

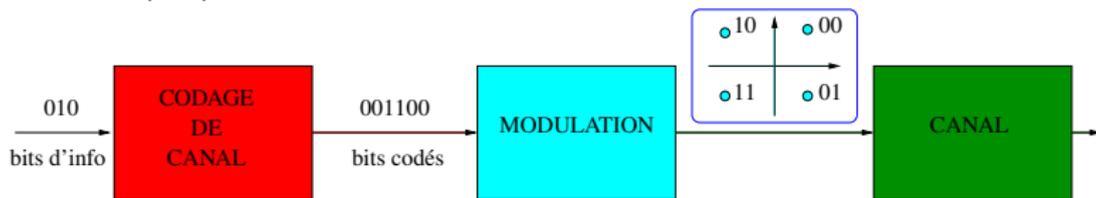
Cours:
Présentation et Analyse de l'HARQ

Philippe Ciblat

Télécom ParisTech, France

Schéma classique de communication

Emetteur (TX) :



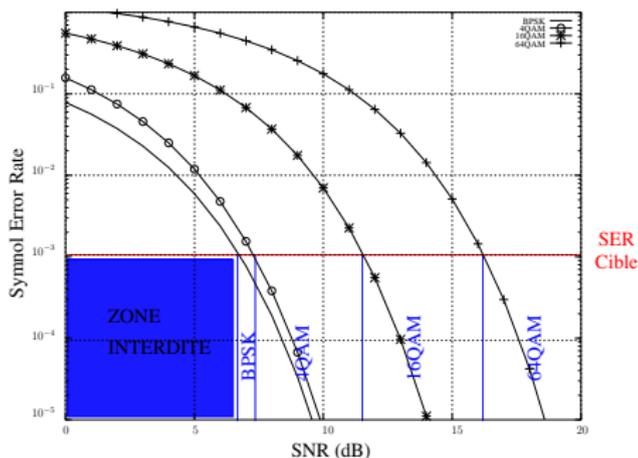
- Absence de voie de retour (feedback) indiquant réussite ou échec de l'envoi
- Adaptive Modulation and Coding **si**
 - modèle de performances disponible pour le canal considéré
 - connaissance des paramètres du modèle de canal à l'émetteur

Inconvénients

- Peu robuste à une mauvaise connaissance du canal
- Peu de souplesse dans l'AMC
- Adaptabilité faible / vraies conditions de propagation (bruit, etc)

Dimensionnement de l'AMC

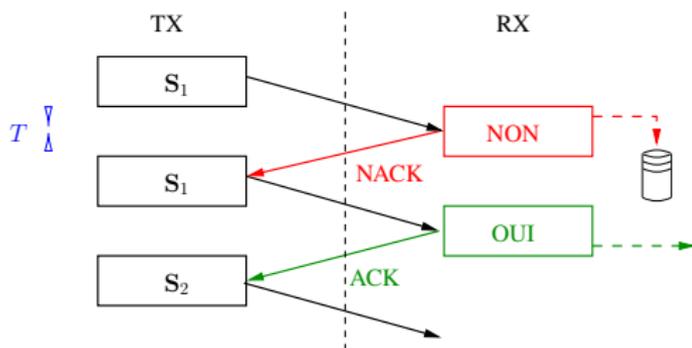
Exemple : choix de la modulation QAM (selon un taux d'erreur cible)



- AMC sur performances moyennes et non instantanées
- Idée : principe du test/erreur
 - on envoie un paquet (de symboles)
 - si ça passe (ACK), ↗
 - si ça ne passe pas (NACK), ↘ et on recommence
- Exigence d'une voie de retour (qui fournit une certaine information sur le canal instantané)

Premier pas avec l'ARQ (*Automatic ReQuest*)

Soit un paquet $\mathbf{S} = [s_0, \dots, s_{N-1}]$ de N symboles non codé



Gestion de l'intervalle T :

- Stop-and-Wait
- Parallel Stop-and-Wait
- Selective Repeat

Hypothèse : voie de retour parfaite (ni erreur, ni retard $T = 0$)

Remarque

La retransmission n'est pas antinomique du codage correcteur

Type-I HARQ : paquet **S** avec symboles s_n codés

- le premier paquet passe plus souvent
- il y a moins de retransmission
- le délai de transmission est plus court

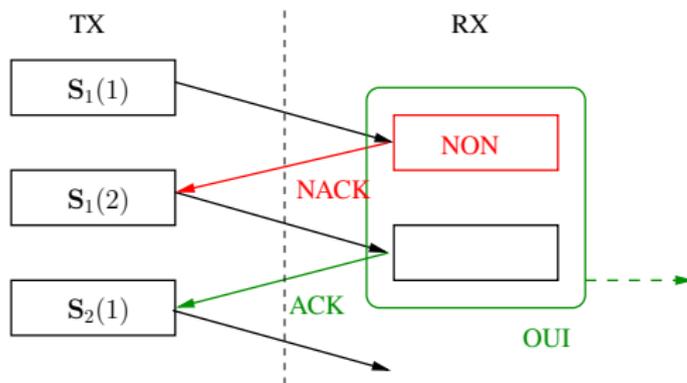
- Efficacité est bornée par le rendement du code
- Adaptabilité est faible

Type-II HARQ

Remarques sur le Type-I HARQ

- Chaque paquet reçu est traité indépendamment
- Un paquet mal codé est jeté d'office à la poubelle

Introduction de mémoire au récepteur \Rightarrow Type-II HARQ



Deux exemples classiques :

- *Chase Combining* (CC)
- *Incremental Redundancy* (IR)

Exemples : CC-HARQ et IR-HARQ

CC

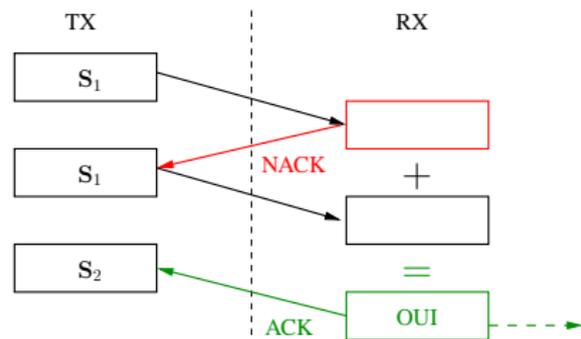
$$Y_1 = S_1 + N_1$$

$$Y_2 = S_1 + N_2$$

alors détection sur

$$Y = (Y_1 + Y_2)/2$$

Gain de 3dB en SNR



IR

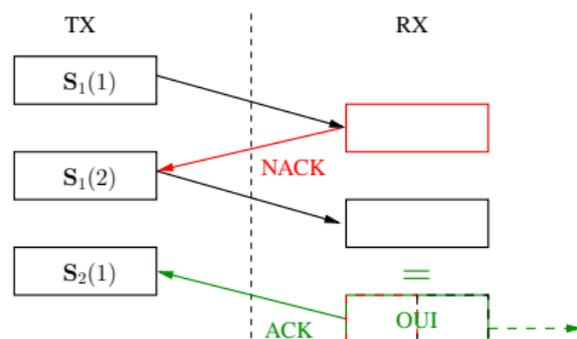
$$Y_1 = S_1(1) + N_1$$

$$Y_2 = S_1(2) + N_2$$

alors détection sur

$$Y = [Y_1, Y_2]$$

Gain de codage



- **Packet Error Rate (PER)** :

$$\text{PER} = \text{Prob}(\text{paquet d'information soit mal décodé})$$

- **Efficacité** (*Throughput/Goodput/etc.*) :

$$\eta = \frac{\text{bits d'information reçus sans erreur}}{\text{bits transmis}}$$

- **Délai** (moyen) :

$$d = \# \text{ paquets transmis pour un paquet d'information bien décodé}$$

- **Gigue** (*Jitter*) :

$$\sigma_d = \text{écart-type du délai}$$

Chaque application requiert une Qualité de Service (*Quality of Service -QoS-*) pré-définie :

- Données (*Data*) : PER et efficacité
- Voix (*Voice on IP -VoIP-*) : délai
- Vidéo (*Streaming*) : efficacité et gigue

En pratique, le nombre de paquets transmis par paquet d'information est borné et égal à L (persistance).

$$\text{PER} = 1 - \sum_{k=1}^L p(k)$$

$$\eta \propto \frac{\sum_{k=1}^L p(k)}{L(1 - \sum_{k=1}^L p(k)) + \sum_{k=1}^L kp(k)}$$

$$d = \frac{\sum_{k=1}^L kp(k)}{\sum_{k=1}^L p(k)}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^L k^2 p(k)}{\sum_{k=1}^L p(k)} - d^2}$$

avec $p(k)$ la probabilité de transmettre le paquet d'information en exactement k transmissions.

Cas particulier : Type-I HARQ

Soit π_0 la probabilité que le paquet d'information soit mal codé (en une transmission). Alors

$$p(k) = (1 - \pi_0)\pi_0^{k-1}$$

Résultat

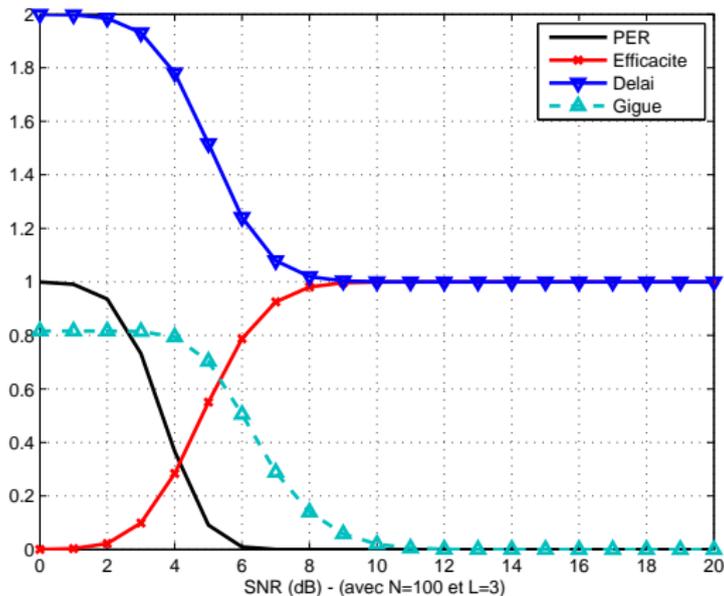
$$\begin{array}{llll} \text{PER} & = & \pi_0^L & \rightarrow & 0 \\ \eta & \propto & 1 - \pi_0 & \rightarrow & 1 - \pi_0 \\ d & = & L + \frac{1}{1 - \pi_0} - \frac{L}{1 - \pi_0^L} & \rightarrow & \frac{1}{1 - \pi_0} \\ & & & & L \rightarrow \infty \end{array}$$

Efficacité indépendante de la persistance

Simulations : Type-I HARQ

Soit un paquet d'information contenant N symboles BPSK non codés.
Alors

$$\pi_0 = 1 - \left(1 - Q\left(\sqrt{2\text{SNR}}\right)\right)^N$$



Compromis retransmission-codage

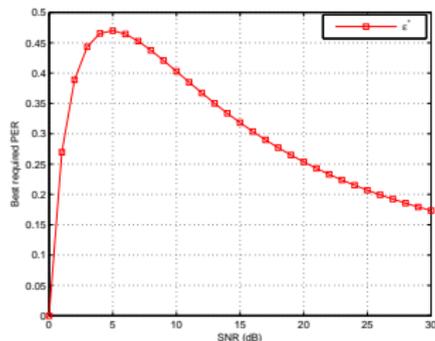
Pour le Type-I HARQ, on a

$$\text{Efficacité} : \eta_{\pi_0} = R_{\pi_0}(1 - \pi_0)$$

avec R_{π_0} le débit utile du paquet.

$$\pi_0^* = \arg \max_{\pi_0} \eta_{\pi_0}$$

est le meilleur PER [Jin09]



Conséquence

Optimiser la couche physique n'est pas nécessaire (grâce à la retransmission) !

[Jin09] P. Wu and N. Jindal, "Coding Versus ARQ in Fading Channels : How reliable should the PHY be ?", IEEE Globecom Conference, Nov. 2009.

- La retransmission : système efficace de correction d'erreur
- Applications : HSPA, Wimax, LTE
- Nouvelles métriques pour l'allocation de ressources

Bibliographie :

1. A. Le Duc, "Derivations and analysis of HARQ schemes in a cross-layer context", Thèse de doctorat, Telecom ParisTech, 2010.
2. S. Marcille, "Resource allocation for HARQ based mobile ad hoc network", Thèse de doctorat, Telecom ParisTech, 2013.