ressources pour le paging.

Solution 4: remplacer un slot de trafic par un slot de contrôle, avec un mapping SDCCH+SACCH.

- Avantages: rajouter des ressources de contrôle.
- Désavantages: on perd une ressource de trafic (mais cela peut se compenser avec les ressources libérées par la création d'un canal de contrôle dédié).

**Exercice 8.** C'est plutôt une occasion de parler de réseaux hétérogènes, de small cells et de femto cells. L'idée est assez simple, comme une small cell est toujours couverte par une macro cell, on met en place une politique de handover où les utilisateurs en mobilité sont transférés systématiquement des small cells vers les macro cells.

**Exercice 9.** La politique à mettre en place est d'associer les utilisateurs avec une mobilité lente (voir statiques) au small cells et ceux avec une mobilité rapide associés à des macro cells (pour réduire le nombre de handovers qu'ils subissent).

**Exercice 10.** On peut évaluer le niveau de mobilité d'un mobile en GSM en utilisant le timing advance (clin d'oeil à l'exercice 4.4). Si la BS suit l'évolution du timing advance d'un mobile, elle peut se rendre compte si le mobile se déplace vite (le timing advance change beaucoup) ou pas (le timing advance reste à peu près statique).