
Simulation des HARQ1 sur les couches RLC et physique de l'UMTS

Illia Racunica, Yan Moret, Christian Bonnet

Institut Eurécom

2229 Route des Crêtes

BP 193 - 06904 Sophia-Antipolis

France

Illia.Racunica@eurecom.fr, Yan.Moret@eurecom.fr, Christian.Bonnet@eurecom.fr

RÉSUMÉ. L'UMTS, (Universal Mobile Telecommunication System) devra garantir un niveau de Qualité de Service (QoS) aux paquets qu'il transportera. La couche RLC est en charge de la retransmission des PDU. La couche physique est en charge du codage de l'information. Le paramétrage de ces deux couches affecte les taux de pertes et les délais. Le travail combiné de ces deux couches permet l'HARQ1 : Correction automatique des erreurs grâce aux code convolutifs et destruction des messages erronés à la couche physique, et retransmission par la couche RLC des PDU manquants. En simulant le comportement de ces couches sur un canal gaussien, nous établissons une table de paramétrage en fonction des besoins des applications et de la qualité du canal.

ABSTRACT. UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) will provide Quality of Service (QoS) to its carried packets. The RLC layer is in charge of the PDU retransmission. The physical layer is in charge of the information coding. The configuration of these layers could improve the Error rate and the delays. The combination of both layer allowed the HARQ1: automatic error correction by the convolutional code and discard of the erroneous packets at the physical layer, and retransmission of the missing PDU by the RLC layer. By simulating the behavior of these layers on a Gaussian channel, we make a set table with respect to the application requirement and the quality of the channel.

MOTS-CLÉS : UMTS, RLC, HARQ1, codage adaptatifs, code convolutifs.

KEYWORDS: UMTS, RLC, HARQ1, adaptive coding, convolutional code

1. Introduction

Dans les systèmes filaires la correction des erreurs est assurée en détruisant les paquets erronés et en demandant leur retransmission. Ce mécanisme s'appelle l'ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) (Costello *et al.*, 1983). Dans les systèmes sans fils comme l'UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), le lien radio est beaucoup moins fiable. Aussi, des symboles supplémentaires sont ajoutés aux messages envoyés pour corriger les erreurs. Ce mécanisme s'appelle la FEC (*Forward Error Correction*). Les HARQ, les ARQ Hybrides, sont des mécanismes qui combinent ces deux méthodes. Des simulations sur la couche physique de l'UMTS ont déjà été réalisées (Vivier, 2001). Mais, nous cherchons maintenant à optimiser les HARQ de la couche RLC de l'émetteur en charge des émissions/retransmissions jusqu'à la couche RLC du récepteur en passant par la couche physique. La connaissance du comportement des HARQ sur l'ensemble du réseau UMTS nous permettra de paramétrer ses différentes couches de manière à fournir aux paquets transportés la qualité de service qu'ils requièrent en termes de taux de perte et de délais tout en minimisant les ressources radio utilisées.

Dans un premier temps, nous rappelons l'architecture et le rôle des composants simulés, en particulier pour les couches RLC, MAC et physique dont le paramétrage est réalisé au travers de la fonction RRC. Puis, nous prenons l'exemple de trois applications typiques : de la voix sur IP, une application temps-réel interactive et un chargement de fichier. Selon leurs besoins, il leur est fait correspondre des classes de services exprimées dans le monde IP (Diffserv) qui sont elles-mêmes mises en correspondance avec des classes de service UMTS.

Les résultats présentés sont issus de simulations réalisées en fonction des caractéristiques d'un canal radio gaussien dont nous faisons varier la qualité. En fonction de cette qualité, nous déduisons les combinaisons de paramètres les plus efficaces.

2. L'Architecture UMTS

L'interface radio est divisée en trois couches de protocoles: la couche physique (L1), la couche liaison de données (L2), la couche réseau (L3). La couche 2 est divisée selon les sous couches suivantes: Medium Access Control (MAC) et Radio Link Control (RLC).

2.1. Radio Resource Control (RRC)

Le RRC est un élément de la couche 3. Il établit la connection RRC entre la Station de Base et le mobile. L'établissement de la connection implique un contrôle d'admission et la configuration des paramètres des couches inférieures. Le RRC

contrôle et signale l'allocation de la ressource radio au mobile. Le RRC autorise la couche MAC à arbitrer l'allocation de ressources entre les différents canaux radios. Le RRC utilise les mesures effectuées par les couches inférieures pour déterminer les ressources disponibles et modifier certains paramètres des couches inférieures (3GPP, 2001a).

2.2. Radio Link Control (RLC)

Une entité RLC (Radio Link Control) est créée par le RRC au début de chaque connexion. Il peut y avoir simultanément plusieurs entités RLC au sein d'un même émetteur. Le RLC est en charge de la segmentation des SDU (Service Data Unit, paquet IP dans l'UMTS) en PDU (Protocol Data Unit). Les PDU sont les unités de données de la couche RLC. Leur taille est fixée par le RRC pour la durée du service. Le temps est divisé en TTI (Transmission Time Interval), un intervalle de temps de durée fixe. En début de TTI, la couche MAC demande au RLC un certain nombre de PDU. Le RLC lui transmet les PDU disponibles. Il y a trois modes RLC: le Mode Transparent (TM), le mode non-acquitté (Unacknowledged Mode UM) et le Mode Acquitté (AM). Nous ne traitons dans cet article que le Mode Acquitté. Celui-ci utilise un ARQ inspiré du *Selective Repeat*. Le RLC Récepteur acquitte les PDU reçus et demande la retransmission des PDU manquants.

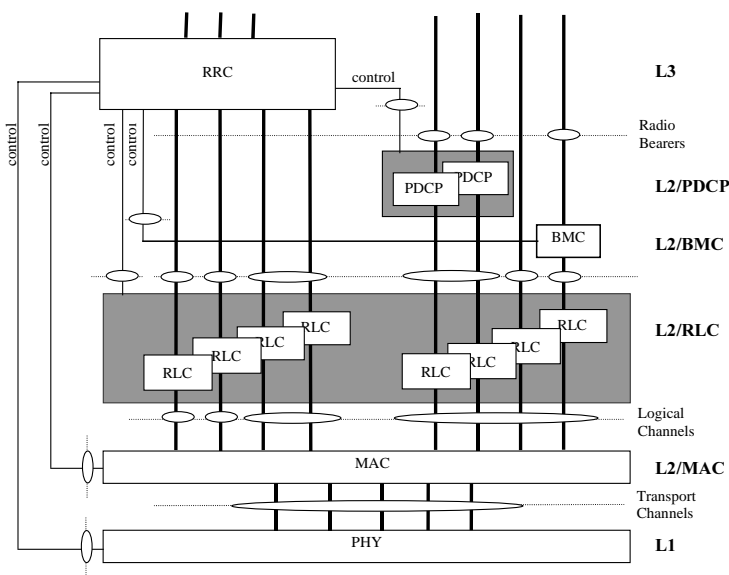


Figure 1. Radio Interface protocol architecture (3GPP, 2001d)

En Mode Acquitté, il y a deux types de PDU, ceux de données et ceux de contrôle. Lorsque le RLC reçoit des SDU de la couche supérieure, il les segmente ou les concatène en PDU de taille fixe. La taille du PDU est donnée au RLC par le RRC. Un PDU peut contenir des bits de bourrage. Puis un en-tête est ajouté.

Puis, le RLC transmet les PDU à la couche MAC. Ils sont transmis ou retransmis en fonction des acquittements ou des demandes de retransmission du récepteur. Le nombre de retransmissions d'un PDU est limité. Si cette limite est atteinte, son SDU et tous les PDU qui lui sont associés sont détruits. Un SDU a un temps limité pour être acquitté. Le temporisateur MRW (Move Receiving Window) est enclenché à son arrivé au RLC. Quand ce temporisateur expire, le SDU et ses PDU sont détruits. Un message est également envoyé au récepteur pour qu'il détruise de son côté ceux qu'il avait reçus. Le message de destruction doit être acquitté dans un délai fixé. S'il n'est pas acquitté à la fin de ce temps, il doit être retransmis.

Le nombre de PDU que le RLC peut transmettre est limité par la demande du MAC et la taille de la fenêtre. Celle-ci correspond au nombre maximum de PDU non acquittés que le RLC peut traiter simultanément. Le RLC envoie en priorité les PDU à retransmettre. Les autres PDU ne sont envoyés que si la fenêtre le permet.

Avant la transmission à la couche MAC, les PDU peuvent être marqués et cryptés. Si un PDU est marqué, alors le récepteur enverra automatiquement un message de contrôle pour acquitter les PDU reçus et demander la retransmission des manquants. Le nombre maximum de PDU émis entre deux PDU marqués est donné par `poll_PDU`. C'est un paramètre fixé par le RRC. `Poll_window` est un autre paramètre donné par le RRC qui indique le seuil de la fenêtre à partir duquel tous les PDU seront marqués.

Le Récepteur envoie également un acquittement dès qu'il détecte qu'un PDU est manquant (détection par trous dans une séquence) ou dès qu'il reçoit un PDU de contrôle. Il y a un délai maximum entre deux acquittements. A la fin de ce délai, un acquittement est envoyé automatiquement. Ce délai est géré par le temporisateur *Status Periodic*.

Pour chaque demande de retransmission, le temporisateur EPC (Estimated PDU Counter) est déclenché. Si à l'expiration de ce temporisateur le PDU manquant n'a pas été reçu, un message de contrôle est envoyé pour redemander sa retransmission et un nouveau temporisateur EPC est déclenché. Si un même PDU est reçu deux fois, le double est détruit automatiquement.

Quand un SDU est complet (c'est à dire que tous les PDU qui le composent sont arrivés), les en-têtes sont enlevés de ses PDU et le SDU est ré-assemblé. Puis, le SDU est délivré à la couche supérieure. Si les SDU doivent être délivrés en séquence, alors un SDU complet n'est transmis à la couche supérieure que lorsque tous les SDU avant lui ont été soit délivrés soit détruits. L'UMTS ne s'occupe pas de la retransmission des SDU (3GPP, 2001b).

2.3. Medium Access Control (MAC).

La couche MAC demande des PDU à la couche RLC et les transmet à la couche physique. Une entité MAC peut travailler avec plusieurs entités RLC. Au début de chaque TTI, le MAC demande un certain nombre de PDU au RLC. La quantité de PDU qui sera demandée à une entité RLC dépend de la priorité de l'utilisateur, de la priorité de son application, et des ressources disponibles. Le RRC fixe une limite maximum au nombre de PDU que la couche MAC peut demander à une entité RLC spécifiée.

Le MAC transmet tous les PDU reçus à la couche Physique sous la forme de Bloc de Transport. Au récepteur, la couche MAC transmet les PDU reçus à la couche RLC (3GPP, 2001c)

2.4. La Couche Physique

La couche physique reçoit les blocs de transport de la couche MAC. Elle ajoute des bits de détection d'erreur sur chacun d'eux et les code en trame radio. Elle peut multiplexer plusieurs blocs sur une même trame. Puis la couche physique transmet les trames radio au récepteur. Le récepteur les décode en Bloc de Transport et détecte les erreurs. S'il y a eu multiplexage, alors les trames radios sont démultiplexées. Si un bloc de transport est erroné, il peut être envoyé à la couche supérieure accompagné d'un signal d'erreur, il peut être conservé, ou il peut être détruit. Si aucune erreur n'est détectée, les Blocs de Transport sont transmis à la couche MAC.

Les codes proposés par 3GPP sont les codes convolutifs de taux 1/2 et 1/3 et les turbo codes. Il est également possible de ne pas coder les PDU.

2.4.1. Code convolutifs

Les codes convolutifs génèrent de la redondance en étalant et mélangeant les symboles sur plusieurs bits. Un code est caractérisé par 3 paramètres: le nombre de bits en entrée k , le nombre de bits en sortie n , et la taille de la mémoire m . Les bits d'entrée sont insérés un à un dans le registre. Les n bits de sortie sont calculés en fonction des n polynômes (un par sortie) et des m bits en mémoire. L'algorithme de Viterbi est utilisé pour le décodage.

2.4.2. Turbo code

Les turbo codes utilisent deux techniques supplémentaires, le codage en parallèle (le codage en série existe également) concaténé et le décodage itératif. Un Bloc de Transport m_0 est codé en un mot de code c_1 avec un code convolutifs. En parallèle, m_0 est entrelacé en un bloc de transport m_1 , puis m_1 est codé avec un code convolutif et donne la trame radio c_2 . Puis, m_0 , c_1 et c_2 sont multiplexés et transmis sur le canal (3GPP, 2001d)

2.5. Hybrid ARQ

Les ARQ Hybrides combinent les techniques de retransmission et de codage (Lin *et al.*, 1984). Ils peuvent être classés en trois catégories :

2.5.1. HARQ type 1

Les données sont codées puis transmises. A la réception, la trame radio est décodée et la présence d'erreurs détectée. S'il y a des erreurs dans la trame, elle est détruite. Le Récepteur demande sa retransmission qui sera effectuée de manière identique.

2.5.2. HARQ type 2

Sur la couche physique, les trames erronées ne sont pas détruites mais conservées en mémoire. Le RLC récepteur demande la retransmission des PDU manquants. La trame retransmise est en général différente de la première. Elle transporte de nouvelles informations de redondance. Elle est combinée avec la première trame reçue ce qui doit permettre une meilleure correction. Les trames retransmises sont en général différentes pour chaque retransmission et une nouvelle retransmission ne peut être utilisée qu'en la combinant avec les transmissions précédentes.

2.5.3. HARQ type 3

En HARQ 3, comme en HARQ 2, les trames erronées ne sont pas détruites mais conservées en mémoire. Le RLC récepteur demande la retransmission des PDU manquants. Les trames retransmises sont combinées avec celle reçues précédemment, mais chaque trame peut également être décodée individuellement (3GPP, 2001e)

La façon d'associer les trames retransmises aux trames erronées conservées en mémoire n'est pas encore spécifiée dans les standards UMTS.

2.6. Les classes de services

Diffserv (Carlson *et al.*, 1998) (Ni *et al.*, 1999) propose 3 grandes classes de services : *Expedited Forwarding*, *Assured Forwarding* et *Best Effort*. Selon le taux de perte et les délais voulus, il faut sélectionner l'une de ces classes et lui préciser le service voulu. De même, l'UMTS propose quatre degrés de qualité de services avec des contraintes de taux d'erreur et de délais différentes (3GPP, 2001f) : *Conversational*, *Streaming* et *Background*.

Nous examinons 3 applications typiques auquel nous faisons correspondre une classe de service dans Diffserv et une classe de service de l'UMTS.

2.6.1. Voix sur IP

Pour faire passer de la voix dans Diffserv, *Expedited Forwarding* est utilisé. Nous lui faisons correspondre la *Conversational Class* de l'UMTS. La voix requiert un SER (taux de perte des paquets) de 10^{-1} et un délai de transfert entre les deux correspondants de 400 ms. Ce délai doit être réduit à 100 ms entre la station de base et le téléphone de l'utilisateur.

2.6.2. Chargement d'un fichier

Pour charger un fichier dans le monde IP, la méthode classique du *Best Effort* est utilisée. Il lui est fait correspondre la *Background Class* de l'UMTS. Nous lui imposons un SER de 10^{-3} sur la partie radio mais nous ne lui imposons pas de contraintes dans les délais.

2.6.3. Vidéo non-interactive

Une application comme de la vidéo non-interactive aura un service du type *Assured Forwarding*. Nous lui faisons correspondre la classe *Streaming* avec des délais inférieurs à 250 ms sur la partie UMTS du réseau, et un SER de 10^{-2} .

	PHB	EF	AF	BE
IP	Service attendu	Délai court Faible perte de paquets	Délai moyen Perte de paquets P	N/A.
UMTS	Classe de trafic	Conversational	Streaming	Background
	SDU délivrés en ordre	non	Non	oui (en TCP) non (en UDP)
	Taux d'erreur SDU (SER)	10^{-1}	Proche de P	10^{-3}
	Taux d'erreur bits résiduel (BER)	10^{-4} (en voix) 10^{-6} (en donnée)	10^{-4} (en voix) 10^{-6} (en donnée)	$4 \cdot 10^{-3}$
	Remise des SDU erronés	oui (en voix) non (en donnée)	Oui	non
	Délais de transfert (ms)	100	250	N/A.

Table 1. Exemple de correspondance des paramètres de DiffServ vers les paramètres de QoS UMTS

3. Résultats en HARQ 1

Nous simulons dans ce papier l'HARQ1 en envoyant des messages codés en convolutifs. Le RLC est en mode acquitté. A titre de référence, nous présentons des résultats en pure ARQ (option sans codage) et en pure FEC (0 retransmission autorisée). Des paquets indifférenciés sont envoyés à débit constant d'une seule source vers un seul destinataire. Le nombre de PDU envoyé par TTI est fixé de manière à ne pas avoir de congestion.

3.1. Description des simulations

Nous générons sur la couche 3 des SDU de 1280 bits que nous émettons au débit constant de 64 kbits/s.

Le TTI est de 10 ms. Un SDU est segmenté en 16 PDU. Chacun de ces PDU contient 80 bits de données. Tous les PDU sont marqués donc un acquittement est envoyé à la réception de chacun d'eux. La taille de la fenêtre est de 1024 PDU. Le temporisateur status_periodic est de 1000 ms. Le temporisateur MRW est de 50 ms. Le temporisateur EPC est calculé sur la couche RLC du récepteur en fonction du temps nécessaire pour la retransmission (cette durée dépend du délai Aller Retour, de la durée d'un TTI et du nombre de PDU à retransmettre). Un PDU n'est pas redemandé avant l'expiration de ce temporisateur. La couche RLC transmet les SDU en séquence à un puits.

Un CRC de 8 bits est ajouté à chaque PDU. Les PDU ne sont pas multiplexés. Nous utilisons l'option de non-codage et les codes convolutifs de taux 1/2 et 1/3. Les codes convolutifs sont à 256 états.

Pour le taux 1/2, les polynômes sont : $G0 = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8$ et $G1 = 1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^7 + x^8$, pour le taux 1/3, les polynômes sont : $G0 = 1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^8$, $G1 = 1 + x + x^3 + x^4 + x^7 + x^8$, $G2 = 1 + x + x^2 + x^5 + x^8$.

Un bruit gaussien est ajouté aux trames radios. Selon les simulations le rapport signal sur bruit (SNR) varie de 0 à 10 dB. La durée d'un Aller Retour est de $1.33 * 10^2$ ms (récepteur fixe à 2 km de l'émetteur).

Au Récepteur, après le décodage et la détection des erreurs, nous détruisons toutes les trames radios erronées. Les autres sont envoyées à la couche MAC.

Le puits reçoit les SDU du RLC. Il mesure les délais de bout en bout (du générateur de paquets jusqu'à lui-même) et compte les SDU qu'il reçoit.

3.2. Influence du nombre de retransmissions sur le taux de perte

Nous mesurons le taux de perte de bout en bout, SER (SDU Error rate) calculé par:

$$SER = 1 - \frac{r}{g}$$

où r est la quantité de SDU reçus au puits et g la quantité de SDU générés. Nous rappelons qu'un SDU n'est reçu que si tous les PDU qui le composent ont été reçus. La demande de retransmission d'un SDU perdu ne se fait pas sur la couche RLC.

Lors des simulations, le nombre $maxr$, nombre maximum de retransmissions autorisé varie de 0 à 2.

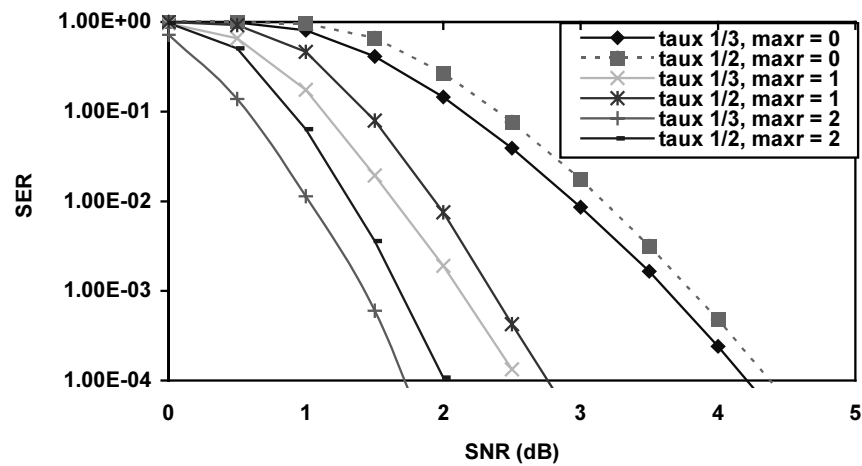


Figure 2. Taux de perte des SDU en fonction du SNR et du taux de codage (code convolutifs) pour 0, 1, 2 retransmissions

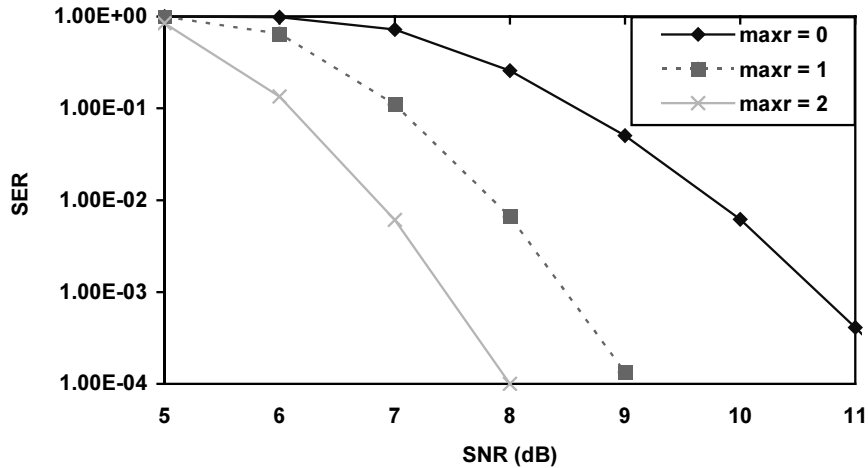


Figure 3. Taux de perte des SDU en fonction du SNR, sans codage pour 0, 1 et 2 retransmissions

Plus le taux du code est faible, plus faible est la proportion de SDU perdus. Plus il y a de retransmissions et moins il y a de SDU perdus. Le codage permet un gain notable de 6 dB par rapport à un ARQ sans codage. Par contre, à nombre de retransmissions égal, le gain entre le codage de taux 1/2 et de taux 1/3 n'est que de 0,5 dB.

La retransmission accroît l'effet du codage. Quand nous ne retransmettons pas, utiliser le codage 1/3 plutôt que le codage 1/2 divise le taux de perte par 2, alors qu'avec 1 retransmission le taux de perte est divisé par 5, et avec 2 retransmissions le taux de perte est divisé par 10.

Pour avoir un taux de perte de 0, de 0 à 5dB, il est nécessaire de coder l'information et d'autoriser un nombre infini de retransmissions. Dans cet intervalle, il n'est pas possible de transmettre l'information sans codage, car le débit que nécessiteraient les retransmissions serait supérieur au débit qu'autorise l'UMTS. A partir de 4 dB, un nombre infini de retransmissions permet d'avoir un SER de 0, même sans codage.

3.3. Influence du nombre de retransmissions sur les délais

Le délai de bout en bout est le temps moyen nécessaire à un SDU pour aller du générateur de paquets au puits.

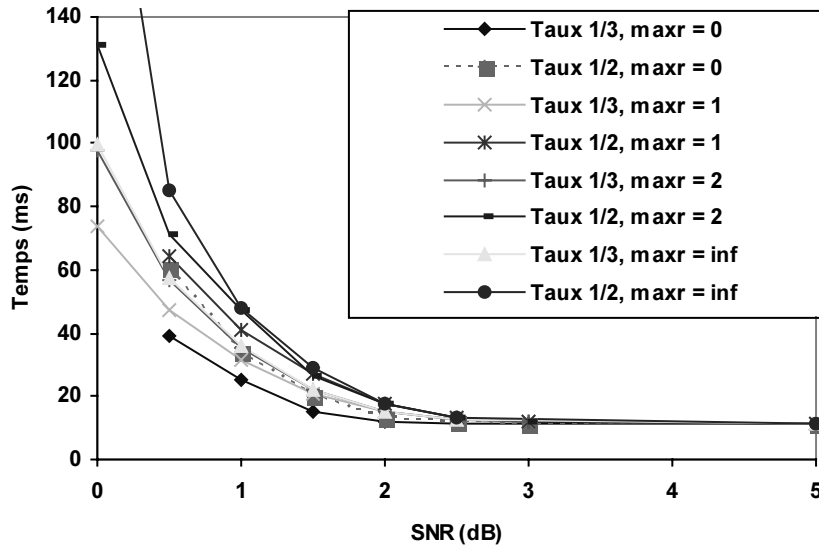


Figure 4. Délais de bout en bout pour les SDU en fonction du SNR, du taux de codage (code convolutifs) et du nombre de retransmissions

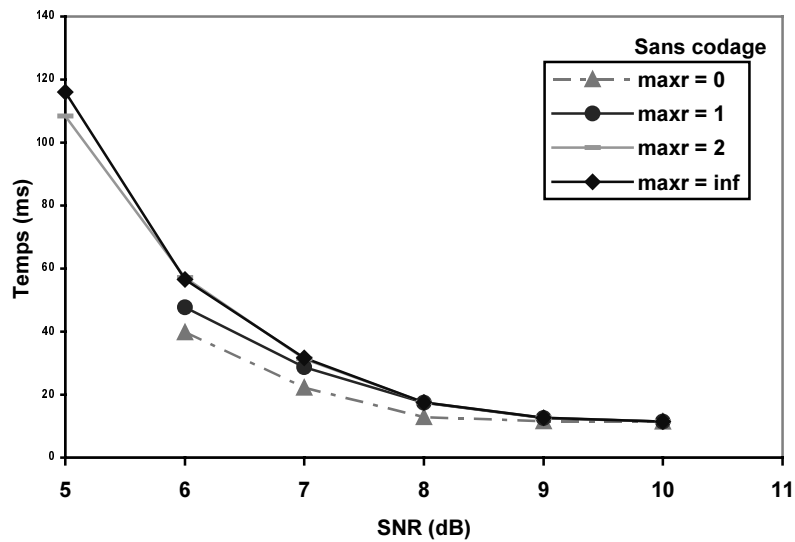


Figure 5. Délais de bout en bout pour les SDU en fonction du SNR et du nombre de retransmissions, sans codage

Les simulations montrent que les délais augmentent avec le nombre de retransmissions et avec la détérioration du canal. Les délais augmentent avec le SER : en effet, la principale cause des délais est la perte et la retransmission de PDU. La perte d'un PDU entraîne un retard d'au moins 4 TTI (détection de la perte et envoi d'un statut demandant la retransmission par le récepteur, réception du statut et retransmission de ce PDU par l'émetteur). Comme un SDU n'est délivré à la couche supérieure que si tous ses PDU sont correctement arrivés au récepteur, les délais de bout en bout d'un SDU dépendent du délai de son PDU le plus retransmis.

Au-delà de deux retransmissions, les délais n'augmentent pas de façon significative.

Un point particulier concerne le cas où la retransmission n'est pas autorisée. Comme les SDU sont délivrés en séquence, un SDU complet n'est délivré que si tous les SDU qui le précèdent ont soit été délivrés, soit été détruits. (Un SDU est détruit au récepteur lorsqu'il reçoit un statut du receveur demandant sa destruction. Ce statut est envoyé quand l'émetteur a reçu un nombre de demandes de retransmission pour un même PDU supérieur au nombre autorisé). Aussi, lorsque les retransmissions ne sont pas autorisées, les délais de bout en bout ne sont pas constants mais s'accroissent avec la détérioration du canal.

3.4. Influence du nombre de retransmissions sur l'efficacité.

L'efficacité E est donnée par :

$$E = \frac{(1-t) * p}{r * f}$$

où t est le taux de perte des SDU, p est le nombre de bits dans un PDU, r est le nombre moyen de transmissions d'un PDU et f est le nombre de bits d'une trame radio. La taille d'une trame radio est de 104 bits sans codage (80 bits de données + 24 bits d'en-tête) de 224 bits en code convolutifs 1/2 ((80 bits de données + 24 bits d'en-tête + 8 bits pour compléter le registre)*2) et de 336 bits en code convolutifs 1/3 ((80 bits de données + 24 bits d'en-tête + 8 bits pour compléter le registre)*3).

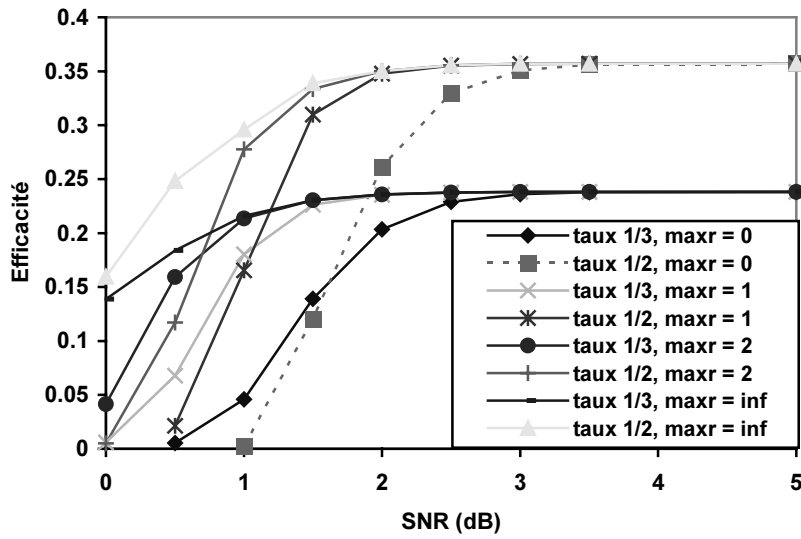


Figure 6. Efficacité en fonction du SNR, du taux de codage et du nombre de retransmissions

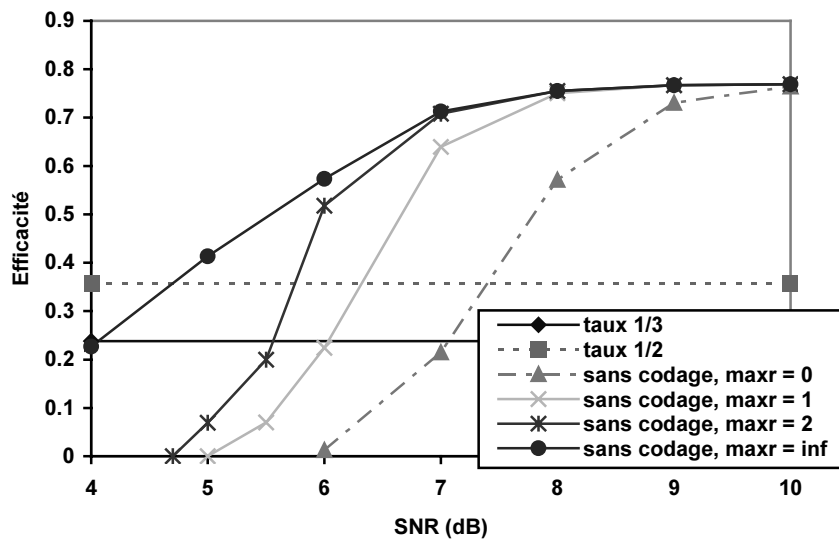


Figure 7. Efficacité en fonction du SNR, du type de codage et du nombre de retransmissions

L'efficacité est très basse quand le canal est de mauvaise qualité, elle progresse quand le canal s'améliore et finit par se stabiliser. La valeur pour laquelle l'efficacité se stabilise ne dépend que du taux de codage et pas du nombre de retransmissions (en fait, l'efficacité se stabilise quand la qualité du canal rend les retransmissions inutiles). Pour un même type de codage, l'efficacité augmente avec le nombre de retransmissions. En effet, comme un SDU n'est utilisable que si tous ses PDU sont arrivés, il peut suffire de la retransmission d'un seul PDU pour qu'un SDU soit complet, ce faisant la retransmission d'un nombre réduit de bits (de 104 à 336 selon le codage) peut permettre de rendre utilisable 1280 bits.

Les courbes d'efficacité se croisent en de multiples points. Selon le nombre de retransmission autorisée et l'état du canal, le codage le plus efficace change. Comme l'état du canal évolue au cours du temps, nos résultats montre qu'il est rentable d'avoir un mécanisme qui prévoit l'état du canal au prochain TTI et sélectionne pour la durée de ce TTI, le codage qui garanti la qualité de service exigée par le service et qui à la meilleure efficacité.

3.5. Sélection de paramètres en fonction des services demandés

Nous comparons maintenant nos résultats avec les paramètres requis pour les applications citées au paragraphe 2.6

3.5.1. Voix sur IP

Pour un SNR de 0 à 1 dB, le codage de taux 1/3 avec une infinité de retransmissions autorisées respecte les contraintes en moyenne. Mais, en fait la moitié des paquets arrive hors délais (écart type important). Donc, aucune des configurations testées ne permet de fournir ce service dans ces conditions. A partir de 1 dB, il est possible pour les codes convolutifs de limiter le nombre maximal de retransmissions à deux. Les délais et le SER sont respectés pour chaque taux, mais le codage 1/2 sera utilisé car il est plus efficace. A partir de 6 dB, il n'est plus nécessaire de coder si l'on autorise deux retransmissions. L'option sans codage étant plus efficace que le codage pour cette qualité de canal, les trames seront envoyées sans codage.

3.5.2. Chargement de fichier

Jusqu'à 2 dB, il est nécessaire de coder l'information et d'autoriser un nombre infini de retransmissions. A partir de 2 dB, le nombre maximal de retransmissions peut être limité à deux et à partir de 3dB, ce nombre peut être limité à un. A partir de 7,5 dB, il n'est plus nécessaire de coder, et le nombre maximal de retransmissions est de deux.

3.5.3. Vidéo non interactive

Jusqu'à 2dB, il est nécessaire d'utiliser les codes convolutifs et d'autoriser un nombre infini de retransmissions. A partir de 2 dB, le nombre maximal de

retransmissions peut être limité à 2 et à 3 dB, ce nombre peut être limité à un. Le code 1/2 est le plus efficace sur ces plages. Enfin à partir de 6,5 dB, il n'est plus nécessaire de coder l'information, le non-codage satisfaisant les critères de QoS et étant plus efficace que les codes convolutifs.

SNR (dB)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Voix Sur IP	code	N A	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	sans	sans	sans	sans
	maxr	N A	2	1	0	0	0	2	1	1	0	
Appli. interactive	code	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	sans	sans	sans	sans	sans
	maxr	•	•	2	1	0	•	•	•	2	1	
Transfert De fichier	code	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	sans	sans	sans	sans	sans
	maxr	•	•	2	1	0	•	•	2	2	1	

Table 2. Récapitulatifs des paramètres UMTS nécessaires aux applications sélectionnées.

4. Conclusion et Perspectives

Nos résultats nous montre que nous pouvons réduire l'ensemble des paramètres à utiliser à un nombre de valeurs réduites. Ainsi, passer de deux retransmissions autorisées à une infinité de retransmissions autorisées n'accroît pas les délais de façon significatives, nous pouvons réduire à 4 valeurs le nombre de retransmissions autorisées: 0, 1, 2 et infini. Avec ces quatre valeurs, toutes les demandes sur les taux de pertes peuvent être satisfaites.

Ainsi, si seul le taux de perte compte, il faudra autorisée un nombre infini de retransmissions. De 0 à 5 dB, le code convolutif 1/2 sera sélectionné, car c'est le codage le plus efficace sur cette plage, et à partir de 5 dB, il sera plus efficace d'envoyer les PDU sans codage. Si le critère essentiel est celui des délais, alors il faudra réduire le nombre de retransmissions jusqu'à ce que la valeur des délais recherchée soit atteinte.

Nos résultats ont également montré l'utilité d'adapter le codage en fonction de l'état du canal. Nous avons fourni une table qui, en fonction du prochain état estimé du canal, permet de sélectionner le mode de codage qui satisfait les critères de QoS et qui optimise l'utilisation des ressources radios.

Dans nos prochains travaux, nous étendrons nos simulations à d'autre mode d'HARQ, en combinant des trames erronées avec les trames retransmises. Nous proposerons également un mécanisme de codage adaptatif qui convient à l'UMTS.

5. Bibliographie

- (Costello *et al.*, 1983) Costello, Shu, Lin, Daniel J., *Error Control Coding: Fundamentals and applications*, Prentice-Hall, 1983
- (Vivier, 2001) Guillaume Vivier « Simulations of HARQ for turbo-coded services in UMTS-TDD », European Personal Mobile Communication Conference, 2001. EPMCC'01
- (3GPP, 2001a) 3GPP, RRC Protocol Specification, 3GPP TS 25.331, 2001.
- (3GPP, 2001b) 3GPP, RLC Protocol Specification, 3GPP TS 25.322, 2001.
- (3GPP, 2001c) 3GPP, MAC Protocol Specification, 3GPP TS 25.321, 2001.
- (3GPP, 2001d) 3GPP, Radio Interface Protocol Architecture, 3GPP TS 25.301, 2001.
- (Lin *et al.*, 1984) Lin, Costello and Miller MJ : « Automatic Repeat request error control schemes, a survey of various ARQ and hybrid ARQ schemes, and error detection using linear block code », IEEE Commun. Mag., 1984, 2^e, (12)
- (3GPP, 2001e) 3GPP, Report on Hybrid ARQ Type II/III, 3G TR 25.835, 2001
- (Carlson *et al.*, 1998) M. Carlson, W. Weiss, S. Blake, Z. Wang, D. Black, and E. Davies, «An Architecture for Differentiated Services », RFC 2475
- (Ni *et al.*, 1999) M. Ni, X. Xiao, "Internet QoS: A Big Picture", IEEE Network, March/April 1999.
- (3GPP, 2001f) 3GPP, QoS Conceptual Models, 3G TSGS2 S2-000813, 2001