

## **Chapitre 16 – Exercice 1** (voir énoncé page 386 du livre)

---

**[a]** Une tranche de temps correspond au passage d'une voie GSM. Il y a donc 8 voies de parole par porteuse et donc  $8 \times 16 = 128$  voies de parole.

**[b]** Il faut 6 tranches de temps. Sur chaque tranche de temps, un débit de 9,6 Kbit/s peut être pris en charge

**[c]** Si un utilisateur peut acquérir l'ensemble des 8 tranches de temps d'une porteuse, cela lui permet d'obtenir un débit de  $8 \times 9,6 = 76,8$  Kbit/s. Même si un seul utilisateur pouvait occuper toutes les tranches et toutes les porteuses (un seul utilisateur prendrait toutes les ressources de la cellule), il aurait un débit total de 1228,8 Kbit/s, c'est-à-dire un peu plus d'un Mbit/s.

**[d]** Non, un mobile ne peut capter la même fréquence sur les deux cellules si un TDMA est utilisé ; il y aurait des interférences. En revanche, si la technique employée est du type CDMA, il peut capter la même fréquence.

**[e]** Dans le GSM, le terminal choisit la cellule d'où provient l'émission la plus forte.

## **Chapitre 16 – Exercice 2** (voir énoncé page 386 du livre)

---

**[a]** Dans un réseau GSM, la même fréquence ne peut être allouée à deux cellules qui se touchent sous peine de produire des interférences.

**[b]** Comme il y a 5 porteuses et 8 canaux par porteuse, nous avons bien un équivalent de 40 intervalles de temps. Comme par canal de signalisation, il y a la possibilité de gérer 50 terminaux mobiles et qu'il y a deux canaux de signalisation, il y a une possibilité de gérer 100 utilisateurs actifs.

En fait, il manque dans l'exercice, le fait qu'un intervalle de temps permette de transporter 8 canaux de signalisation. Il y a en réalité la possibilité d'atteindre 800 utilisateurs dans la configuration décrite.

**[c]** Un utilisateur téléphone en moyenne 18 minutes sur les 360 minutes des heures de pointe. Si on suppose qu'il y a 100 utilisateurs actifs dans la cellule et que les communications téléphoniques se déroulent d'une façon équirépartie sur les 360 minutes, cela représente un total de 1800 minutes qui se répartissent sur 360 minutes, c'est-à-dire 5 utilisateurs en moyenne.

Avec la modification indiquée dans la question précédente, il y a potentiellement 800 utilisateurs actifs et donc 40 utilisateurs en moyenne en train de téléphoner.

**[d]** Non, cette cellule paraît mal dimensionnée puisque nous avons en moyenne 5 clients en train de téléphoner pour 37 canaux disponibles.

Si l'on prend en compte la modification indiquée dans la question b, la réponse est également non mais dans l'autre sens : il y a trop de clients pour la capacité de 37 canaux disponibles.

[e] Si, sur un intervalle de temps, on fait passer deux paroles téléphoniques à la place d'une, cela évidemment n'apporte rien s'il n'y a que 5 clients en moyenne. En revanche, les 74 canaux de parole disponibles permettent d'écouler correctement le trafic moyen de 40 utilisateurs. On peut calculer la probabilité de rejet d'un client par la formule d'Erlang ; le calcul donne une probabilité de rejet d'environ 2%, ce qui est la valeur maximale classiquement utilisée sur les réseaux de mobiles.

[f] Pour améliorer la qualité de la parole, plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre : une première solution consisterait à donner à chaque utilisateur deux canaux de parole pour y transporter une bande plus large que la parole téléphonique. Ce n'est pas cette solution qui a été choisie parce qu'elle réduit le nombre d'utilisateurs. La seconde solution est de changer de codec (codeur décodeur). En effet, le demi-débit sur 5,6 kbit/s permet d'avoir une qualité comparable à celle du plein débit. En utilisant un codeur de même type mais sur l'ensemble de l'intervalle de temps, c'est-à-dire sur 13 kbit/s on arrive à faire passer une parole de meilleure qualité. (Ceci s'appelle le plein débit amélioré ; cependant, pour garder une compatibilité avec le GSM plein-débit, le terminal doit obligatoirement être muni du codeur de base).

Dans le cas de l'énoncé, il n'y a pas de problème pour passer à cette évolution.

Avec la modification apportée à la question b, la réponse est non puisque l'on ne dispose toujours que de 37 canaux plein débit améliorés pour les 40 utilisateurs en moyenne).

[g] La fenêtre de contrôle valant 1, ceci indique que l'on peut émettre une trame LAP-D<sub>m</sub> et avant d'être obligé de s'arrêter pour attendre l'acquiescement. Cette solution s'explique par le fait que la distance à parcourir entre la station de base et le terminal est très faible, de quelques kilomètres au maximum, et que le canal propose un faible débit. Il n'y a donc pas besoin d'avoir une procédure avec anticipation.

## **Chapitre 16 – Exercice 3** *(voir énoncé page 387 du livre)*

---

[a] Non, il n'y a, a priori, aucun moyen d'être sûr qu'il y a une fréquence disponible dans la cellule dans laquelle le mobile entre. Cependant, si un utilisateur est capable de connaître son temps de communication et son déplacement en fonction du temps, on pourrait éventuellement lui réserver une fréquence dans toutes les cellules traversées. Cette possibilité est mise en œuvre dans certaines communications par satellite.

[b] Cette solution de soft-handover demande des ressources dans les deux cellules en même temps, il y a donc une certaine contrainte sur les ressources. Cependant, cela n'est pas vraiment contraignant puisque ce ne sont pas les ressources d'une même cellule et que le recouvrement est très court (moins d'une seconde en général).

[c] Dans le hard-handover, le problème est de permettre la continuité sans aucune perte d'information que ce soit de parole ou de données et de resynchroniser la communication surtout si c'est de la parole.

[d] Il est presque impossible de connaître avec certitude le lieu et la date du prochain changement de cellule mais de très bonnes prédictions peuvent en être faites. Il est donc possible d'effectuer des réservations de ressources dans de nombreux cas. Cette solution n'est aujourd'hui pas opérationnelle.

## Chapitre 16 – Exercice 4 (voir énoncé page 387 du livre)

---

**[a]** Non, le GSM et l'UMTS ne travaillent pas sur les mêmes fréquences.

**[b]** Oui, un client garde le même code en passant d'une cellule à une autre. Ceci est un avantage car il n'y a pas de handover au sens du GSM.

**[c]** Lorsque les codecs numérisant la parole téléphonique permettent une forte compression (8 Kbit/s), le temps de paquets devient important (en moyenne un octet toutes les 1 ms). Pour que ce temps reste dans des valeurs raisonnables, le nombre d'octets de parole à transporter reste à une vingtaine d'octets. Le but des minitrames est de transporter ces quelques octets. Comme la cellule ATM est trop grande, l'idée de l'AAL2 est de multiplexer ces minitrames sur un circuit virtuel ATM.

**[d]** Si le terminal génère des paquets IP, ce sont effectivement ces paquets IP qui seront transportés sur l'interface air. Ces paquets IP forment une suite d'octets transportée comme n'importe quelle autre suite d'octets. Dans le réseau central (core network), les octets des paquets IP sont encapsulés dans les cellules ATM.

**[e]** Si le réseau ATM est remplacé par un réseau IP, cela demandera une adaptation des minitrames pour qu'elles soient intégrées dans les paquets IP. Les minitrames ne seront certainement plus du type AAL2 mais des minitrames IP.

## Chapitre 17 - Exercice 1 (voir énoncé page 411 du livre)

---

**[a]** Il reste 200 Mhz de bande passante. Le débit que l'on peut atteindre est de :  
 $C = 300 \log_2(1 + 30) = 300 \log_2(31) = 1\,500 \text{ Mbit/s}$ .

**[b]** Si l'on compte les bandes à l'aller et au retour, cela représente 2 000 bandes et il y a donc  $1\,500/2\,000 = 0,75 \text{ Mbit/s} = 750 \text{ Kbit/s}$  par bande. Si l'on a une version asymétrique, cette valeur moyenne peut s'interpréter comme 1 Mbit/s dans le sens réseau vers client et 500 Kbit/s dans le sens client vers réseau. Dans la réalité, les bandes de fréquences doivent être séparées pour éviter les interférences ce qui rend inutilisable une bonne partie de la bande passante (jusqu'à 50%). De plus, il peut y avoir beaucoup plus que 1 000 clients connectés sur un cœur de chaîne. Enfin, un rapport signal sur bruit de 30 dB est très rarement atteint sur ce type d'infrastructure avec les longueurs classiques.

**[c]** Un multiplexage statistique indique que les communications sont portées par un canal commun et que celui-ci est utilisé, par exemple, en premier arrivé premier servi. L'avantage est bien sûr de pouvoir réutiliser les ressources de bande passante non utilisées par les autres clients.

**[d]** Il ne faut pas que deux clients transmettent dans la même tranche de temps sinon il y aurait une collision des signaux et ceux ci seraient perdus.

**[e]** Oui, il est possible d'utiliser le protocole CSMA/CD puisque nous avons une sorte de réseau local partagé par 1 000 utilisateurs. Cependant, le protocole CSMA/CD n'est pas une très bonne solution car la longueur du câble peut être grande (plusieurs kilomètres).

**[f]** Difficilement car il faudrait faire transiter le jeton d'une station à une autre comme sur une boucle. Cela demanderait un mécanisme complexe qui prendrait beaucoup de temps.

**[g]** Dans les techniques de câble CATV, le signal n'est pas diffusé mais transmis dans un seul sens. Lorsqu'une station émet un paquet, il ne peut écouter directement ce qui se passe sur le canal. Il est donc très utile que la voie de retour provenant du réseau donne, aux stations qui ne peuvent pas s'écouter, des informations de leur état. (collision par exemple).

**[h]** Lorsqu'un client devient actif, ou redevient actif, (lorsqu'il entre de nouveau dans le système actif) il peut lui être affecté un canal de communication pour lui seul, en lui attribuant une tranche de temps.

**[i]** On peut garantir la qualité d'une communication téléphonique tant que l'on est sûr d'avoir le débit approprié. Si la solution consiste à réserver une bande suffisante pour faire passer de la parole téléphonique et que cette bande n'est relâchée que lorsque le client se déconnecte, alors la parole téléphonique est garantie. Cependant, dans ces systèmes, la bande passante de chaque terminal diminue avec l'arrivée de nouveaux clients. En d'autres termes, la bande passante est divisée entre tous les clients en train de transmettre. Si la bande attribuée à chaque client devient trop petite pour pouvoir y faire passer une voie téléphonique, il sera impossible de proposer une garantie.

**[j]** Non, on ne rencontre pas les mêmes problèmes. En effet, chaque utilisateur possède ses propres paires téléphoniques jusqu'au central de l'opérateur ; ce qui veut dire que chaque utilisateur possède un circuit de capacité déterminée jusqu'au central. Les goulots d'étranglement de l'environnement ADSL se situent en général après la récupération des données sur le modem de réception.

## **Chapitre 17 – Exercice 2 (voir énoncé page 411 du livre)**

---

**[a]** Un satellite géostationnaire est situé à 36 000 kilomètres de la terre. Pour effectuer un aller retour, il faut donc  $36\,000/300\,000 = 0,12\text{ s} = 120\text{ ms}$ .

**[b]** Si le canal possède une capacité de 10 Mbit/s, la quantité d'information entre la terre et le satellite sur l'aller et le retour est de  $10 \times 0,12 = 1,2\text{ Mbit}$ . Les acquittements demandant encore un temps aller retour de 0,12 s, cela indique qu'il faut que l'émetteur soit capable d'émettre 2,4 Mbit de données en continue avant de recevoir un acquittement. Si chaque paquet a une longueur de 10 Kbit, cela représente 240 paquets. Comme la fenêtre maximale que l'on peut utiliser est de 128 (cas HDLC étendu) cette procédure est inacceptable ou du moins elle ne permet pas d'obtenir une utilisation satisfaisante de la bande passante, très chère dans les systèmes satellite.

**[c]** Si on considère qu'il n'y a pas d'erreur dans le système (ou qu'il ne soit pas nécessaire de les corriger) alors 2 sous-canaux virtuels sont suffisants. Si l'on considère qu'il y a des erreurs et qu'il faut continuer à transmettre de nouvelles trames sans être interrompu par la fenêtre, il

faut doubler la fenêtre, c'est-à-dire avoir une fenêtre d'au moins 480. Il faut donc prendre 4 sous-canaux virtuels.

**[d]** S'il se produit une erreur sur un sous canal, le sous canal en question est obligé de redémarrer après un temps aller-retour et il prend donc un retard d'un temps égal à un aller retour.

**[e]** Plusieurs solutions peuvent être considérées. Une première, peut être la solution la plus simple, est de servir ce sous-canal une fois de plus que les autres sous-canaux (donc deux fois de suite par exemple). Une autre solution serait de laisser ce sous canal en retard jusqu'à ce que les autres sous-canaux aient également une erreur. L'inconvénient provient de l'environnement aléatoire qui peut produire une nouvelle erreur sur le même canal. Il faut donc décider que, à un moment donné, il faudra donner une priorité au sous canal en retard pour qu'il puisse rattraper son retard.

### **Chapitre 17 – Exercice 3** (voir énoncé page 412 du livre)

---

**[a]** Le satellite recouvre une zone de 500 km sur 500 km. Un handover intra-satellite se produit chaque fois que le client change d'antenne sur le même satellite. Il y a donc un handover intra-satellite toutes les 10 secondes. Il y a un handover inter-satellite (on passe d'une antenne d'un satellite à une antenne d'un autre satellite) toutes les 100 secondes.

**[b]** Si un soft-handover demande 5 secondes (2,5 secondes avant le franchissement de la frontière de la cellule et 2,5 secondes après le franchissement) cela indique que sur le temps de traversée d'une cellule, il y a 5 secondes de handover (2,5 à l'entrée et 2,5 à la sortie). Donc, sur les 10 secondes de traversée d'une cellule, il y a la moitié du temps pendant lequel la transmission est dupliquée. Puisque pendant la moitié du temps il y a duplication, il y a une perte de 33% de la capacité du satellite.

**[c]** On suppose que les satellites possèdent des antennes fixes. Pour que la communication soit coupée, il faut que le satellite qui arrive, et qui va remplacer le précédent, soit saturé. Le vrai problème est comment un satellite qui arrive peut être saturé puisque le précédent ne l'était pas au moment de son passage. La seule solution qui permet cette possibilité provient de la connexion d'un nouveau client juste avant la demande de handover, entre le moment où le premier satellite ne recouvre plus ce client et le moment du handover.

**[d]** Si l'on veut garantir les deux premières minutes de communication, il suffit de réserver sur la suite de satellites qui va se succéder au-dessus du client, une fréquence qui lui est destinée. Il suffit donc d'effectuer cette réservation sur l'ensemble des satellites qui vont se succéder. Comme le défilement des satellites est parfaitement déterminé à l'avance, les satellites concernés par cette réservation sont connus.

**[e]** Oui, la solution peut réduire la capacité du système puisque le système peut refuser un client parce que la garantie risquerait de ne plus être effective. Cependant, cette probabilité est très faible.

**[f]** La solution est de ne pas faire de réservation. En effet, la connexion d'un nouveau client implique l'existence d'une fréquence disponible dans la cellule. Lorsqu'un nouveau satellite

se présente, il y a très peu de raison pour qu'une fréquence ne soit pas disponible puisqu'il y en avait une de disponible (pour le client) avec le satellite précédent. De nouveau, la seule façon qu'il n'y ait pas de fréquence disponible viendrait d'un client situé juste en aval vers le nouveau satellite qui arrive et qui prendrait la fréquence disponible.

**[g]** Si la communication utilise les ressources de deux satellites connectés par une liaison intersatellite, il faut réserver des ressources sur l'ensemble des couples de satellites qui vont se succéder.

**[h]** Non, nous avons regardé le cas des antennes fixes. Le cas des antennes mobiles est légèrement différent et plus simple. En effet, lorsqu'un utilisateur a réservé une fréquence dans une cellule pour sa communication, il n'y a aucune raison pour que le nouveau satellite qui remplace exactement ce que faisait le précédent n'ait pas une fréquence disponible. En d'autres termes, lorsque les antennes s'orientent pour recouvrir la même cellule pendant le temps de passage, une fois que la communication a pu s'établir, elle est garantie jusqu'à sa fin.