

# Répétitions du Cours d'Introduction aux Réseaux Informatiques

## Contrôles d'erreur et de flux

François Cantin

Département Montefiore  
Research Unit in Networking  
Université de Liège

Année académique 2008–2009

## Contact

- Bureau : Institut Montefiore (B28), 177a.
- Email : [cantin AT run.montefiore.ulg.ac.be](mailto:cantin AT run.montefiore.ulg.ac.be).
- Téléphone : 04 366 26 94.

# Table des matières

- 1 Efficacité d'une transmission de paquets
- 2 Récupération d'erreurs
  - Mécanismes de récupération d'erreurs
  - Exercices
- 3 Contrôle de flux et fenêtre glissante
  - Principes de fonctionnement
  - Exercices

## Efficacité

Les caractéristiques principales d'une transmission sont :

**Temps de transmission**  $T_t$  :

$$T_t = \frac{\text{Nbre } N \text{ de bits transmis}}{\text{Débit de la source (en bps)}} \\ = \text{Temps entre l'envoi des bits 1 et } N$$

**Temps de propagation**  $T_p$  :

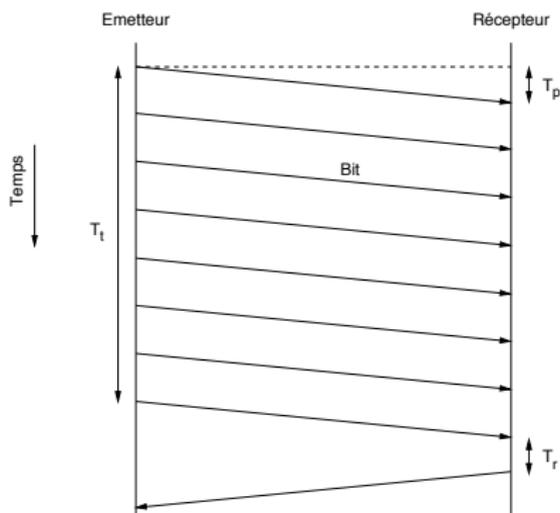
$$T_p = \frac{\text{Distance (en m)}}{\text{Vitesse de propagation (en m/s)}}$$

Pour une ligne terrestre, la vitesse de propagation est celle d'un signal électrique dans un fil de cuivre :  $2 \cdot 10^8$  m/s. Pour une ligne satellite  $T_p = 250\text{--}300$  ms.

## Efficacité (2)

**Temps de réaction**  $T_r$  d'un équipement terminal est le temps nécessaire pour qu'il se rende compte de l'arrivée des données et réagisse par un traitement approprié.

**Autres temps d'attente** causés par le passage à travers des équipements intermédiaires (modem, ...).



## Efficacité (3)

**Efficacité d'une transmission** (formule de base) :

$$\text{Efficacité} = \frac{\text{débit utile}}{\text{débit brut}}$$

**Débit brut** : débit de la liaison (propriété de la ligne).

**Débit utile** : nombre de bits de données transmis par seconde.

Divers facteurs influencent l'efficacité :

- taille des paquets : taille  $\uparrow \Rightarrow$  overhead de contrôle  $\downarrow \Rightarrow$  efficacité  $\uparrow$ .
- taux d'erreur : erreurs  $\uparrow \Rightarrow$  retransmissions  $\Rightarrow$  efficacité  $\downarrow$ .
- ...

## Efficacité (4)

A partir de la formule de base, on peut obtenir les deux formules suivantes :

$$\eta = \frac{\text{débit utile}}{\text{débit brut}} \quad (1)$$

$$= \frac{\text{temps de transmission des données}}{\text{temps total d'un échange}} \quad (2)$$

$$= \frac{\text{nbre de bits de données transmis}}{\text{nbre total de bits transmis} + (V \times T_{\text{délais}})} \quad (3)$$

où  $V$  est le **débit brut**.

## Efficacité - Exemple (1)

**Problème :** Soit un canal sans erreur (et sans mécanisme de récupération d'erreur) à 1 Mbps de 200km de long. L'émetteur envoie en continu des paquets de 500 octets (dont 40 octets d'en-tête) vers la destination. Quelle est l'efficacité de cette transmission ?

**Solution :** Le débit brut est 1 Mbps. Il faut calculer le débit utile.

$$T_t = \frac{500 \times 8}{10^6} = \frac{4 \times 10^3}{10^6} = 4 \text{ ms}$$

$$T_p = \frac{2 \times 10^5}{2 \times 10^8} = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

Comme l'émetteur envoie en continu, il envoie un paquet toutes les 4 ms. Autrement dit, toutes les 4 ms, il envoie 500 octets dont 460 octets utiles.

## Efficacité - Exemple (2)

Le débit utile est donc

$$\text{Débit utile} = \frac{460 \times 8}{4 \times 10^{-3}} = 920 \times 10^3 \text{ bps}$$

Au final, l'efficacité de la transmission est

$$\eta = \frac{\text{Débit utile}}{\text{Débit brut}} = \frac{920 \times 10^3}{10^6} = 920 \times 10^{-3} = 0.92$$

**Remarque** : Dans le cas présent, il aurait été plus rapide d'utiliser la troisième formule d'efficacité (on a  $T_{\text{délais}} = 0$ ) :

$$\eta = \frac{460 \times 8}{500 \times 8 + 10^6 \times 0} = 0.92$$

# Table des matières

- 1 Efficacité d'une transmission de paquets
- 2 Récupération d'erreurs
  - Mécanismes de récupération d'erreurs
  - Exercices
- 3 Contrôle de flux et fenêtre glissante
  - Principes de fonctionnement
  - Exercices

## Récupération d'erreurs

- **Stop & Wait** :  $S$  doit attendre que  $D$  lui indique la bonne ou la mauvaise réception du paquet transmis avant d'envoyer le suivant. Un numéro de séquence est associé à chaque paquet, ACK et NACK. Si le paquet reçu est erroné, le contrôle d'erreur peut être :
  - *explicite* :  $D$  envoie un NAK à  $S$  (ou  $D$  renvoie un ACK pour le dernier paquet correctement reçu).
  - *implicite* : si  $S$  n'a pas reçu de ACK après un certain temps, il retransmet le paquet.

Même dans le cas d'un contrôle d'erreur explicite,  $S$  enclenche un timer après avoir envoyé un paquet (gestion des pertes de paquets / ACK / NACK).

## Récupération d'erreurs (2)

Pour les deux mécanismes suivants,  $S$  envoie des paquets de manière continue et  $D$  acquitte les paquets correctement reçus.

- **Selective Repeat :**

- Si un paquet est erroné ou perdu,  $D$  stocke les paquets suivants et attend que  $S$  renvoie le paquet (sur timeout ou sur réception du NACK).
- $S$  associe un timer à chaque paquet envoyé.

- **Go-Back-N :**

- En cas de d'erreur ou de perte,  $S$  renvoie le paquet erroné (ou perdu) et tous les paquets suivants.  $D$  n'a pas de capacité de stockage.
- Un seul timer pour tous les paquets en attente d'acquiescement.
- Le timer est associé au paquet envoyé et non-acquitté le plus ancien. Lorsqu'on reçoit l'acquit pour ce paquet on réenclenche le timer pour le paquet qui est devenu le nouveau paquet envoyé et non-acquitté le plus ancien.

## Récupération d'erreurs (3)

Le contrôle de flux n'interviendra que dans le cas du *Selective Repeat* ou du *Go-Back-N* car le *Stop & Wait* impose déjà une stricte alternance dans l'envoi des paquets.

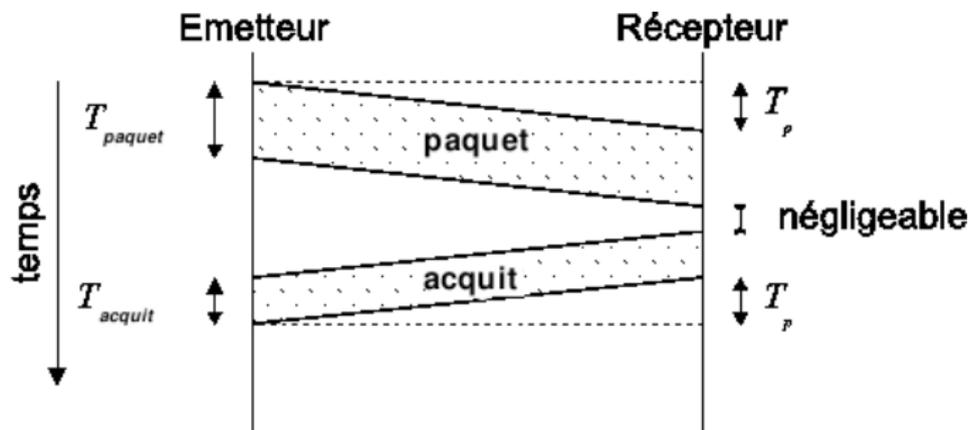
# Table des matières

- 1 Efficacité d'une transmission de paquets
- 2 Récupération d'erreurs
  - Mécanismes de récupération d'erreurs
  - Exercices
- 3 Contrôle de flux et fenêtre glissante
  - Principes de fonctionnement
  - Exercices

## Exercice 1 (Stop & Wait)

Soit un canal de 4 Kbps et  $T_p = 20$  ms. Sachant que l'en-tête des paquets est de 6 octets et que les acquits ont une longueur de 8 octets, pour quelle taille de paquet le protocole Stop & Wait donne-t-il une efficacité  $\geq 50\%$  si nous considérons qu'il n'y a jamais d'erreur de transmission et que les temps de réaction des machines sont négligeables ?

# Résolution exercice 1



## Résolution exercice 1 (2)

Soit  $N$  le nombre de bits de données dans un paquet. On a

$$\begin{aligned}\text{Débit utile} &= \frac{N}{T_{\text{paquet}} + T_{\text{acquit}} + 2T_p} \\ &= \frac{N}{\frac{N+(6 \times 8)}{4 \times 10^3} + \frac{8 \times 8}{4 \times 10^3} + 2 \times 20 \times 10^{-3}} \\ &= \frac{N}{\frac{N+48}{4000} + \frac{64}{4000} + 0.04}\end{aligned}$$

## Résolution exercice 1 (3)

$$\begin{aligned}\text{Efficacité} &= \frac{\frac{N+48}{4000} + \frac{64}{4000} + 0.04}{4000} \\ &= \frac{N}{N + \underbrace{48 + 64 + 0.04 \times 4000}_{272}} \\ &= \frac{N}{N + 272}\end{aligned}$$

On veut

$$\text{Efficacité} \geq 0.5 \Rightarrow N \geq 272$$

Donc la taille minimale des paquets est de 272 bits de données + 48 bits de contrôle, c'est à dire 40 octets.

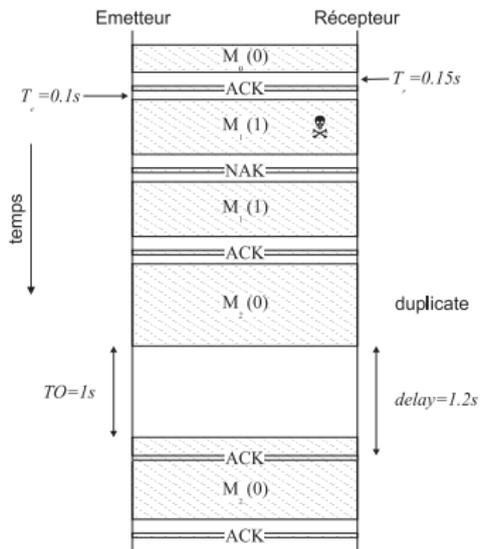
## Exercice 2 (Stop & Wait)

Exprimez pour le scénario de la figure suivante le rapport entre le débit utile et le débit brut sachant que :

- le débit brut est de 1200 bps.
- le temps de réaction de l'émetteur est de  $T_e = 0.1$  s et celui du récepteur de  $T_r = 0.15$  s.
- le temps de propagation est négligeable.
- à la fin de la transmission d'un paquet, l'émetteur déclenche un timer de 1 s.
- le délai introduit par le récepteur (delay sur la figure) est de 1.2 s.

Les paquets de contrôle (ACK, NAK) ont une longueur fixe de 8 octets. Les paquets de données  $M_i$  se décomposent en 8 octets de contrôle et  $y_i$  octets de données avec  $y_0 = 40$ ,  $y_1 = 80$  et  $y_2 = 125$ .

## Exercice 2



## Résolution exercice 2

Temps effectif du processus =

Temps de transmission + Temps d'attente

Temps de transmission =

$$\frac{(M_0 + 2M_1 + 2M_2 + 3ACK + NAK) \times 8}{1200}$$

Temps d'attente =  $3T_e + 4T_r + TO$ .

Le temps effectif est

$$\frac{[(48 + 176 + 266 + 4 \times 8) \times 8]}{1200} + 0.3 + 0.6 + 1 = 5.38 \text{ s}$$

## Résolution exercice 2 (2)

Parmi les éléments transférés, le nombre d'octets utiles est

40	pour $M_0$
80	pour $M_1$
125	pour $M_2$
<hr/>	
245	au total

$$\Rightarrow \text{Efficacité} = \frac{245 \times 8 / 5.38}{1200} = 0.3 = 30\%$$

## Exercice 3 (SR et GBN)

On suppose la connexion entre deux entités A et B établie au départ. A envoie un paquet toutes les 300 ms vers B. Le débit brut de la ligne est de 4800 bps et les temps de propagation sont négligeables.

Le 4<sup>ème</sup> paquet n'est pas reçu par B. Ce dernier demande une retransmission  $T_r = 0.15$  s après avoir remarqué le problème. Lors de la réception de la demande de retransmission, A termine le transfert en cours puis analyse le paquet de B pendant  $T_s = 0.2$  s.

La taille d'un paquet de données est de 144 octets (128 de données et 16 de contrôle) et que celle d'un paquet de contrôle est de 16 octets. Sur base d'une transmission de 10 messages, on demande de calculer l'efficacité de la ligne avec l'utilisation du Go-Back-N et l'utilisation du Selective Repeat.

## Résolution exercice 3

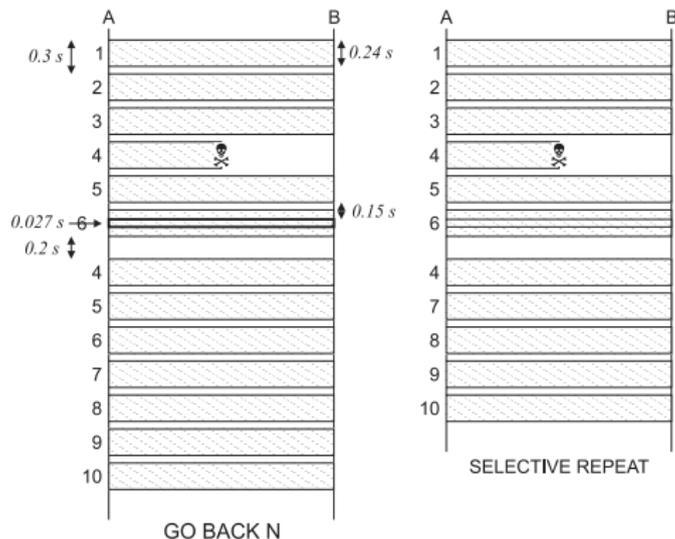
### **Remarque :**

On utilise ici une version optimisée du Selective Repeat : au lieu d'attendre l'expiration du timer pour que A renvoie le paquet perdu, B signale qu'il n'a pas reçu ce paquet en envoyant un NACK 4 ou un ACK 3 (doublon de l'acquit précédent) à A.

### **Début du scénario :**

B se rend compte que le paquet 4 est manquant lorsqu'il reçoit un paquet de numéro non attendu (hors séquence), le paquet 5. Après un certain temps de réaction (0.15 s), B signale à A que le paquet 4 n'a pas été reçu.

## Résolution exercice 3 (2)



## Résolution exercice 3 (3)

### GO-BACK-N

B se rend compte de la perte du 4<sup>ème</sup> paquet après un temps :

$$0.3 \times 4 + \frac{144 \times 8}{4800} = 1.2 + 0.24 = 1.44 \text{ s}$$

Le temps de transmission du GO BACK 4 ( $\Leftrightarrow$  NACK 4) est

$$\frac{16 \times 8}{4800} = 0.027 \text{ s}$$

Celui-ci sera donc reçu par l'entité A au temps

$$1.5 \text{ s} \leq 1.44 + 0.15 + 0.027 = 1.617 \text{ s} \leq 1.74 \text{ s}$$

C'est à dire pendant que A est en train d'envoyer le paquet 6. La retransmission du paquet 4 aura lieu au temps

$$\underbrace{1.5 + 0.24}_{\text{6 paquets}} + \underbrace{0.2}_{\text{analyse}} = 1.94 \text{ s}$$

## Résolution exercice 3 (4)

A transmet ensuite les paquets 5, 6, 7, 8, 9 et 10.

La transmission des paquets aura donc pris au total :

$$1.94 + \overbrace{(0.3 \times 6)}^{6 \text{ paquets}} + \overbrace{0.24}^{\text{paquet 10}} = 3.98 \text{ s}$$

Pendant ce temps,  $10 \times 128 \times 8 = 10240$  bits utiles ont été transmis

$$\Rightarrow \text{débit utile} = \frac{10240}{3.98} = 2572 \text{ bps}$$

$$\Rightarrow \text{efficacité} = \frac{2572}{4800} = 53.5\%$$

## Résolution exercice 3 (5)

### SELECTIVE REPEAT

L'entité A a envoyé les paquets 1 à 6 avant de recevoir le SELECTIVE REJECT 4 ( $\Leftrightarrow$  NACK 4). Il lui suffit de réenvoyer le paquet 4 non reçu et de reprendre la transfert de données à partir du paquet 7. Ainsi, par rapport à la situation précédente, deux paquets de moins seront transmis.

Le temps total est alors

$$3.98 - (0.3 \times 2) = 3.38 \text{ s}$$
$$\Rightarrow \text{débit utile} = \frac{10240}{3.38} = 3029 \text{ bps}$$
$$\Rightarrow \text{efficacité} = \frac{3029}{4800} = 63\%$$

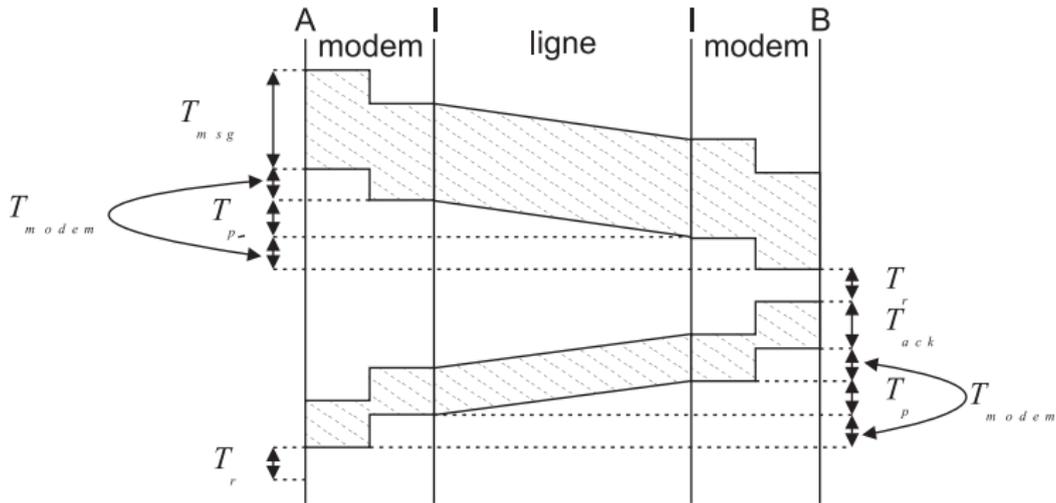
## Exercice 4

Soit un canal satellite dont le délai de propagation est de 250 ms. Le temps de réaction des machines interconnectées est de 2 ms. Le passage du signal dans les modems (Dig-Mod-Ana-Mod-Dig) introduit un délai supplémentaire de 10 ms. Des blocs de données de 240 caractères ASCII sont transmis ; les acquits de ces blocs font 6 caractères.

- Déterminez l'efficacité du canal satellite si la ligne est half-duplex à 4800 bps.
- Si la vitesse de transmission de la ligne est doublée, quelles sont les conséquences pour le débit utile et l'efficacité ?
- Si les blocs de données peuvent être transmis les uns à la suite des autres sans attendre d'acquits, que peut-on en déduire ?

## Résolution exercice 4

Ligne half-duplex  $\Rightarrow$  utilisation du Stop & Wait.



## Résolution exercice 4 (2)

$$T_{msg} = \frac{240 \times 8}{4800} = 400 \text{ ms}$$

$$T_{ack} = \frac{6 \times 8}{4800} = 10 \text{ ms}$$

$$\text{Délais} = 2 T_{modem} + 2 T_r + 2 T_p = 524 \text{ ms}$$

$$\text{Total} = T_{msg} + T_{ack} + \text{Délais} = 934 \text{ ms}$$

$$\text{Débit utile} = \frac{240 \times 8}{0.934} = 2055 \text{ bps}$$

$$\Rightarrow \text{Efficacité} = \frac{2055}{4800} = 43\%$$

## Résolution exercice 4 (3)

- Les valeurs calculées deviennent

	4800 bps	9600 bps
$T_{msg}$	400	200
$T_{ack}$	10	5
Délais	524	524
Total	934	729
Débit utile	2055	2634
Efficacité	43%	27%

- L'émetteur peut envoyer un bloc toutes les 400 ms (au lieu d'un toutes les 934 ms)  $\Rightarrow$  efficacité  $\uparrow$ .

## Exercice 5

Un réseau de transmission de données sans mécanisme d'acquittement a un débit brut de 100 Mbps. L'émetteur utilise un code binaire  $(42, 48)$ <sup>1</sup> pour protéger ses messages des erreurs éventuelles. Chaque paquet de 52 bits se compose d'un champ d'information de 48 bits.

- Déterminez l'efficacité du canal s'il n'y a pas de pertes.
- Supposons que le canal a une probabilité  $p$  de provoquer des erreurs dans un paquet et que le décodeur du destinataire est capable de récupérer 60% des erreurs. Déterminez la valeur de  $p$  à partir de laquelle le codeur augmente l'efficacité du canal.
- Expliquez comment on pourrait coder une séquence de 30 bits avec ce code  $(42, 48)$ .

---

<sup>1</sup>42 bits sur 48 sont utiles (gestion des erreurs).

## Résolution exercice 5

- Un paquet se compose de 42 bits de données. Si le temps inter-paquets est négligeable, nous avons :

$$\begin{aligned}T_{paquet} &= \frac{52}{100 \cdot 10^6} = 52 \cdot 10^{-8} \\ \text{Débit utile} &= \frac{42}{52 \cdot 10^{-8}} \\ \eta &= \frac{\frac{42}{52 \cdot 10^{-8}}}{10^8} = \frac{42}{52} = 80.7\%\end{aligned}$$

**Remarque** : on aurait pu obtenir 42/52 directement en utilisant la 3<sup>ème</sup> formule du slide "note complémentaire".

## Résolution exercice 5 (2)

- *Pas de codage*  
On calcule l'efficacité du canal en tenant compte de la probabilité  $p$  de perdre un paquet.

$$\eta_1 = \frac{48(1-p)}{52}$$

- *Codage avec récupération des erreurs*

$$\eta_2 = \frac{42(1 - (1 - 0.6)p)}{52}$$

- *On veut*

$$\eta_2 > \eta_1 \Leftrightarrow p > 20\%$$

- mot de code = 30 bits + 12 bits virtuels.

## Exercice 6

On vous demande d'exprimer le taux de perte de paquets si on a un taux d'erreur sur un bit de  $10^{-13}$  dans un réseau transportant des paquets de

- 125 bytes à une vitesse de 1 Mbps
- 125 bytes à une vitesse de 100 Kbps

en supposant que la ligne est utilisée à 80%.

## Résolution exercice 6

- Un taux d'erreur sur un bit de  $10^{-13}$ .  
⇒ un bit sur  $10^{13}$  est endommagé.  
⇒ un paquet de  $125 \times 8 = 1000$  bits sur  $10^{10}$  est endommagé.

Le temps mis pour transmettre un paquet de 125 bytes sur une ligne de 1 Mbps utilisée à 80% est de

$$\frac{1000}{10^6 \times \frac{80}{100}} = \frac{1000}{10^6} \times \frac{100}{80} = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Il y aura donc en moyenne une perte de paquet toutes les

$$1.25 \cdot 10^{-3} \times 10^{10} = 1.25 \cdot 10^7 \text{ s}$$

soit tous les 144 jours.

## Résolution exercice 6 (2)

- Le temps de transmission est de

$$\frac{1000}{10^5} \times \frac{100}{80} = 1.25 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

Il y aura donc en moyenne une perte de paquet toutes les

$$1.25 \cdot 10^{-2} \times 10^{10} = 1.25 \cdot 10^8 \text{ s}$$

soit tous les 1446 jours (càd tous les 4 ans).

## Résolution exercice 6 (3)

**Remarque** : Dire que un paquet sur  $10^{10}$  est erroné est une approximation : il est possible que plusieurs bits erronés fassent partie d'un même paquet et, dans ce cas, cette affirmation n'est plus exacte. Toutefois, la probabilité qu'un bit soit erroné est tellement faible qu'il y a très peu de chance que plusieurs bits d'un même paquet soient erronés.

- $P(\text{paquet erroné}) = 1 - P(\text{paquet correct})$
- $P(\text{paquet correct}) = P(\text{bit 1 correct ET ... ET bit 1000 correct}) = P(\text{bit 1 correct}) \times \dots \times P(\text{bit 1000 correct})$
- $P(\text{bit } i \text{ correct}) = 1 - P(\text{bit } i \text{ erroné}) = 1 - 10^{-13}$
- $\Rightarrow P(\text{paquet correct}) = (1 - 10^{-13})^{1000} \approx^2 1 - 10^{-10}$
- $\Rightarrow P(\text{paquet erroné}) \approx 10^{-10}$

---

<sup>2</sup>Si  $p \ll 1$ , alors  $(1 - p)^n \approx 1 - (p \times n)$

# Table des matières

- 1 Efficacité d'une transmission de paquets
- 2 Récupération d'erreurs
  - Mécanismes de récupération d'erreurs
  - Exercices
- 3 Contrôle de flux et fenêtre glissante
  - Principes de fonctionnement
  - Exercices

# Hypothèses et définitions

## Hypothèses :

- même temps de transmission pour tous les paquets
- la liaison est sans erreur
- le récepteur acquitte chaque paquet reçu individuellement

## Définitions :

- $W$  est la taille de la fenêtre d'émission (nombre maximal de paquets pouvant être envoyés sans avoir été acquittés).
- $d \equiv T_{\text{paquet}} + T_{\text{acquit}} + 2T_p + T_{\text{traitement}}$

## Premier cas de figure

$$\text{Si } d \leq W \times T_{\text{paquet}}$$

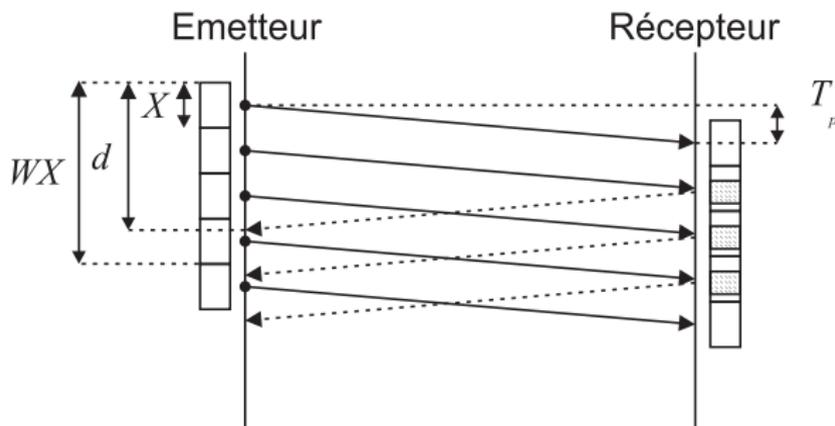
Le premier acquit est reçu avant que la fenêtre d'émission ne soit fermée  $\Rightarrow$  la source ne doit pas s'arrêter. Celle-ci peut donc transmettre à la vitesse maximale de  $1/T_{\text{paquet}}$  paquets/s. Le contrôle de flux n'est pas actif.

L'efficacité est (3<sup>ème</sup> formule efficacité)

$$\frac{D}{D + H}$$

où  $D$  représente le nombre de bits de données et  $H$  le nombre de bits de l'en-tête d'un paquet.

## Premier cas de figure (2)



**Remarque :** Sur la figure  $X = T_{\text{paquet}}$ .

## Second cas de figure

Si  $d > W \times T_{\text{paquet}}$

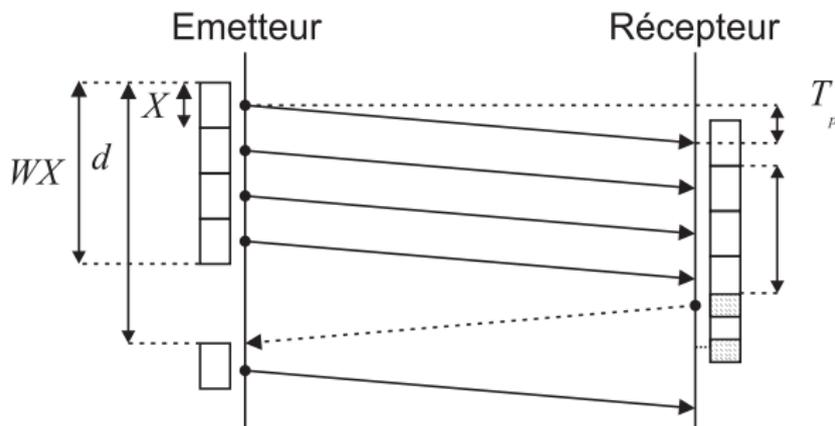
Après l'envoi de  $W$  paquets, la source se trouve en attente d'acquit. Si la source a toujours un paquet en attente dans la queue de transmission, la vitesse de transmission est réduite à  $W/d$  paquets/s.

L'efficacité devient (2<sup>ème</sup> formule efficacité)

$$\frac{\left(\frac{WD}{V}\right)}{d} = \frac{WD}{V} \times \frac{1}{d}$$

où  $V$  est le débit de la liaison.

## Second cas de figure (2)



**Remarque :** Sur la figure  $X = T_{\text{paquet}}$ .

# Table des matières

- 1 Efficacité d'une transmission de paquets
- 2 Récupération d'erreurs
  - Mécanismes de récupération d'erreurs
  - Exercices
- 3 Contrôle de flux et fenêtre glissante
  - Principes de fonctionnement
  - Exercices

## Exercice 7

Soit une liaison satellite entre un émetteur et un récepteur. Le temps de transmission d'un paquet est de 5 ms. Le temps total pour recevoir l'acquit est de 0.5 s.

- Quelle est la borne inférieure de la taille de la fenêtre pour que la liaison entre l'émetteur et le récepteur puisse fournir une vitesse de transmission maximale lorsqu'il n'y a pas d'autre trafic sur la ligne ?
- Supposons que le débit de la transmission de la source est divisé par deux, que devient la taille de la fenêtre ?

## Résolution exercice 7

- Il faut que la source puisse transmettre sans s'arrêter, càd

$$d \leq W \times T_{\text{paquet}} \Leftrightarrow 500 \leq 5W \Leftrightarrow W \geq 100$$

La source peut alors transmettre à une vitesse maximale de

$$1/5 \text{ paquet/ms} = 200 \text{ paquets/s}$$

- Le temps de transmission d'un paquet est augmenté de 5 ms. Donc  $d$  est également augmenté de 5 ms et vaut 0.505 s. On a donc

$$505 \leq 10W \Leftrightarrow W \geq 50.5$$

La taille de la fenêtre peut être réduite.

## Exercice 8

Soient un émetteur  $E$  au sol et un satellite géostationnaire  $R$  (récepteur) distants l'un de l'autre de 36000 km.  $E$  envoie des paquets de 1500 octets à  $R$ . Le débit binaire est de 200Mbps, la vitesse de propagation du signal est égale à la vitesse de la lumière ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s) et le temps de transmission des acquits est négligeable.

## Exercice 8 (2)

- Quelle doit être la largeur minimale de la fenêtre de transmission de  $E$ , pour qu'il ne soit pas bloqué dans sa transmission si un acquit est envoyé par  $R$  après chaque paquet reçu (on suppose que le temps de réaction de l'émetteur et du récepteur sont négligeables) ?
- Que devient la taille de cette fenêtre lorsque les trois conditions suivantes sont remplies :
  - $R$  envoie un acquit au minimum tous les 100 paquets,
  - $R$  a un temps de réaction  $T_r = 600 \mu s$  et
  - le temps de réaction de l'émetteur est négligeable.

## Résolution exercice 8

Le délai de propagation entre  $E$  et  $R$  est

$$T_p = \frac{36000 \cdot 10^3 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 120 \text{ ms} = 12 \cdot 10^4 \mu\text{s}$$

Le temps de transmission d'un paquet est

$$T_t = \frac{1500 \text{ octets}}{200 \cdot 10^6 \text{ bits/s}} = \frac{12000 \text{ bits}}{200 \cdot 10^6 \text{ bits/s}} = 60 \mu\text{s}$$

## Résolution exercice 8 (2)

- $d = 2T_p + T_t = 2 \times 0.12 \text{ s} + 0.00006 \text{ s} = 0.24006 \text{ s}$

Le nombre de paquets que  $E$  peut envoyer pendant ces  $d$  secondes est

$$\left\lceil \frac{0.24006}{T_t} \right\rceil = 4001$$

Donc la taille minimale de la fenêtre est de 4001 paquets.

- Au pire, on attendra  $d$  secondes avec

$$d = 2T_p + 100T_t + T_r = 0.2466 \text{ s}$$

Le nombre de paquets que  $E$  peut envoyer pendant ces  $d$  secondes est

$$\left\lceil \frac{0.2466}{T_t} \right\rceil = 4110$$

Donc la taille minimale de la fenêtre est de 4110 paquets.

## Exercice 9

Considérons deux manières d'effectuer le transfert de 100 Mo (1 Mo =  $10^6$  octets) de données d'un ordinateur vers un autre situé sur un site différent :

- via une ligne adsl offrant un débit montant de 192 Kbps
- en copiant ces données sur une clef usb, en confiant la clef usb à un Saint-Bernard et en recopiant finalement le contenu de la clef sur l'autre ordinateur. Le temps requis pour une copie des données depuis ou vers la clef usb est estimé à 1 minute.

On ne tient pas compte des informations de contrôle dans les 192 Kbps et on néglige le temps d'établissement de la connexion avant le transfert.

## Exercice 9 (2)

En admettant que le chien peut tenir une vitesse uniforme de 18 km/h indépendante de la distance à parcourir, jusqu'à quelle distance environ entre les deux sites le transfert par chien présente-t-il un débit plus élevé que le transfert par ligne adsl ?

## Résolution exercice 9

On cherche la distance maximale  $d$  telle que

$$\begin{aligned} D_{\text{chien}} &> D_{\text{adsl}} \\ \Leftrightarrow \frac{100 \text{ Mo}}{T_{\text{chien}}} &> \frac{100 \text{ Mo}}{T_{\text{adsl}}} \\ \Leftrightarrow T_{\text{adsl}} &> T_{\text{chien}} \\ \Leftrightarrow T_{p_{\text{adsl}}} + T_t &> T_{p_{\text{chien}}} + 2T_{\text{copie}} \\ \Leftrightarrow \frac{d}{2 \cdot 10^8} + \frac{100 \cdot 10^6 \times 8}{192000} &> \frac{d}{\frac{18000}{3600}} + 2 \times 60 \\ \Leftrightarrow d &< 20.23 \text{ km} \end{aligned}$$