

2ème année 2024-2025

## TCP : le contrôle de congestion

Octobre 2024

Objectifs :

- comprendre le contrôle de congestion dans la pile IP.

### ▷ Exercice 1 : Le protocole TCP

On demande de tracer le chronogramme d'une connexion TCP complète entre deux hôtes A et B et de donner la durée de cette connexion. Durant cette connexion (le transfert HTTP d'une page web, par exemple), le poste serveur, B, envoie 15 000 octets de données au client A puis met fin à la connexion.

Nous supposons que ce dernier n'envoie aucune donnée, qu'il n'y a aucune erreur ni perte. La version de TCP utilisée sera New Reno, la taille de fenêtre de réception sera de 20 segments

Les temps de traitement seront négligés, de même que les tailles des divers en-têtes. La MTU sera dans tous les cas de 1500 octets.

**1.1** — Sur un réseau ethernet. Les stations A et B sont reliées par un lien ethernet full-duplex à 10 Mbps et distantes de 100 mètres, la vitesse de propagation du signal est de  $2 \times 10^8$  m/s.

**1.2** — Sur un lien satellite. Les stations A et B sont reliées par un lien satellite géostationnaire offrant un débit de 1 Mbps.<sup>1</sup>

**1.3** — Donner, dans les deux cas, le taux d'utilisation de la ligne, c'est-à-dire le rapport entre le débit théorique de la ligne et le débit réellement obtenu.

**1.4** — Commentez les résultats de la question précédente.

■

### ▷ Exercice 2 : L'inéquité de TCP

Imaginons deux connexions TCP New Reno, l'une entre S1 et D1, l'autre entre S2 et D2 (voir

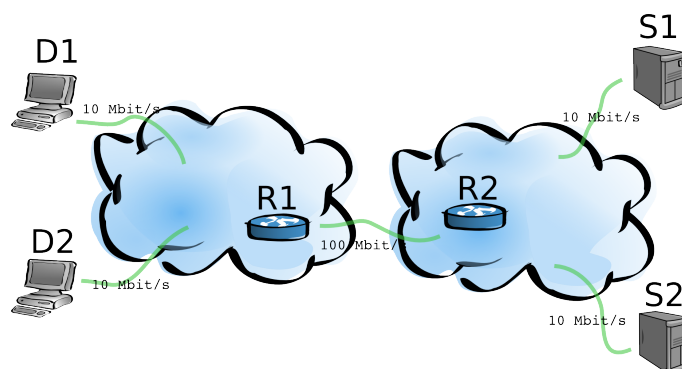


FIGURE 1 – Illustration du contexte

la figure 1). Nous prendrons les hypothèses suivantes :

1. On rappelle qu'un satellite géostationnaire est à une altitude de 36 000 Km et que la vitesse de propagation du signal est de 300 000 Km/s.

- Les machines  $S1$  et  $S2$  ont en permanence des données à émettre, les machines  $D1$  et  $D2$  n'ont pas de données à émettre.
- Le chemin de  $S1$  vers  $D1$  et le chemin de  $S2$  vers  $D2$  ne changent pas durant la connexion.
- Ces chemins passent par un même lien entre deux routeurs consécutifs  $R1$  et  $R2$ .
- Le débit du lien entre ces deux routeurs est de 100 Mbit/s, et il est utilisé à moins de 80 % avant que les deux connexions ne débutent.
- Le débit des réseaux d'accès de chacune des machines est de 10 Mbit/s (et chacun de ces liens ne sert qu'à acheminer la connexion concernée), le débit de tous les autres liens impliqués est largement supérieur (considéré comme infini).
- Le temps d'aller-retour est de 50 ms entre  $S1$  et  $D1$  et de 25 ms entre  $S2$  et  $D2$ . Ces temps d'aller-retour seront supposés constants quel que soit l'état du réseau.
- Les tailles des différents en-têtes seront considérés comme négligeables.
- Nous appellerons  $L$  la taille (exprimée en bits) d'un segment de données que nous supposons constante et identique pour toutes les connexions :  $L = 10Kbits$ .
- Nous supposons que seul le contrôle de congestion impose des contraintes aux connexions TCP auxquelles nous nous intéressons (autrement dit, nous supposons que  $awnd$  est très grand).
- Nous appellerons  $W_1$  (respectivement  $W_2$ ) la taille de fenêtre d'émission de  $S1$  (respectivement  $S2$ ).

**2.1 Calcul de la taille de fenêtre idéale** — En négligeant la surcharge induite par l'encapsulation, quelle est la valeur de la taille de fenêtre "idéale", c'est-à-dire la plus petite valeur permettant d'émettre en permanence ?

On donnera une expression puis la valeur numérique de  $W_1^i$  et  $W_2^i$  (valeur "idéale" de  $W_1$  et  $W_2$ ) pour  $S1$  et  $S2$ .

**2.2 Débits utiles** — Quelle est la valeur numérique du débit ( $C_1$  et  $C_2$ ) que pourra alors théoriquement atteindre chacune des deux connexions avec une telle taille de fenêtre ?

Supposons maintenant que, alors que  $S1$  et  $S2$  émettent à ces débits (et donc  $W_1 = W_1^i$ ,  $W_2 = W_2^i$ ), d'autres trafics apparaissent passant par le lien entre  $R2$  et  $R1$ . Nous supposons que l'ensemble des trafics devant transiter entre ces deux routeurs cumule rapidement un débit total **largement supérieur** à celui du lien.

**2.3 Confluence des trafics** — Quel phénomène apparaît sur  $R2$  ? Quelles sont les conséquences pour les diverses connexions TCP ?

**2.4 Modification de la fenêtre TCP** — Comment ces conséquences vont être prises en compte par les émetteurs TCP de  $S1$  et  $S2$  ? (Nous supposons que les deux émetteurs réagissent de la même façon).

On précisera en particulier la taille de fenêtre qui sera alors utilisée par chacune de ces deux entités.

**2.5 Débits utiles** — Quel débit pourra alors théoriquement fournir chacune des deux connexions avec une telle taille de fenêtre (si elle restait alors constante) ? On donnera une expression en fonction de  $L$  notamment.

Supposons que le débit du trafic entre les routeurs  $R2$  et  $R1$  soit maintenant revenu à une valeur inférieure à la capacité du lien.

**2.6 Baisse de débit sur le lien entre  $R2$  et  $R1$**  — Quelles peuvent être les raisons pour lesquelles ce débit a diminué ?

**2.7 Évolution de la fenêtre TCP** — Comment va alors évoluer dans le temps la taille de la fenêtre de l'émetteur TCP de chaque connexion ( $W_1$  et  $W_2$ ) ?

*On décrira brièvement mais clairement les deux phases successives en donnant en particulier pour chaque phase la valeur ajoutée à  $W$  à chaque cycle ainsi la durée de chacun de ces cycles.*

**2.8 Retour à la “normale”** — *Donner alors une expression de la durée nécessaire pour atteindre à nouveau  $W_1 = W_1^i, W_2 = W_2^i$  (et donc le débit calculé dans la deuxième question).*

*Pour cela, on déterminera en particulier le nombre de cycles de chacune des deux phases décrites dans la question précédente.*

**2.9 Application numérique** — *Comparer les valeurs de cette durée dans le cas des deux connexions envisagées.*

**2.10 Équité de TCP** — *Que peut-on conclure sur l'équité de TCP ? En quoi cela peut-il paraître contraire à l'intuition ? Quelle est la raison profonde de ce résultat ?*

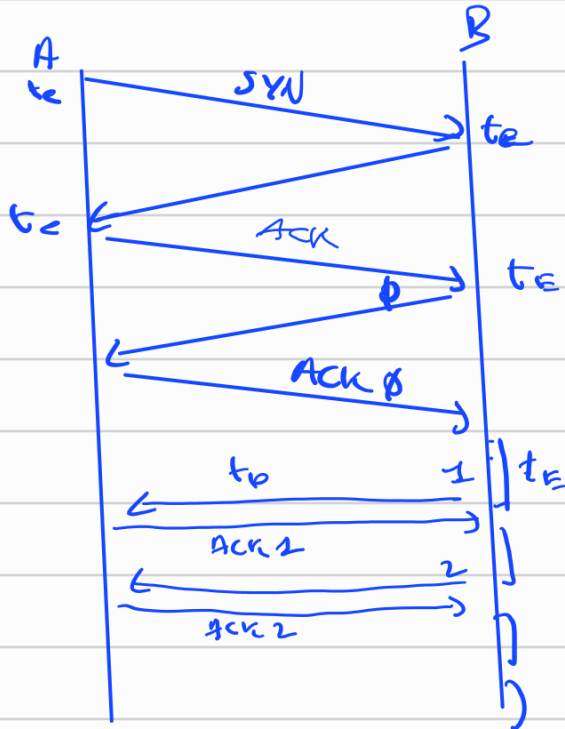
**2.11 Choix de la fenêtre idéale** — *Quels mécanismes de la pile IP permettent de déterminer et mettre en place la taille de la fenêtre idéale évoquée dans la première question ?*

*Quelles sont les conséquences ?*

■

## Exercice 1

1)



$t_w = 99\%$

Ethernet

$$t_e = \frac{64 \times 8}{10^7} = 52,2 \mu s$$

$$t_E = \frac{1500 \times 8}{10^7} = 1,2 \text{ ms}$$

$$t_p = \frac{100}{2 \cdot 10^8} = 0,5 \mu s$$

Satellite:  $t_e = 512 \mu s$

$t_E = 12 \text{ ms}$

$t_p = 240 \text{ ms}$   $t_w =$

## Exercice 2:

1)  $T_{M1} = 50 \text{ ms}$   $T_{M2} = 25 \text{ ms}$

10 Mbits/s 80%

taille fenêtre = débit  $\times$  RTT

$$W_1 = 10 \times 10 = 500 \text{ kbit}$$

$$W_2 = 25 \times 10 = 250 \text{ kbit}$$

2) 10 Mbits/s

3) La congestion apparaît sur R2, conséquence: ralentissement et des pertes

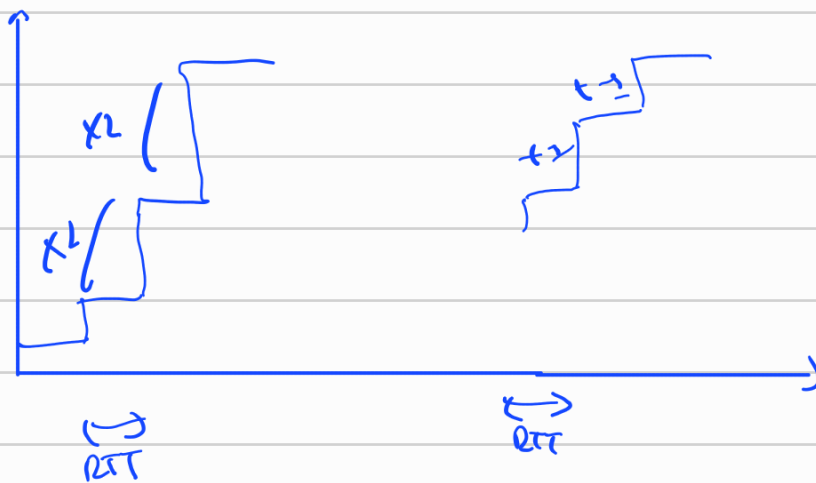
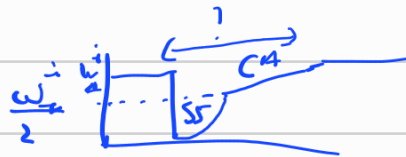
- 4) - Retransmission  
- CA ou SS

$$w_1 = \frac{w_g}{L} \quad \bigg| \quad w_g = 1$$

5)  $c_1 = \frac{c_2}{2} \quad \bigg| \quad c_1 = \frac{L}{RTT_1}$

6) Réduction débit par tout le monde.

7) SS puis CA



$$8) \quad \delta_k = \left( \left\lceil \log_2 \left( \frac{w_k}{2L} \right) \right\rceil + \frac{w_k}{2L} \right) RTT_k$$

a)  $\delta_1 = (\log_2(25) + 25) \times 50 < 1,5 s$

$\delta_2 = (\log_2(12,5) + 12,5) \times 25 < 400 ms$

10) TCP dépendant du temps d'aller-retour.

11)